



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO**

TEMA:

**“ANÁLISIS DE MATERIAL DE APORTE EN EL PROCESO DE SOLDADURA
GTAW APLICADO EN EL ACERO INOXIDABLE MARTENSÍTICO AISI 420 Y
SU INFLUENCIA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS”**

Autor: Ushiña Yagloa José Rafael

Tutor: Ing. Patín Gustavo, Mg

Ambato - Ecuador

2018

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de tutor del trabajo experimental, previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico, con el tema: “ANÁLISIS DE MATERIAL DE APORTE EN EL PROCESO DE SOLDADURA GTAW APLICADO EN EL ACERO INOXIDABLE MARTENSÍTICO AISI 420 Y SU INFLUENCIA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS” elaborado por el señor USHIÑA YAGLOA JOSÉ RAFAEL estudiante de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

Certifico:

El presente proyecto de investigación es original de su autor.

Ha sido revisado cada uno de sus capítulos.

Es concluida y puede continuar con el trámite correspondiente.

Ambato, 24 de Mayo del 2018

Ing. Patín Gustavo, Mg

DOCENTE INGENIERÍA MECÁNICA

AUTORÍA DEL TRABAJO

Yo, José Rafael Ushiña Yagloa con CI. 180450616-8 declaro que los criterios expresados en este trabajo experimental con el tema : “ANÁLISIS DE MATERIAL DE APORTE EN EL PROCESO DE SOLDADURA GTAW APLICADO EN EL ACERO INOXIDABLE MARTENSÍTICO AISI 420 Y SU INFLUENCIA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS” así como también los contenido, ensayos realizados, análisis, conclusiones y recomendaciones son auténticas y de mi exclusiva responsabilidad de mi persona como autor del presente tema de investigación, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, 24 de Mayo del 2018

José Rafael Ushiña Yagloa

CI. 180450616-8

AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la universidad Técnica de Ambato, para que haga de este trabajo de investigación o parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta y proceso de investigación según las normas de la institución.

Cedo los derechos de trabajo de investigación, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de esta, dentro de las regulaciones de la universidad

Ambato, 24 de Mayo del 2018

José Rafael Ushiña Yagloa

CI. 180450616-8

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del trabajo experimental realizado por el estudiante José Rafael Ushiña Yagloa de la carrera de Ingeniería Mecánica, bajo el tema: “ANÁLISIS DE MATERIAL DE APOORTE EN EL PROCESO DE SOLDADURA GTAW APLICADO EN EL ACERO INOXIDABLE MARTENSÍTICO AISI 420 Y SU INFLUENCIA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS”

Ambato, 24 de Mayo del 2018

Para constancia firman:

.....
Ing. Henry Vaca, Mg

.....
Ing. Segundo Espín, Mg

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo de titulación en primer lugar a Dios por haberme dado sabiduría y constancia para terminar esta etapa de mi vida, a mis padres José Ushiña y Flor Yagloa quienes me dieron palabras de aliento y su apoyo incondicional en todo momento.

A mi mami Rosa y tío Iván quienes fueron mi compañía en toda mi carrera universitaria y así también a mi esposa Cristina y mi hijo Emiliano quienes son y serán un pilar fundamental en mi vida y me impulsaran a ser un gran profesional.

AGRADECIMIENTO

Primeramente agradezco a Dios por darme la sabiduría y salud para poder terminar esta etapa de mi vida y buscar un mejor futuro y así poder ser un ejemplo de superación para mi hijo y mis hermanos.

A mis padres José y Flor quienes fueron los que me motivaron a terminar mis estudios y obtener mi título, a mi mami rosa y tío Iván quienes me supieron apoyar en todo momento y a mi esposa Cristina y mi hijo Emiliano quienes supieron llenar mi vida de bendiciones y apoyarme día a día.

A la facultad de ingeniería civil y mecánica por darme la apertura de estudiar y poder culminar y superarme al culminar esta etapa de mi vida

A mis amigos quienes supieron ayudarme en todo momento en toda esta etapa de mi carrera universitaria , quienes supieron manifestarme su amistad de una manera u otra a quienes agradezco por su estima, amistad y lealtad.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

PORTADA	I
CERTIFICACIÓN DEL TUTOR	II
AUTORÍA DEL TRABAJO	III
DERECHOS DE AUTOR	IV
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	V
AGRADECIMIENTO	VII
RESUMEN EJECUTIVO	XVI
CAPITULO I	1
ANTECEDENTES	1
1.1 TEMA DE INVESTIGACIÓN	1
1.2 ANTECEDENTES	1
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	2
1.4 OBJETIVOS	3
1.4.1 Objetivo General.....	3
1.4.2 Objetivos Específicos	3
CAPITULO II	4
FUNDAMENTACIÓN	4
2.1 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	4
2.1.1 El Acero.....	4
2.1.1.1 Aceros ordinarios o aceros al carbono.....	4
2.1.1.2 Aceros aleados.....	4
2.1.2 Diagrama de equilibrio hierro - carbono	5
2.1.2.1 Características de las estructuras del diagrama hierro-carbono.....	5
2.1.3 Tipos de aceros	7
2.1.3.1 Aceros al carbono	7
2.1.3.2 Aceros aleados.....	8
2.1.3.2.1 Aceros de baja aleación	8
2.1.3.2.2 Aceros de alta aleación	8
2.1.3.3 Aceros inoxidables	9
2.1.3.3.1 Reseña histórica.....	9
2.1.3.3.2 Definición acero inoxidable.....	10
2.1.3.3.3 Elementos aleantes en los aceros inoxidables	10
2.1.3.4 Clasificación de los aceros inoxidables	13

2.1.3.4.1 Acero inoxidable austeníticos	14
2.1.3.4.2 Aceros inoxidables Ferríticos	15
2.1.3.4.3 Aceros inoxidables de endurecimiento por precipitación.....	15
2.1.3.4.4 Aceros inoxidables dúplex.....	15
2.1.3.4.5 Acero inoxidable martensítico	15
2.1.3.5 Designación AISI de los aceros inoxidables	16
2.1.3.5.1 Aceros inoxidables austeníticos.....	16
2.1.3.5.2 Aceros inoxidables ferríticos	16
2.1.3.5.3 Aceros inoxidables martensíticos	17
2.1.3.6 Designación de los aceros inoxidables martensíticos.....	17
2.1.3.6.1 Composición típica de los aceros inoxidables martensíticos.....	17
2.1.3.7 Acero inoxidable martensítico AISI 420	18
2.1.3.7.1 Composición química del acero inoxidable AISI 420	18
2.1.3.7.2 Tratamiento térmico recomendada	18
2.1.4 Diagramas de fase de los aceros inoxidables.....	19
2.1.4.1 Diagrama de fase hierro – cromo	19
2.1.4.2 Diagrama hierro cromo carbono.....	20
2.1.4.3 Diagrama hierro cromo carbono níquel.....	21
2.1.5 Diagramas de constitución.....	22
2.1.5.1 Diagrama de Schaeffler	22
2.1.6 Soldabilidad de los aceros inoxidables.....	23
2.1.6.1 Soldadura eléctrica por arco con electrodo revestido (SMAW).....	24
2.1.6.2 Soldadura por arco sumergido (SAW)	24
2.1.6.3 Soldadura eléctrica por arco bajo protección de gas con alimentación continúa de electrodo sólido (GMAW)	25
2.1.6.4 Soldadura eléctrica por arco bajo protección de gas con alimentación continúa de electrodo tubular. (FCAW)	26
2.1.6.5 Soldadura con electrodo de tungsteno bajo la protección de gas (GTAW).....	26
2.1.6.5.1 Equipo.....	27
2.1.6.5.2 Electrodo de tungsteno.....	28
2.1.6.5.3 Varillas de aporte.....	29
2.1.6.5.4 Gas protector.....	32
2.1.7 Discontinuidades presentes en la soldadura	32
2.1.7.1 Discontinuidades Superficiales.....	33
2.1.7.1.1 Falta de penetración.....	33

2.1.7.1.2 Exceso de penetración	33
2.1.7.1.3 Socavaduras o mordeduras de bordes.....	34
2.1.7.2 Discontinuidades internas.....	34
2.1.7.2.1 Fisuras.....	34
2.1.7.2.2 Fisuras longitudinales	34
2.1.7.2.3 Fisura en frio.....	35
2.1.7.3 Inclusiones extrañas.....	35
2.1.7.3.1 Capas de oxido.....	35
2.1.7.3.2 Inclusiones de escoria.....	35
2.1.7.3.3 Inclusiones tungsteno	35
2.2 HIPÓTESIS	36
2.3 SEÑALAMIENTO DE VARIABLES DE LA HIPÓTESIS	36
2.3.1 Variable independiente	36
2.3.2 Variable dependiente	36
CAPITULO III	37
METODOLOGÍA.....	37
3.1 NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN	37
3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA	38
3.2.1 Población	38
3.2.2 Muestra	38
3.3 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	39
3.3.1 Variable independiente	39
3.3.2 Variable dependiente	40
3.4 PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	41
3.5 PLAN DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS	41
CAPITULO IV.....	42
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	42
4.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	42
4.1.1 Proceso de obtención y análisis de resultados	42
4.2 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	44
4.2.1 Análisis del acero inoxidable martensítico AISI 420 como viene de fábrica.....	45
4.2.1.1 Ensayo de tracción de acero inoxidable AISI 420 de fábrica.....	46
4.2.1.2 Ensayo de impacto de acero inoxidable AISI 420 de fábrica.....	52
4.2.1.3 Ensayo de doblez guiado de acero inoxidable AISI 420 de fábrica	53

4.2.1.4 Ensayo de dureza de acero inoxidable AISI 420 de fábrica.....	54
4.2.2 Ensayo de tracción de las probetas de acero inoxidable martensítico AISI 420 con material de aporte ER 308L.....	59
4.2.2.1 Ensayo de impacto de las probetas de acero inoxidable martensítico AISI 420 con material de aporte ER 308L.....	69
4.2.2.2 Ensayo de doblez guiado de las probetas de acero inoxidable martensítico AISI 420 con material de aporte ER 308L.....	70
4.2.2.3 Ensayo de dureza de las probetas de acero inoxidable martensítico AISI 420 con material de aporte ER 308L.....	72
4.2.3 Ensayo de tracción de las probetas de acero inoxidable martensítico AISI 420 con material de aporte ER 312.....	76
4.2.3.1 Ensayo de impacto de las probetas de acero inoxidable martensítico AISI 420 con material de aporte ER 312.....	86
4.2.3.2 Ensayo de doblez guiado de las probetas de acero inoxidable martensítico AISI 420 con material de aporte ER 312.....	87
4.2.3.3 Ensayo de dureza de las probetas de acero inoxidable martensítico AISI 420 con material de aporte ER 312.....	89
4.3 Interpretación de resultados.....	93
4.3.1 Interpretación de los resultados de los ensayos a tracción.....	93
4.3.2 Interpretación de resultados de los ensayos de dureza.....	95
4.3.3 Interpretación de los ensayos de impacto.....	98
4.3.4 Interpretación del resultado de ensayo de doblez guiado.....	99
4.4 Verificación de la hipótesis.....	101
4.4.1 Formulación de hipótesis.....	102
CAPITULO V.....	108
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	108
5.1 CONCLUSIONES.....	108
5.2 RECOMENDACIONES.....	110

ÍNDICE DE GRÁFICOS Y TABLAS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1. Estructuras del diagrama hierro carbono.....	6
Tabla 2-2. Tipos de aceros al carbono.....	7
Tabla 2-3. Designación AISI SAE de aceros al carbono y aleado.....	8
Tabla 2-4. Elementos aleantes en los aceros inoxidables.....	10
Tabla 2-5. Propiedades de los aceros inoxidables martensíticos.....	17
Tabla 2-6. Composición de algunos aceros inoxidables martensíticos.....	17
Tabla 2-7. Composición química AISI 420.....	18
Tabla 2-8. Práctica de tratamiento recomendada.....	18
Tabla 2-9. Clasificación AWS A.5.12 para electrodos de tungsteno.....	29
Tabla 2-10. Características varilla de acero inoxidable ER 308L.....	30
Tabla 2-11. Propiedades de la varilla de aporte ER 308L.....	30
Tabla 2-12. Características varilla de acero inoxidable ER 312L.....	31
Tabla 2-13. Propiedades de la varilla de aporte ER 312.....	31
Tabla 2-14. Gases inertes para GTAW.....	32
Tabla 3-1. Operacionalización de variable independiente.....	39
Tabla 3-2. Operacionalización de variable dependiente.....	40
Tabla 4-1. Datos obtenidos de los ensayos de tracción en acero inoxidable martensítico AISI 420 sin material de aporte.....	93
Tabla 4-2. Datos obtenidos de los ensayos de tracción en acero inoxidable martensítico AISI 420 con material de aporte ER 312.....	93
Tabla 4-3. Datos obtenidos de los ensayos de tracción en acero inoxidable martensítico AISI 420 con material de aporte ER 308L.....	93
Tabla 4-4. Datos obtenidos en los ensayos dureza en acero inoxidable martensítico AISI 420 en juntas soldadas con variación de material de aporte.....	96
Tabla 4-5. Datos obtenidos en los ensayos de impacto en acero inoxidable AISI 420.....	98
Tabla 4-6. Resultados del ensayo del doblez guiado de probetas de acero inoxidable martensítico AISI 420.....	100
Tabla 4-7. Datos obtenidos de los ensayos de tracción en acero inoxidable martensítico AISI 420 (datos obtenidos).....	101

Tabla 4-8. Datos obtenidos de los ensayos de dureza en acero inoxidable martensítico AISI 420 (datos obtenidos).	102
Tabla 4-9. Datos obtenidos de los ensayos de impacto en acero inoxidable martensítico AISI 420 (datos obtenidos).	102
Tabla 4-10. Determinación de las frecuencias observadas.	102
Tabla 4-11. Frecuencia teórica.	103
Tabla 4-12. Distribución χ^2 Pearson.....	104

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Figura 2-1. Diagrama de fases Hierro – Carbono.....	5
Figura 2-2. Si el acero se corta o se daña, la capa pasiva se vuelve a formar en presencia del oxígeno del aire o del agua.....	10
Figura 2-3. Familia de los aceros inoxidables	13
Figura 2-4. Árbol genealógico de los aceros inoxidables.....	14
Figura 2-5. Aleantes en los aceros inoxidables martensíticos	16
Figura 2-6. Diagrama de fases hierro - cromo según Metals Handbook vol. 8, 8va ed. American Society for Metals	20
Figura 2-7. Diagrama de equilibrio hierro carbono con el 0.1 % de carbono	21
Figura 2-8. Diagrama de equilibrio hierro-carbono-níquel-cromo.....	22
Figura 2-9. Diagrama Schaeffler	23
Figura 2-10. Soldadura por arco de metal protegido (SMAW).....	24
Figura 2-11. Soldadura por arco sumergido (SAW).....	25
Figura 2-12. Soldadura eléctrica por arco bajo protección de gas con alimentación continúa de electrodo sólido (GMAW)	25
Figura 2-13. Soldadura eléctrica por arco bajo protección de gas con alimentación continúa de electrodo tubular. (FCAW)	26
Figura 2-14. Soldadura con electrodo de tungsteno bajo la protección de gas (GTAW)	27
Figura 2-15. Diagrama esquemático del equipo GTAW	28
Figura 2-16. Varillas de aporte ER 308L (a) y ER 312 (b).	30
Figura 2-17. Composición varilla de aporte ER 308L (A + M + F) en el diagrama de Schaeffler.	31
Figura 2-18. Composición varilla de aporte ER 312 (A + F) en el diagrama de Schaeffler.....	32
Figura 2-19. Falta de penetración	33
Figura 2-20. Exceso de penetración	33
Figura 2-21. Socavadura o mordedura de bordes	34
Figura 2-22. Fisura longitudinal	34
Figura 2-23. Fisura en frío.....	35
Figura 4-1. Comparación de resistencia a la tracción (Sut), en un proceso de soldadura GTAW con variación de material de aporte.....	94

Figura 4-2. Comparación de resistencia a la cedencia (S_y), en un proceso de soldadura GTAW con variación de material de aporte.....	94
Figura 4-3. Comparación de % de elongación, en un proceso de soldadura GTAW con variación de material de aporte.....	95
Figura 4-4. Comparación de dureza HB, en un proceso de soldadura GTAW con variación de material de aporte a 2 mm del centro del cordón.....	96
Figura 4-5. Comparación de dureza HB, en un proceso de soldadura GTAW con variación de material de aporte a 6 mm del centro del cordón.....	97
Figura 4-6. Comparación de dureza HB, en un proceso de soldadura GTAW con variación de material de aporte a 10 mm del centro del cordón.....	98
Figura 4-7. Comparación de energía de rotura, en un proceso de soldadura GTAW con variación de material de aporte.....	99
Figura 4-8. Comparación del doblado guiado, en un proceso de soldadura GTAW con variación de material de aporte.....	100
Figura 4-9. Relación de la resistencia a la tracción.....	105
Figura 4-10. Relación de la resistencia a la cedencia.....	105
Figura 4-11. Relación de elongación.....	106
Figura 4-12. Relación de la resistencia al impacto.....	106
Figura 4-13. Relación de dureza (HB).....	107

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**ANÁLISIS DE MATERIAL DE APORTE EN EL PROCESO DE SOLDADURA
GTAW APLICADO EN EL ACERO INOXIDABLE MARTENSÍTICO AISI 420 Y
SU INFLUENCIA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS.**

Autor: José Rafael Ushiña Yagloa

Tutor: Ing. Gustavo Patín, Mg.

RESUMEN EJECUTIVO

El presente trabajo de investigación se basa en el proceso de soldadura GTAW realizada en juntas de acero inoxidable martensítico AISI 420 con material de aporte ER 308L y ER 312. Posteriormente se procedió a obtener probetas para realizar ensayos destructivos de impacto, dureza, doblaje guiado y tracción; cuyos resultados han sido evaluados en este trabajo de investigación con la finalidad de determinar la influencia de los materiales de aporte en las propiedades mecánicas de las juntas soldadas.

Este proyecto de investigación está fundamentado en el código AWS D1.6 “Structural Welding Code Stainless Steel” cuyo código establece disposiciones generales para realizar el proceso de soldadura en aceros inoxidables. Los ensayos se realizaron en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo en los laboratorios de la Escuela de Mecánica, para su desarrollo se contó con la guía y asesoramiento de los Técnicos de los diferentes laboratorios de materiales y ensayos; así como también se hizo uso de los equipos.

Los datos obtenidos se tabularon y se procedió a la selección del mejor material de aporte mediante un análisis adecuado con la finalidad de determinar cuál presenta una mejor influencia en las propiedades del acero inoxidable martensítico AISI 420.

Al finalizar el proyecto de investigación se obtuvo conclusiones y recomendaciones en base a los resultados obtenidos con la finalidad de contribuir a mejorar los procedimientos de soldadura en este tipo de material que pueden ser aplicados en el campo industrial.

Palabras clave: propiedades mecánicas, material de aporte, procedimientos, dureza, impacto, juntas soldadas, ductilidad.

TECHNICAL UNIVERSITY OF AMBATO
CIVIL ENGINEERING AND MECHANICS FACULTY
MECHANICAL ENGINEERING CAREER

**ANALYSIS OF THE FILLER MATERIAL IN THE GTAW WELDING PROCESS
APPLIED TO THE MARTENSITIC STAINLESS STEEL AISI 420 AND ITS
INFLUENCE ON THE MECHANICAL PROPERTIES.**

Author: José Rafael Ushiña Yagloa

Tutor: Ing. Gustavo Patín, Mg.

ABSTRACT

The present research work is based on the GTAW welding process made in AISI 420 martensitic stainless steel joints with ER 308L and ER 312 filler material. Subsequently, samples were obtained to perform destructive impact tests, hardness, guided bending and traction; whose results have been evaluated in this research work with the purpose of determining the influence of the materials of contribution in the mechanical properties of the welded joints.

This research project is based on the AWS code D1.6 "Structural Welding Code Stainless Steel" whose code establishes general provisions for carrying out the welding process in stainless steels. The tests were conducted at the Polytechnic School of Chimborazo in the laboratories of the school of mechanics, for its development was counted with the guidance and advice of the technicians of the different laboratories of materials and tests; as well as equipment was used.

The data obtained were tabulated and the best contribution material was selected by means of a suitable analysis in order to determine which has a better influence on the properties of the AISI 420 martensitic stainless steel.

At the end of the research project, conclusions and recommendations were obtained based on the results obtained in order to contribute to improve the welding procedures in this type of material that can be applied in the industrial field.

Keywords: Mechanical Properties, Filler Material, Procedures, Hardness, Impact, Fair Welded, Ductility.

CAPITULO I

ANTECEDENTES

1.1 TEMA DE INVESTIGACIÓN

“ANÁLISIS DE MATERIAL DE APORTE EN EL PROCESO DE SOLDADURA GTAW APLICADO EN EL ACERO INOXIDABLE MARTENSÍTICO AISI 420 Y SU INFLUENCIA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS”

1.2 ANTECEDENTES

El proceso de soldadura tiene múltiples aplicaciones en lo que ha ingeniería se refiere, por ello su campo de aplicación depende del material a soldar, su espesor, las propiedades mecánicas del material; así como también depende del proceso adecuado a seleccionar y el costo que este representa. Uno de los procesos de soldadura que permite un mejor control de las condiciones de operación es el proceso GTAW (Gas Tungsten Arc Welding) el cual es utilizado principalmente para aceros inoxidable o aleados.

En la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica se han realizado estudios de aceros inoxidable los cuales presentan afinidad por el tema de investigación como: Análisis de Variación de electrodos en un proceso de soldadura SMAW en acero inoxidable AISI 304 Austeníticos y su incidencia en las propiedades mecánicas [1]. Análisis de la variación de velocidad de avance en la soldadura de acero inoxidable austeníticos AISI 304 mediante el proceso GMAW y su incidencia en la defectología [2]. Además existe un trabajo de maestría en la facultad así como varios trabajos relacionados con el tema realizados por investigadores de otras instituciones respectivamente [3, 4, 5, 6, 7]. Los trabajos mencionados anteriormente tienen alcances similares a los que se planteó en este trabajo experimental aunque cabe destacar que no se enfocan totalmente al problema que se desea investigar.

Este trabajo experimental tiene como objetivo determinar las características metalúrgicas, sus propiedades mecánicas mediante ensayos requeridos (tracción, impacto, dobléz guiado, dureza) así como también se establecerá los cuidados y parámetros que se deben tomar en cuenta a lo hora de realizar el proceso de soldadura de este tipo de acero con la finalidad de que este trabajo experimental sea un aporte útil dentro del área metalúrgica.

1.3 JUSTIFICACIÓN

El objetivo de este trabajo tiene como finalidad investigar el proceso y los parámetros adecuados los cuales permitan realizar un proceso adecuado de soldadura del acero inoxidable martensítico AISI 420, ya que en la actualidad el uso de los aceros inoxidables en el área de la industria es amplio debido a que este material presenta una buena resistencia mecánica y dureza; razón por la cual se lo utiliza en aplicaciones que involucran esfuerzos elevados; también cabe mencionar que estos aceros tienen una buena resistencia a la corrosión. Hay que tomar muy en cuenta que son aceros magnéticos, en el proceso de soldadura estos aceros pueden producir tensiones y por ende generar grietas, sino se adoptan precauciones convenientes.

Al realizar los ensayos requeridos para poder determinar las propiedades mecánicas así como también la calidad de soldadura realizada se establecerán los cuidados y parámetros que se deben tomar a la hora de realizar el proceso de soldadura de este tipo de acero. En la actualidad estos aceros son muy utilizados en lo que generalmente se refiere a piezas mecánicas (rodetes de turbinas hidráulicas, aletas para turbinas, fundiciones resistentes a la corrosión, cuchillería, piezas de válvula, entre otros) los mismos que van a estar sometidas a corrosión y que requieran de una resistencia mecánica establecida

Por lo mencionado anteriormente nace el interés de mejorar la calidad del proceso de soldadura en los aceros inoxidables martensíticos con la finalidad de conocer de una manera adecuada de las diferentes variantes que tienen los mismos en sus propiedades mecánicas. Una vez concluido el estudio este permitirá obtener un panorama mucho más amplio acerca del proceso de soldadura GTAW en los aceros martensíticos AISI 420, por ende este trabajo experimental ayudara a despertar el interés de investigación sobre este tipo de aceros y a su vez brindara beneficios a los proveedores.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo General

Realizar el análisis de material de aporte en el proceso de soldadura GTAW aplicado en el acero inoxidable martensítico AISI 420.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Efectuar los procesos de soldadura en el acero inoxidable martensítico AISI 420 con los diferentes materiales de aporte con la finalidad de analizar los cambios en las propiedades mecánicas en las juntas soldadas mediante el proceso de soldadura.
- Determinar los esfuerzos de tracción, así como de cedencia en las probetas soldadas después del proceso de soldadura GTAW.
- Realizar los ensayos de impacto en las muestras del material elegido con los diferentes materiales de aporte.
- Evaluar la alteración en las propiedades mecánicas del material al aplicar el material de aporte en las uniones soldadas del acero inoxidable AISI 420 mediante el proceso GTAW.
- Seleccionar el tipo de material de aporte que presente mejor influencia en las propiedades del material.

CAPITULO II

FUNDAMENTACIÓN

2.1 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1.1 El Acero

El acero en el uso de ingeniería y construcción es el material más importante ya que es aproximadamente el 80% de todos los metales producidos, debido a que se realiza combinaciones de resistencia por lo que se obtiene un alto rango de propiedades físicas y mecánicas a un bajo costo; así como también debido a su facilidad de fabricación. Resultados de estas combinaciones se obtienen aceros suaves y dúctiles por lo que se los utiliza fácilmente como defensas y carrocerías de automóviles, también se los utiliza como herramientas para realizar cortes a una forma deseada ya que estos aceros pueden ser endurecidos [6].

2.1.1.1 Aceros ordinarios o aceros al carbono

Tienen una composición de aleación de hierro más carbono con un contenido aproximado del 1.2% de Carbono, la mayoría de los aceros contienen menos de un 0.5 % de Carbono, se los obtienen mediante la oxidación del carbón y otras impurezas del arrabio hasta que el contenido de carbono del hierro se reduce al nivel requerido [8].

2.1.1.2 Aceros aleados

Tienen cantidades específicas de otros elementos en su composición química. Estos elementos son principalmente el Níquel, Cromo, Molibdeno, Vanadio, Tungsteno y el Manganeso cuando se encuentra en cantidades superior al 1%. Estos elementos anteriormente mencionados se los puede utilizar dependiendo de las necesidades que se requieran al momento de fabricación o los usos que se pretenda dar al material por ello la selección del tratamiento térmico es esencial a la hora de obtener ciertas propiedades deseadas en los materiales.

2.1.2 Diagrama de equilibrio hierro - carbono

En el diagrama de la figura 2-1 se muestran las fases presentes en las aleaciones hierro carbono las cuales son enfriados o calentados lentamente a varias temperaturas, el eje de las abscisas se representa el porcentaje de carbono y carburo de hierro que está en escala logarítmica y en cambio en el eje de las ordenada se representa la temperatura la cual está en °C [8].

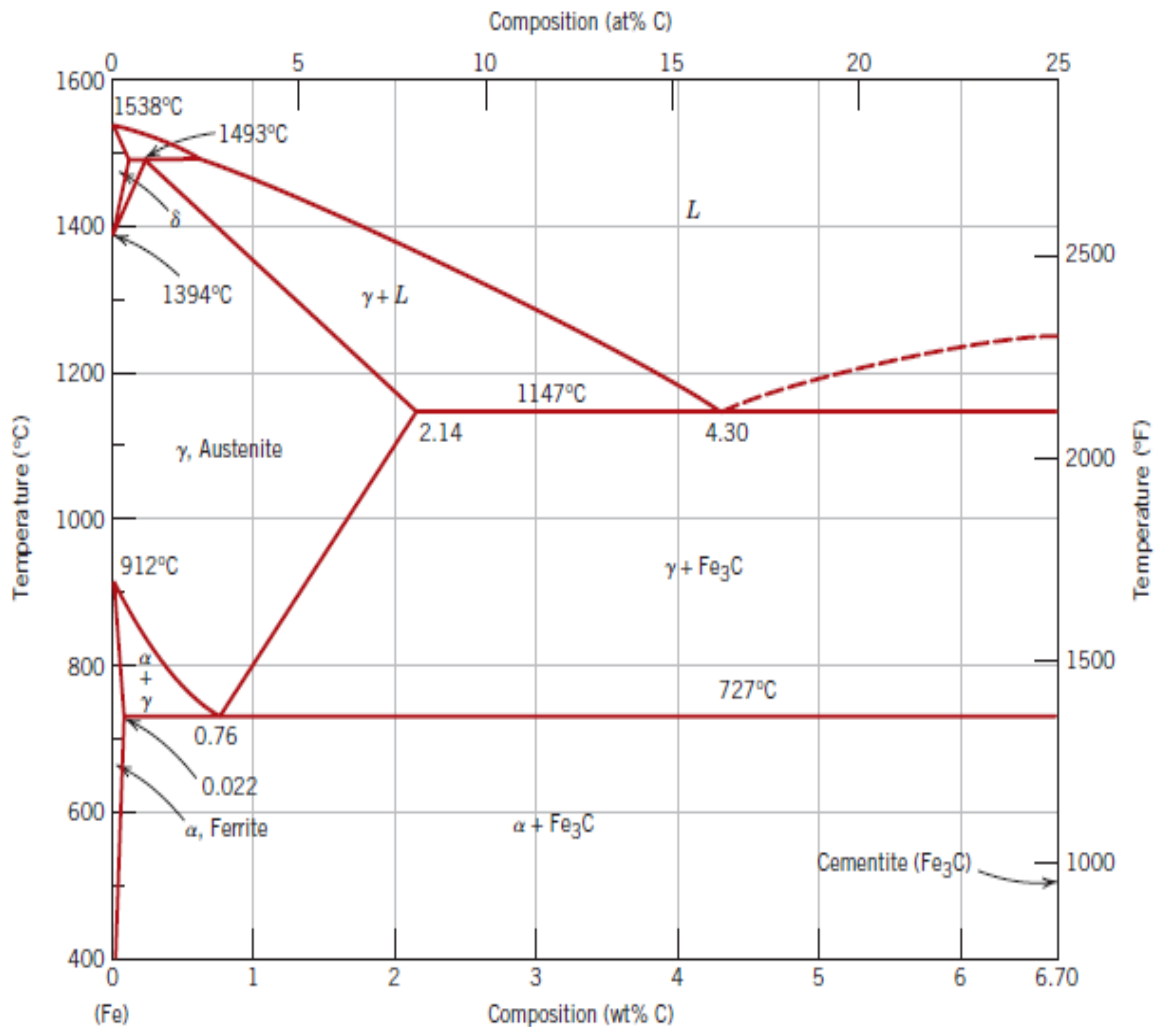


Figura 2-1. Diagrama de fases Hierro – Carbono (Callister y Rethwisch, 2014, p.333) [Adaptado de la fase de aleación binaria. Diagramas, 2da edición, vol. 1, T. B. Massalski (Redactor jefe), 1990. Reproducido por permiso de ASM International, Materials Park, OH.].

2.1.2.1 Características de las estructuras del diagrama hierro-carbono.

Generalmente los nombres de cada una de las estructura se debe a los nombres de los investigadores; así como también debido a su forma en particular, a continuación se describe cada una de ellas en la tabla 2-1.

Tabla 2-1. Estructuras del diagrama hierro carbono [8,10].

ESTRUCTURA	CARACTERÍSTICAS
Cementita	<p>También llamado carburo de hierro (Fe_3C), tiene límites despreciables de solubilidad y posee una composición del 6.67% en carbono y 93.3% en hierro. Además es un compuesto quebradizo y duro.</p> <p>Dureza: 700 Br- 68 Rockwell C. Es magnética hasta los 210°C.</p>
Ferrita	<p>Conocida también como solución sólida intersticial (α) consiste en átomos de hierro con estructura cristalina BCC, presenta una fase muy suave dúctil y magnética.</p> <p>Dureza: 90 Br. Resistencia a la rotura: 28Kg/mm² Alargamiento: de 35-40%. Es magnética.</p>
Austenita	<p>Se le conoce así al hierro gama γ y su contenido de carbono puede variar de 0 a 2 % así como también posee una estructura cristalina FCC, presenta menor suavidad y ductilidad que la ferrita, es una fase no magnética.</p> <p>Dureza: 300 Br. Resistencia a la rotura: 100 Kg/mm² Alargamiento: de 30%.</p>
Perlita	<p>Se compone del 86.5% de ferrita y 13.5 % de Cementita., se llama así ya que al iluminarla despide irisaciones parecidas a las de las perlas.</p> <p>Dureza: 200 Br. Resistencia a la rotura: 80 Kg/mm² Alargamiento: de 15%.</p>
Bainita	<p>Se forma a partir de la transformación isotérmica de la Austenita entre las temperaturas de 215 y 540 °C. Se denomina temperatura B_s cuando empieza la transformación de la bainita, tiene ese nombre en honor Edgar Bain.</p>
Martensita	<p>Se obtiene al enfriar rápidamente aceros ordinarios al carbono en fase austeníticas hasta llegar a una temperatura ambiente mediante enfriamiento rápido en agua también denominado temple .</p>

Ledeburita	Marca el límite entre los aceros y fundiciones debido a su contenido de carbono del 1.76%, posee un fase eutéctica debido a que sin segregación ni descomposición pasan del estado sólido a líquido. Además cabe mencionar que no es un constituyente de los aceros sino de las fundiciones, el porcentaje de carburo de hierro rebasa el 25%.
-------------------	--

2.1.3 Tipos de aceros

Los tipos de aceros que existen son: aceros al carbono, aceros aleados en este último tipo de acero nos enfocaremos nuestro estudio debido a que a este grupo pertenecen los aceros inoxidables.

2.1.3.1 Aceros al carbono

Son utilizados comúnmente en la industria, presentan un contenido principalmente de hierro con aleaciones en pequeñas cantidades de carbono, manganeso, fosforo, azufre y silicio.

Tabla 2-2. Tipos de aceros al carbono [11].

Nombre común	%C	Usos	Soldabilidad
Acero de bajo carbono	0.15% máximo	Electrodos para soldadura, láminas y chapas	Excelente
Acero suave (mild steel)	0.15%-0.30%	Perfiles y barras estructurales laminados	buena
Acero de medio carbono	0.30%-0.50%	Partes de maquinaria	Poca (precalentar y postcalentar)
Acero de alto carbono	0.50%-1.00%	Resortes, troqueles, rieles de ferrocarril	Poca (Difícil soldar sino se precalienta y postcalienta adecuadamente)

2.1.3.2 Aceros aleados

Son aceros que además del carbono poseen otros elementos de aleación.

2.1.3.2.1 Aceros de baja aleación

Contienen elementos de adición como el Níquel, Cromo, Manganeso, Silicio, Vanadio, Aluminio, Boro y Molibdeno. La presencia en pequeñas cantidades de estos elementos modifican las propiedades mecánicas, estos aceros son utilizados generalmente en la industria automotriz en partes de automotores así como también para servicio a baja temperatura o también a elevada temperatura. En la siguiente tabla 2-3 se muestran algunos casos de aceros al carbono y aleados [11].

Tabla 2-3. Designación AISI SAE de aceros al carbono y aleado [11].

10XX	Aceros al carbono
11XX	Aceros al carbono - resulturizados
12XX	Aceros al carbono - resulturizados y refosforados
13XX	Manganeso 1.75
23XX	Níquel 3.5
25XX	Níquel 5.0
31XX	Níquel 1.25 y cromo 0.6
33XX	Níquel 3.5 y cromo 1.5
40XX	Molibdeno 0.2 eo 0.25
41XX	Cromo 0.5, 0.8, 0.95 y molibdeno 0.12, 0.20, 0.30
43XX	Níquel 1.83, cromo 0.50, 0.80 y molibdeno 0.25
44XX	Molibdeno 0.53
46XX	Níquel 0.85, 1.83 y molibdeno 0.20, 0.25
47XX	Níquel 1.05, cromo 0.45, molibdeno 0.20, 0.35
48XX	Níquel 3.5 y molibdeno 0.25
50XX	Cromo 0.4
51XX	Cromo 0.8, 0.88, 0.93, 0.95, 1.0
61XX	Cromo 0.6, 0.95 y vanadio 0.13, 0.15
86XX	Níquel 0.55, cromo 0.5, molibdeno 0.20
87XX	Níquel 0.55, cromo 0.5, molibdeno 0.25
88XX	Níquel 0.55, cromo 0.5, molibdeno 0.35
92XX	Silicio 2.0
93XX	Níquel 3.25, cromo 1.2, molibdeno 0.12
98XX	Níquel 1.0, cromo 0.8, molibdeno 0.25

2.1.3.2.2 Aceros de alta aleación

Pertencen en gran parte a los aceros inoxidables y aceros para herramientas los cuales tienen altas cantidades de carbono y otras cantidades de elementos aleantes presentan alta dureza y son difíciles de soldar.

En cambio los aceros inoxidables son aleaciones compuestas principalmente por hierro y cromo ya que el hierro es el principal componente de este tipo de aceros y el cromo le da

la característica de que sea inoxidable, pero también se adicionan cantidades de otros materiales con la finalidad de mejorar las propiedades mecánicas.

2.1.3.3 Aceros inoxidables

2.1.3.3.1 Reseña histórica

Los primeros trabajos en acero inoxidable datan en el siglo XIX, en 1865 se fabricaban aceros inoxidables en pequeñas cantidades los cuales presentaban muy buena resistencia a la humedad de aire y así a la de ambiente. En 1872 Woods y Clark fabricaron aceros con un 5 % de aportación de cromo el cual presentaba mayor resistencia a la corrosión en comparación a los aceros de esta época.

En 1892 Hadfield, en Sheffield, Inglaterra se dedicó a la investigación acerca del cromo el cual investigo que el cromo mejoraba la resistencia a la corrosión. En 1904-1910 fueron fabricados aceros con similares características a los aceros inoxidables en la actualidad; esto se lo llevo a realizar mediante investigaciones que realizaron Quillet y Portevin [12].

En 1905 -1906 Quillet exploró metalúrgicamente y mecánicamente y producir los aceros inoxidables en la composición que entran en la tres clases principales., martensíticos, austeníticos y ferríticos, pero cabe destacar que el no descubrió el fenómeno de la pasividad [13].

En 1908-1910 Monnartz , Alemania presento la inoxidableidad de estos aceros en fusión de la pasividad, el hecho de que el carbono podía estabilizarse y la contribución del molibdeno para obtener la resistencia a la corrosión. En 1913 Brearley produjo una aleación muy resistente a la corrosión con un contenido de 0.24% de C y 12.8% de Cr mediante un horno eléctrico pero invento no tuvo mucho interés por lo que su invento fue destinado a la fabricación de cuchillería [13].

En 1917 en Francia Chevenard patentó aceros con el 10 a 15 % de Cr y 20%-40% de Ni cuya característica era la pasividad, tiempo más tarde fue estudiado en Alemania con la finalidad de determinar el efecto del cromo - cobre la corrosión mediante una capa protectora y a su vez también se estudió la influencia del molibdeno. A partir de los años 1920-1930 la familia de los aceros inoxidables ha crecido en un gran número de tipos y a su vez sus acabados y sus diversas dimensiones [7].

2.1.3.3.2 Definición acero inoxidable

Se caracterizan por su elevada resistencia a la corrosión debido a su composición con elementos aleantes como son el níquel y cromo los cuales reaccionan con el oxígeno formando una delgada película dura y muy adherente como se observa en la figura 2-2, alta resistencia mecánica, ductilidad y elevado contenido de cromo. En la mayoría de aceros inoxidables el contenido máximo de hierro es del 50%, cromo es del 30% y un mínimo del 11 %. Por lo general el contenido de carbono en estos tipos de acero va desde un 0.03% hasta un 1.2% en ciertas calidades martensíticas [7].

Los aceros inoxidables presentan su resistencia a la corrosión debido a la formación de un película delgada de cromo en la superficie del acero la cual es rápidamente restaurada en la presencia del oxígeno además son fáciles de reparar fácilmente cuando sufren daños por abrasión, corte o mecanizados.

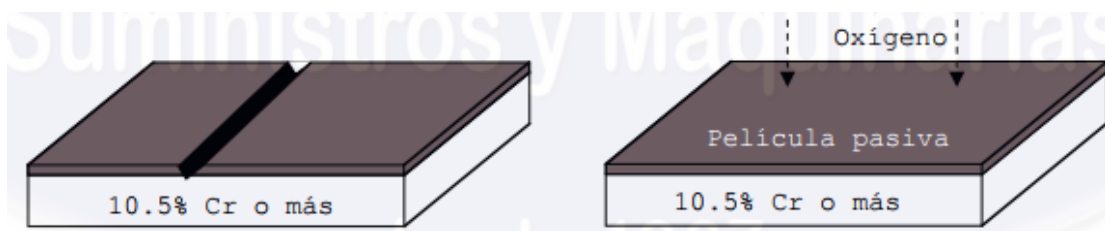


Figura 2-2. Si el acero se corta o se daña, la capa pasiva se vuelve a formar en presencia del oxígeno del aire o del agua [7].

2.1.3.3.3 Elementos aleantes en los aceros inoxidables

En la tabla 2-4 podemos apreciar como los elementos aleantes influyen en las propiedades mecánicas de los aceros inoxidables, para los aceros inoxidables martensíticos y ferríticos los elementos aleantes principales son el cromo y carbono mientras que para los aceros inoxidables dúplex y austeníticos son los elementos anteriormente mencionados y adicionalmente el elemento como es el níquel. También su composición puede presentar otros elementos aleantes que se puede que permitirán mejorar la maquinabilidad y la resistencia a la corrosión estos elementos pueden ser el manganeso, silicio, molibdeno, titanio, aluminio, cobre, tungsteno y nitrógeno.

Tabla 2-4. Elementos aleantes en los aceros inoxidables [15].

ELEMENTO	CARACTERÍSTICAS
Cromo	Formador de ferrita y carburo lo que da la característica de inoxidables y refractarios, elemento principal que da la propiedad de resistencia a la corrosión y además de la formación de la película de óxido. Se emplea en cantidades de 0.30 a 30% y su aplicación es amplia

	<p>generalmente en aceros de construcción, inoxidable y resistentes al calor además influye en un bajo aporte en la resistencia a altas temperaturas y creep.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Austenítico: 16% - 20% • Ferrítico: 10.5% - 30% • Martensítico: 11% - 18%
Níquel	<p>Elemento responsable de la formación de Austenita en aceros inoxidable a temperatura ambiente, alta resistencia a la corrosión en líquidos no oxidantes, mejora la tenacidad, ductilidad y reduce la conductividad del calor, incrementa la resistencia a la fatiga, así como la capacidad a ser soldado. Evita el crecimiento del grano en los tratamientos térmicos, además cabe destacar que a mayores contenidos de níquel muestra mayor facilidad a la formación de Martensita.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Austenítico: 7% - 20% • Ferrítico: 0% • Martensítico: hasta 1%
Molibdeno	<p>Elemento responsable de la formación de ferrita y carburo, mejora la resistencia a altas temperatura y al creep, mejora la resistencia a la tracción, la templabilidad y así también aumenta la pasividad y resistencia química de los aceros inoxidable, también mejora en un porcentaje elevado a la corrosión en medios no oxidantes y resistencia a la corrosión por picadura en todos los medios.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Austenítico: 6% • Ferrítico: 6% • Martensítico: 0%
Silicio	<p>Este elemento tiene la característica de ser desoxidante por lo que se añade generalmente en todos los aceros con la finalidad de evitar la aparición de poros en su estructura, cumple con la función de estabilización de la ferrita, en presencia de 4% - 5% en peso incrementa la resistencia a la corrosión. Debido a que este elemento forma la presencia de siluros de hierro y compuestos intermetálicos con el cromo fragilizan el acero.</p>

	<ul style="list-style-type: none"> • Austenítico: hasta 0.75 % • Ferrítico: hasta 1 % • Martensítico: hasta 1%
Azufre	<p>Es considerado como un elemento perjudicial pero es de gran aporte a la hora de mejorar la maquinabilidad, al incrementar el porcentaje de azufre puede haber presencia de poros en la soldadura. La presencia del sulfuro genera desgranamiento del material, para obtener una mejor fundición y neutralizar el sulfuro el manganeso debe ser 5 veces la concentración de azufre y así poder neutralizar esta reacción.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Austenítico: hasta 0.03% • Ferrítico: hasta 0.03% • Martensítico: hasta 0.03%
Fosforo	<p>Este elemento forma fosfuro de hierro que es sumamente frágil por ende disminuye la ductilidad por lo cual se le considera como un elemento perjudicial, pero en circunstancias se le agrega para ganar resistencia a la tensión y mejorar la maquinabilidad.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Austenítico: hasta 0.04% • Ferrítico: hasta 0.04% • Martensítico: hasta 0.04%
Manganeso	<p>Neutraliza la influencia del oxígeno y azufre los cuales aparecen cuando el acero está en estado líquido, este elemento no influye en gran cantidad en las propiedades mecánicas es decir su influencia es pobre.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Austenítico: 5% - 20% (serie 200); hasta 2% (serie 300) • Ferrítico: hasta 1 % • Martensítico: hasta 1%
Carbono	<p>Este elemento es gammágeno que permite estabilizar la Austenita en aleaciones Hierro-Cromo, si su peso en carbono son mayores al 0.22 % el acero se vuelve austenítico y sensibles a procedimientos de temple.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ferrítico: hasta 0.08% hasta 0.2% • Martensítico: hasta 0.2% a 0.28%%
OTROS ELEMENTOS	

Nitrógeno	Aluminio	Titanio
Se utiliza en lugar del níquel con la finalidad de abaratar costos, este elemento no disminuye la resistencia a la corrosión así como también su proceso de fabricación y la soldadura	Mejora la resistencia a la corrosión en ambientes salinos.	Mantiene las propiedades del acero a altas temperaturas y se usan para estabilizar y desoxidar el acero.

2.1.3.4 Clasificación de los aceros inoxidable

Debido a la presencia del cromo en diferentes porcentajes dentro de la composición de esta aleación y a la presencia de elementos aleantes que mejoran la composición, además dependiendo de la aplicación requerida, se fabrican varios grados de aceros inoxidable cuya diferencia radica en la microestructura de cada uno de ellos en la figura 2-3 se puede observar la familia de los aceros inoxidable [17].

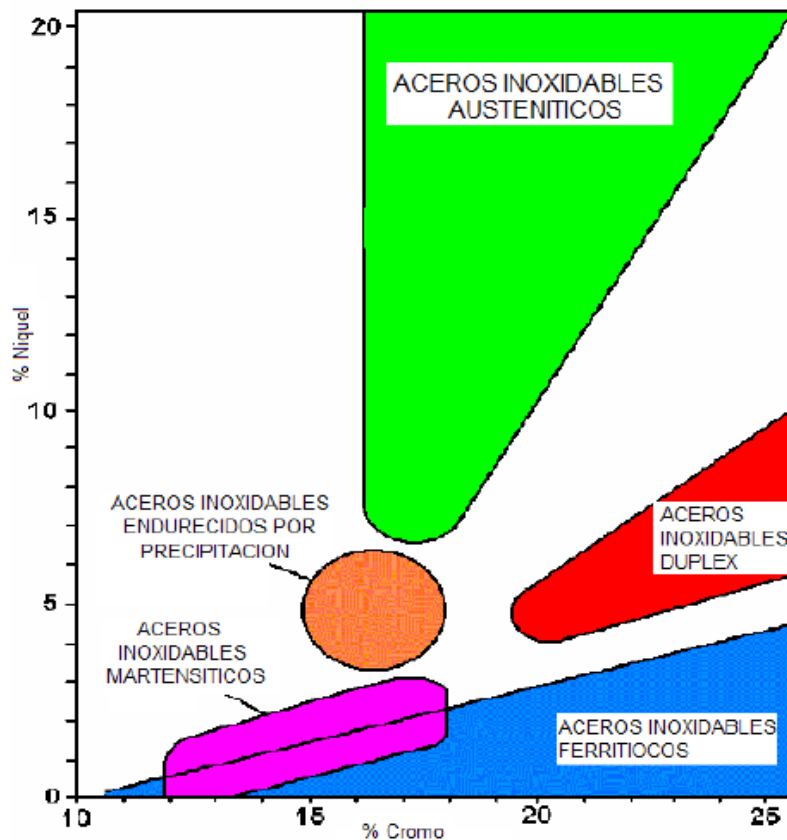


Figura 2-3. Familia de los aceros inoxidable [17].

Generalmente los aceros inoxidable de acuerdo a su microestructura se clasifican en 5 grupos:

- Austeníticos (series 200 y 300)
- Ferríticos (serie 400)
- Martensíticos (series 400 y 500)
- De endurecimiento por precipitación (PH, por sus siglas en ingles)
- De estructura dúplex

A continuación se observa en la figura 2-4 el árbol genealógico de los aceros inoxidable:

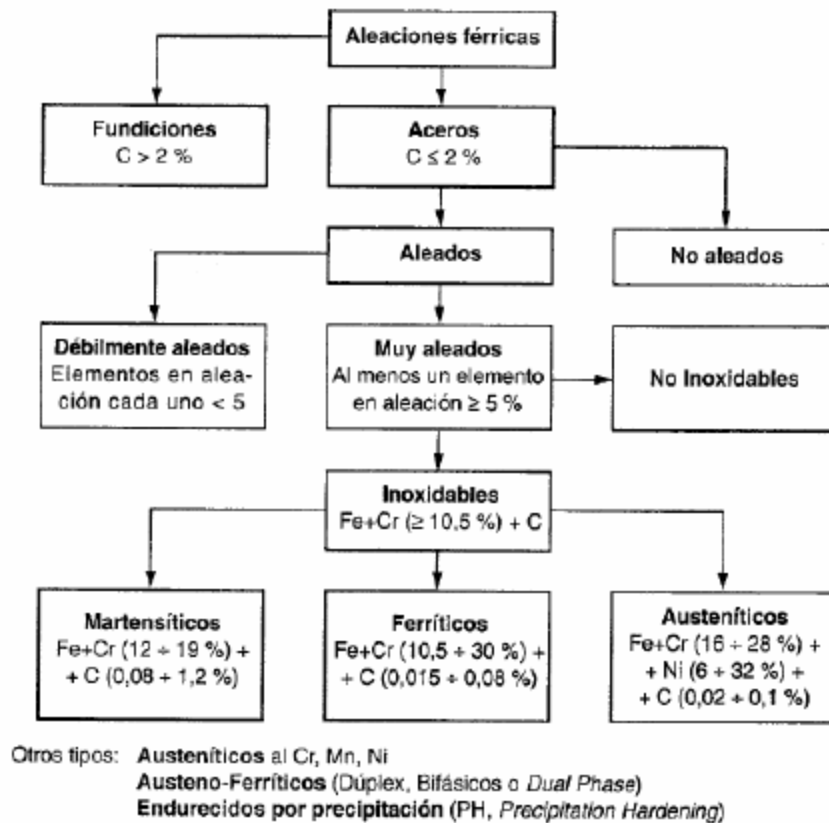


Figura 2-4. Árbol genealógico de los aceros inoxidable [7].

2.1.3.4.1 Acero inoxidable austeníticos

Son aleaciones terciarias están compuestos de cromo, níquel, hierro; contienen entre un 16% y 25% de cromo y un 15 a un 20% de Níquel, tienen excelente resistencia a la corrosión y no son magnéticos, se endurece mediante el trabajo en frío, además son aceros inoxidable más dúctiles y se pueden formar con facilidad.

- Series 300 AISI.- aleaciones cromo – níquel
- Series 200 AISI.- aleaciones cromo- manganeso-nitrógeno

2.1.3.4.2 Aceros inoxidables Ferríticos

Presentan un alto contenido de cromo hasta 27%, son magnéticos y tienen una alta resistencia a la corrosión pero tienen una ductilidad más baja en comparación a los austeníticos, se endurecen mediante trabajo en frío y no se los puede tratar térmicamente. Se lo utiliza generalmente en procesos de formado en frío debido a su baja dureza. Generalmente se los utiliza para la fabricación de equipos para cocina y guarda fangos para automóviles [16].

2.1.3.4.3 Aceros inoxidables de endurecimiento por precipitación

Presentan buena resistencia a la corrosión, ductilidad y resistencia a altas temperaturas, contienen cromo, níquel y además elementos aleantes como el cobre, aluminio, titanio o molibdeno. Tienen una estructura austenítica, martensítica o semiaustenítica ya que tienen contenido de cromo y níquel dependiendo de su porcentaje, generalmente se los utiliza en la industria aeronáutica en elementos estructurales [16].

2.1.3.4.4 Aceros inoxidables dúplex

Son aceros magnéticos, poseen una buena soldabilidad y además no pueden ser endurecidos por tratamientos térmicos. Poseen un contenido de cromo entre un 18% y 26% y un contenido de níquel entre 4.5% a 6.5% [17].

2.1.3.4.5 Acero inoxidables martensítico

Su contenido de cromo puede ser hasta un 18% de cromo y de carbono de 0.15% y 1.2%, carecen de níquel y se endurecen con tratamiento térmico. Mediante tratamientos térmicos pueden alcanzar valores superiores a 1400 Mpa en resistencia a la tensión, dureza, resistencia a la fatiga y buena resistencia a la corrosión. Se lo utiliza generalmente en válvulas, herramientas quirúrgicas, cuchillería y resortes, en la figura 2-5 se pueden observar los diferentes aleantes en los aceros inoxidables martensíticos.

Este tipo de aceros deben ser sometidos a precalentamiento que está dado entre 760°C y 790°C dependiendo del espesor del material por un tiempo determinado, los aceros de grado 410 y 416 requieren menos precalentamiento en comparación a los aceros de grado 420 y 440. Este tipo de aceros inoxidables son austenitizados en el rango de 925°C a 1065°C y enfriados al aire, pero hay que tomar en cuenta que si se da un gradiente de

temperatura grande puede causar torceduras o fracturas debido a la baja conductividad térmica, pueden enfriarse al aire o en aceite debido a la templabilidad elevada, en aceite se garantiza una elevada resistencia a la corrosión y una ductilidad máxima, pero si se lo enfría al aire se reduce esta propiedades antes mencionadas. Este tipo de aceros a veces pueden ser nitrurados con la finalidad de incrementar la dureza superficial, resistencia al desgaste y lograr una baja resistencia a la fricción [16].

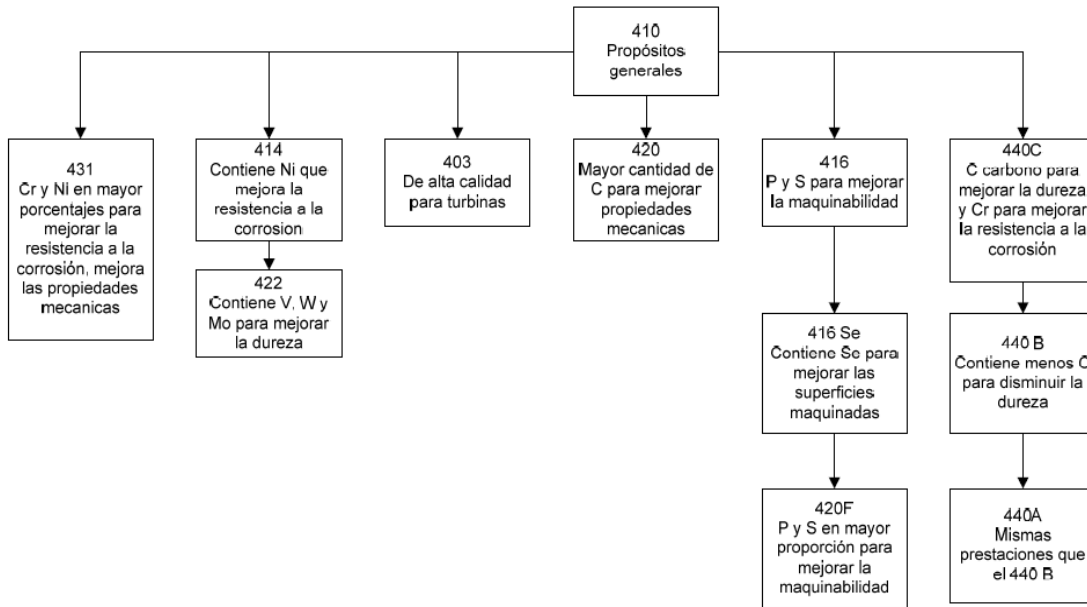


Figura 2-5. Aleantes en los aceros inoxidables martensíticos [17].

2.1.3.5 Designación AISI de los aceros inoxidables

La norma AISI denomina siguiente clasificación para los aceros inoxidables utilizando 3 números:

2.1.3.5.1 Aceros inoxidables austeníticos

- 3xx: Base Cr, Ni. Bajo en carbono
- 2xx: Base Cr, Ni, Mn. Bajo en carbono

Ejemplo: 302, 304, 316, 303,202.

2.1.3.5.2 Aceros inoxidables ferríticos

- 4xx: Base Cr. Bajo en carbono

Ejemplo: 430, 442, 446.

2.1.3.5.3 Aceros inoxidables martensíticos

- 4xx: Base Cr. Medio alto en carbono
- 5xx: Base Cr, Mo. Bajo en carbono

Ejemplo: 410, 416, 431, 440, 501, 502, 503, 504 [16].

2.1.3.6 Designación de los aceros inoxidables martensíticos

Generalmente existen los siguientes tipos de aceros inoxidables martensíticos en la siguiente tabla 2-5 se muestra las propiedades de cada uno de ellos:

Tabla 2-5. Propiedades de los aceros inoxidables martensíticos [19].

AISI Type	Room Temperature (annealed)				Max Service Temp (°F) in Air	
	Tensile Strength (1000 psi)	Yield Strength, 0.2% (1000 psi)	Elongation 2 in. (%)	Hardness Rockwell B†	Continuous	Intermittent
403	75	40	35	82	1300	1450
410	75	40	35	82	1300	1450
414	115	90	20	97	1300	1450
416,	75	40	30	82	1250	1400
416Se						
420						
431	95	50	25	92	1200	1400
	125	95	20	24 (Rc)	1500	1600
440A	105	60	20	95	1400	1500
440B	107	62	18	96	1400	1500
440C	110	65	14	97	1400	1500

* Mechanical property values are for bar materials. Properties of sheet, strip, or plate may vary from these values slightly.

† Rockwell B unless otherwise noted.

2.1.3.6.1 Composición típica de los aceros inoxidables martensíticos

Tabla 2-6. Composición de algunos aceros inoxidables martensíticos [19].

AISI Type	Composition* (%)		
	Carbon	Chromium	Other
403	0.15	11.5 – 13.0	0.5 Si
410	0.15	11.5 – 13.5	–
414	0.15	11.5 – 13.5	1.25 – 2.5 Ni
416	0.15	12.0 – 14.0	1.25 Mn, 0.15 S (min), 0.060P, 0.60 Mo (opt)
416Se	0.15	12.0 – 14.0	1.25 Mn, 0.060 P, 0.15 Se (min)
420	0.15 (min)	12.0 – 14.0	–
431	0.20	15.0 – 17.0	1.25 – 2.5 Ni
440A	0.60 – 0.75	16.0 – 18.0	0.75 Mo
440B	0.75 – 0.95	16.0 – 18.0	0.75 Mo
440C	0.95 – 1.20	16.0 – 18.0	0.75 Mo

* Single values denote maximum percentage unless otherwise noted.

† Unless otherwise noted, other elements of all alloys listed include maximum contents of 1.0% Mn, 1.0% Si, 0.040% P, and 0.030% S. Balance is Fe.

2.1.3.7 Acero inoxidable martensítico AISI 420

En la tabla 2-7 se puede observar que el acero inoxidable martensítico AISI 420 tiene un incremento en el porcentaje de carbono ya que mediante este incremento puede ofrecer una gran resistencia mecánica, dureza y elevada resistencia al desgaste. Pero cabe mencionar que se reduce a la resistencia a la corrosión por lo que su uso se limita a algunos tipos de fluidos [20].

Es capaz de endurecerse a 500 HB o levemente a una dureza más alta, además puede ser revenido en un amplio rango de temperaturas, para obtener una mayor resistencia al impacto, sin afectar la dureza en un alto porcentaje.

2.1.3.7.1 Composición química del acero inoxidable AISI 420

Tabla 2-7. Composición química AISI 420 [6].

COMPOSICIÓN QUÍMICA						
C %	Mn %	P %	S %	Si %	Cr %	Mo %
0.15 min	1.00 max	0.40 max	0.030	1.00 max	12.00 a	0.60
			max		14.00	opcional

2.1.3.7.2 Tratamiento térmico recomendada

Tabla 2-8. Práctica de tratamiento recomendada [6].

TRATAMIENTO TÉRMICO	CARACTERÍSTICAS
Normalizado	Este acero no se normaliza
Recocido	En un rango de temperatura subcritico 675°C a 760°C se lo puede realizar en baño de sales limpio y rectificado, el tiempo de empapado depende de las dimensiones y tamaño de la pieza y posteriormente se procede a enfriar al aire. Dureza de 94-97 HRB Recocido isotérmico: 830°C a 885°C. Enfriar lentamente a 705°C, mantener por 2 horas. Dureza aproximada 95 HRB Recocido total: 830°C a 885°C, enfriar lentamente a razón de 17°C a 23°C por hora, después se enfriara a una temperatura cualquiera ya que esta no afectara la dureza final. Dureza de recocido de 86 HRB a 95 HRB.

Templado	Precalentar: 760 °C a 790 °C el tiempo que sea necesario para obtener un precalentamiento uniforme de la pieza. Austenitizar de 925-1010 °C para piezas gruesas se utiliza el límite superior con la finalidad de obtener una máxima resistencia a la corrosión o resistencia mecánica y en cambio el límite inferior se toma en cuenta la temperatura de revenido excede los 565 ° C. el empapado se lo debe realizar durante 30 a 60 min. La dureza es de 448 HB a 664 HB.
Revenido	Revenir de 205 a 370°C para una dureza de 48 HRC a 56 HRC. Doble revenido es benéfico, enfriamiento al ambiente entre los revenidos.
Estabilizado	Para la transformación de toda la austenita retenida usar el tratamiento subcero o de estabilización a -76°C. Revenir inmediatamente para revenir la nueva Martensita y evitar la fractura.
Nitrurado	No es recomendable en medios corrosivos muy severos. Antes de nitrurar las partes deben ser revenidas y templadas de al menos 14°C por arriba del Nitrurado. El ciclo adecuado para el Nitrurado es de 525 °C a 550°C por 20-48 horas dependiendo de la profundidad. La dureza es arriba de 1000 HK

2.1.4 Diagramas de fase de los aceros inoxidables

Los diagramas de fase de equilibrio contienen las fases estables presentes en una aleación así como también permiten describir las transformaciones de las fases; además estos diagramas se utilizan para predecir la evolución que presenta su microestructura. El diagrama que se utiliza principalmente en los aceros inoxidables es el diagrama de fase Hierro-Cromo.

2.1.4.1 Diagrama de fase hierro – cromo

En este diagrama de la figura 2-6 se puede determinar los conceptos básicos en lo que se refiere a aceros inoxidables como son: martensíticos, austeníticos, ferríticos, dúplex y endurecidos por precipitación. Este diagrama permite revisar de una manera adecuada los conceptos básicos de los aceros inoxidables [22].

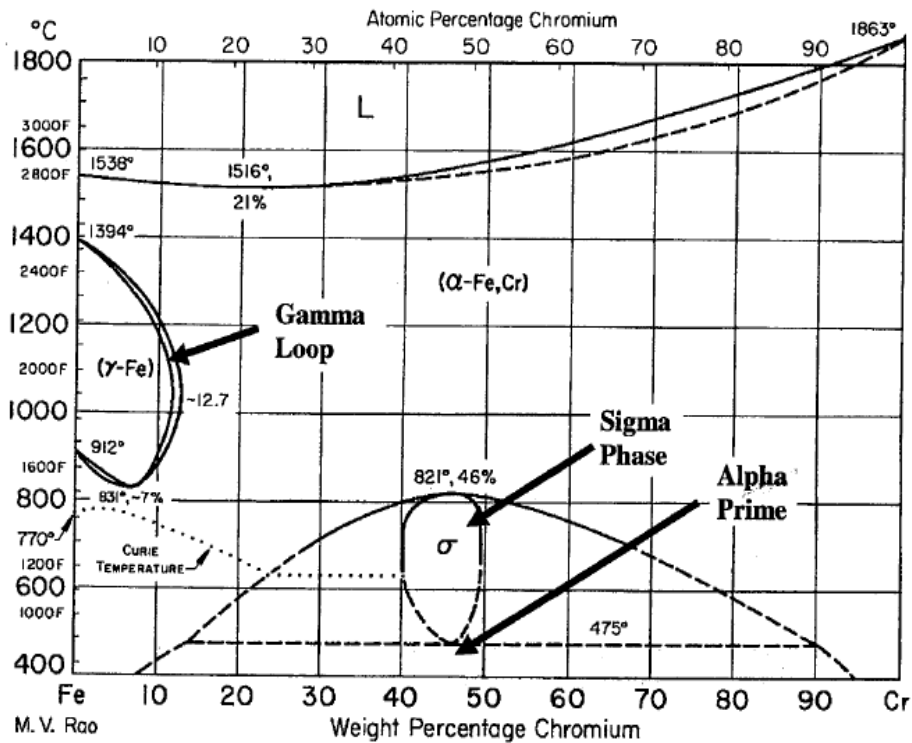


Figura 2-6. Diagrama de fases hierro - cromo según Metals Handbook vol. 8, 8va ed. American Society for Metals [21].

Al analizar la figura 2-6 se determina que las aleaciones con el menos del 12% de cromo transforman su estructura ferrítica (α) a austenita (γ) durante el calentamiento y al enfriar rápidamente hasta la temperatura ambiente se consigue transformar la austenita en martensita [22].

Las aleaciones con el porcentaje de cromo entre 12% y 13% forman estructuras bifásicas ($\alpha+\gamma$) las cuales al enfriarse a temperaturas ambiente rápidamente forman una estructura de ferrita y martensita y las aleaciones con más del 13% de cromo mantienen su estructura ferrítica hasta su punto de fusión [22].

2.1.4.2 Diagrama hierro cromo carbono

En este diagrama al adicionar carbono es modificar la forma de la curva gamma, la misma que se traslada hacia la derecha a medida que se aumenta el contenido de carbono.

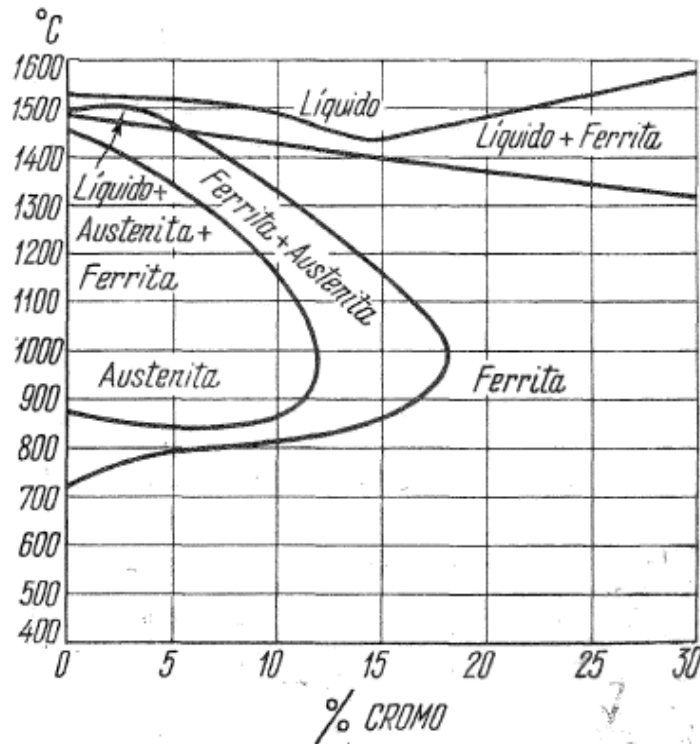


Figura 2-7. Diagrama de equilibrio hierro carbono con el 0.1 % de carbono [22].

En la figura 2-7 se observa que al elevar la temperatura de una aleación con el 11.5% de cromo y 0.1% de carbono la fase ferrítica sufre un cambio hasta llegar al límite ferrita mas austenita, es decir que al elevar la temperatura hay un principio de formación de austenita hasta llegar a la formación austenítica en su totalidad en la aleación. Los carburos de cromo se disuelven en la austenita proporcionalmente con el tiempo que es mantenida en una temperatura necesaria [22].

2.1.4.3 Diagrama hierro cromo carbono níquel

Al agregar continuamente níquel en este caso para una aleación de 18% cromo, el porcentaje de solución solida austenítica aumenta hasta que su estructura sea completamente austenítica.

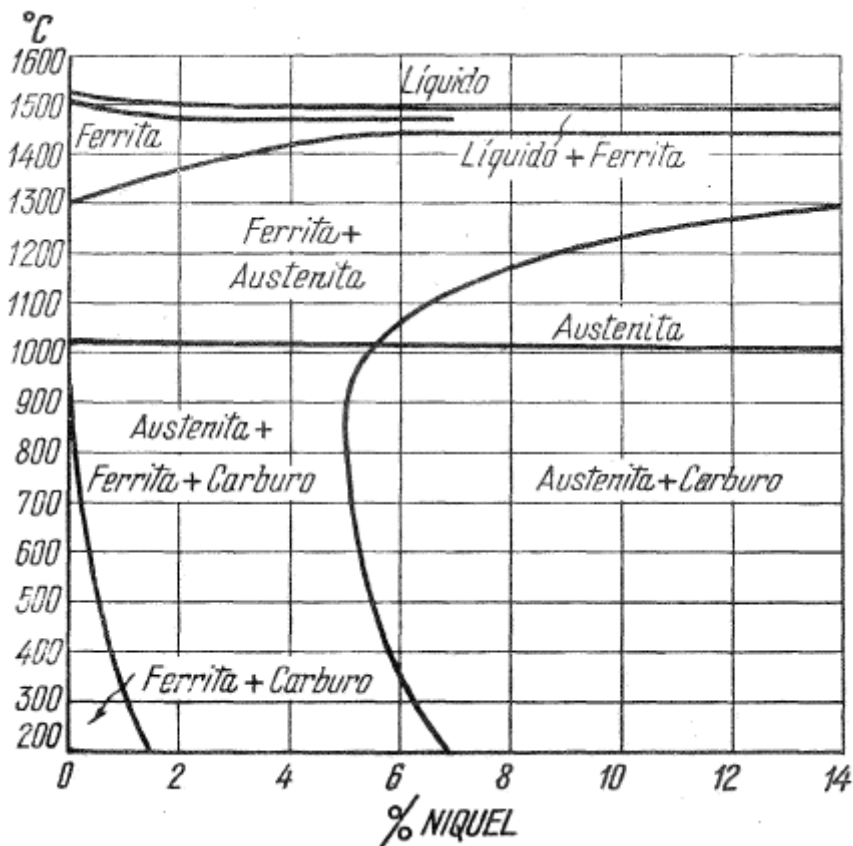


Figura 2-8. Diagrama de equilibrio hierro-carbono-níquel-cromo (Cr 18%; 0.1% de C). Las fases son mostradas después del tratamiento térmico [22].

En la figura 2-8 muestra una aleación de 18 % de cromo y 0.1% de carbono presenta en su totalidad una estructura austenítica a todas las temperaturas para un porcentaje de 7% de Níquel. Una aleación austenítica contiene solución sólida carburo de cromo precipitado al elevar la temperatura por arriba del límite de solubilidad del carburo, el mismo se disolver completamente en el resto del material, en la práctica sin embargo, es necesario calentar hasta 100°C – 1120°C [22].

2.1.5 Diagramas de constitución

Estos diagramas ayudan a predecir el comportamiento de la soldadura de los aceros inoxidable, ya que permite conocer los cambios que presenta la microestructura durante el proceso de soldadura.

2.1.5.1 Diagrama de Schaeffler

El diagrama de Schaeffler de la figura 2-9 tiene su predecesor el diagrama de Maurer, este diagrama permite predecir la microestructura que presentar un acero Cr-Ni en base a sus porcentajes que presenta la composición del metal base así también como el material de aporte.

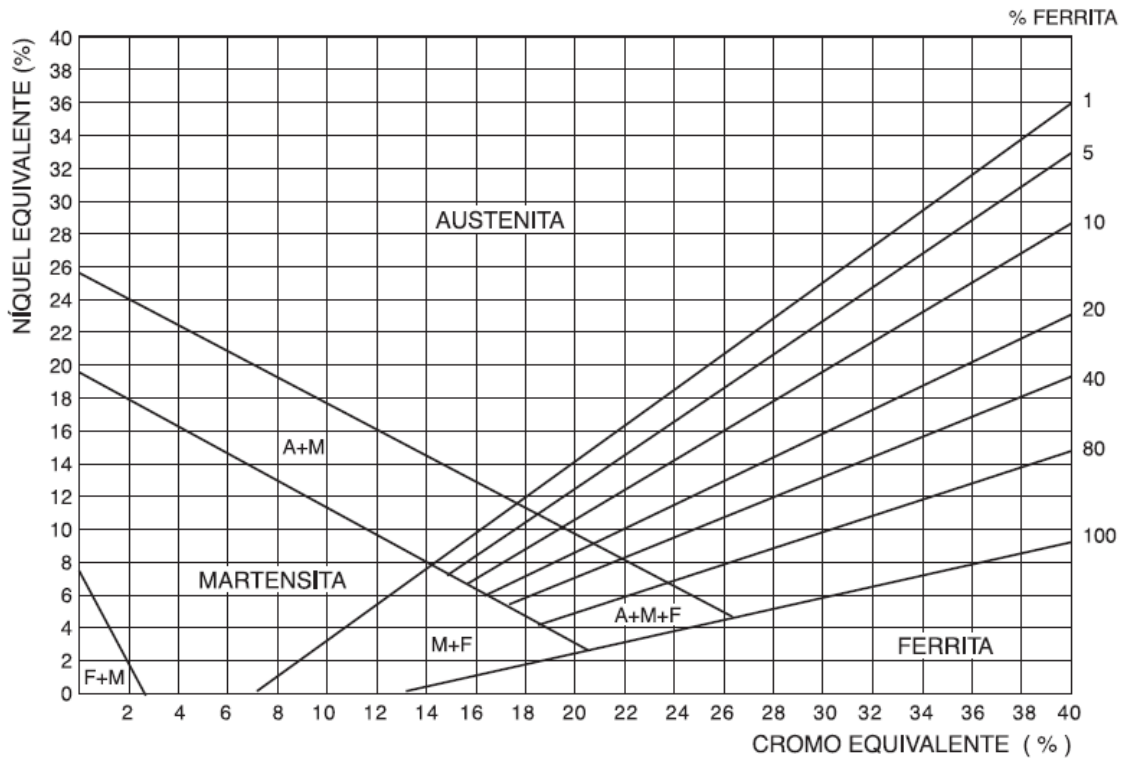


Figura 2-9. Diagrama Schaeffler [13].

El diagrama de la figura 2-9 permite definir dos conceptos el cromo equivalente (elementos alfa) formadores de ferrita y Níquel equivalente (elementos gamma) formadores de austenita tanto para el material base así como también para el material de aporte, para obtener estas variables se utiliza las siguientes ecuaciones:

$$\text{Cromo equivalente} = \%Cr + \%Mo + 1.5 * \%Si + 0.5 * \%Nb \quad \text{Ec. 2 - 1}$$

$$\text{Níquel equivalente} = \%Ni + 30 * \%C + 0.5 * \%Mn \quad \text{Ec. 2 - 2}$$

2.1.6 Soldabilidad de los aceros inoxidables

Estos tipos de aceros pueden ser soldados por cualquiera de los métodos conocidos, excepción del método de soldadura por forjado debido que al calentar a una temperatura adecuada para el forjado se forma un depósito de óxido el cual no es soluble en flujo alguno y al aplicar la presión necesaria para unir las dos partes quedan separadas por la presencia de la capa de óxido [24].

Según la norma AWS D1.6 los procesos de soldadura pre aprobados son los siguientes:

- Soldadura eléctrica por arco con electrodo revestido (SMAW)
- Soldadura por arco sumergido (SAW)

- Soldadura eléctrica por arco bajo protección de gas con alimentación continua de electrodo solido (GMAW)
- Soldadura eléctrica por arco bajo protección de gas con alimentación continua de electrodo tubular. (FCAW)
- Soldadura con electrodo de tungsteno bajo la protección de gas (GTAW)

2.1.6.1 Soldadura eléctrica por arco con electrodo revestido (SMAW)

Es el proceso mediante el cual se unen dos metales al fundir el electrodo revestido por medio de un calor eléctrico que se mantiene entre la superficie del metal base y la punta del electrodo, pero hay que destacar que el calor requerido debe ser suficiente para fundir el electrodo con el metal base en la figura 2-10 se observa este proceso de soldadura [24].

Los electrodo recubiertos proveen de gas para proteger el arco eléctrico y evitar la contaminación suministra limpiadores desoxidantes y agentes fundentes para purificar la soldadura así como también evita el crecimiento excesivo de granos en el metal.

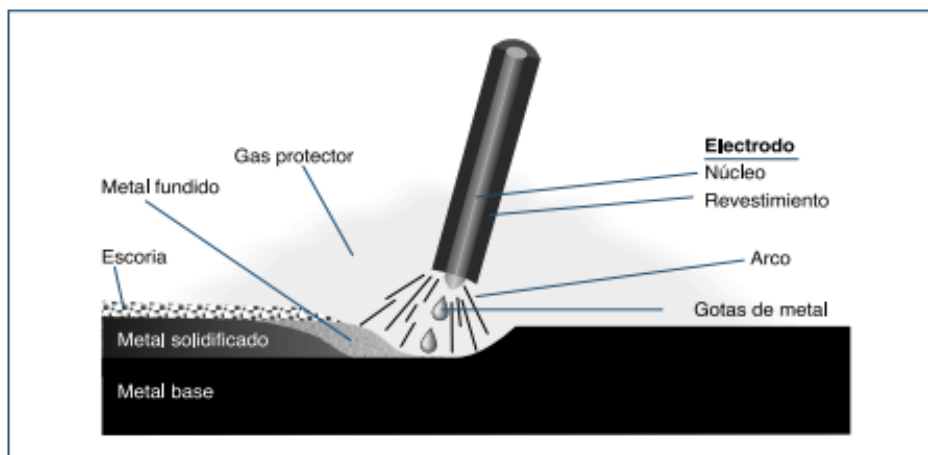


Figura 2-10. Soldadura por arco de metal protegido (SMAW) [23].

2.1.6.2 Soldadura por arco sumergido (SAW)

E la figura 2-11 se puede observar el proceso de soldadura SAW el cual es un proceso automático, en el cual el arco se mantiene sumergido en una masa de fundente, el fundente desempeña un papel fundamental debido a que en el proceso de soldadura estabiliza el arco y controla las propiedades mecánicas como químicas del depósito de soldadura [23].

Este método se caracteriza por que es empleado en soldar aceros de grandes espesores debido a sus elevados regímenes de deposición.

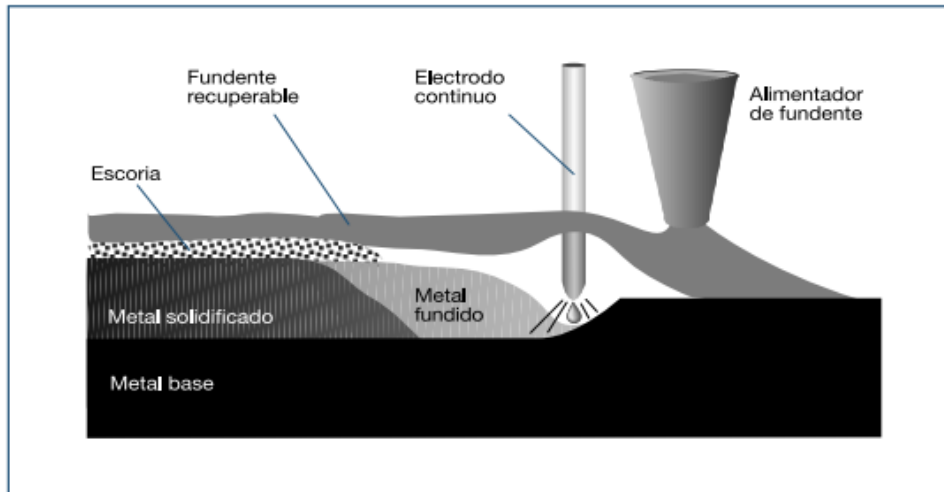


Figura 2-11. Soldadura por arco sumergido (SAW) [23].

2.1.6.3 Soldadura eléctrica por arco bajo protección de gas con alimentación continua de electrodo sólido (GMAW)

Este tipo de proceso de soldadura también es conocido como MIG (Metal Inert Gas), MAG (Metal Active Gas), en el proceso GMAW de la figura 2-12 se emplea un alambre continuo sólido y desnudo el cual cumple la función de electrodo y como metal de aporte, debido al no tener revestimiento no genera una capa de escoria, sino genera una película vítrea ligera. En este proceso de soldadura se requiere tomar muchos cuidados y limpieza con la finalidad de obtener soldadura sin poros y otras discontinuidades [23].

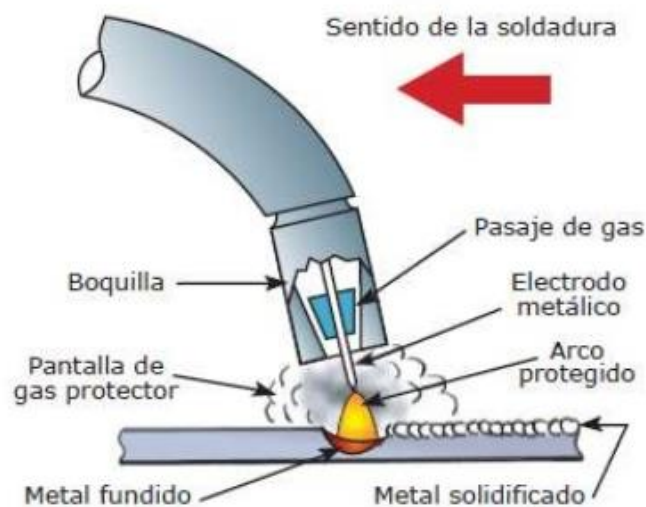


Figura 2-12. Soldadura eléctrica por arco bajo protección de gas con alimentación continua de electrodo sólido (GMAW) [17].

2.1.6.4 Soldadura eléctrica por arco bajo protección de gas con alimentación continua de electrodo tubular. (FCAW)

También es conocida como MIG tubular, aprovecha el arco eléctrico entre el electrodo continuo de metal de aporte y metal base. La característica de este proceso es que incorpora componentes en el fundente dentro de un electrodo de alimentación continua.

Existen dos tipos de variaciones en el proceso FCAW uno de ellos es el tubular auto protegido que resguarda al baño mediante la descomposición y vaporización del núcleo fundente en el calor del arco y el segundo es tubular con protección externa gaseosa, este utiliza un flujo de gas que protege a la zona de trabajo; pero cabe destacar que en los dos casos el núcleo fundente genera una abundante capa de escoria durante la solidificación de la soldadura a continuación se observa un esquema en la figura 2-13 del proceso de soldadura FCAW [24].

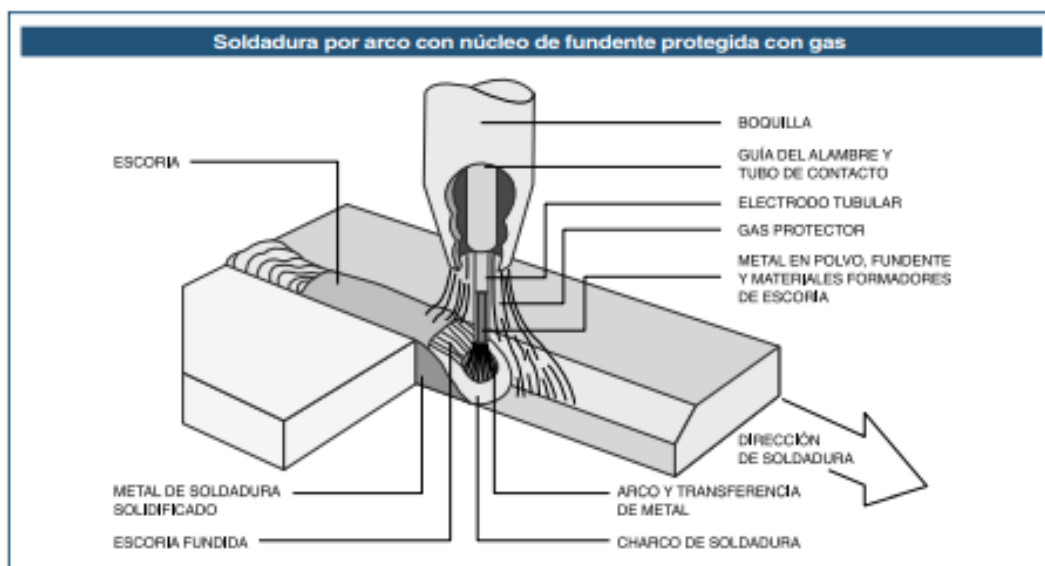


Figura 2-13. Soldadura eléctrica por arco bajo protección de gas con alimentación continua de electrodo tubular. (FCAW) [23].

2.1.6.5 Soldadura con electrodo de tungsteno bajo la protección de gas (GTAW)

En el proceso de soldadura GTAW figura 2-14 se utiliza un electrodo de tungsteno no consumible y gas inerte para proteger el arco eléctrico, también es conocido como proceso TIG (Tungsten Inert Gas)

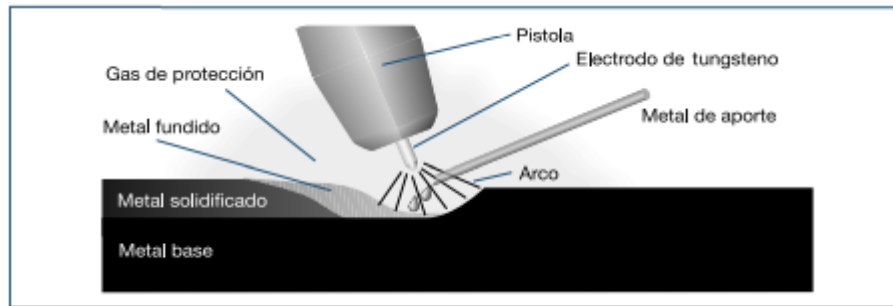


Figura 2-14. Soldadura con electrodo de tungsteno bajo la protección de gas (GTAW) [23].

En este proceso el material de aporte es opcional ya que en materiales delgados no es necesario material de aporte, los gases que se pueden emplear es argón o helio o a su vez una mezcla de los dos gases. Este proceso es utilizado en un mayor porcentaje para aquellos aceros difíciles de soldar, también para metales de espesores delgados así como en cordones de raíz en uniones de cañerías entregando soldaduras en calidad alta [24].

Las soldaduras realizadas mediante este proceso son más fuertes, más resistentes a la corrosión y dúctiles en comparación a las realizadas con electrodos convencionales

Características y ventajas

- Soldaduras de alta calidad generalmente libre de defectos y puede soldarse en todas las posiciones.
- No hay salpicaduras de soldadura ya que no se transfiere un material de aporte a través del arco eléctrico
- No se requiere limpieza o esta es muy reducida por que no se usa fundente.
- Al igual que los otros procesos de soldadura con protección gaseosa, el área de soldadura es visible claramente.
- El sistema del proceso de soldadura GTAW puede ser automatizado o controlado mecánicamente ya sea la pistola o el metal de aporte.
- Se puede controlar de manera independiente la fuente de calor así como las adiciones de material de aporte.
- Facilidad de soldar casi todos los metales incluso los metales disimiles [21].

2.1.6.5.1 Equipo

En la figura 2-15 se observa un diagrama esquemático del equipo GTAW y sus principales componentes del equipo para el proceso de soldadura:

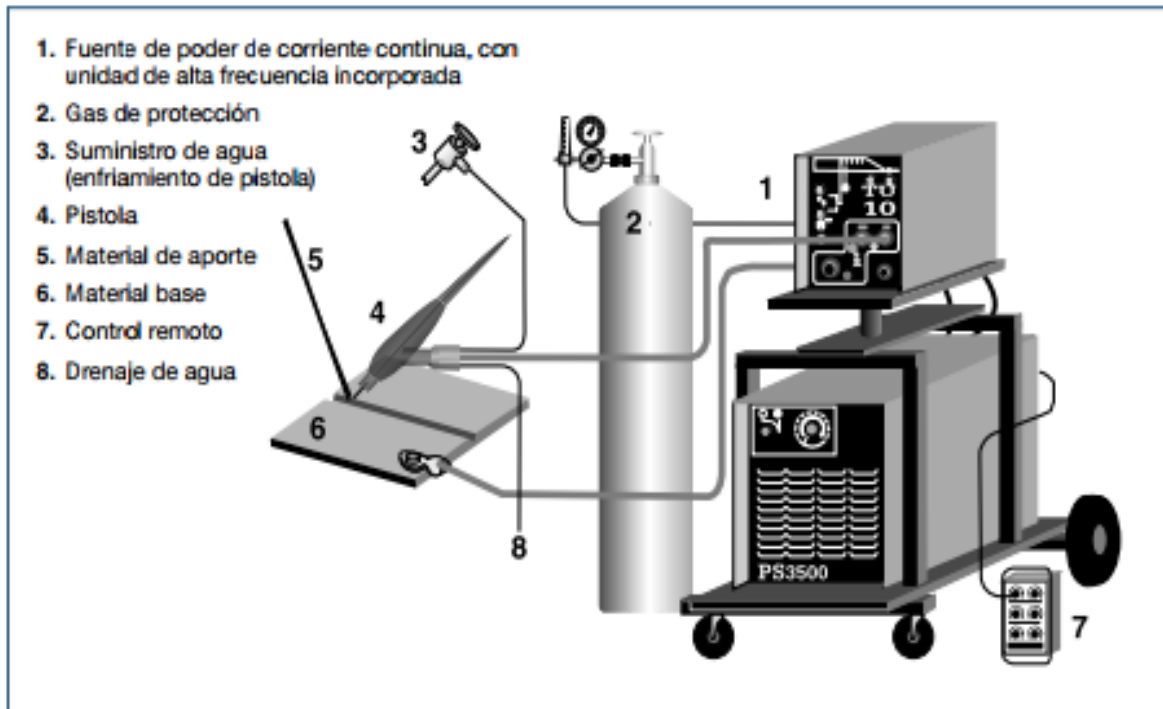


Figura 2-15. Diagrama esquemático del equipo GTAW [13].

- Máquina de soldar (fuente de poder)

La potencia requerida para soldar se puede obtener de fuentes de transformador rectificador de CC/CA o un generador de CC con unidad de alta frecuencia. La selección de CC o CA depende del material a soldar (CC se recomienda para aceros inoxidable) [13].

- La pistola

Sirve para sujetar el electrodo de tungsteno que transporta la corriente de soldadura y conduce al gas protector a la zona de arco, la pistola puede ser enfriada por aire o agua

2.1.6.5.2 Electrodo de tungsteno

Estos electrodos tienen un punto de fusión de 3410°C gracias al calentamiento por resistencia y debido al desprendimiento de electrones que se desprenden de su punta y una vez alcanzado esta temperatura tienen una fuente abundante de electrones y prácticamente no se consume. Para este tipo de proceso la AWS A.5.12 presenta la siguiente clasificación:

Tabla 2-9. Clasificación AWS A.5.12 para electrodos de tungsteno [25].

Clasificación de la AWS	Color ^(a) elemento	Elemento aleado	Óxido amalgamante	% de óxido
EWP	Verde	—	—	—
EWCe-2	Naranja	Cerio	CeO ₂	2
EWLa-1	Negro	Lantano	La ₂ O ₃	1
EWLa-1.5	Dorado	Lantano	La ₂ O ₃	1.5
EWLa-2	Azul	Lantano	La ₂ O ₃	2
EWTh-1	Amarillo	Torio	ThO ₂	1
EWTh-2	Rojo	Torio	ThO ₂	2
EWZr-1	Café	Zirconio	ZrO ₂	0.25
EWG	Gris	No especificado ^(b)	—	—

(a) El color puede estar aplicado en forma de bandas, puntos, u otros, en cualquier punto de la superficie del electrodo.

(b) El fabricante debe identificar el tipo y el contenido nominal de la tierra rara u otros agregados de óxido.

Los electrodos de tungsteno se identifican por un código de color, el cual permite que no aumente su diámetro con la finalidad de prevenir contactos mecánicos entre el tungsteno y la pinza.

- E: Electrodo
- W: Tungsteno
- P: Tungsteno puro sin elementos de aleación
- G: Aleaciones que no se han establecido.
- La última nota denota la aleación u oxido que se añadido al tungsteno.

2.1.6.5.3 Varillas de aporte

La utilización del material de aporte se puede emplear o no ya que laminas delgadas no se utiliza material de aporte.

Para nuestro tema de investigación utilizaremos los siguientes tipos de material de aporte para acero inoxidable ER 308L figura 2-16 (a) y ER 312 en la figura 2-16 (b):



(a)



(b)

Figura 2-16. Varillas de aporte ER 308L (a) y ER 312 (b).

Fuente: El autor

- Varilla de acero inoxidable ER 308L

Tabla 2-10. Características varilla de acero inoxidable ER 308L [28].

DESCRIPCIÓN	USOS	APLICACIONES TÍPICAS
Es una varilla de acero inoxidable de bajo contenido de carbono lo cual reduce la formación de carburos de cromo por lo que disminuye la corrosión intergranular, posee una buena ductilidad, resistencia al impacto y abrasión	Generalmente para todo tipo de aceros inoxidables así como también para aceros al cromo-níquel-manganeso en donde se requiere que la resistencia a la corrosión sea elevada.	Aceros inoxidables 301, 302, 321, 347, 348, 405, 410, 420 y para aceros al cromo-níquel-manganeso 201, 202

Tabla 2-11. Propiedades de la varilla de aporte ER 308L [28].

ANÁLISIS QUÍMICO				
C	Cr	FeNi	Mn	Si
0.025 max	19.5	9.0	1.0	0.25
PROPIEDADES MECÁNICAS				
Resistencia a la tracción	Límite de fluencia		Elongación	
80000lbs/plg ²	46000 lbs/plg ²		39%	

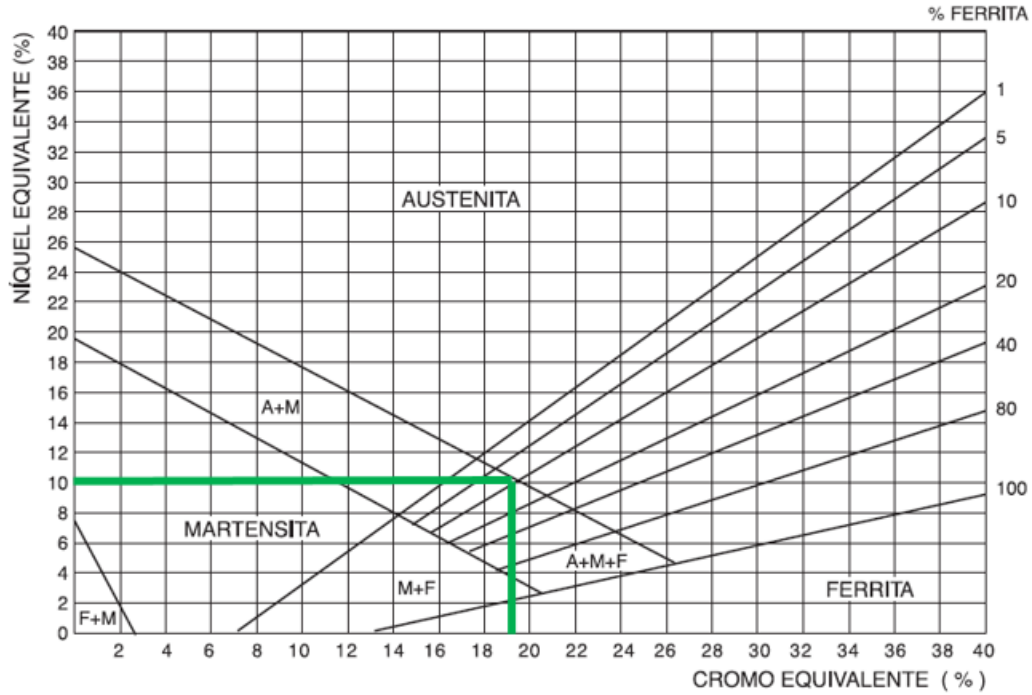


Figura 2-17. Composición varilla de aporte ER 308L (A + M + F) en el diagrama de Schaeffler.
Fuente: El autor

- Varilla de acero inoxidable ER 312

Tabla 2-12. Características varilla de acero inoxidable ER 312L [28].

DESCRIPCIÓN	USOS	APLICACIONES TÍPICAS
Es una varilla de acero inoxidable que presenta una estructura austenítica- ferrítica, posee una buena ductilidad, resistencia al impacto y resistencia a la tracción	Para aceros inoxidables difíciles de soldar cuyo análisis es desconocido.	Aceros al manganeso, aceros de herramientas, aceros con tratamiento térmico.

Tabla 2-13. Propiedades de la varilla de aporte ER 312 [28].

ANÁLISIS QUÍMICO					
Si	Cr	Ni	Mn	Mo	Al
0.44	30.1	8.36	1.75	0.02	0.05
PROPIEDADES MECÁNICAS					
Resistencia a la tracción		Límite de fluencia		Elongación	
125000 lbs/plg ²		115000 lbs/plg ²		25%	

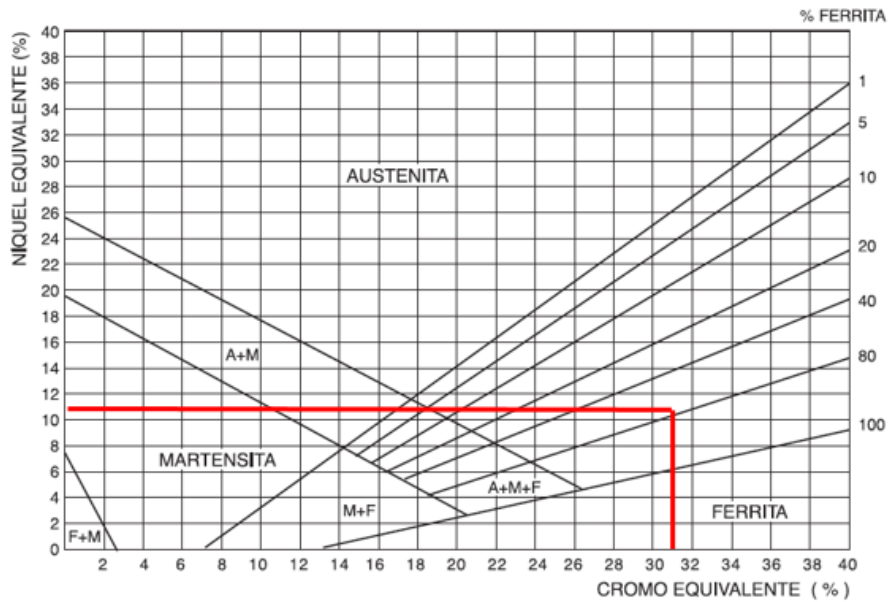


Figura 2-18. Composición varilla de aporte ER 312 (A + F) en el diagrama de Schaeffler.
Fuente: El autor

Mediante pruebas se determinaran las mejores condiciones al momento de realizar el proceso de soldadura.

2.1.6.5.4 Gas protector

En la tabla 2-14 se puede determinar el tipo de gas que se puede utilizar para el proceso GTAW en los cuales se puede utilizar argón, helio o una mezcla de los dos gases, en el cual destaca el uso del argón ya que es un gas más fácil de conseguirlo.

Tabla 2-14. Gases inertes para GTAW [9].

MATERIAL	TIPO DE GAS
Aluminio y sus aleaciones	Argón
Latón y sus aleaciones	Helio o Argón
Cobre y sus aleaciones (menor de 3mm)	Argón
Cobre y sus aleaciones (mayor de 3mm)	Helio
Acero al carbono	Argón
Acero inoxidable	Argón

2.1.7 Discontinuidades presentes en la soldadura

Generalmente las discontinuidades y defectos de soldadura se los puede clasificar en superficiales e internas. Las discontinuidades pueden ser causadas debido a falta de conocimientos y experiencia por parte del soldador, la selección inadecuada de materiales y sus propiedades, los parámetros de soldadura y as u vez también pueden ser causadas por presencia de discontinuidades en el metal base o la composición del mismo [26].

2.1.7.1 Discontinuidades Superficiales

2.1.7.1.1 Falta de penetración

Estas discontinuidades de la figura 2-19 son visibles fácilmente mediante la inspección por ultra sonido o inspección radiográfica, en las uniones en V son o en U son visibles por la cara posterior. Esta discontinuidad presenta un vacío el cual se genera debido a que la raíz no quedara rellena adecuadamente con el metal, esto se debe a la selección inadecuada de corriente de soldadura, separación excesiva de la raíz, una velocidad excesiva de pasada, etc [26].

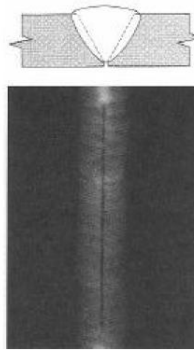


Figura 2-19. Falta de penetración [26].

2.1.7.1.2 Exceso de penetración

El efecto que produce este tipo de discontinuidad en la figura 2-20 es una chorreadura interna el cual puede retener o no escoria en su interior, esta discontinuidad se debe a velocidad muy baja de soldeo, separación de bordes excesivos, diseño de unión defectuosa, etc.

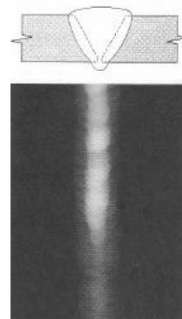


Figura 2-20. Exceso de penetración [26].

2.1.7.1.3 Socavaduras o mordeduras de bordes

En la figura 2-21 se puede observar una socavadura que generalmente es una ranura hundida en el metal base, junto a la raíz de una soldadura o a la sobremonta el cual no ha sido rellenado por el material de aporte. Se puede producir por varios factores una excesiva intensidad de soldeo, velocidad de desplazamiento alta, una mala manipulación del baño de soldadura.

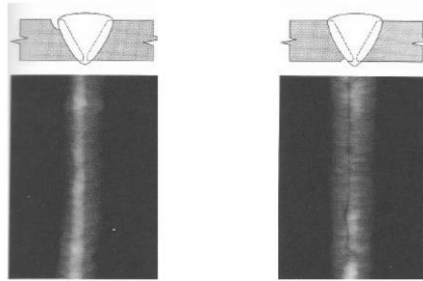


Figura 2-21. Socavadura o mordedura de bordes [26].

2.1.7.2 Discontinuidades internas

2.1.7.2.1 Fisuras

Son las más críticas de las discontinuidades debido a una sobrecarga que causa la fisura, la fisura puede surgir durante el proceso de soldadura o inmediatamente después del proceso o cuando la carga es aplicada. Existen diferentes tipos de fisuras:

2.1.7.2.2 Fisuras longitudinales

Se producen en el centro del cordón como se observar en la figura 2-22 las cuales generalmente producido debido a movimientos durante o después a la soldadura o en el interface del material base con el material de aporte.

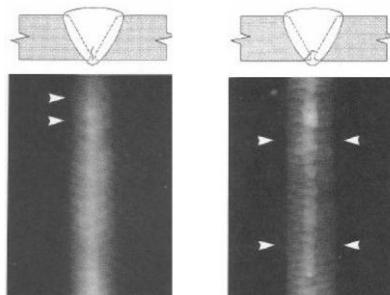


Figura 2-22. Fisura longitudinal [26].

2.1.7.2.3 Fisura en frio

Este tipo de discontinuidades de la figura 2-23 se forma cuando la temperatura se aproxima o es similar a la temperatura ambiente y es causada debido a un elevado tenor de hidrogeno en la zona fundida y una velocidad elevada de enfriamiento.

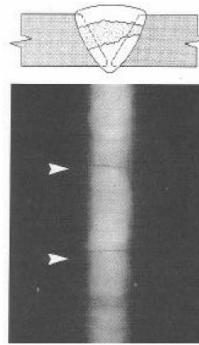


Figura 2-23. Fisura en frio [26].

2.1.7.3 Inclusiones extrañas

2.1.7.3.1 Capas de oxido

Estas inclusiones son generalmente debidas a la falta de fusión, falta de penetración, talos de raíz grande, etc. Se los produce cuando se emplea una inadecuada protección con un modo de transferencia globular. Además debido al uso inadecuado de técnicas por parte del soldador o también debido a una limpieza inadecuada entre pasada pueden provocar la inclusión de escoria.

2.1.7.3.2 Inclusiones de escoria

Son el resultado de atrapamiento de cualquier oxido que no ha sido removido de la superficie de la junta antes de la soldadura o de inclusiones asociadas con proceso con electrodo consumible revestido con fundente., se lo puede detectar fácilmente por técnicas de ultrasonido y radiográfica.

2.1.7.3.3 Inclusiones tungsteno

Son asociadas al proceso de soldadura GTAW se produce cuando se usa una corriente excesiva para el proceso de soldadura en comparación el recomendado para un diámetro particular del material de aporte [26].

2.2 HIPÓTESIS

Mediante el análisis de material de aporte en el proceso de soldadura GTAW aplicado en el acero inoxidable martensítico AISI 420 mejorara las propiedades mecánicas.

2.3 SEÑALAMIENTO DE VARIABLES DE LA HIPÓTESIS

2.3.1 Variable independiente

Análisis de material de aporte en el proceso de soldadura GTAW aplicado en el acero inoxidable martensítico AISI 420

2.3.2 Variable dependiente

Propiedades mecánicas

CAPITULO III

METODOLOGÍA

3.1 NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN

En el presente trabajo de investigación se empleó los siguientes niveles de investigación:

- Exploratoria

Este nivel de investigación se utiliza cuando el tema de investigación no ha sido abordado o a su vez no asido suficientemente estudiado.

Para nuestra investigación se utilizó este nivel de investigación con la finalidad de cotejar las propiedades mecánicas de las uniones soldadas en aceros inoxidable martensíticos AISI 420 mediante el proceso de soldadura GTAW debido a que en nuestro medio no ha sido evaluado a detalle.

- Descriptiva

Se utilizó este nivel de investigación ya que se tienen como objetivo especificar las propiedades que se pueden obtener al momento de realizar el análisis de material de aporte en el proceso de soldadura GTAW en el acero inoxidable martensítico AISI 420 , utilizando la observación como método descriptivo.

- Explicativa

Se procede a utilizar este tipo de investigación debido a que se centra en explicar por qué y en qué condiciones ocurre un fenómeno mediante para posteriormente evaluar las posibles causas o factores que permitan la interpretación de los resultados obtenidos.

- Correlacional

Este tipo de investigación con la finalidad de evaluar y medir con precisión la relación que entre las dos variables durante el análisis de material de aporte en el proceso de soldadura GTAW aplicado en el acero inoxidable AISI 420.

3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1 Población

En este análisis se procede a determinar la población la cual se tomara como objeto de investigación de la siguiente manera:

- Acero inoxidable martensítico AISI 420.
- Material de aporte ER-308L, ER 312.

3.2.2 Muestra

Para realizar los ensayos en las juntas soldadas de aceros inoxidables AISI 420 nos basamos en la norma AWS D1.6 en la cual recomienda 2 muestras para pruebas, en nuestro caso de estudio consideraremos 5 muestras para ensayos de tracción e impacto y 3 para dobléz guiado así como también para dureza por cada material de aporte.

Juntas soldadas de acero inoxidables AISI 420 mediante el proceso GTAW con material de aporte ER 308L

- 5 probetas para ensayo a tracción
- 5 probetas para ensayos de impacto
- 3 probetas para ensayos de dobléz guiado
- 3 probetas para ensayos de dureza

Juntas soldadas de acero inoxidables AISI 420 mediante el proceso GTAW con material de aporte ER 312

- 5 probetas para ensayo a tracción
- 5 probetas para ensayos de impacto
- 3 probetas para ensayos de dobléz guiado
- 3 probetas para ensayos de dureza

3.3 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

3.3.1 Variable independiente

Análisis de material de aporte en el proceso de soldadura GTAW aplicado en el acero inoxidable martensítico AISI 420.

Tabla 3-1. Operacionalización de variable independiente.

Fuente: El autor

Contextualización	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Técnicas e instrumentación
<p>ANÁLISIS DE MATERIAL DE APORTE</p> <p>Se define como material de aporte a todo material que permite efectuar un cordón de soldadura mediante el depósito del mismo, el cual influye en la estructura en las propiedades de los elementos soldados</p>	<p>Varillas de aporte</p> <p>Posición</p>	<p>ER 308 L</p> <p>ER 312</p> <p>Plana</p>	<p>90-120 [A]</p> <p>90-130 [A]</p> <p>1G</p>	<p>T: observación de laboratorio</p> <p>I: Catálogos, normas, manuales</p> <p>T: habilidad del soldador</p> <p>I: Catálogos, normas, manuales</p>

3.3.2 Variable dependiente

Propiedades mecánicas

Tabla 3-2. Operacionalización de variable dependiente.

Fuente: El autor

Contextualización	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Técnicas e instrumentación
<p>PROPIEDADES MECÁNICAS</p> <p>La propiedades mecánicas dependen están vinculados con las fuerzas exteriores que se ejercen sobre ellas y la respuesta que presenta el material.</p>	Ensayo a tracción	Resistencia a la tracción [Mpa]	655	T: observación de laboratorio
		Resistencia a la fluencia [Mpa]	345	I: Catálogos, normas, manuales
		Alargamiento	25%	T: observación de laboratorio
	Ensayos de impacto	Resistencia al impacto [J]	0-70	I: ensayos
	Ensayos de doblez guiado	Fisuras	Discontinuidades menores a 3 mm	T: observación de laboratorio
		Discontinuidades		I: ensayos
	Ensayos de dureza	Rockwell B [HRB]	92	T: observación de laboratorio
				I: ensayos

3.4 PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

La recolección de información se tomara de los ensayos a realizarse los cuales son ensayos de tracción, ensayos de impacto, ensayos de dobles guiado y ensayos de dureza de los mismo que se tomara la mayor parte de información además nos será de gran ayuda la toma de fotografías, observaciones, registros, procesos, etc. Esta información serán tomadas de manera directa de las probetas de acero inoxidable martensítico AISI 420 soldadas mediante el proceso GTAW, además cabe destacar que se usara como fuentes de ayuda catálogos y normas que nos facilitaran datos técnicos los cuales ayudaran al momento de realizar el procesamiento y análisis de los resultados obtenidos.

3.5 PLAN DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS

Al concluir con la recolección de datos y resultados se procedió a realizar una revisión minuciosa de la misma mediante esta revisión se detectó datos erróneos, incompletos con la finalidad de facilitar la tabulación de los datos.

Una vez concluido con la revisión de los datos y resultados obtenidos se procedió a interpretar de una manera adecuada y ordenada basándonos en los datos y resultados obtenidos mencionados anteriormente. Además se realizó la representación de resultados obtenidos a través de tablas y gráficos los cuales permitieron de manera visual una mayor apreciación de los resultados los cuales nos facilitaron determinar las conclusiones y recomendaciones que permitirán evaluar de manera global el tema de investigación planteado al inicio de este trabajo experimental.

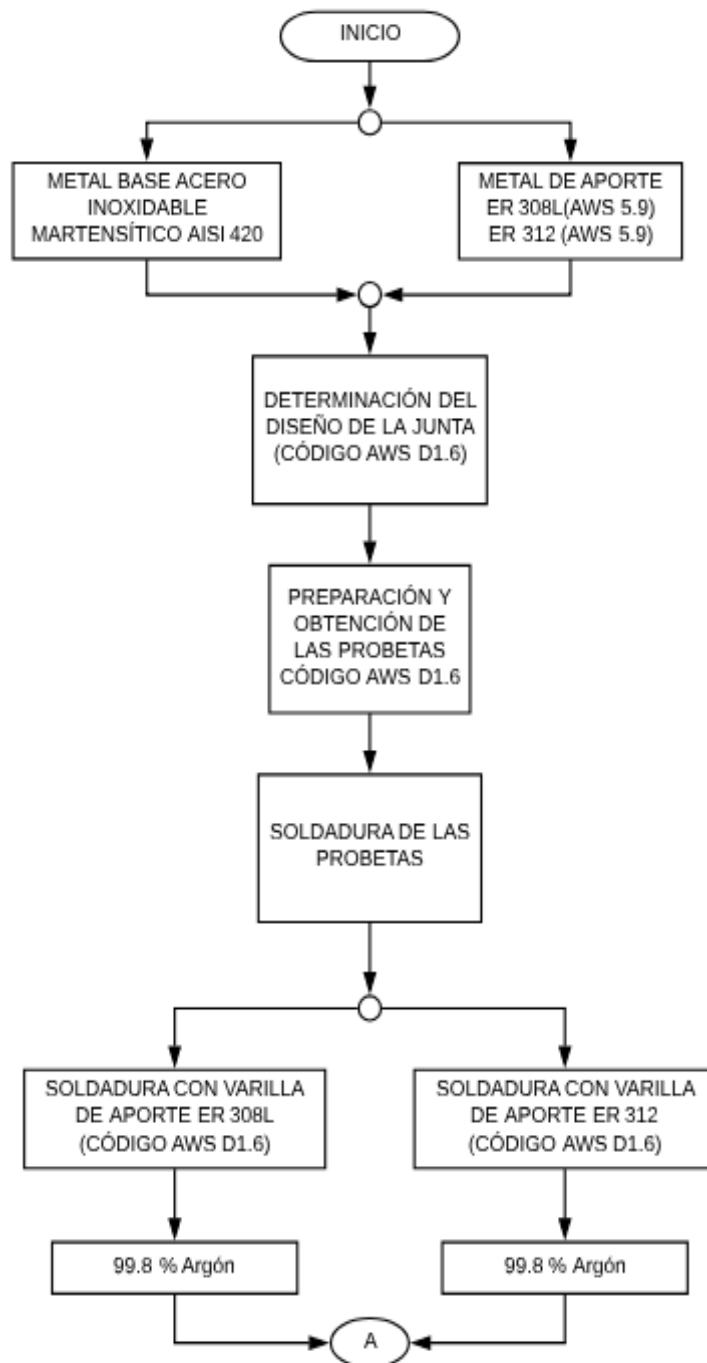
CAPITULO IV

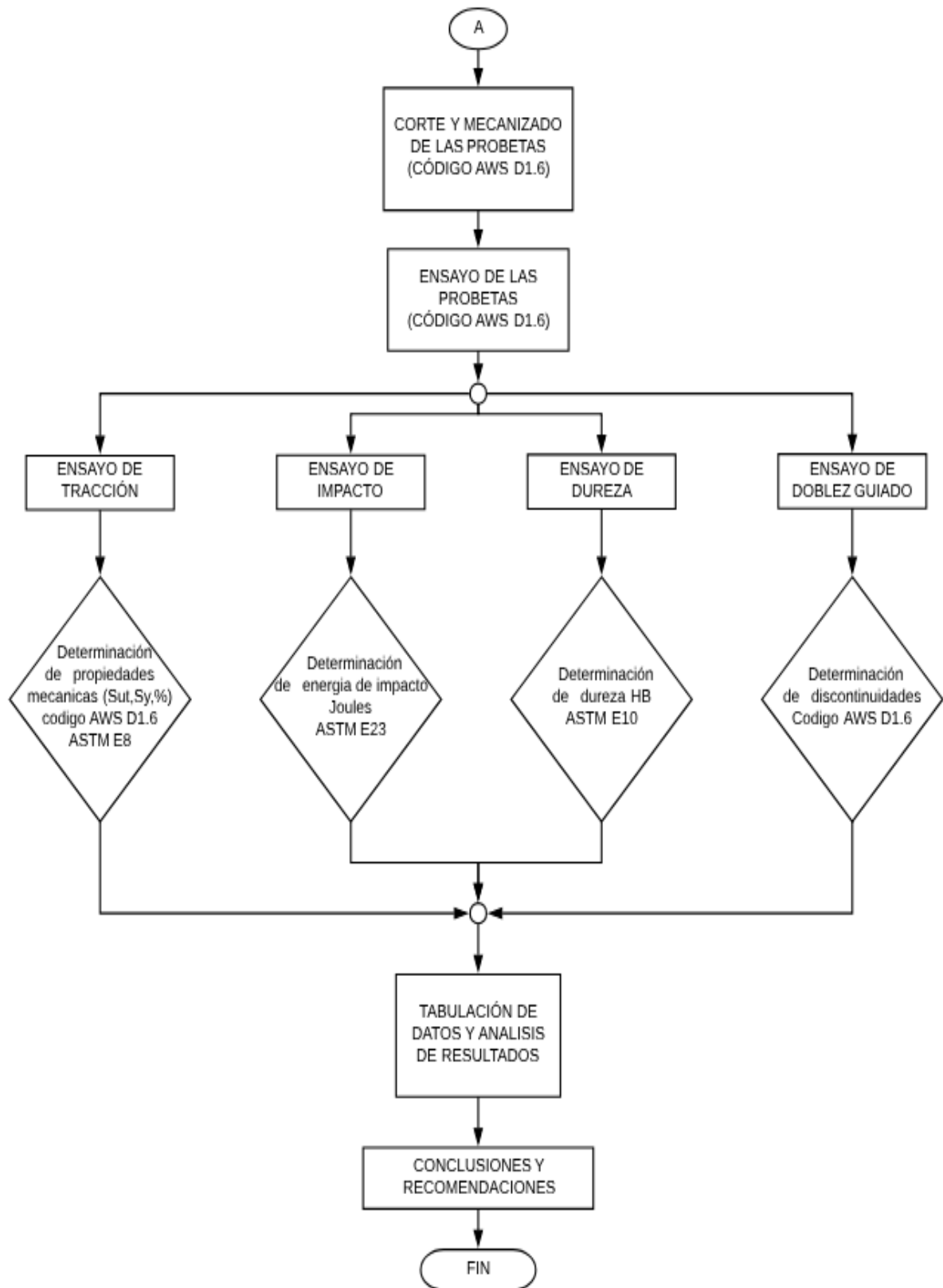
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1.1 Proceso de obtención y análisis de resultados

En el siguiente diagrama de flujo se detallan las partes más relevantes para el estudio de análisis de material de aporte en el proceso de soldadura GTAW aplicado en el acero inoxidable martensítico AISI 420 y su influencia en las propiedades mecánicas.





4.2 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

A continuación se muestran los resultados de los ensayos de tracción, impacto, dureza, dobléz guiado realizado en las juntas soladas del acero inoxidable martensítico AISI 420 soldadas con varilla de aporte ER 3018L, ER 312 así también las pruebas antes mencionadas se aplicaron al acero inoxidable martensítico AISI 420 sin material de aporte, estos resultados se detallan en formatos establecidos para indicar los datos y resultados obtenidos al realizar los ensayos antes mencionados.

ENSAYO DE TRACCIÓN

	Numero de probetas
Probeta sin soldar	3
Probeta con material de aporte ER 308L	5
Probeta con material de aporte ER 312	5

ENSAYO DE IMPACTO

	Numero de probetas
Probeta sin soldar	5
Probeta con material de aporte ER 308L	5
Probeta con material de aporte ER 312	5

ENSAYO DE DOBLEZ GUIADO

	Numero de probetas
Probeta sin soldar	3
Probeta con material de aporte ER 308L	3
Probeta con material de aporte ER 312	3

ENSAYO DE DUREZA

	Numero de probetas
Probeta sin soldar	3
Probeta con material de aporte ER 308L	3
Probeta con material de aporte ER 312	3

4.2.1 ANÁLISIS DEL ACERO INOXIDABLE MARTENSÍTICO AISI 420 COMO VIENE DE FÁBRICA

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> <p>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA DE MECÁNICA</p> </div>  </div>					
DATOS INFORMATIVOS					
Probeta N°	NA	Autorizado por :	Ing. Patín Gustavo	Realizado por :	Rafael Ushiña
Lugar de realización	Laboratorio ingeniería de materiales ESPOCH		Fecha ejecución		2-04-2018
Temperatura ambiente de trabajo			22°C	Flujo de aire	Estático
ESPECIFICACIONES DEL ACERO INOXIDABLE UTILIZADO					
Material	Acero inoxidable	Tipo	AISI 420		
Diámetro	28 mm	Resistencia a la tracción	655 N/mm ²		
Longitud	3.5 m	Modulo elástico	345 N/mm ²		
Características	Eje	Proceso	Soldadura		
OBSERVACIÓN					
Las propiedades principales de aceros inoxidable martensíticos fueron obtenidas según catalogo IVAN BOHMAN (ANEXO A.1)					
Autor: Rafael Ushiña					

4.2.1.1 ENSAYO DE TRACCIÓN DE ACERO INOXIDABLE AISI 420 DE FÁBRICA



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA DE MECÁNICA



DATOS INFORMATIVOS

Autorizado por :	Ing. Patín Gustavo	Realizado por :	Rafael Ushiña
Ubicación	ESPOCH	Fecha ejecución	04-04-2018
Laboratorio	ESPOCH - FACULTAD DE MECÁNICA	Probeta N°	PE 1

ESPECIFICACIONES DEL ESPÉCIMEN

Material Base	Acero inoxidable	Tipo	AISI 420
Diámetro	12.7 mm	Material de aporte	NA
Longitud calibrada	50.6 mm	Gas de protección	NA
Características	Eje	Proceso de soldadura	GTAW

GRÁFICO DE REFERENCIA DEL ESPÉCIMEN



PARÁMETROS DE ENSAYO

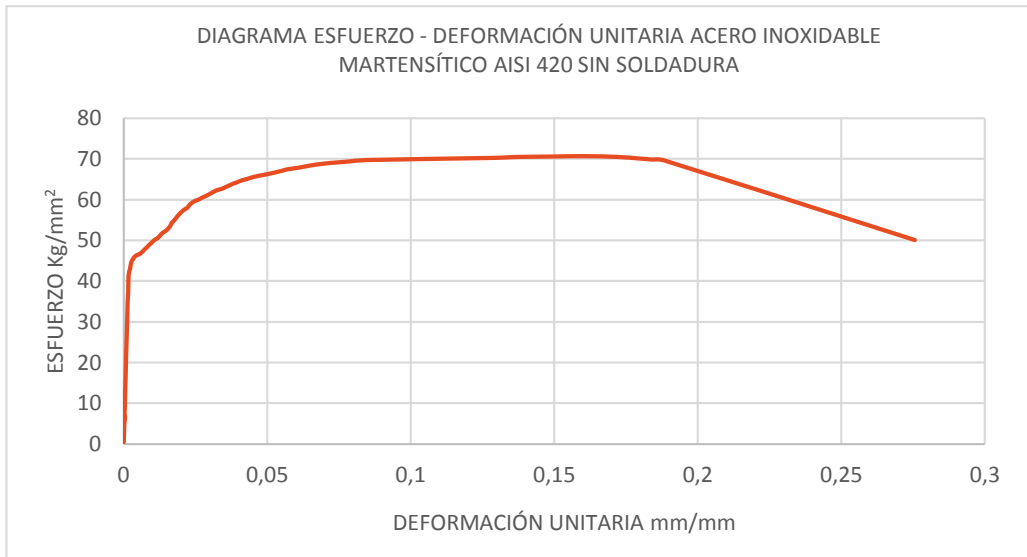
Código aplicado	AWS D1.6/D1.6M:2007	Equipo	Máquina Universal
Código de referencia	ASTM E8M	Método	Deformación Controlada

OBSERVACIÓN

- Las probetas se obtiene sin ningún material de aporte.
- Maquinada en torno.

EVALUACIÓN ENSAYO DE TRACCIÓN

RESULTADOS



CÁLCULOS

Calculo porcentaje de alargamiento (ϵ)

$$\epsilon = \frac{l_f - l_0}{l_0} * 100 \qquad \epsilon = \frac{64.55 - 50.6}{50.6} * 100 \qquad \epsilon = 28\%$$

Calculo de resistencia ultima tracción (S_{ut})

$$S_{ut} = \frac{P_m}{A_0} \qquad S_{ut} = \frac{8962 \text{ Kg}}{127.67 \text{ mm}^2} \qquad S_{ut} = 70.75 \frac{\text{Kg}}{\text{mm}^2}$$

Calculo de límite de fluencia (S_y)

$$S_y = 47 \frac{\text{Kg}}{\text{mm}^2} \qquad \text{Longitud calibrada original } (\epsilon = 0.002)$$

Shigley (2008). Diseño de ingeniería mecánica. Octava edición. (pag. 29)

Autor: Rafael Ushiña



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA DE MECÁNICA



DATOS INFORMATIVOS

Autorizado por :	Ing. Patín Gustavo	Realizado por :	Rafael Ushiña
Ubicación	ESPOCH	Fecha ejecución	04-04-2018
Laboratorio	ESPOCH - FACULTAD DE MECÁNICA	Probeta N°	PE 2

ESPECIFICACIONES DEL ESPÉCIMEN

Material Base	Acero inoxidable	Tipo	AISI 420
Diámetro	12.75 mm	Material de aporte	NA
Longitud calibrada	51.75 mm	Gas de protección	NA
Características	Eje	Proceso de soldadura	GTAW

GRÁFICO DE REFERENCIA DEL ESPÉCIMEN



PARÁMETROS DE ENSAYO

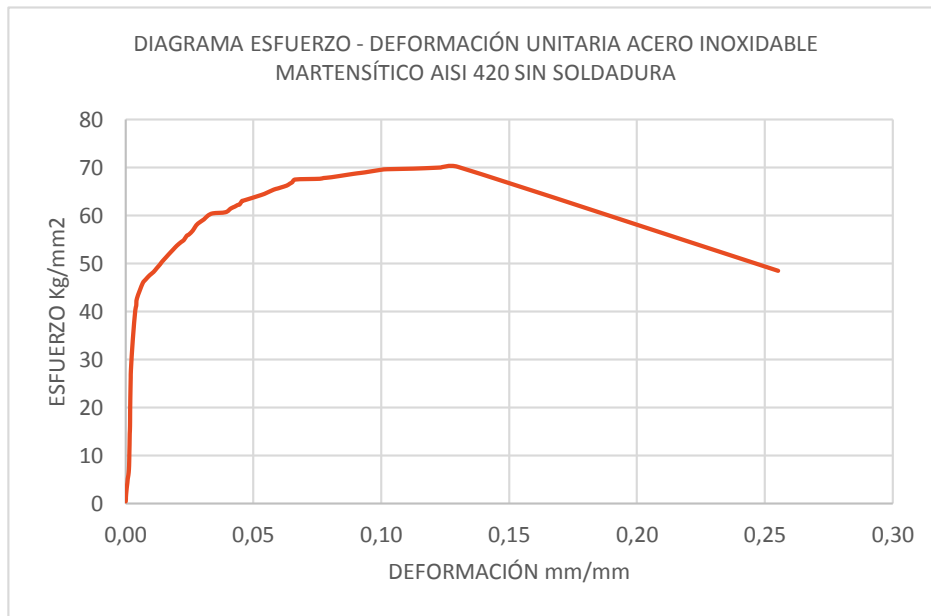
Código aplicado	AWS D1.6/D1.6M:2007	Equipo	Máquina Universal
Código de referencia	ASTM E8M	Método	Deformación Controlada

OBSERVACIÓN

- Las probetas se obtiene sin ningún material de aporte
- Maquinada en torno

EVALUACIÓN ENSAYO DE TRACCIÓN

RESULTADOS



CÁLCULOS

Calculo porcentaje de alargamiento (ϵ)

$$\epsilon = \frac{l_f - l_0}{l_0} * 100 \qquad \epsilon = \frac{64.95 - 51.75}{57.75} * 100 \qquad \epsilon = 25.51\%$$

Calculo de resistencia ultima tracción (S_{ut})

$$S_{ut} = \frac{P_m}{A_0} \qquad S_{ut} = \frac{8955 \text{ Kg}}{127.67 \text{ mm}^2} \qquad S_{ut} = 70.14 \frac{\text{Kg}}{\text{mm}^2}$$

Calculo de límite de fluencia (S_y)

$$S_y = 46.60 \frac{\text{Kg}}{\text{mm}^2} \qquad \text{Longitud calibrada original } (\epsilon = 0.002)$$

Shigley (2008). Diseño de ingeniería mecánica. Octava edición. (pag. 29)

Autor: Rafael Ushiña



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA DE MECÁNICA



DATOS INFORMATIVOS

Autorizado por :	Ing. Patín Gustavo	Realizado por :	Rafael Ushiña
Ubicación	ESPOCH	Fecha ejecución	05-04-2018
Laboratorio	ESPOCH - FACULTAD DE MECÁNICA	Probeta N°	PE 3

ESPECIFICACIONES DEL ESPÉCIMEN

Material Base	Acero inoxidable	Tipo	AISI 420
Diámetro	12.8 mm	Material de aporte	NA
Longitud calibrada	51.7 mm	Gas de protección	NA
Características	Eje	Proceso de soldadura	GTAW

GRÁFICO DE REFERENCIA DEL ESPÉCIMEN



PARÁMETROS DE ENSAYO

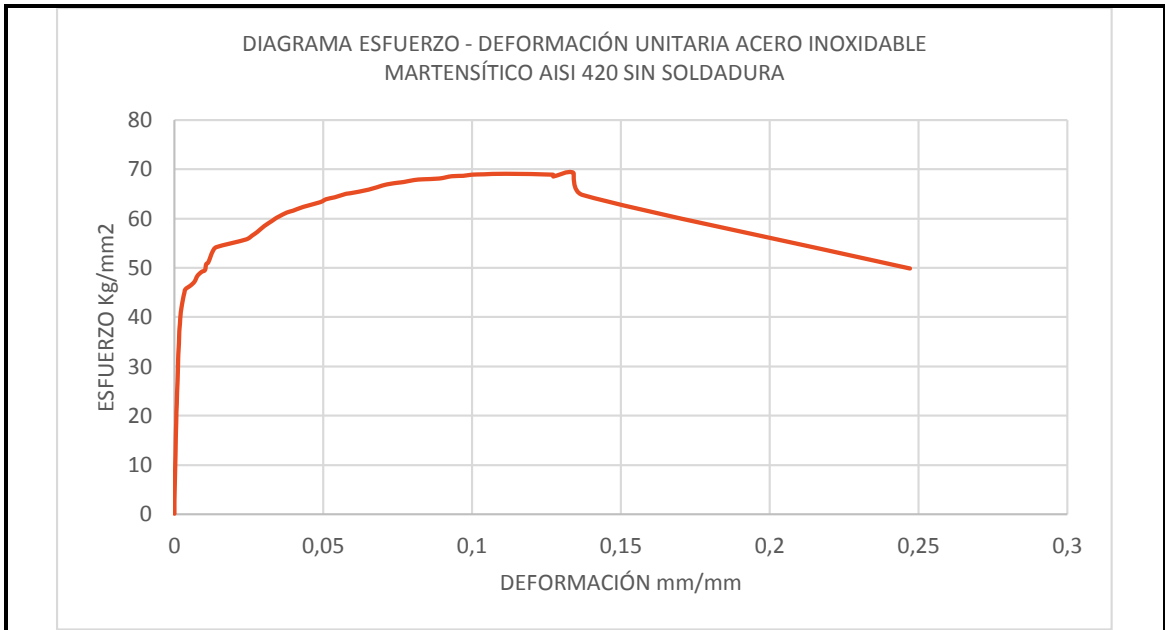
Código aplicado	AWS D1.6/D1.6M:2007	Equipo	Máquina Universal
Código de referencia	ASTM E8M	Método	Deformación Controlada

OBSERVACIÓN

- Las probetas se obtiene sin ningún material de aporte
- Maquinada en torno

EVALUACIÓN ENSAYO DE TRACCIÓN

RESULTADOS



CÁLCULOS

Calculo porcentaje de alargamiento (ϵ)

$$\epsilon = \frac{l_f - l_0}{l_0} * 100 \qquad \epsilon = \frac{64,56 - 51,7}{51,7} * 100 \qquad \epsilon = 25\%$$

Calculo de resistencia ultima tracción (S_{ut})

$$S_{ut} = \frac{P_m}{A_0} \qquad S_{ut} = \frac{8884 \text{ Kg}}{128,67 \text{ mm}^2} \qquad S_{ut} = 69,04 \frac{\text{Kg}}{\text{mm}^2}$$




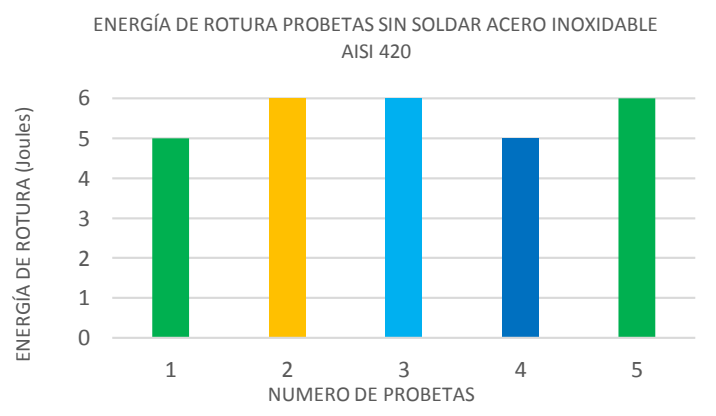
Calculo de límite de fluencia (S_y)

$$S_y = 45,60 \frac{\text{Kg}}{\text{mm}^2} \qquad \text{Longitud calibrada original } (\epsilon = 0,002)$$

Shigley (2008). Diseño de ingeniería mecánica. Octava edición. (pag. 29)

Autor: Rafael Ushiña

4.2.1.2 ENSAYO DE IMPACTO DE ACERO INOXIDABLE AISI 420 DE FÁBRICA



 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA DE MECÁNICA 			
DATOS INFORMATIVOS			
Autorizado por :	Ing. Patín Gustavo	Realizado por :	Rafael Ushiña
Ubicación	ESPOCH	Fecha ejecución	03-04-2018
Laboratorio	ESPOCH - FACULTAD DE MECÁNICA	Probeta N°	PE 1, PE 2, PE 3, PE 4, PE 5.
ESPECIFICACIONES DEL ESPÉCIMEN			
Material Base	Acero inoxidable	Tipo	AISI 420
Dimensiones	10*10*55 (mm)	Material de aporte	NA
Numero de ensayos	5 probetas	Gas de protección	NA
Entalla	Tipo en V	Proceso de soldadura	GTAW
GRÁFICO DE REFERENCIA DEL ESPÉCIMEN			
			
PARÁMETROS DE ENSAYO			
Código aplicado	AWS D1.6/D1.6M:2007	Equipo	Máquina Ensayo Charpy
Código de referencia	ASTM E-23	Tiempo de ensayo	3 min
OBSERVACIÓN			
<ul style="list-style-type: none"> Las probetas se obtiene sin ningún material de aporte Maquinada en fresa 			
EVALUACIÓN ENSAYO DE IMPACTO			
RESULTADOS			
N PROBETA	ENERGIA IMPACTO (J)	 <p style="text-align: center;">ENERGÍA DE ROTURA PROBETAS SIN SOLDAR ACERO INOXIDABLE AISI 420</p>	
PE 1	5		
PE 2	6		
PE 3	6		
PE 4	5		
PE 5	6		
PROMEDIO	5.6		




INTERPRETACION DE RESULTADOS

Las probetas sin ningún material de aporte registra un promedio de 5.6 Joules, la energía mínima es de 5 Joules y la máxima de 6 Joules.

Autor: Rafael Ushiña

4.2.1.3 ENSAYO DE DOBLEZ GUIADO DE ACERO INOXIDABLE AISI 420 DE FÁBRICA

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA DE MECÁNICA		
DATOS INFORMATIVOS			
Autorizado por :	Ing. Patín Gustavo	Realizado por :	Rafael Ushiña
Ubicación	ESPOCH	Fecha ejecución	10-04-2018
Laboratorio	ESPOCH - FACULTAD DE MECÁNICA	Probeta N°	PE 1, PE 2, PE 3
ESPECIFICACIONES DEL ESPÉCIMEN			
Material Base	Acero inoxidable	Tipo	AISI 420
Dimensiones	150*40*10 (mm)	Material de aporte	NA
Numero de ensayos	3 probetas	Gas de protección	NA
Junta	NA	Proceso de soldadura	GTAW
PARÁMETROS DE ENSAYO			
Código aplicado	AWS D1.6/D1.6 M:2007	Equipo	Máquina de dobléz guiado de raíz
Precarga aplicada	80 Kgf	Tiempo de ensayo	15 min
OBSERVACIÓN			
<ul style="list-style-type: none"> • Las probetas se obtiene sin ningún material de aporte • Maquinada en fresa 			
EVALUACIÓN ENSAYO DE DOBLEZ GUIADO			
RESULTADOS			
N PROBETA	IMAGEN	OBSERVACIÓN	CALIFICACIÓN

PE 1		No se observa ningún tipo de discontinuidades ya que es material base sin ningún material de aporte.	Aprueba
PE 2		No se observa ningún tipo de discontinuidades ya que es material base sin ningún material de aporte.	Aprueba
PE 3		No se observa ningún tipo de discontinuidades ya que es material base sin ningún material de aporte.	Aprueba
INTERPRETACION DE RESULTADOS			
En las probetas sin material de aporte en el acero inoxidable martensítico AISI 420 no se observó ningún tipo de discontinuidad.			
Autor. Rafael Ushiña			

4.2.1.4 ENSAYO DE DUREZA DE ACERO INOXIDABLE AISI 420 DE FÁBRICA

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO			
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA DE MECÁNICA			
DATOS INFORMATIVOS					
Autorizado por :	Ing. Patín Gustavo	Realizado por :	Rafael Ushiña		
Ubicación	ESPOCH	Fecha ejecución	03-04-2018		
Laboratorio	ESPOCH - FACULTAD DE MECÁNICA	Probeta N°	PE 1		
ESPECIFICACIONES DEL ESPÉCIMEN					
Material Base	Acero inoxidable	Tipo	AISI 420		

Dimensiones	55*15*10 (mm)	Material de aporte	NA
Diámetro indentador	2.5 mm	Gas de protección	NA
Junta	NA	Proceso de soldadura	GTAW

PARÁMETROS DE ENSAYO

Código aplicado	AWS D1.6/D1.6M:2007	Equipo	Durómetro
Código de referencia	ASTM E-18	Tiempo de ensayo	5 min

GRÁFICO DE REFERENCIA DEL ENSAYO



OBSERVACIÓN

- Las probetas se obtiene sin ningún material de aporte
- Maquinada en fresa

EVALUACIÓN ENSAYO DE DUREZA

RESULTADOS

Nº	Distancia desde el centro (mm)	Diámetro de huella	Dureza (HB)	Gráfico
1	0	0.99	233.62	<p>ENSAYO DE DUREZA EN MATERIAL SIN SOLDADURA</p>
2	2	0.995	231.17	
3	4	0.99	233.62	
4	6	0.995	231.17	
5	8	0.99	233.62	
6	10	0.99	233.62	
7	12	0.99	233.62	
8	15	0.995	231.17	
PROMEDIO			232.706	

INTERPRETACION DE RESULTADOS

La dureza para una probeta sin material de aporte se obtuvo una dureza de máxima de 233.62 HB y una dureza mínima de 231.17 HB en el acero inoxidable martensítico AISI 420.

Autor: Rafael Ushiña



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA DE MECÁNICA



DATOS INFORMATIVOS

Autorizado por :	Ing. Patín Gustavo	Realizado por :	Rafael Ushiña
Ubicación	ESPOCH	Fecha ejecución	03-04-2018
Laboratorio	ESPOCH - FACULTAD DE MECÁNICA	Probeta N°	PE 2

ESPECIFICACIONES DEL ESPÉCIMEN

Material Base	Acero inoxidable	Tipo	AISI 420
Dimensiones	55*15*10 (mm)	Material de aporte	NA
Diámetro indentador	2.5 mm	Gas de protección	NA
Junta	NA	Proceso de soldadura	GTAW

PARÁMETROS DE ENSAYO

Código aplicado	AWS D1.6/D1.6M:2007	Equipo	Durómetro
Código de referencia	ASTM E-18	Tiempo de ensayo	5 min

GRÁFICO DE REFERENCIA DEL ENSAYO



OBSERVACIÓN

- Las probetas se obtiene sin ningún material de aporte
- Maquinada en fresa

EVALUACIÓN ENSAYO DE DUREZA

RESULTADOS

N°	Distancia desde el centro (mm)	Diámetro de huella	Dureza (HB)	Gráfico
1	0	0.99	233.62	<p align="center">ENSAYO DE DUREZA EN MATERIAL SIN SOLDADURA</p>
2	2	0.995	231.17	
3	4	0.995	231.17	
4	6	0.995	224.05	
5	8	1.01	233.62	
6	10	0.99	233.62	
7	12	0.99	233.62	
8	15	0.99	233.62	
PROMEDIO			231.81	

INTERPRETACION DE RESULTADOS

La dureza para una probeta sin material de aporte se obtuvo una dureza de máxima de 233.62 HB y una dureza mínima de 224.05 HB en el acero inoxidable martensítico AISI 420.

Autor: Rafael Ushiña



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA DE MECÁNICA



DATOS INFORMATIVOS

Autorizado por :	Ing. Patín Gustavo	Realizado por :	Rafael Ushiña
Ubicación	ESPOCH	Fecha ejecución	03-04-2018
Laboratorio	ESPOCH - FACULTAD DE MECÁNICA	Probeta N°	PE 3

ESPECIFICACIONES DEL ESPÉCIMEN

Material Base	Acero inoxidable	Tipo	AISI 420
Dimensiones	55*15*10 (mm)	Material de aporte	NA
Diámetro indentador	2.5 mm	Gas de protección	NA
Junta	NA	Proceso de soldadura	GTAW

PARÁMETROS DE ENSAYO

Código aplicado	AWS D1.6/D1.6M:2007	Equipo	Durómetro
Código de referencia	ASTM E-18	Tiempo de ensayo	5 min

GRÁFICO DE REFERENCIA DEL ENSAYO



OBSERVACIÓN

- Las probetas se obtiene sin ningún material de aporte
- Maquinada en fresa

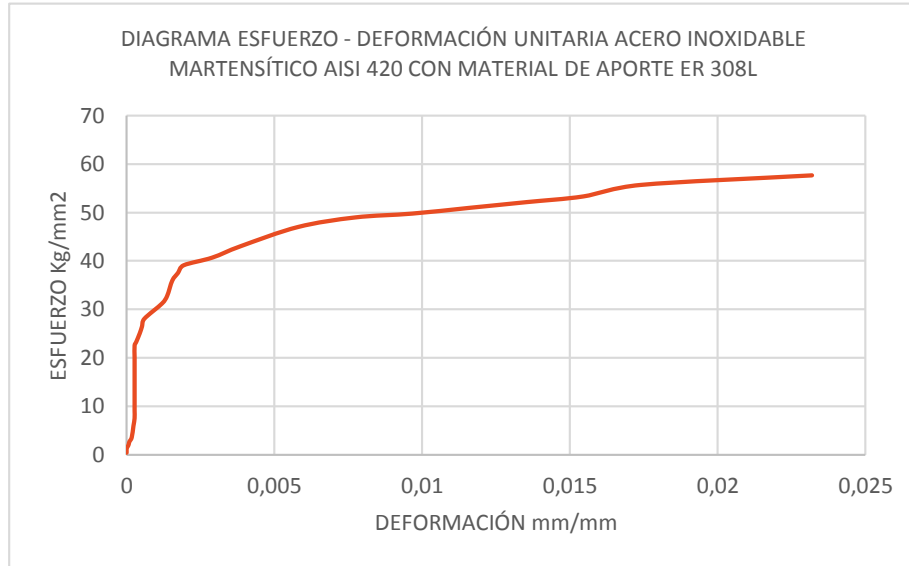
EVALUACIÓN ENSAYO DE DUREZA

RESULTADOS

N°	Distancia desde el centro (mm)	Diámetro de huella	Dureza (HB)	Grafico
1	0	0.995	231.17	<p>ENSAYO DE DUREZA EN MATERIAL SIN SOLDADURA</p> <p>DUREZA (HB)</p> <p>DISTANCIA EN mm</p>
2	2	0.995	231.17	
3	4	0.99	233.62	
4	6	0.99	233.62	
5	8	0.985	236.10	
6	10	0.985	236.10	
7	12	0.995	231.17	
8	15	0.99	233.62	
PROMEDIO			233.32	
INTERPRETACION DE RESULTADOS				
La dureza para una probeta sin material de aporte se obtuvo una dureza de máxima de 236.10 HB y una dureza mínima de 231.17 HB en el acero inoxidable martensítico AISI 420.				
Autor: Rafael Ushiña				

4.2.2 ENSAYO DE TRACCIÓN DE LAS PROBETAS DE ACERO INOXIDABLE MARTENSÍTICO AISI 420 CON MATERIAL DE APORTE ER 308L.

<p>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA DE MECÁNICA</p>			
DATOS INFORMATIVOS			
Autorizado por :	Ing. Patín Gustavo	Realizado por :	Rafael Ushiña
Ubicación	ESPOCH	Fecha ejecución	05-04-2018
Laboratorio	ESPOCH - FACULTAD DE MECÁNICA	Probeta N°	PE 1A
ESPECIFICACIONES DEL ESPÉCIMEN			
Material Base	Acero inoxidable	Tipo	AISI 420
Diámetro	12.7 mm	Material de aporte	ER 308L
Longitud calibrada	51.75 mm	Gas de protección	99.8% Argón
Características	Eje	Proceso de soldadura	GTAW
GRÁFICO DE REFERENCIA DEL ESPÉCIMEN			
PARÁMETROS DE ENSAYO			
Código aplicado	AWS D1.6/D1.6M:2007	Equipo	Máquina Universal
Código de referencia	ASTM E8M	Método	Deformación Controlada
OBSERVACIÓN			
<ul style="list-style-type: none"> Las probetas se obtiene con material de aporte ER 308L Maquinada en torno 			
EVALUACIÓN ENSAYO DE TRACCIÓN			
RESULTADOS			



CÁLCULOS

Calculo porcentaje de alargamiento (ϵ)

$$\epsilon = \frac{l_f - l_0}{l_0} * 100 \qquad \epsilon = \frac{52.95 - 51.75}{51.75} * 100 \qquad \epsilon = 2\%$$

Calculo de resistencia ultima tracción (S_{ut})

$$S_{ut} = \frac{P_m}{A_0} \qquad S_{ut} = \frac{7305 \text{ Kg}}{126.67 \text{ mm}^2} \qquad S_{ut} = 57.67 \frac{\text{Kg}}{\text{mm}^2}$$

Calculo de límite de fluencia (S_y)

$$S_y = 41 \frac{\text{Kg}}{\text{mm}^2} \quad \text{Longitud calibrada original } (\epsilon = 0.002)$$

Shigley (2008). Diseño de ingeniería mecánica. Octava edición. (pag. 29)

Autor: Rafael Ushiña



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA DE MECÁNICA



DATOS INFORMATIVOS

Autorizado por :	Ing. Patín Gustavo	Realizado por :	Rafael Ushiña
Ubicación	ESPOCH	Fecha ejecución	05-04-2018
Laboratorio	ESPOCH - FACULTAD DE MECÁNICA	Probeta N°	PE 2A

ESPECIFICACIONES DEL ESPÉCIMEN

Material Base	Acero inoxidable	Tipo	AISI 420
Diámetro	12.8 mm	Material de aporte	ER 308L
Longitud calibrada	51.2 mm	Gas de protección	99.8% Argón
Características	Eje	Proceso de soldadura	GTAW

GRÁFICO DE REFERENCIA DEL ESPÉCIMEN



PARÁMETROS DE ENSAYO

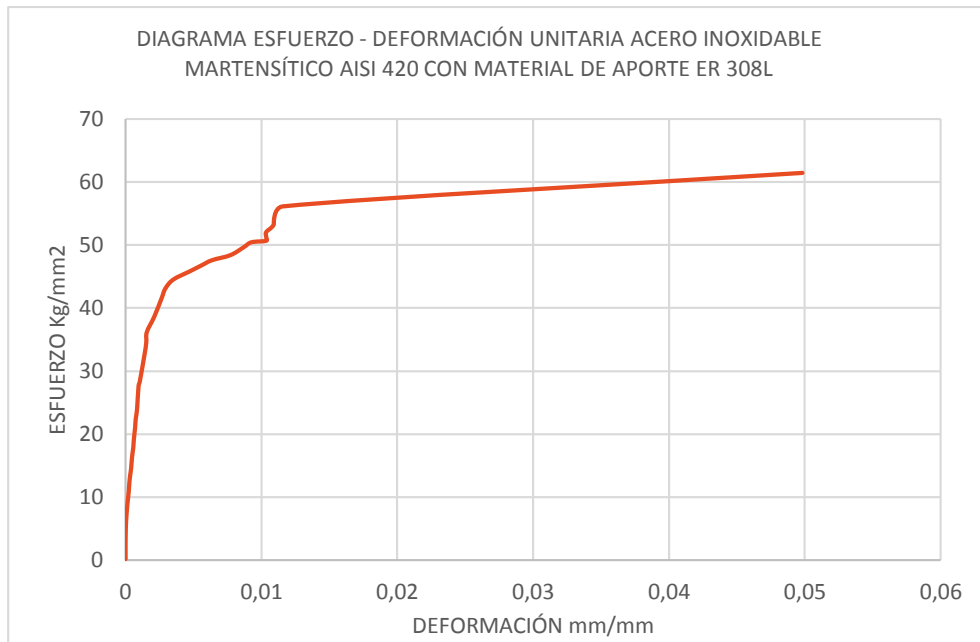
Código aplicado	AWS D1.6/D1.6M:2007	Equipo	Máquina Universal
Código de referencia	ASTM E8M	Método	Deformación Controlada

OBSERVACIÓN

- Las probetas se obtiene con material de aporte ER 308L
- Maquinada en torno

EVALUACIÓN ENSAYO DE TRACCIÓN

RESULTADOS



CÁLCULOS

Calculo porcentaje de alargamiento (ϵ)

$$\epsilon = \frac{l_f - l_0}{l_0} * 100 \qquad \epsilon = \frac{53.75 - 51.2}{51.2} * 100 \qquad \epsilon = 5\%$$

Calculo de resistencia última tracción (S_{ut})

$$S_{ut} = \frac{P_m}{A_0} \qquad S_{ut} = \frac{7542 \text{ Kg}}{122.71 \text{ mm}^2} \qquad S_{ut} = 61.46 \frac{\text{Kg}}{\text{mm}^2}$$

Calculo de límite de fluencia (S_y)

$$S_y = 44.00 \frac{\text{Kg}}{\text{mm}^2} \qquad \text{Longitud calibrada original } (\epsilon = 0.002)$$

Shigley (2008). Diseño de ingeniería mecánica. Octava edición. (pag. 29)

Autor: Rafael Ushiña



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA DE MECÁNICA



DATOS INFORMATIVOS

Autorizado por :	Ing. Patín Gustavo	Realizado por :	Rafael Ushiña
Ubicación	ESPOCH	Fecha ejecución	05-04-2018
Laboratorio	ESPOCH - FACULTAD DE MECÁNICA	Probeta N°	PE 3A

ESPECIFICACIONES DEL ESPÉCIMEN

Material Base	Acero inoxidable	Tipo	AISI 420
Diámetro	12.5 mm	Material de aporte	ER 308L
Longitud calibrada	51.5 mm	Gas de protección	99.8% Argón
Características	Eje	Proceso de soldadura	GTAW

GRÁFICO DE REFERENCIA DEL ESPÉCIMEN



PARÁMETROS DE ENSAYO

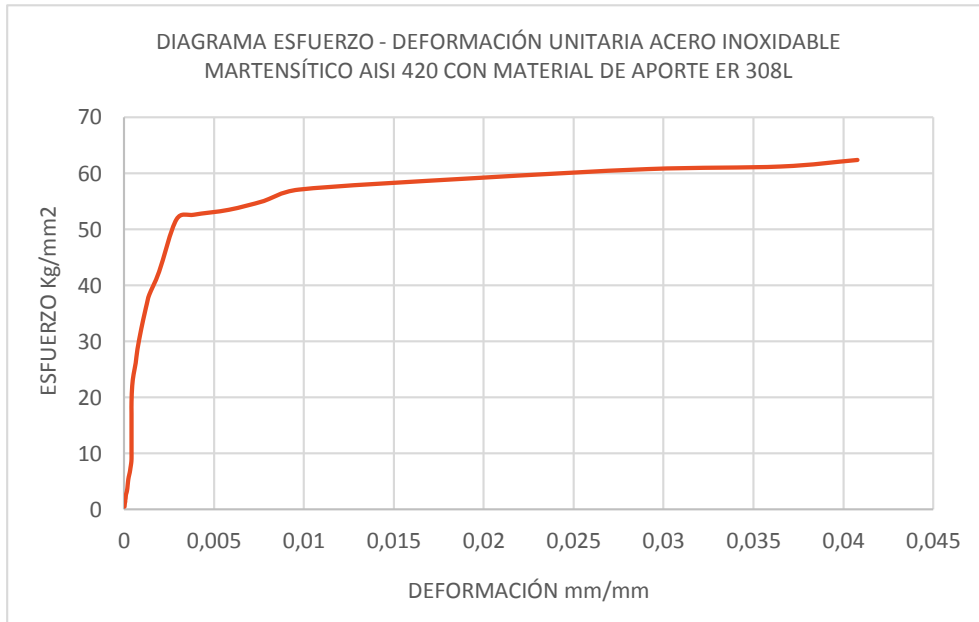
Código aplicado	AWS D1.6/D1.6M:2007	Equipo	Máquina Universal
Código de referencia	ASTM E8M	Método	Deformación Controlada

OBSERVACIÓN

- Las probetas se obtiene con material de aporte ER 308L
- Maquinada en torno

EVALUACIÓN ENSAYO DE TRACCIÓN

RESULTADOS



CÁLCULOS

Calculo porcentaje de alargamiento (ϵ)

$$\epsilon = \frac{l_f - l_0}{l_0} * 100 \qquad \epsilon = \frac{53.6 - 51.5}{51.5} * 100 \qquad \epsilon = 4\%$$

Calculo de resistencia última tracción (S_{ut})

$$S_{ut} = \frac{P_m}{A_0} \qquad S_{ut} = \frac{7655 \text{ Kg}}{122.71 \text{ mm}^2} \qquad S_{ut} = 62.38 \frac{\text{Kg}}{\text{mm}^2}$$

Calculo de límite de fluencia (S_y)

$$S_y = 45.00 \frac{\text{Kg}}{\text{mm}^2} \qquad \text{Longitud calibrada original } (\epsilon = 0.002)$$

Shigley (2008). Diseño de ingeniería mecánica. Octava edición. (pag. 29)

Autor: Rafael Ushiña



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA DE MECÁNICA



DATOS INFORMATIVOS

Autorizado por :	Ing. Patín Gustavo	Realizado por :	Rafael Ushiña
Ubicación	UTA	Fecha ejecución	7-05-2018
Laboratorio	UTA - FACULTAD DE MECÁNICA	Probeta N°	PE 4A

ESPECIFICACIONES DEL ESPÉCIMEN

Material Base	Acero inoxidable	Tipo	AISI 420
Diámetro	12.7 mm	Material de aporte	ER 308L
Longitud calibrada	76.55 mm	Gas de protección	99.8% Argón
Características	Eje	Proceso de soldadura	GTAW

GRÁFICO DE REFERENCIA DEL ESPÉCIMEN



PARÁMETROS DE ENSAYO

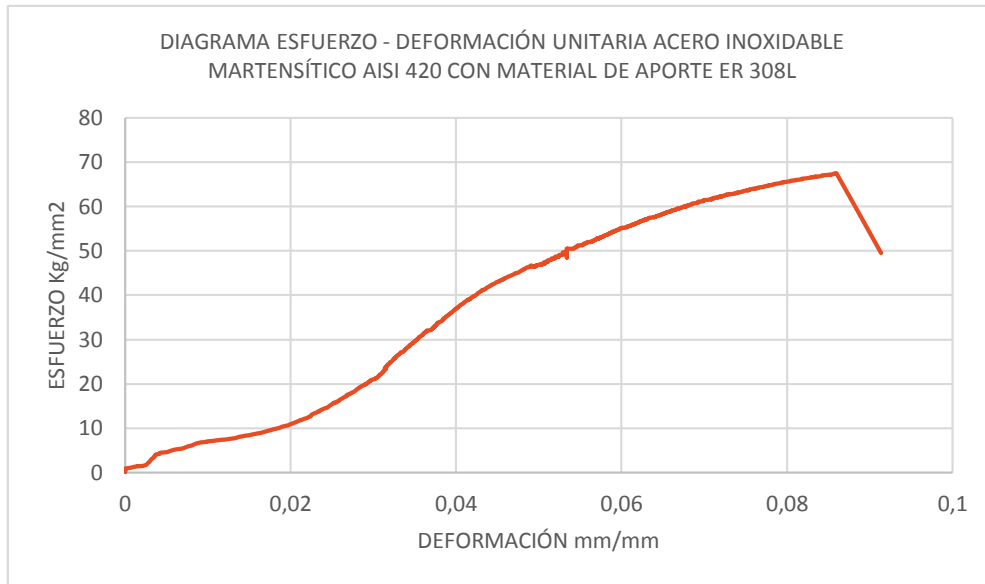
Código aplicado	AWS D1.6/D1.6M:2007	Equipo	Máquina Universal
Código de referencia	ASTM E8M	Método	Deformación Controlada

OBSERVACIÓN

- Las probetas se obtiene con material de aporte ER 308L
- Maquinada en torno

EVALUACIÓN ENSAYO DE TRACCIÓN

RESULTADOS



CÁLCULOS

Calculo porcentaje de alargamiento (ϵ)

$$\epsilon = \frac{l_f - l_0}{l_0} * 100 \qquad \epsilon = \frac{82.2 - 76.55}{76.55} * 100 \qquad \epsilon = 7\%$$

Calculo de resistencia última tracción (S_{ut})

$$S_{ut} = \frac{P_m}{A_0} \qquad S_{ut} = \frac{8556.23 \text{ Kg}}{126.67 \text{ mm}^2} \qquad S_{ut} = 67.54 \frac{\text{Kg}}{\text{mm}^2}$$

Calculo de límite de fluencia (S_y)

$$S_y = 48.00 \frac{\text{Kg}}{\text{mm}^2} \qquad \text{Longitud calibrada original } (\epsilon = 0.002)$$

Shigley (2008). Diseño de ingeniería mecánica. Octava edición. (pag. 29)

Autor: Rafael Ushiña



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA DE MECÁNICA



DATOS INFORMATIVOS

Autorizado por :	Ing. Patín Gustavo	Realizado por :	Rafael Ushiña
Ubicación	UTA	Fecha ejecución	7- 05-2018
Laboratorio	UTA - FACULTAD DE MECÁNICA	Probeta N°	PE 5A

ESPECIFICACIONES DEL ESPÉCIMEN

Material Base	Acero inoxidable	Tipo	AISI 420
Diámetro	12.7 mm	Material de aporte	ER 308L
Longitud calibrada	81.45 mm	Gas de protección	99.8% Argón
Características	Eje	Proceso de soldadura	GTAW

GRÁFICO DE REFERENCIA DEL ESPÉCIMEN



PARÁMETROS DE ENSAYO

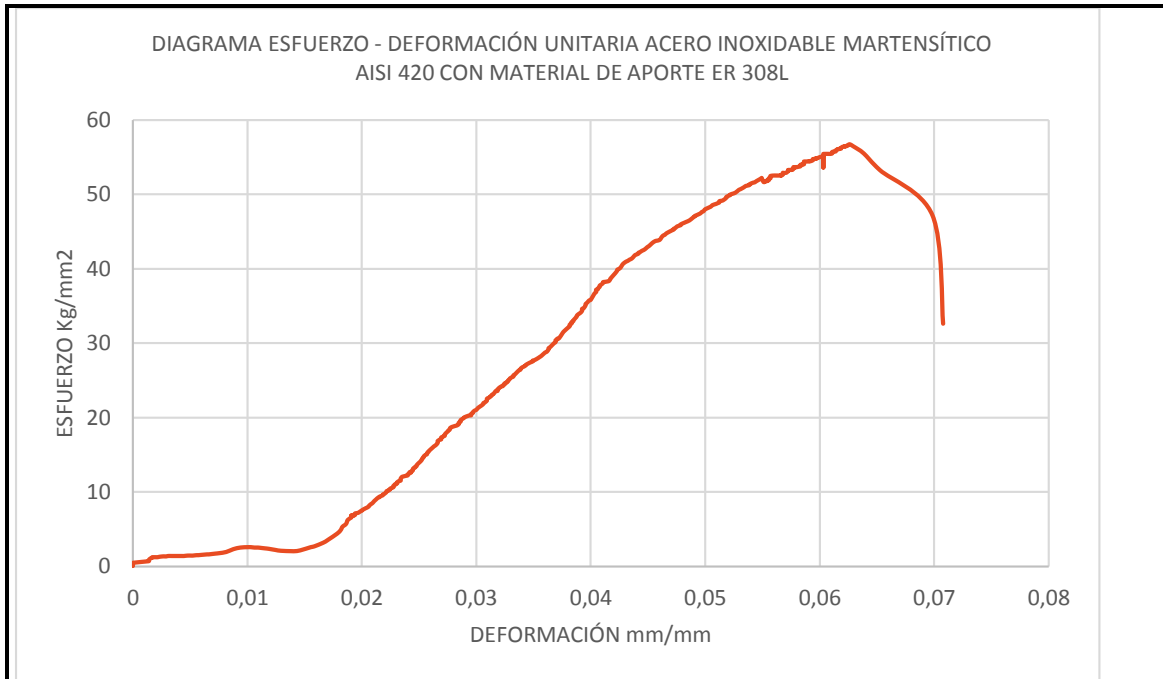
Código aplicado	AWS D1.6/D1.6M:2007	Equipo	Máquina Universal
Código de referencia	ASTM E8M	Método	Deformación Controlada

OBSERVACIÓN

- Las probetas se obtiene con material de aporte ER 308L
- Maquinada en torno

EVALUACIÓN ENSAYO DE TRACCIÓN

RESULTADOS



CÁLCULOS

Calculo porcentaje de alargamiento (ϵ)

$$\epsilon = \frac{l_f - l_0}{l_0} * 100 \qquad \epsilon = \frac{84,89 - 81,45}{81,45} * 100 \qquad \epsilon = 4\%$$

Calculo de resistencia ultima tracción (Sut)

$$S_{ut} = \frac{P_m}{A_0} \qquad S_{ut} = \frac{7185,87 \text{ Kg}}{126,67 \text{ mm}^2} \qquad S_{ut} = 56,73 \frac{\text{Kg}}{\text{mm}^2}$$




Calculo de límite de fluencia (Sy)

$$S_y = 42,58 \frac{\text{Kg}}{\text{mm}^2} \qquad \text{Longitud calibrada original } (\epsilon = 0,002)$$

Shigley (2008). Diseño de ingeniería mecánica. Octava edición. (pag. 29)

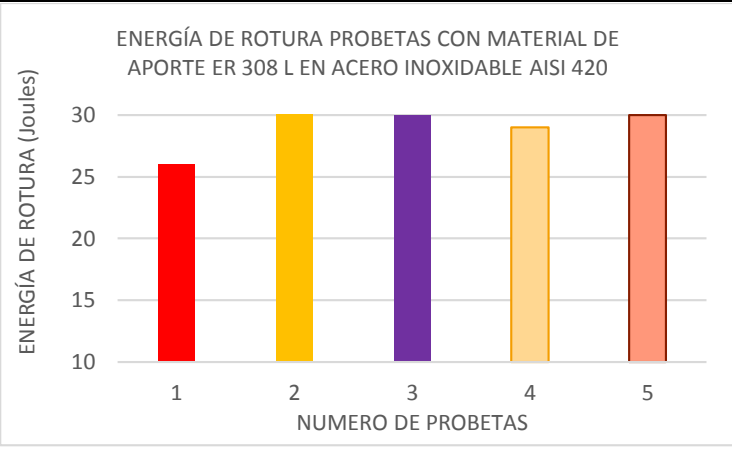
Autor: Rafael Ushiña

4.2.2.1 ENSAYO DE IMPACTO DE LAS PROBETAS DE ACERO INOXIDABLE MARTENSÍTICO AISI 420 CON MATERIAL DE APORTE ER 308L

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA DE MECÁNICA 			
DATOS INFORMATIVOS			
Autorizado por :	Ing. Patín Gustavo	Realizado por :	Rafael Ushiña
Ubicación	ESPOCH	Fecha ejecución	03-04-2018
Laboratorio	ESPOCH - FACULTAD DE MECÁNICA	Probeta N°	PE 1A, PE 2A, PE 3A, PE 4A, PE 5A
ESPECIFICACIONES DEL ESPÉCIMEN			
Material Base	Acero inoxidable	Tipo	AISI 420
Dimensiones	10*10*55 (mm)	Material de aporte	ER 308L
Numero de ensayos	5 probetas	Gas de protección	99.8% Argón
Entalla	Tipo en V	Proceso de soldadura	GTAW
GRÁFICO DE REFERENCIA DEL ESPÉCIMEN			
			
PARÁMETROS DE ENSAYO			
Código aplicado	AWS D1.6/D1.6M:2007	Equipo	Máquina Ensayo Charpy
Código de referencia	ASTM E-23	Tiempo de ensayo	3 min
OBSERVACIÓN			
<ul style="list-style-type: none"> Las probetas se obtiene con material de aporte ER 308L Maquinada en fresa 			
EVALUACIÓN ENSAYO DE IMPACTO			
RESULTADOS			

N PROBETA	ENERGIA IMPACTO (J)
PE 1A	26
PE 2A	31
PE 3A	30
PE 4A	29
PE 5A	30
PROMEDIO	29.2

ENERGÍA DE ROTURA PROBETAS CON MATERIAL DE APORTE ER 308 L EN ACERO INOXIDABLE AISI 420



Numero de Probetas	Energía de Rotura (Joules)
1	26
2	31
3	30
4	29
5	30




INTERPRETACION DE RESULTADOS

Las probetas con material de aporte ER 308L registra un promedio de 29.2 Joules, la energía mínima es de 26 Joules y la máxima de 31 Joules.

Autor: Rafael Ushiña

4.2.2.2 ENSAYO DE DOBLEZ GUIADO DE LAS PROBETAS DE ACERO INOXIDABLE MARTENSÍTICO AISI 420 CON MATERIAL DE APORTE ER 308L


 <p>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</p> <p>CARRERA DE INGENIERÍA DE MECÁNICA</p> 			
DATOS INFORMATIVOS			
Autorizado por :	Ing. Patín Gustavo	Realizado por :	Rafael Ushiña
Ubicación	ESPOCH	Fecha ejecución	12-04-2018
Laboratorio	ESPOCH - FACULTAD DE MECÁNICA	Probeta N°	PE 1A, PE 2A, PE 3A.
ESPECIFICACIONES DEL ESPÉCIMEN			
Material Base	Acero inoxidable	Tipo	AISI 420
Dimensiones	150*40*10 (mm)	Material de aporte	ER 308L
Numero de ensayos	3 probetas	Gas de protección	99.8% Argón
Junta	Tope en V	Proceso de soldadura	GTAW
PARÁMETROS DE ENSAYO			

Código aplicado	AWS D1.6/D1.6 M:2007	Equipo	Máquina de doblado guiado de raíz
Precarga aplicada	65 Kgf	Tiempo de ensayo	15 min
OBSERVACIÓN			
<ul style="list-style-type: none"> Las probetas se obtiene con material de aporte ER 308L Maquinada en fresa 			
EVALUACIÓN ENSAYO DE DOBLEZ GUIADO			
RESULTADOS			
N PROBETA	IMAGEN	OBSERVACIÓN	CALIFICACIÓN
PE 1A		No se observa ningún tipo de discontinuidades con material de aporte ER 308L.	Aprueba
PE 2A		No se observa ningún tipo de discontinuidades con material de aporte ER 308L.	Aprueba
PE 3A		No se observa ningún tipo de discontinuidades con material de aporte ER 308L.	Aprueba
INTERPRETACION DE RESULTADOS			
En las probetas de doblado guiado con material de aporte ER 308L no se observa ningún tipo de discontinuidad por lo que se aprueba las probetas en base al código de soldadura AWS D1.6.			
Autor: Rafael Ushiña			

4.2.2.3 ENSAYO DE DUREZA DE LAS PROBETAS DE ACERO INOXIDABLE MARTENSÍTICO AISI 420 CON MATERIAL DE APORTE ER 308L

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA DE MECÁNICA 			
DATOS INFORMATIVOS			
Autorizado por :	Ing. Patín Gustavo	Realizado por :	Rafael Ushiña
Ubicación	ESPOCH	Fecha ejecución	04-04-2018
Laboratorio	ESPOCH - FACULTAD DE MECÁNICA	Probeta N°	PE 1A
ESPECIFICACIONES DEL ESPÉCIMEN			
Material Base	Acero inoxidable	Tipo	AISI 420
Dimensiones	55*15*10 (mm)	Material de aporte	ER 308L
Diámetro identador	2.5 mm	Gas de protección	99.8% Argón
Junta	Tope en V	Proceso de soldadura	GTAW
PARÁMETROS DE ENSAYO			
Código aplicado	AWS D1.6/D1.6M:2007	Equipo	Durómetro
Código de referencia	ASTM E-18	Tiempo de ensayo	5 min
GRÁFICO DE REFERENCIA DEL ENSAYO			
			
OBSERVACIÓN			
<ul style="list-style-type: none"> • Las probetas se obtiene con material de aporte ER 308L • Maquinada en fresa 			
EVALUACIÓN ENSAYO DE DUREZA			
RESULTADOS			

Nº	Distancia desde el centro del cordón (mm)	Diámetro de huella	Dureza (HB)	Grafico
1	0	1.005	226.39	<p>ENSAYO DE DUREZA CON MATERIAL DE APORTE ER 308 L EN ACERO INOXIDABLE AISI 420</p> <p>DUREZA (HB)</p> <p>DISTANCIA DESDE EL CENTRO EN mm</p>
2	2	1.015	221.75	
3	4	1.005	226.39	
4	6	0.83	336.71	
5	8	1.05	206.53	
6	10	1.055	204.47	
7	12	1.045	208.61	
8	15	1.055	204.47	
PROMEDIO			229.42	
INTERPRETACION DE RESULTADOS				
La dureza para una probeta con material de aporte ER 308L se obtuvo una dureza de máxima de 336.71 HB y una dureza mínima de 204.47 HB en el acero inoxidable martensítico AISI 420.				
Autor: Rafael Ushiña				

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO			
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		
CARRERA DE INGENIERÍA DE MECÁNICA			
DATOS INFORMATIVOS			
Autorizado por :	Ing. Patín Gustavo	Realizado por :	Rafael Ushiña
Ubicación	ESPOCH	Fecha ejecución	04-04-2018
Laboratorio	ESPOCH - FACULTAD DE MECÁNICA	Probeta Nº	PE 2A
ESPECIFICACIONES DEL ESPÉCIMEN			
Material Base	Acero inoxidable	Tipo	AISI 420
Dimensiones	55*15*10 (mm)	Material de aporte	ER 308L
Diámetro indentador	2.5 mm	Gas de protección	99.8% Argón
Junta	Tope en V	Proceso de soldadura	GTAW
PARÁMETROS DE ENSAYO			

Código aplicado	AWS D1.6/D1.6M:2007	Equipo	Durómetro
Código de referencia	ASTM E-18	Tiempo de ensayo	5 min

GRÁFICO DE REFERENCIA DEL ENSAYO



OBSERVACIÓN

- Las probetas se obtiene con material de aporte ER 308L
- Maquinada en fresa

EVALUACIÓN ENSAYO DE DUREZA

RESULTADOS

Nº	Distancia desde el centro del cordón (mm)	Diámetro de huella	Dureza (HB)	Gráfico
1	0	1.01	224.05	
2	2	1.03	215.04	
3	4	1.04	210.72	
4	6	0.925	269.11	
5	8	1.02	219.48	
6	10	0.945	257.41	
7	12	0.99	233.62	
8	15	0.99	233.62	
PROMEDIO			232.88	

INTERPRETACION DE RESULTADOS

La dureza para una probeta con material de aporte ER 308L se obtuvo una dureza de máxima de 269.11 HB y una dureza mínima de 210.72 HB en el acero inoxidable martensítico AISI 420.

Autor. Rafael Ushiña

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA DE MECÁNICA		
	DATOS INFORMATIVOS		
	Autorizado por :	Ing. Patín Gustavo	
Ubicación	ESPOCH	Fecha ejecución	04-04-2018
Laboratorio	ESPOCH - FACULTAD DE MECÁNICA	Probeta Nº	PE 3A

ESPECIFICACIONES DEL ESPÉCIMEN

Material Base	Acero inoxidable	Tipo	AISI 420
Dimensiones	55*15*10 (mm)	Material de aporte	ER 308L
Diámetro identador	2.5 mm	Gas de protección	99.8% Argón
Junta	Tope en V	Proceso de soldadura	GTAW

PARÁMETROS DE ENSAYO

Código aplicado	AWS D1.6/D1.6M:2007	Equipo	Durómetro
Código de referencia	ASTM E-18	Tiempo de ensayo	5 min

GRÁFICO DE REFERENCIA DEL ENSAYO



OBSERVACIÓN

- Las probetas se obtiene con material de aporte ER 308L
- Maquinada en fresa

EVALUACIÓN ENSAYO DE DUREZA

RESULTADOS

Nº	Distancia desde el centro del cordón (mm)	Diámetro de huella	Dureza (HB)	Grafico
1	0	0.97	243.79	<div style="text-align: center;"> <p>ENSAYO DE DUREZA CON MATERIAL DE APOORTE ER 308L EN ACERO INOXIDABLE AISI 420</p> <p>DUREZA (HB)</p> <p>DISTANCIA DESDE EL CENTRO EN mm</p> </div>
2	2	0.98	238.63	
3	4	0.96	249.11	
4	6	0.855	316.73	
5	8	1.045	208.61	
6	10	1.055	204.47	
7	12	1.05	206.53	
8	15	1.04	210.72	
PROMEDIO			234.82	

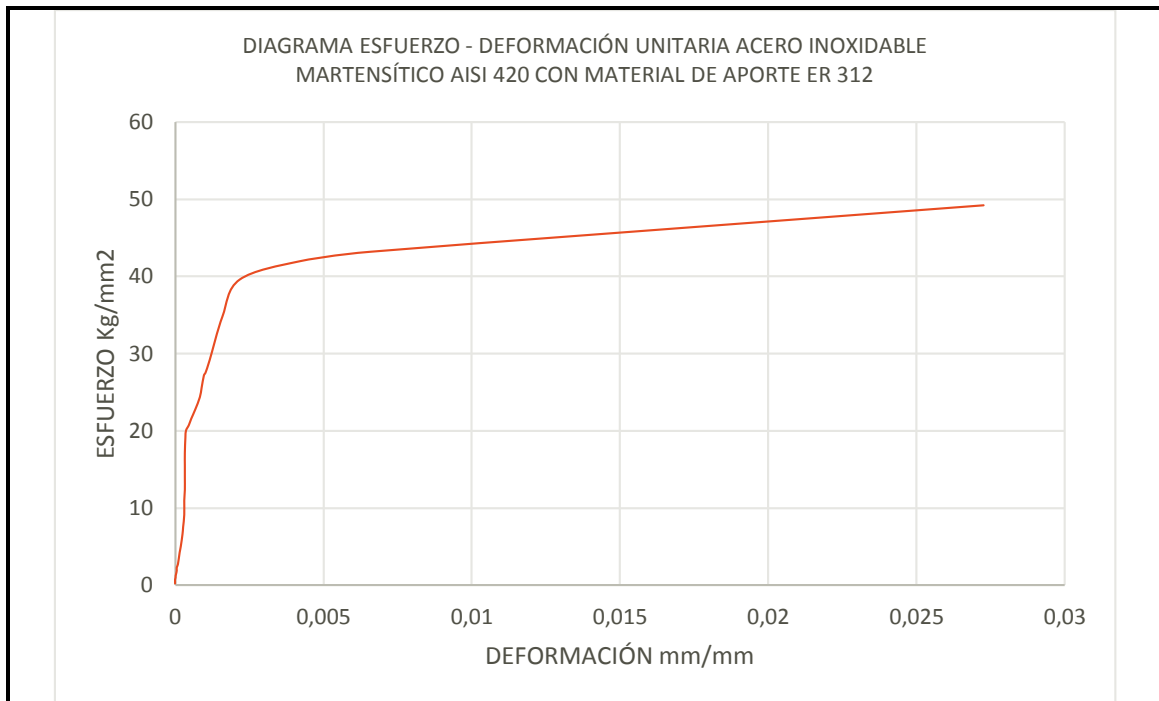
INTERPRETACION DE RESULTADOS

La dureza para una probeta con material de aporte ER 308L se obtuvo una dureza de máxima de 316.73 HB y una dureza mínima de 204.47 HB en el acero inoxidable martensítico AISI 420.

Autor: Rafael Ushiña

4.2.3 ENSAYO DE TRACCIÓN DE LAS PROBETAS DE ACERO INOXIDABLE MARTENSÍTICO AISI 420 CON MATERIAL DE APORTE ER 312

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> <p>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</p> <p>CARRERA DE INGENIERÍA DE MECÁNICA</p> </div>  </div>			
DATOS INFORMATIVOS			
Autorizado por :	Ing. Patín Gustavo	Realizado por :	Rafael Ushiña
Ubicación	ESPOCH	Fecha ejecución	06-04-2018
Laboratorio	ESPOCH - FACULTAD DE MECÁNICA	Probeta N°	PE 1B
ESPECIFICACIONES DEL ESPÉCIMEN			
Material Base	Acero inoxidable	Tipo	AISI 420
Diámetro	12.6 mm	Material de aporte	ER 312
Longitud calibrada	51.35 mm	Gas de protección	99.8% Argón
Características	Eje	Proceso de soldadura	GTAW
GRÁFICO DE REFERENCIA DEL ESPÉCIMEN			
			
PARÁMETROS DE ENSAYO			
Código aplicado	AWS D1.6/D1.6M:2007	Equipo	Máquina Universal
Código de referencia	ASTM E8M	Método	Deformación Controlada
OBSERVACIÓN			
<ul style="list-style-type: none"> Las probetas se obtiene con material de aporte ER 312. Maquinada en torno 			
EVALUACIÓN ENSAYO DE TRACCIÓN			
RESULTADOS			



CÁLCULOS

Calculo porcentaje de alargamiento (ϵ)

$$\epsilon = \frac{l_f - l_0}{l_0} * 100 \qquad \epsilon = \frac{52.75 - 51.35}{51.35} * 100 \qquad \epsilon = 3\%$$

Calculo de resistencia ultima tracción (S_{ut})

$$S_{ut} = \frac{P_m}{A_0} \qquad S_{ut} = \frac{6140 \text{ Kg}}{124.68 \text{ mm}^2} \qquad S_{ut} = 49.24 \frac{\text{Kg}}{\text{mm}^2}$$

Calculo de límite de fluencia (S_y)

$$S_y = 42.5 \frac{\text{Kg}}{\text{mm}^2} \quad \text{Longitud calibrada original } (\epsilon = 0.002)$$

Shigley (2008). Diseño de ingeniería mecánica. Octava edición. (pag. 29)

Autor: Rafael Ushiña



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA DE MECÁNICA



DATOS INFORMATIVOS

Autorizado por :	Ing. Patín Gustavo	Realizado por :	Rafael Ushiña
Ubicación	ESPOCH	Fecha ejecución	06-04-2018
Laboratorio	ESPOCH - FACULTAD DE MECÁNICA	Probeta N°	PE 2B

ESPECIFICACIONES DEL ESPÉCIMEN

Material Base	Acero inoxidable	Tipo	AISI 420
Diámetro	12.65 mm	Material de aporte	ER 312
Longitud calibrada	50.7 mm	Gas de protección	99.8% Argón
Características	Eje	Proceso de soldadura	GTAW

GRÁFICO DE REFERENCIA DEL ESPÉCIMEN



PARÁMETROS DE ENSAYO

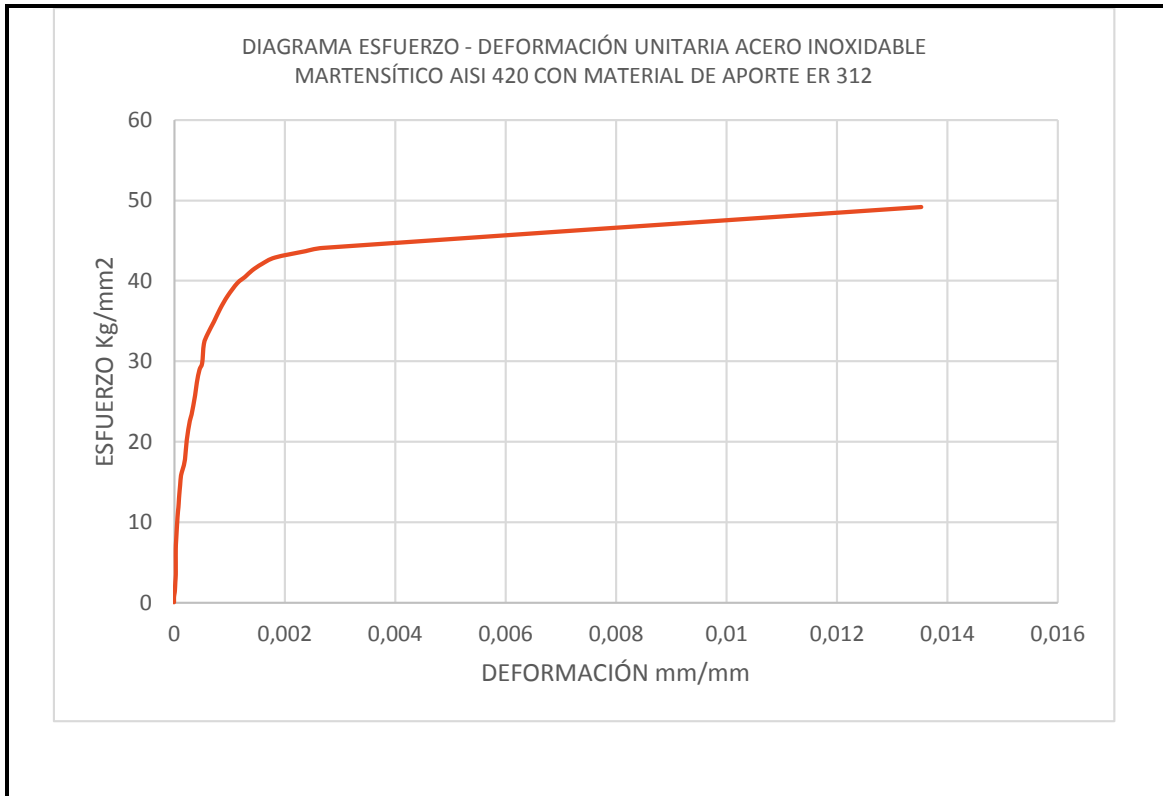
Código aplicado	AWS D1.6/D1.6M:2007	Equipo	Máquina Universal
Código de referencia	ASTM E8M	Método	Deformación Controlada

OBSERVACIÓN

- Las probetas se obtiene con material de aporte ER 312.
- Maquinada en torno

EVALUACIÓN ENSAYO DE TRACCIÓN

RESULTADOS



CÁLCULOS

Calculo porcentaje de alargamiento (ϵ)

$$\epsilon = \frac{l_f - l_0}{l_0} * 100 \qquad \epsilon = \frac{52.4 - 50.7}{50.7} * 100 \qquad \epsilon = 3\%$$

Calculo de resistencia última tracción (S_{ut})

$$S_{ut} = \frac{P_m}{A_0} \qquad S_{ut} = \frac{6178 \text{ Kg}}{125.68 \text{ mm}^2} \qquad S_{ut} = 49.16 \frac{\text{Kg}}{\text{mm}^2}$$

Calculo de límite de fluencia (S_y)

$$S_y = 44.00 \frac{\text{Kg}}{\text{mm}^2} \quad \text{Longitud calibrada original } (\epsilon = 0.002)$$

Shigley (2008). Diseño de ingeniería mecánica. Octava edición. (pag. 29)

Autor: Rafael Ushiña



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA DE MECÁNICA



DATOS INFORMATIVOS

Autorizado por :	Ing. Patín Gustavo	Realizado por :	Rafael Ushiña
Ubicación	ESPOCH	Fecha ejecución	06-04-2018
Laboratorio	ESPOCH - FACULTAD DE MECÁNICA	Probeta N°	PE 3B

ESPECIFICACIONES DEL ESPÉCIMEN

Material Base	Acero inoxidable	Tipo	AISI 420
Diámetro	12.6 mm	Material de aporte	ER 312
Longitud calibrada	51.5 mm	Gas de protección	99.8% Argón
Características	Eje	Proceso de soldadura	GTAW

GRÁFICO DE REFERENCIA DEL ESPÉCIMEN



PARÁMETROS DE ENSAYO

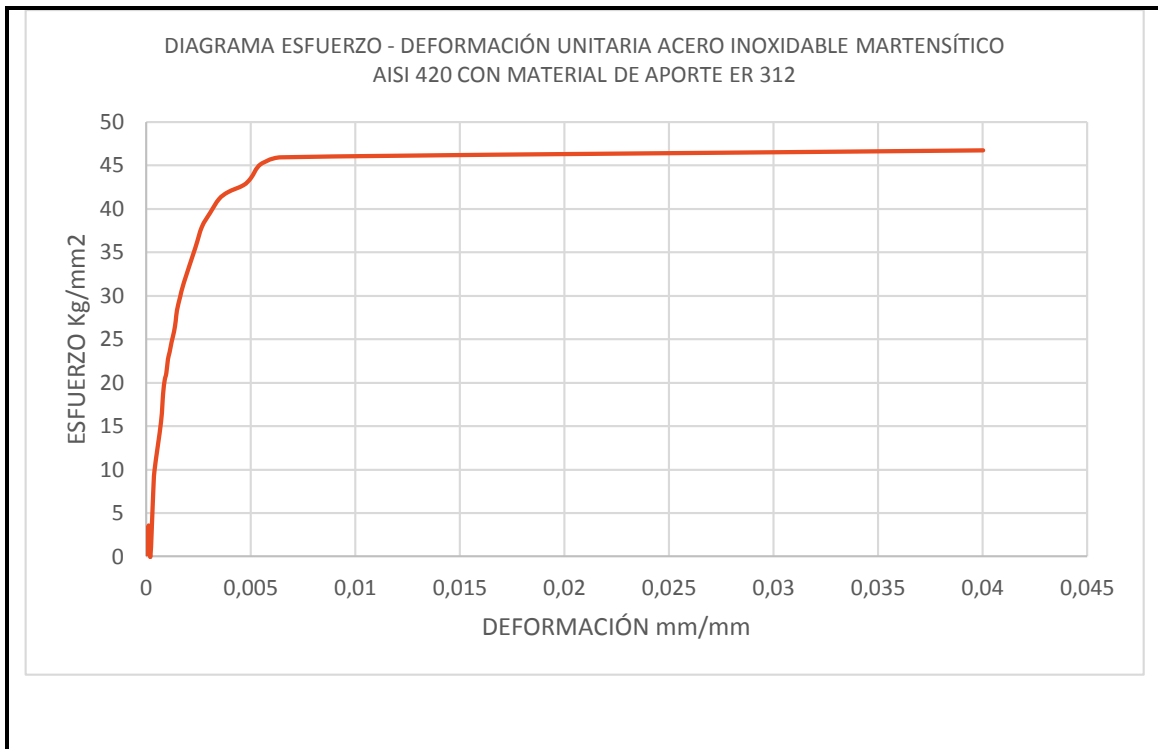
Código aplicado	AWS D1.6/D1.6M:2007	Equipo	Máquina Universal
Código de referencia	ASTM E8M	Método	Deformación Controlada

OBSERVACIÓN

- Las probetas se obtiene con material de aporte ER 312.
- Maquinada en torno

EVALUACIÓN ENSAYO DE TRACCIÓN

RESULTADOS



CÁLCULOS

Calculo porcentaje de alargamiento (ϵ)

$$\epsilon = \frac{l_f - l_0}{l_0} * 100 \qquad \epsilon = \frac{53.25 - 51.2}{51.2} * 100 \qquad \epsilon = 4\%$$

Calculo de resistencia última tracción (S_{ut})

$$S_{ut} = \frac{P_m}{A_0} \qquad S_{ut} = \frac{5830Kg}{124.68 \text{ mm}^2} \qquad S_{ut} = 46.76 \frac{Kg}{\text{mm}^2}$$

Calculo de límite de fluencia (S_y)

$$S_y = 43.00 \frac{Kg}{\text{mm}^2} \qquad \text{Longitud calibrada original } (\epsilon = 0.002)$$

Shigley (2008). Diseño de ingeniería mecánica. Octava edición. (pag. 29)

Autor: Rafael Ushiña



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA DE MECÁNICA



DATOS INFORMATIVOS

Autorizado por :	Ing. Patín Gustavo	Realizado por :	Rafael Ushiña
Ubicación	UTA	Fecha ejecución	7-05-2018
Laboratorio	UTA - FACULTAD DE MECÁNICA	Probeta N°	PE 4B

ESPECIFICACIONES DEL ESPÉCIMEN

Material Base	Acero inoxidable	Tipo	AISI 420
Diámetro	12.7 mm	Material de aporte	ER 312
Longitud calibrada	81.65 mm	Gas de protección	99.8% Argón
Características	Eje	Proceso de soldadura	GTAW

GRÁFICO DE REFERENCIA DEL ESPÉCIMEN



PARÁMETROS DE ENSAYO

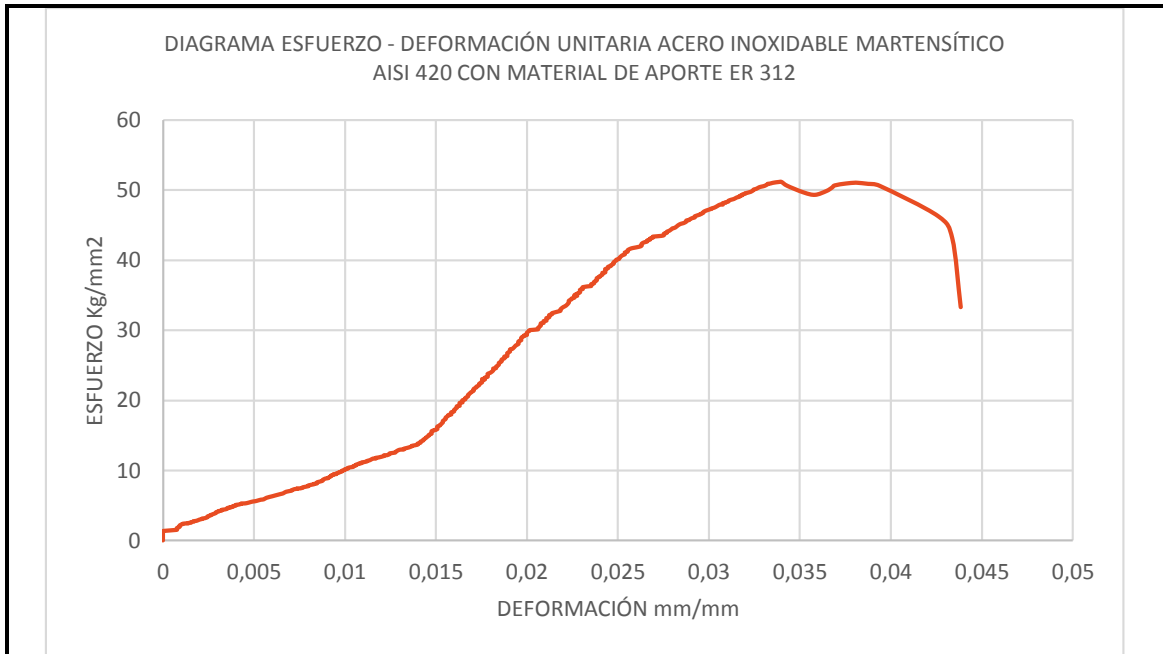
Código aplicado	AWS D1.6/D1.6M:2007	Equipo	Máquina Universal
Código de referencia	ASTM E8M	Método	Deformación Controlada

OBSERVACIÓN

- Las probetas se obtiene con material de aporte ER 312.
- Maquinada en torno

EVALUACIÓN ENSAYO DE TRACCIÓN

RESULTADOS



CÁLCULOS

Calculo porcentaje de alargamiento (ϵ)

$$\epsilon = \frac{l_f - l_0}{l_0} * 100 \qquad \epsilon = \frac{83.56 - 81.65}{81.65} * 100 \qquad \epsilon = 2\%$$

Calculo de resistencia ultima tracción (S_{ut})

$$S_{ut} = \frac{P_m}{A_0} \qquad S_{ut} = \frac{6470.01Kg}{126.67 mm^2} \qquad S_{ut} = 51.07 \frac{Kg}{mm^2}$$

Calculo de límite de fluencia (S_y)

$$S_y = 46.00 \frac{Kg}{mm^2} \qquad \text{Longitud calibrada original } (\epsilon = 0.002)$$

Shigley (2008). Diseño de ingeniería mecánica. Octava edición. (pag. 29)

Autor: Rafael Ushiña



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA DE MECÁNICA



DATOS INFORMATIVOS

Autorizado por :	Ing. Patín Gustavo	Realizado por :	Rafael Ushiña
Ubicación	UTA	Fecha ejecución	7-05-2018
Laboratorio	UTA - FACULTAD DE MECÁNICA	Probeta N°	PE 5B

ESPECIFICACIONES DEL ESPÉCIMEN

Material Base	Acero inoxidable	Tipo	AISI 420
Diámetro	12.7 mm	Material de aporte	ER 312
Longitud calibrada	80.75 mm	Gas de protección	99.8% Argón
Características	Eje	Proceso de soldadura	GTAW

GRÁFICO DE REFERENCIA DEL ESPÉCIMEN



PARÁMETROS DE ENSAYO

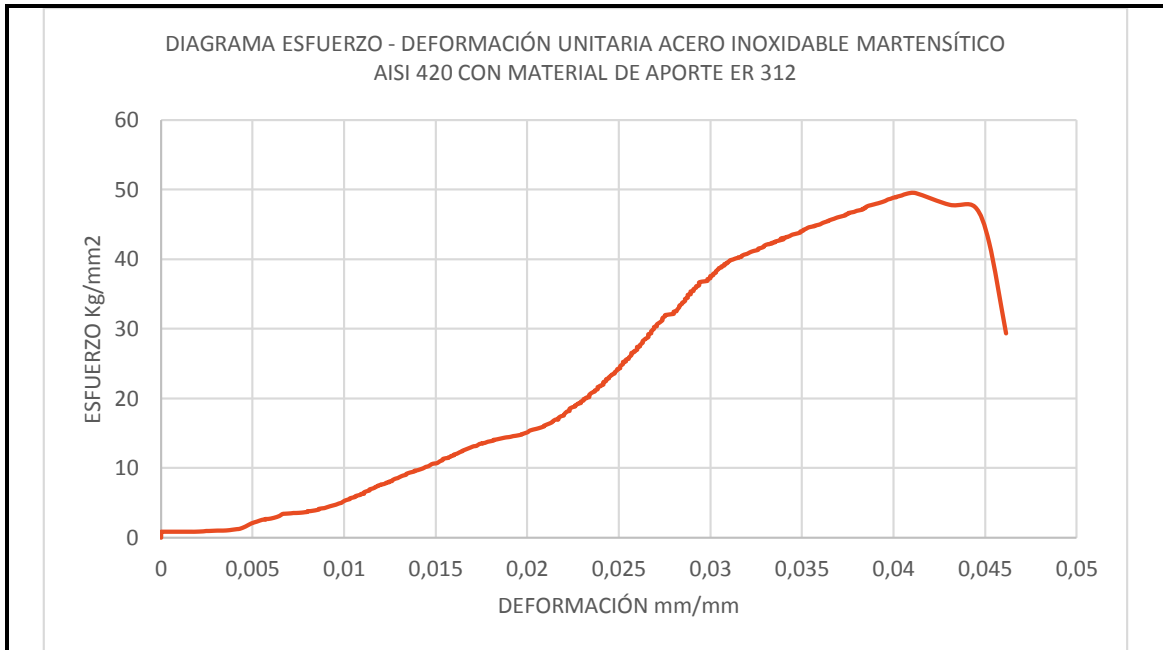
Código aplicado	AWS D1.6/D1.6M:2007	Equipo	Máquina Universal
Código de referencia	ASTM E8M	Método	Deformación Controlada

OBSERVACIÓN

- Las probetas se obtiene con material de aporte ER 312
- Maquinada en torno

EVALUACIÓN ENSAYO DE TRACCIÓN

RESULTADOS



CÁLCULOS

Calculo porcentaje de alargamiento (ϵ)

$$\epsilon = \frac{l_f - l_0}{l_0} * 100 \qquad \epsilon = \frac{82.85 - 80.75}{80.75} * 100 \qquad \epsilon = 3\%$$

Calculo de resistencia ultima tracción (S_{ut})

$$S_{ut} = \frac{P_m}{A_0} \qquad S_{ut} = \frac{6265.471Kg}{126.67 mm^2} \qquad S_{ut} = 49.46 \frac{Kg}{mm^2}$$

Calculo de límite de fluencia (S_y)

$$S_y = 45.00 \frac{Kg}{mm^2} \qquad \text{Longitud calibrada original } (\epsilon = 0.002)$$

Shigley (2008). Diseño de ingeniería mecánica. Octava edición. (pag. 29)

Autor. Rafael Ushiña

4.2.3.1 ENSAYO DE IMPACTO DE LAS PROBETAS DE ACERO INOXIDABLE MARTENSÍTICO AISI 420 CON MATERIAL DE APORTE ER 312.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA DE MECÁNICA 			
DATOS INFORMATIVOS			
Autorizado por :	Ing. Patín Gustavo	Realizado por :	Rafael Ushiña
Ubicación	ESPOCH	Fecha ejecución	03-04-2018
Laboratorio	ESPOCH - FACULTAD DE MECÁNICA	Probeta N°	PE 1B, PE 2B, PE 3B, PE 4B, PE 5B.
ESPECIFICACIONES DEL ESPÉCIMEN			
Material Base	Acero inoxidable	Tipo	AISI 420
Dimensiones	10*10*55 (mm)	Material de aporte	ER 312
Numero de ensayos	5 probetas	Gas de protección	99.8% Argón
Entalla	Tipo en V	Proceso de soldadura	GTAW
GRÁFICO DE REFERENCIA DEL ESPÉCIMEN			
			
PARÁMETROS DE ENSAYO			
Código aplicado	AWS D1.6/D1.6M:2007	Equipo	Máquina Ensayo Charpy
Código de referencia	ASTM E-23	Tiempo de ensayo	3 min
OBSERVACIÓN			
<ul style="list-style-type: none"> Las probetas se obtiene con material de aporte ER 312. Maquinada en fresa 			
EVALUACIÓN ENSAYO DE IMPACTO			
RESULTADOS			

N PROBETA	ENERGIA IMPACTO (J)
PE 1B	16
PE 2B	15
PE 3B	15
PE 4B	17
PE 5B	15
PROMEDIO	15.6

ENERGÍA DE ROTURA PROBETAS CON MATERIAL DE APORTE ER 312 EN ACERO INOXIDABLE AISI 420

Numero de Probetas	Energía de Rotura (Joules)
1	16
2	15
3	15
4	17
5	15




INTERPRETACION DE RESULTADOS

Las probetas con material de aporte ER 312 registra un promedio de 15.6 Joules, la energía mínima es de 15 Joules y la máxima de 17 Joules.

Autor. Rafael Ushiña

4.2.3.2 ENSAYO DE DOBLEZ GUIADO DE LAS PROBETAS DE ACERO INOXIDABLE MARTENSÍTICO AISI 420 CON MATERIAL DE APORTE ER 312

 <p>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA DE MECÁNICA</p> 			
DATOS INFORMATIVOS			
Autorizado por :	Ing. Patín Gustavo	Realizado por :	Rafael Ushiña
Ubicación	ESPOCH	Fecha ejecución	11-04-2018
Laboratorio	ESPOCH - FACULTAD DE MECÁNICA	Probeta N°	PE 1B, PE 2B, PE 3B.
ESPECIFICACIONES DEL ESPÉCIMEN			
Material Base	Acero inoxidable	Tipo	AISI 420
Dimensiones	150*40*10 (mm)	Material de aporte	ER 312
Numero de ensayos	3 probetas	Gas de protección	99.8% Argón
Junta	Tope en V	Proceso de soldadura	GTAW
PARÁMETROS DE ENSAYO			

Código aplicado	AWS D1.6/D1.6 M:2007	Equipo	Máquina de doblado guiado de raíz
Precarga aplicada	66 Kgf	Tiempo de ensayo	15 min
OBSERVACIÓN			
<ul style="list-style-type: none"> Las probetas se obtienen con material de aporte ER 312. Maquinada en fresa 			
EVALUACIÓN ENSAYO DE DOBLEZ GUIADO			
RESULTADOS			
N Probeta	Imagen	Observación	Calificación
PE 1B		No se observa ningún tipo de discontinuidades con material de aporte ER 312.	Aprueba
PE 2B		Se observa un descascaramiento en el centro del radio de curvatura.	Aprueba
PE 3B		Se observa discontinuidad de 3.2 mm de longitud en la ZAC.	Aprueba
INTERPRETACION DE RESULTADOS			
En el ensayo de doblado guiado para las probetas con material de aporte ER 312, la probeta PE 2B se observa un descascaramiento en el radio de curvatura y la probeta PE 3B presenta una discontinuidad en el cordón en las ZAC de 3.2 mm.			
Autor: Rafael Ushiña			

4.2.3.3 ENSAYO DE DUREZA DE LAS PROBETAS DE ACERO INOXIDABLE MARTENSÍTICO AISI 420 CON MATERIAL DE APORTE ER 312

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> <p>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</p> <p>CARRERA DE INGENIERÍA DE MECÁNICA</p> </div>  </div>			
DATOS INFORMATIVOS			
Autorizado por :	Ing. Patín Gustavo	Realizado por :	Rafael Ushiña
Ubicación	ESPOCH	Fecha ejecución	04-04-2018
Laboratorio	ESPOCH - FACULTAD DE MECÁNICA	Probeta N°	PE 1B
ESPECIFICACIONES DEL ESPÉCIMEN			
Material Base	Acero inoxidable	Tipo	AISI 420
Dimensiones	55*15*10 (mm)	Material de aporte	ER 312
Diámetro indentador	2.5 mm	Gas de protección	99.8% Argón
Junta	Tope en V	Proceso de soldadura	GTAW
PARÁMETROS DE ENSAYO			
Código aplicado	AWS D1.6/D1.6M:2007	Equipo	Durómetro
Código de referencia	ASTM E-18	Tiempo de ensayo	5 min
GRÁFICO DE REFERENCIA DEL ENSAYO			
			
OBSERVACIÓN			
<ul style="list-style-type: none"> • La probeta se obtiene con material de aporte ER 312. • Maquinada en fresa 			
EVALUACIÓN ENSAYO DE DUREZA			
RESULTADOS			

Nº	Distancia desde el centro del cordón (mm)	Diámetro de huella	Dureza (HB)	Grafico
1	0	0.985	236.10	<p>ENSAYO DE DUREZA CON MATERIAL DE APOORTE ER 312 EN ACERO INOXIDABLE AISI 420</p>
2	2	0.965	246.43	
3	4	0.975	241.19	
4	6	0.85	320.58	
5	8	1.03	215.03	
6	10	1.05	206.52	
7	12	1.045	208.60	
8	15	1.045	208.60	
PROMEDIO			235.38	
INTERPRETACION DE RESULTADOS				
La dureza para una probeta con material de aporte ER 312 se obtuvo una dureza de máxima de 320.58 HB y una dureza mínima de 208.60 HB en el acero inoxidable martensítico AISI 420.				
Autor: Rafael Ushiña				

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO			
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		
CARRERA DE INGENIERÍA DE MECÁNICA			
DATOS INFORMATIVOS			
Autorizado por :	Ing. Patín Gustavo	Realizado por :	Rafael Ushiña
Ubicación	ESPOCH	Fecha ejecución	04-04-2018
Laboratorio	ESPOCH - FACULTAD DE MECÁNICA	Probeta Nº	PE 2B
ESPECIFICACIONES DEL ESPÉCIMEN			
Material Base	Acero inoxidable	Tipo	AISI 420
Dimensiones	55*15*10 (mm)	Material de aporte	ER 312
Diámetro identador	2.5 mm	Gas de protección	99.8% Argón
Junta	Tope en V	Proceso de soldadura	GTAW
PARÁMETROS DE ENSAYO			
Código aplicado	AWS D1.6/D1.6M:2007	Equipo	Durómetro

Código de referencia	ASTM E-18	Tiempo de ensayo	5 min
----------------------	-----------	------------------	-------

GRÁFICO DE REFERENCIA DEL ENSAYO



OBSERVACIÓN

- La probeta se obtiene con material de aporte ER 312.
- Maquinada en fresa

EVALUACIÓN ENSAYO DE DUREZA

RESULTADOS


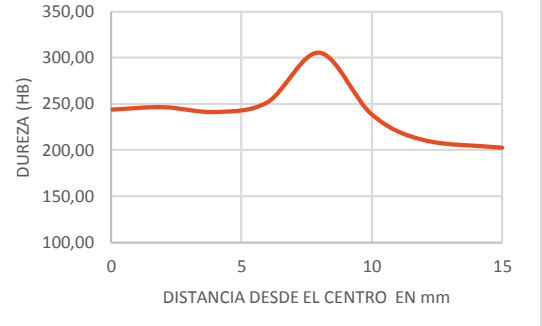
Nº	Distancia desde el centro de cordón (mm)	Diámetro de huella	Dureza (HB)	Gráfico
1	0	0.985	236.11	<p>ENSAYO DE DUREZA CON MATERIAL DE APORTE ER 312 EN ACERO INOXIDABLE AISI 420</p> <p>DUREZA (HB)</p> <p>DISTANCIA DESDE EL CENTRO EN mm</p>
2	2	0.098	238.63	
3	4	0.985	236.11	
4	6	0.965	246.43	
5	8	0.92	272.16	
6	10	1.02	219.48	
7	12	1.02	219.48	
8	15	1.03	215.04	
PROMEDIO			235.43	

INTERPRETACION DE RESULTADOS

La dureza para una probeta con material de aporte ER 312 se obtuvo una dureza de máxima de 272.16 HB y una dureza mínima de 215.04 HB en el acero inoxidable martensítico AISI 420.

Autor: Rafael Ushiña

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA DE MECÁNICA		
	DATOS INFORMATIVOS		
Autorizado por :	Ing. Patín Gustavo	Realizado por :	Rafael Ushiña

Ubicación	ESPOCH	Fecha ejecución	04-04-2018	
Laboratorio	ESPOCH - FACULTAD DE MECÁNICA	Probeta N°	PE 3B	
ESPECIFICACIONES DEL ESPÉCIMEN				
Material Base	Acero inoxidable	Tipo	AISI 420	
Dimensiones	55*15*10 (mm)	Material de aporte	ER 312	
Diámetro identador	2.5 mm	Gas de protección	99.8% Argón	
Junta	Tope en V	Proceso de soldadura	GTAW	
PARÁMETROS DE ENSAYO				
Código aplicado	AWS D1.6/D1.6M:2007	Equipo	Durómetro	
Código de referencia	ASTM E-18	Tiempo de ensayo	5 min	
GRÁFICO DE REFERENCIA DEL ENSAYO				
				
OBSERVACIÓN				
<ul style="list-style-type: none"> • La probeta se obtiene con material de aporte ER 312. • Maquinada en fresa 				
EVALUACIÓN ENSAYO DE DUREZA				
RESULTADOS				
N°	Distancia desde el centro del cordón (mm)	Diámetro de huella	Dureza (HB)	Gráfico
1	0	0.97	243.79	<p style="text-align: center;">ENSAYO DE DUREZA CON MATERIAL DE APORTE ER 312 EN ACERO INOXIDABLE AISI 420</p> 
2	2	0.965	246.43	
3	4	0.975	241.19	
4	6	0.955	251.84	
5	8	0.87	305.55	
6	10	0.98	238.63	
7	12	1.04	210.72	
8	15	1.06	202.45	
PROMEDIO			242.57	
INTERPRETACION DE RESULTADOS				
<p>La dureza para una probeta con material de aporte ER 312 se obtuvo una dureza de máxima de 305.55 HB y una dureza mínima de 202.45 HB en el acero inoxidable martensítico AISI 420.</p>				
Autor: Rafael Ushiña				

4.3 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.3.1 INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS A TRACCIÓN

Tabla 4-1. Datos obtenidos de los ensayos de tracción en acero inoxidable martensítico AISI 420 sin material de aporte.

Fuente: El autor

SIN MATERIAL DE APORTE			
	Sut (Kg/mm ²)	Sy (Kg/mm ²)	% EL
PE1	70,75	47,00	28%
PE2	70,14	46,60	26%
PE3	69,04	45,60	25%
PROMEDIO	69,97	46,40	26%

Tabla 4-2. Datos obtenidos de los ensayos de tracción en acero inoxidable martensítico AISI 420 con material de aporte ER 312.

Fuente: El autor

MATERIAL DE APORTE ER 308 L (A)			
	Sut (Kg/mm ²)	Sy (Kg/mm ²)	% EL
PE 1A	57,67	41,00	2%
PE 2A	61,46	44,00	5%
PE 3A	62,38	45,00	4%
PE 4A	67,54	48,00	7%
PE 5A	56,73	42,58	4%
PROMEDIO	62,22	45,19	5%

Tabla 4-3. Datos obtenidos de los ensayos de tracción en acero inoxidable martensítico AISI 420 con material de aporte ER 308L.

Fuente: El autor

MATERIAL DE APORTE ER 312 (B)			
	Sut (Kg/mm ²)	Sy (Kg/mm ²)	% EL
PE 1B	49,24	42,50	3%
PE 2B	49,16	44,00	3%
PE 3B	46,76	43,00	4%
PE 4B	51,07	46,00	2%
PE 5B	49,46	45,00	3%
PROMEDIO	49,10	44,67	3%

A continuación se comparan los resultados de ensayos a tracción con la variación de material de aporte en los procesos de soldadura del acero inoxidable martensítico AISI 420 con los resultados de las probeta ensayadas sin ningún procedimiento de soldadura.

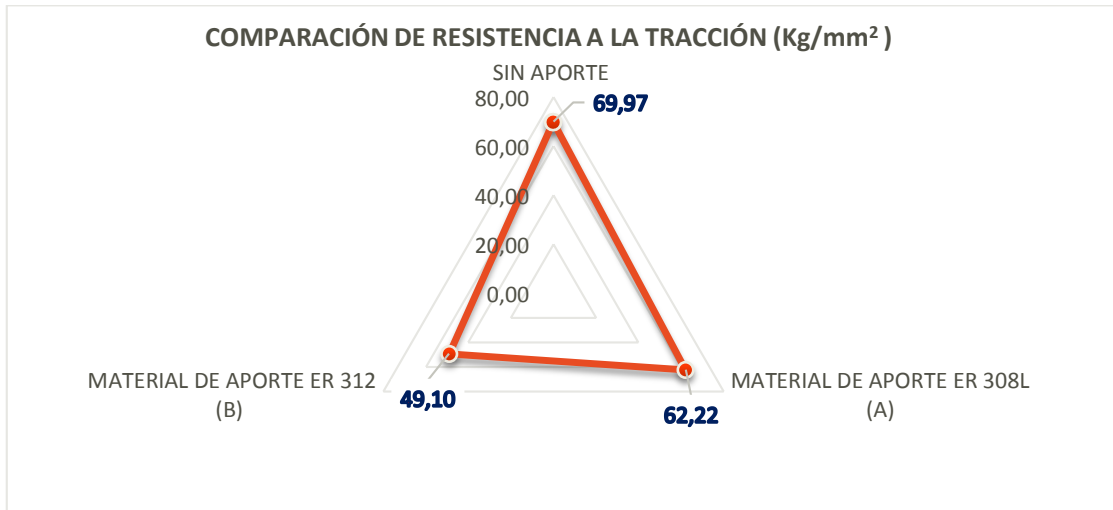


Figura 4-1. Comparación de resistencia a la tracción (S_{ut}), en un proceso de soldadura GTAW con variación de material de aporte.
Fuente: El autor

En la figura 4-1 se puede observar los valores obtenidos en los ensayos de tracción con variación de material de aporte en acero inoxidable martensítico AISI 420, los cuales determinan que la varilla de aporte ER 308L presenta un valor promedio de resistencia a la tracción de 62,22 kg/mm² y las probetas soldadas con varilla de aporte ER 312 presenta un valor de 49,10 kg/mm² cuyos valores se aproxima al de las probetas que no tiene ningún proceso de soldadura con un valor promedio de 69,97 kg/mm².

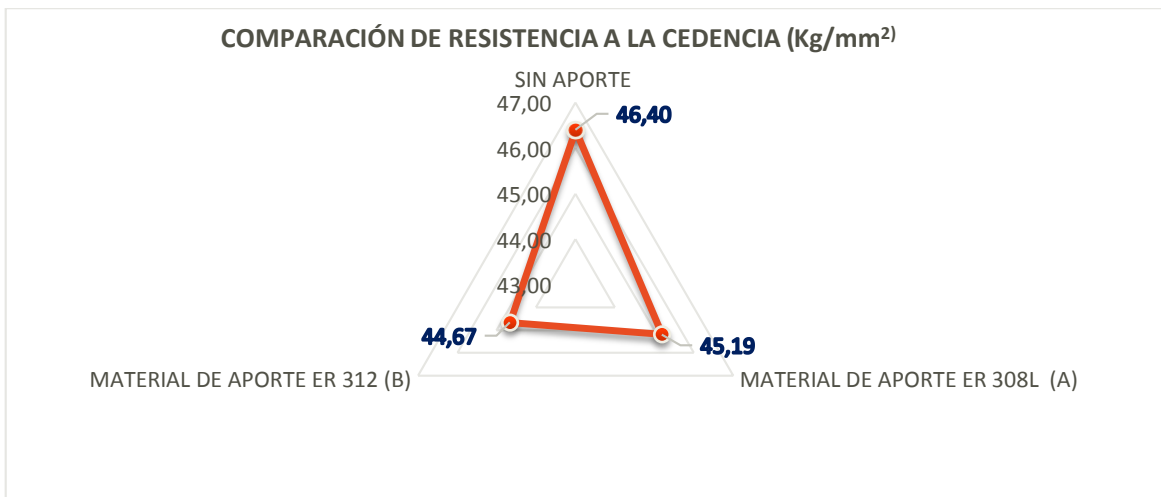


Figura 4-2. Comparación de resistencia a la cedencia (S_y), en un proceso de soldadura GTAW con variación de material de aporte.
Fuente: El autor

En la figura 4-2 se puede observar los valores promedios obtenidos de resistencia a la cedencia en las probetas ensayadas con variación de material de aporte en acero inoxidable martensítico AISI 420, los cuales determinan que la varilla de aporte ER 308L presenta un valor promedio de resistencia a la cedencia de 45,19 kg/mm² y las probetas soldadas con varilla de aporte ER 312 presenta un valor de 44,67 kg/mm² cuyos valores se aproxima al de las probetas que no tienen ningún proceso de soldadura con un valor promedio de 46,40 kg/mm²

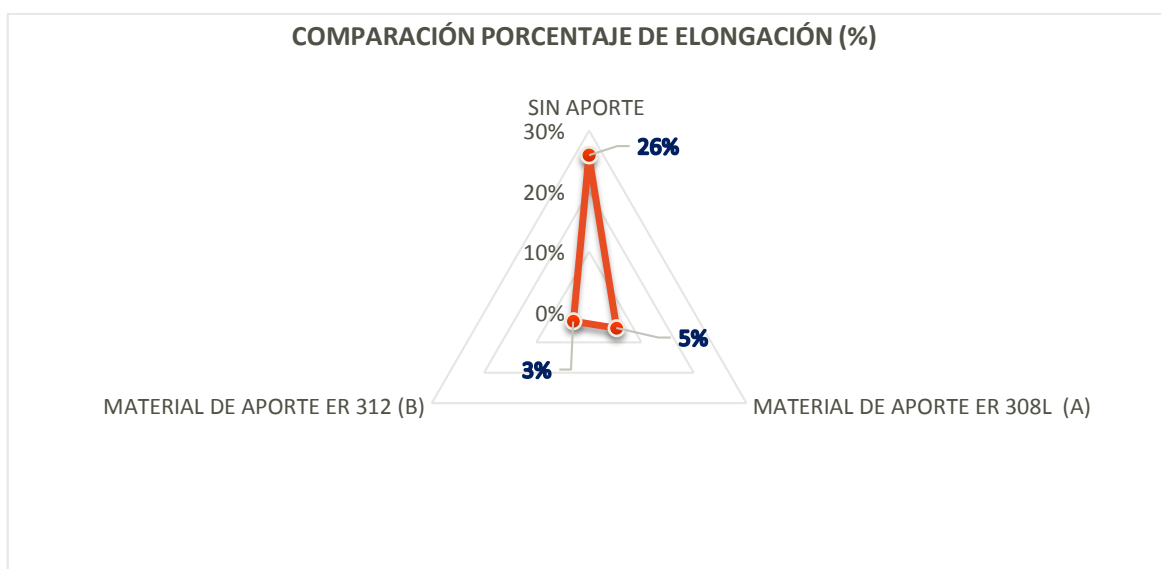


Figura 4-3. Comparación de % de elongación, en un proceso de soldadura GTAW con variación de material de aporte.

Fuente: El autor

En la figura 4-3 se puede observar los valores promedios obtenidos del porcentaje de elongación en las probetas ensayadas con variación de material de aporte en acero inoxidable martensítico AISI 420, los cuales determinan que la varilla de aporte ER 308L presenta un valor promedio de porcentaje de elongación del 5% y las probetas soldadas con varilla de aporte ER 312 presenta un valor promedio de porcentaje de elongación de 3 % cuyos valores se aproxima al de las probetas que no tienen ningún proceso de soldadura con un valor promedio de 26 %.

4.3.2 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE DUREZA

Para los ensayos de dureza se tomó datos desde el centro del cordón como inicio de la toma de datos en donde se registró los mayores valores a una distancia de 6 mm lugar

donde el metal base se fusiona con el material de aporte es decir en la zona afectada por el calor, los menores se obtuvieron a una distancia de 2 mm y tiende a estabilizarse a partir de los valores 8, 10, 12, 15 respectivamente.

Tabla 4-4. Datos obtenidos en los ensayos dureza en acero inoxidable martensítico AISI 420 en juntas soldadas con variación de material de aporte.

Fuente: El autor

	DUREZA HB		
	2mm	6 mm	8 mm
	HB	HB	HB
SIN MATERIAL DE APORTE	231,17	229,61	234,45
SOLDADURA CON VARILLA DE APORTE ER 312	243,83	299,43	221,54
SOLDADURA CON VARILLA DE APORTE ER 308 L	225,14	307,52	222,111

A continuación se comparan los resultados de ensayos de dureza con la variación de material de aporte en los procesos de soldadura del acero inoxidable martensítico AISI 420; con los resultados de las probetas ensayadas sin ningún procedimiento de soldadura para las diferentes distancia desde el centro de la soldadura.

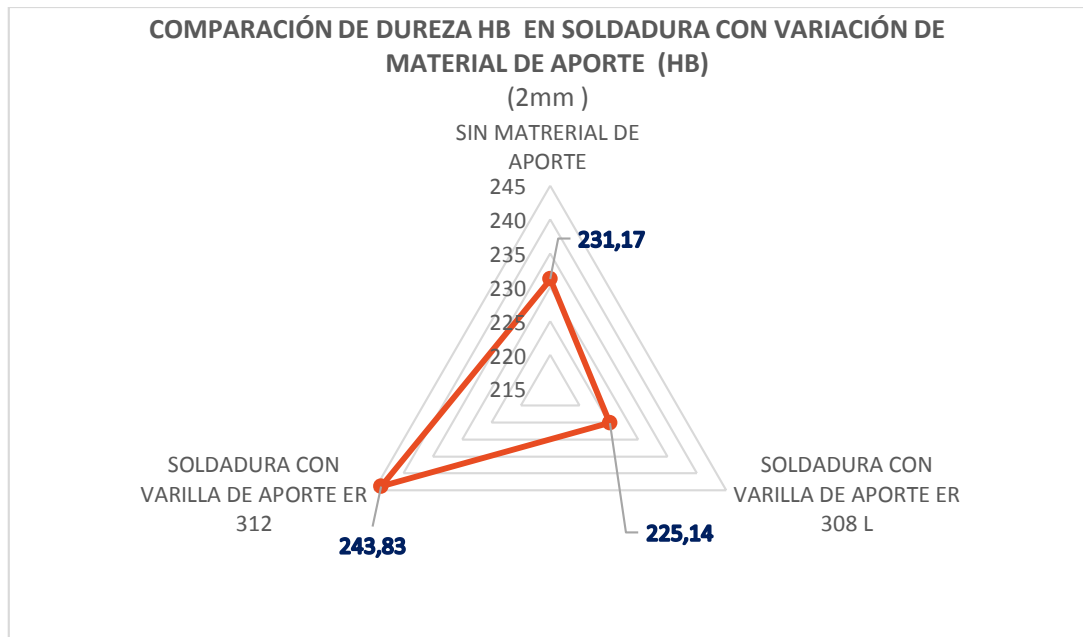


Figura 4-4. Comparación de dureza HB, en un proceso de soldadura GTAW con variación de material de aporte a 2 mm del centro del cordón.

Fuente: El autor

En la figura 4-4 se puede observar que la soldadura del acero inoxidable AISI 420 con material de aporte ER 312 a una distancia de 2mm del centro del cordón de soldadura tiene un valor de 243,83 HB el cual es superior al de las probetas sin material de aporte cuyo valor es 231,17 HB y para una probeta con material de aporte ER 308L tiene un valor de 225,14 HB el cual es inferior al de las probetas sin material de aporte así como también a las probetas con material de aporte ER 308L respectivamente.

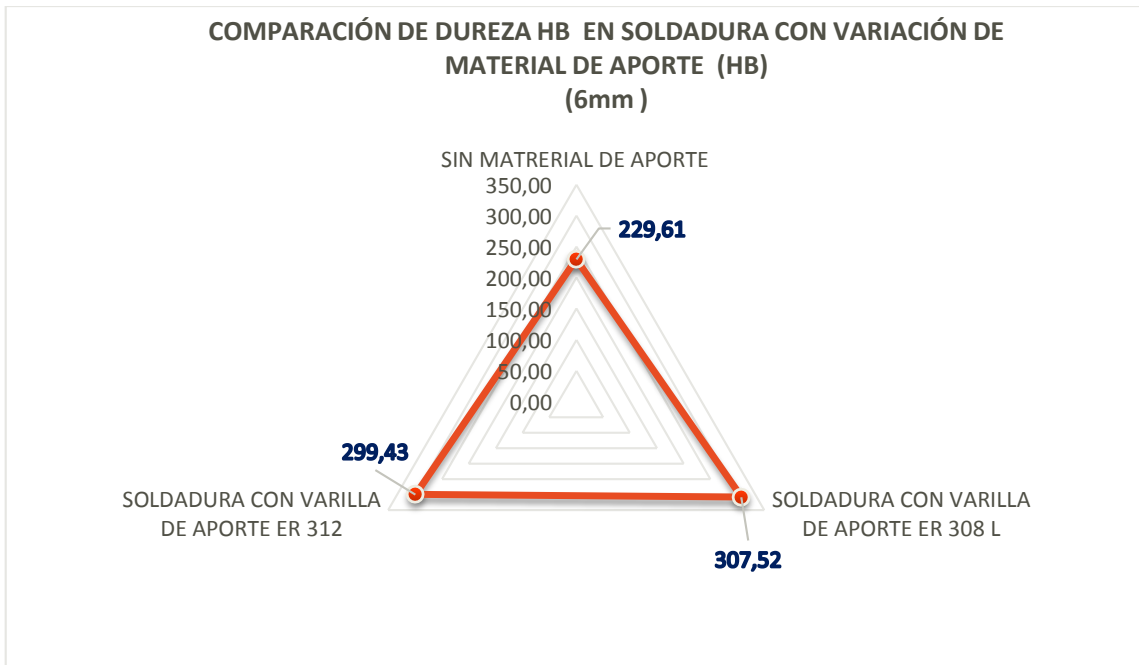


Figura 4-5. Comparación de dureza HB, en un proceso de soldadura GTAW con variación de material de aporte a 6 mm del centro del cordón.
Fuente: El autor

En la figura 4-5 se puede observar que la soldadura del acero inoxidable AISI 420 con material de aporte ER 308L a una distancia de 6mm del centro del cordón de soldadura tiene un valor de 307,52 HB el cual es superior al de las probetas sin material de aporte cuyo valor es 229,61 HB y para las probetas con material de aporte ER 312 tiene un valor de 299,43 HB el cual es superior al de las probetas sin material de aporte pero inferior a las probetas con material de aporte ER308L.

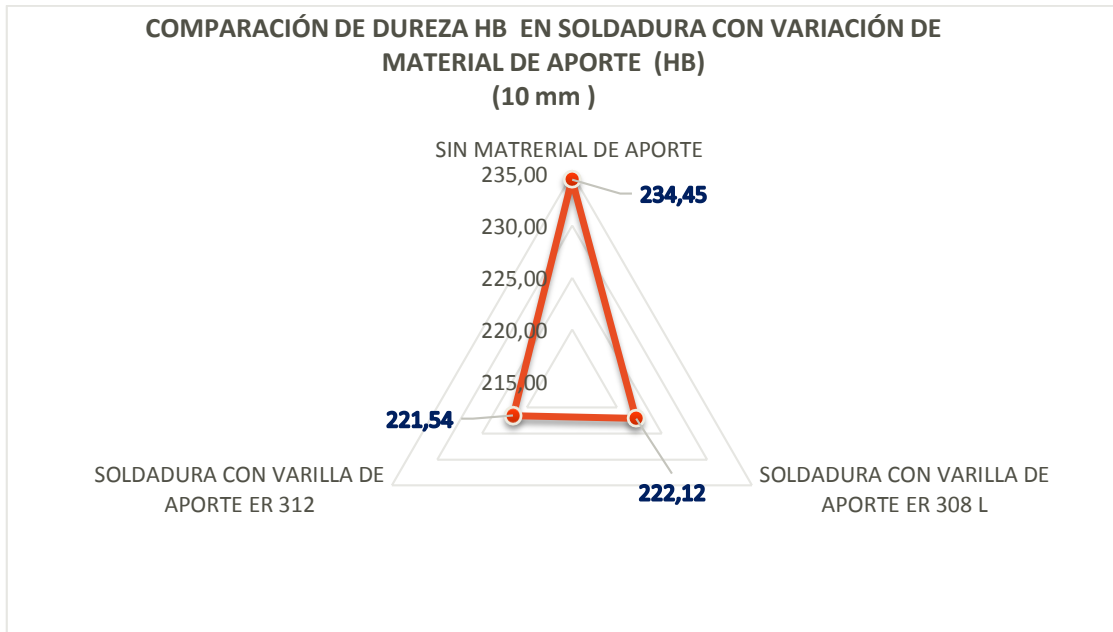


Figura 4-6. Comparación de dureza HB, en un proceso de soldadura GTAW con variación de material de aporte a 10 mm del centro del cordón.

Fuente: El autor

En la figura 4-6 se puede observar que la soldadura del acero inoxidable AISI 420 con material de aporte ER 308L y ER 312 a una distancia de 10 mm del centro del cordón de soldadura tiene un valor de 222,12 HB, 221,54 HB respectivamente tienen valores menores a los de las probetas sin material de aporte cuyo valor es 234,44 HB.

4.3.3 INTERPRETACIÓN DE LOS ENSAYOS DE IMPACTO

Tabla 4-5. Datos obtenidos en los ensayos de impacto en acero inoxidable AISI 420.

Fuente: El autor

	PROMEDIO ENERGÍA DE IMPACTO (Joules)
SIN MATERIAL DE APORTE	5,6
SOLDADURA CON VARILLA DE APORTE ER 312	15,6
SOLDADURA CON VARILLA DE APORTE ER 308 L	29,2

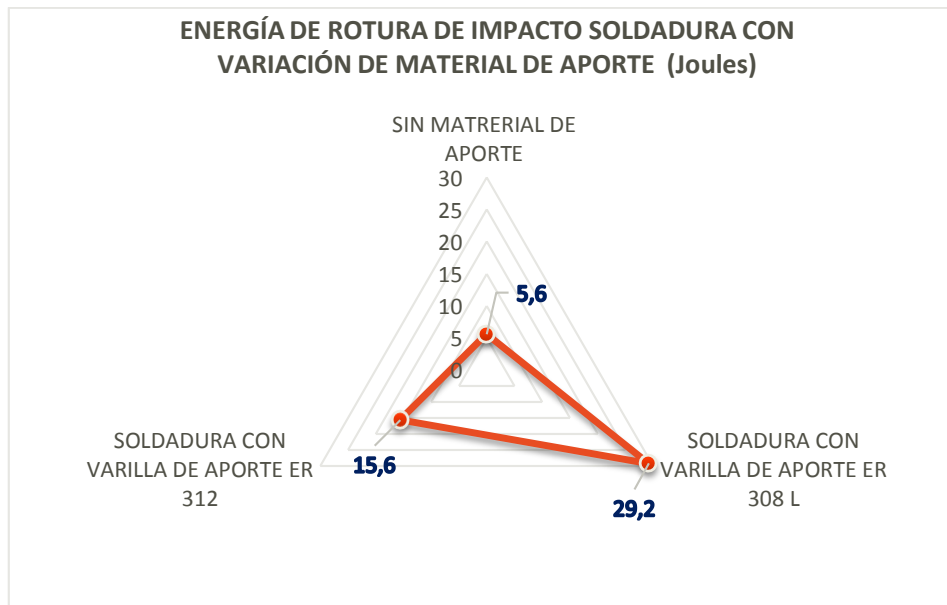


Figura 4-7. Comparación de energía de rotura, en un proceso de soldadura GTAW con variación de material de aporte.

Fuente: El autor

La figura 4-7 indica la energía de rotura de impacto de la soldadura del acero inoxidable martensítico AISI 420 con variación de material de aporte existe un incremento en la energía tanto para el material de aporte ER 312 como para el material de aporte ER 308L cuyos valores promedios son 15,6 Joules y 29,2 Joules respectivamente cuyos valores promedios son mayores para los registrados por las probetas ensayas sin material cuyo valor es de 5 Joules.

4.3.4 INTERPRETACIÓN DEL RESULTADO DE ENSAYO DE DOBLEZ GUIADO

Los resultados de las probetas ensayadas se obtuvieron mediante inspección visual de la superficie con la finalidad de determinar discontinuidades, el grado de rigidez y ductilidad de la junta de penetración completa. Cada probeta debe cumplir con los requerimientos de la norma AWS D1.6.

Tabla 4-6. Resultados del ensayo del doblado guiado de probetas de acero inoxidable martensítico AISI 420.

Fuente: El autor

IDENTIFICACIÓN	ACEPTACIÓN
PE1	100%
PE2	100%
PE3	100%
PE1A	100%
PE2A	100%
PE3A	100 %
PE1B	100%
PE2B	80%
PE3B	50%

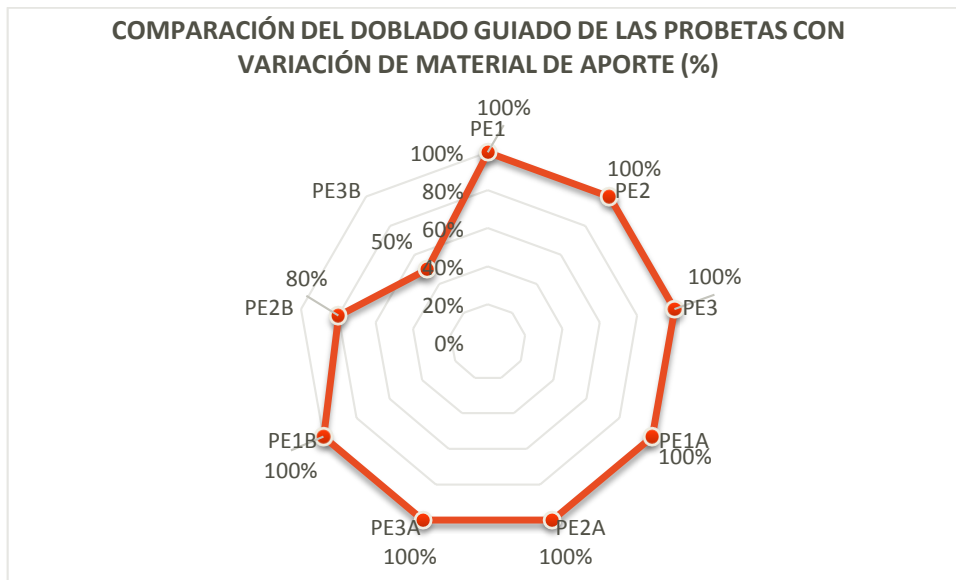


Figura 4-8. Comparación del doblado guiado, en un proceso de soldadura GTAW con variación de material de aporte.

Fuente: El autor

En la figura 4-8 se puede observar que la probeta PE 3B con material de aporte ER 312 presenta una fisura a lo largo del cordón en la ZAC de longitud 3,2 mm por lo cual cumple con la norma de aceptación según la AWS D 1,6, mientras que la probeta PE 2B presenta descascaramiento en el centro por lo cual si cumple con la norma ya que no existe fisuras a una inspección visual.

4.4 VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS

Al finalizar los ensayos de tracción, impacto, dureza y doblado guiado en el acero inoxidable martensítico AISI 420 cuyas probetas fueron ensayadas para material base sin material de aporte y con material de aporte ER 312, ER 308L, basándonos en normas y fuentes bibliográficas se puede hacer una verificación de la hipótesis.

Procedemos a evaluar la hipótesis estadísticamente tomando en cuenta la tabla que refleja los datos obtenidos en los ensayos realizados.

Tabla 4-7. Datos obtenidos de los ensayos de tracción en acero inoxidable martensítico AISI 420 (datos obtenidos).

Fuente: El autor

SOLDADURA CON MATERIAL DE APOORTE ER 308L (A)			
	Sut (Kg/mm²)	Sy (Kg/mm²)	Elongación %
PE 1A	57,67	41,00	2%
PE 2A	61,46	44,00	5%
PE 3A	62,38	45,00	4%
PE 4A	67,54	48,00	7%
PE 5A	56,73	42,58	4%
PROMEDIO	62,22	45,19	5%
SOLDADURA CON MATERIAL DE APOORTE ER 312 (B)			
	Sut (Kg/mm²)	Sy (Kg/mm²)	Elongación %
PE 1B	49,24	42,50	3%
PE 2B	49,16	44,00	3%
PE 3B	46,76	43,00	4%
PE 4B	51,07	46,00	2%
PE 5B	49,46	45,00	3%
PROMEDIO	49,10	44,67	3%

Tabla 4-8. Datos obtenidos de los ensayos de dureza en acero inoxidable martensítico AISI 420 (datos obtenidos).

Fuente: El autor

	ENSAYO DUREZA (HB)		
	SOLDADURA CON VARILLA DE APORTE ER 312	235,85	235,42
SOLDADURA CON VARILLA DE APORTE ER 308 L	229,42	232,88	234,82

Tabla 4-9. Datos obtenidos de los ensayos de impacto en acero inoxidable martensítico AISI 420 (datos obtenidos).

Fuente: El autor

	PROMEDIO ENERGÍA DE IMPACTO (J)				
	SOLDADURA CON VARILLA DE APORTE ER 312	16	15	15	17
SOLDADURA CON VARILLA DE APORTE ER 308 L	26	31	30	29	30

4.4.1 FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS

H₀ (hipótesis nula): con el análisis de variación de material de aporte en un proceso de soldadura GTAW en el acero inoxidable martensítico AISI 420 mejorará las propiedades mecánicas.

H₁ (hipótesis alternativa): con el análisis de variación de material de aporte en un proceso de soldadura GTAW en el acero inoxidable martensítico AISI 420 no mejorará las propiedades mecánicas.

Calculo de la frecuencia esperada o teórica

Tabla 4-10. Determinación de las frecuencias observadas.

Fuente: El autor

PROBETAS	Sut (Kg/mm ²)			
	SIN APORTE	ER 308L	ER 312	TOTAL
1	70,75	57,67	49,24	177,66
2	70,14	61,46	49,16	180,75
3	69,04	62,38	46,76	178,17
TOTAL	209,92	181,50	145,15	536,58

Se determina las frecuencias teóricas

$$FE = \frac{209,92 \times 177,66}{536,58} \quad FE = \frac{209,92 \times 180,75}{536,58} \quad FE = \frac{209,92 \times 178,17}{536,58}$$

El procedimiento anterior se emplea para las siguientes filas y columnas.

Tabla 4-11. Frecuencia teórica.

Fuente: El autor

FRECUENCIA TEÓRICA			
1	69,50	60,09	48,06
2	70,71	61,14	48,90
3	69,71	60,27	48,20

Calculo del grado de libertad

Se determina el GDL restando el número de filas menos uno y multiplicándole por el número de columnas menos 1.

$$GDL = (\# \text{ de filas} - 1) * (\# \text{ de columnas} - 1)$$

$$GDL = (3 - 1) * (3 - 1)$$

$$GDL = 4$$

Calculo de chi cuadrado

Se utiliza la siguiente formula

$$X^2 = \sum \frac{(f_o - f_t)^2}{f_t}$$

$$X^2 = \frac{(70,75 - 69,50)^2}{69,50} + \frac{(70,14 - 70,71)^2}{70,71} + \frac{(69,04 - 69,71)^2}{69,71} + \frac{(57,67 - 60,09)^2}{60,09} \\ + \frac{(61,46 - 61,14)^2}{61,14} + \frac{(62,38 - 60,2)^2}{60,27} + \frac{(49,24 - 48,06)^2}{48,06} \\ + \frac{(49,16 - 48,90)^2}{48,90} + \frac{(46,76 - 48,20)^2}{48,20}$$

$$X^2 = 0,281$$

Finalmente de determina en la tabla de distribución χ^2 de Pearson y determinar el valor para GDL= 4 y para un nivel de significación de $\alpha = 0,05$.

Tabla 4-12. Distribución χ^2 Pearson

g.l.	$\chi^2_{0.995}$	$\chi^2_{0.990}$	$\chi^2_{0.975}$	$\chi^2_{0.95}$	$\chi^2_{0.9}$	$\chi^2_{0.1}$	$\chi^2_{0.05}$	$\chi^2_{0.025}$	$\chi^2_{0.01}$	$\chi^2_{0.005}$
1	3.9E-05	0.0002	0.0010	0.0039	0.0158	2.7055	3.8415	5.0239	6.6349	7.8794
2	0.0100	0.0201	0.0506	0.1026	0.2107	4.6052	5.9915	7.3778	9.2103	10.5966
3	0.0717	0.1148	0.2158	0.3518	0.5844	6.2514	7.8147	9.3484	11.3449	12.8382
4	0.2070	0.2971	0.4844	0.7107	1.0636	7.7794	9.4877	11.1433	13.2767	14.8603
5	0.4117	0.5543	0.8312	1.1455	1.6103	9.2364	11.0705	12.8325	15.0863	16.7496
6	0.6757	0.8721	1.2373	1.6354	2.2041	10.6446	12.5916	14.4494	16.8119	18.5476
7	0.9893	1.2390	1.6899	2.1673	2.8331	12.0170	14.0671	16.0128	18.4753	20.2777
8	1.3444	1.6465	2.1797	2.7326	3.4895	13.3616	15.5073	17.5345	20.0902	21.9550
9	1.7349	2.0879	2.7004	3.3251	4.1682	14.6837	16.9190	19.0228	21.6660	23.5894
10	2.1559	2.5582	3.2470	3.9403	4.8652	15.9872	18.3070	20.4832	23.2093	25.1882
11	2.6032	3.0535	3.8157	4.5748	5.5778	17.2750	19.6751	21.9200	24.7250	26.7568
12	3.0738	3.5706	4.4038	5.2260	6.3038	18.5493	21.0261	23.3367	26.2170	28.2995
13	3.5650	4.1069	5.0088	5.8919	7.0415	19.8119	22.3620	24.7356	27.6882	29.8195
14	4.0747	4.6604	5.6287	6.5706	7.7895	21.0641	23.6848	26.1189	29.1412	31.3193
15	4.6009	5.2293	6.2621	7.2609	8.5468	22.3071	24.9958	27.4884	30.5779	32.8013
16	5.1422	5.8122	6.9077	7.9616	9.3122	23.5418	26.2962	28.8454	31.9999	34.2672
17	5.6972	6.4078	7.5642	8.6718	10.0852	24.7690	27.5871	30.1910	33.4087	35.7185
18	6.2648	7.0149	8.2307	9.3905	10.8649	25.9894	28.8693	31.5264	34.8053	37.1565
19	6.8440	7.6327	8.9065	10.1170	11.6509	27.2036	30.1435	32.8523	36.1909	38.5823
20	7.4338	8.2604	9.5908	10.8508	12.4426	28.4120	31.4104	34.1696	37.5662	39.9968

Para los valores antes mencionados nos da un valor de $\chi^2 = 9,488$

Si χ^2 calculado es $>$ que el χ^2 de la tabla se rechaza la hipótesis nula.

Si χ^2 calculado es $<$ que el χ^2 de la tabla se rechaza la hipótesis alternativa.

En este caso el valor de χ^2 calculado nos dio un valor de 0,281 es menor que el calculado en las tablas de distribución de Chi cuadrado cuyo valor es de 9,488 entonces se rechaza la hipótesis alternativa.

Entonces podemos decir que con el análisis de variación de material de aporte en un proceso de soldadura GTAW en el acero inoxidable martensítico AISI 420 mejorará las propiedades mecánicas.

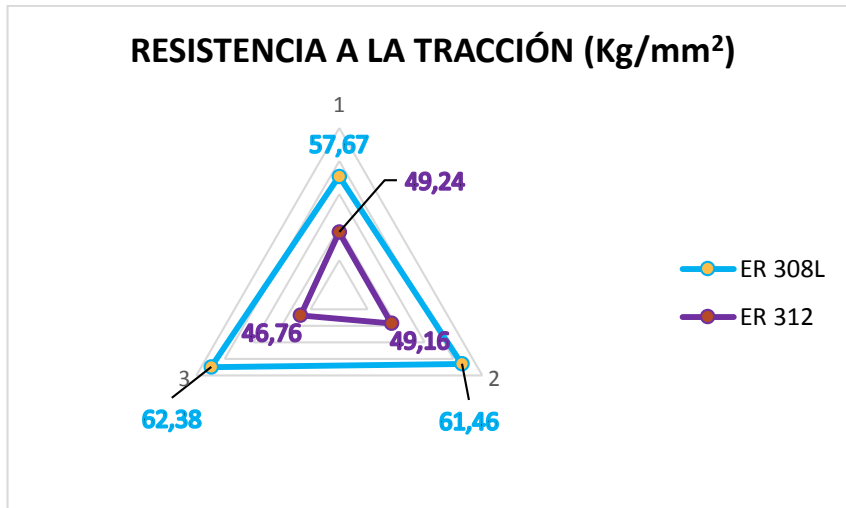


Figura 4-9. Relación de la resistencia a la tracción.
Fuente: El autor

En la figura 4-9 se puede observar que el material de aporte ER 308L soporta una mayor resistencia a la tracción debido a que en sus propiedades mecánicas presenta una mayor resistencia a la tracción ya que contienen un menor porcentaje de carbono.

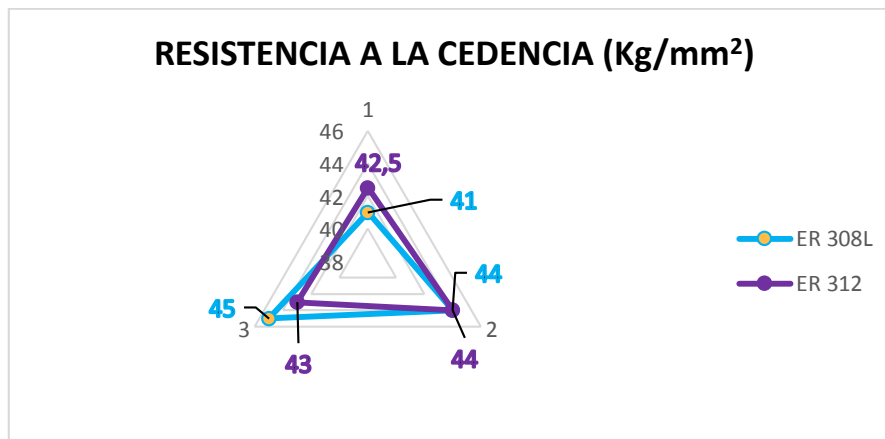


Figura 4-10. Relación de la resistencia a la cedencia.
Fuente: El autor

La resistencia a la cedencia más elevada se encuentra en las probetas soldadas con material de aporte ER 308L como se puede observar en la figura 4-10.

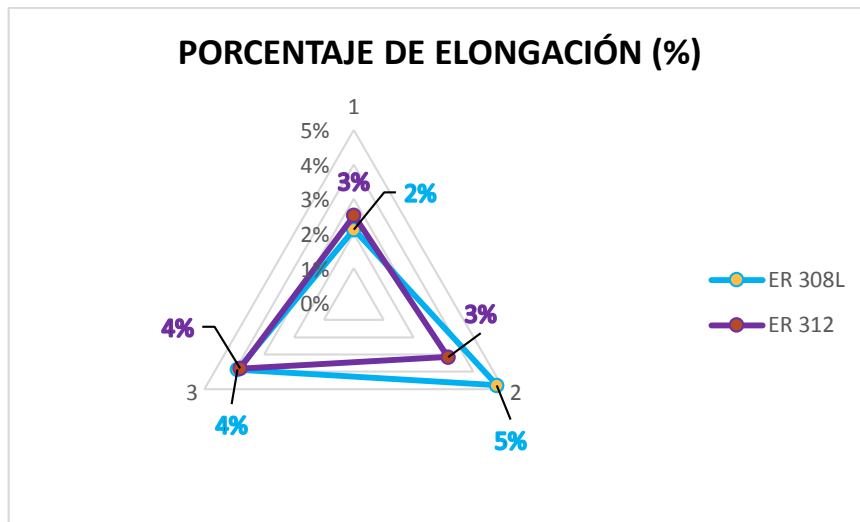


Figura 4-11. Relación de elongación.
Fuente: El autor

El porcentaje de elongación en las probetas soldadas con ER 308L presenta un mínimo porcentaje de elongación en comparación con el material de aporte ER 312 como se puede observar en la figura 4-11.

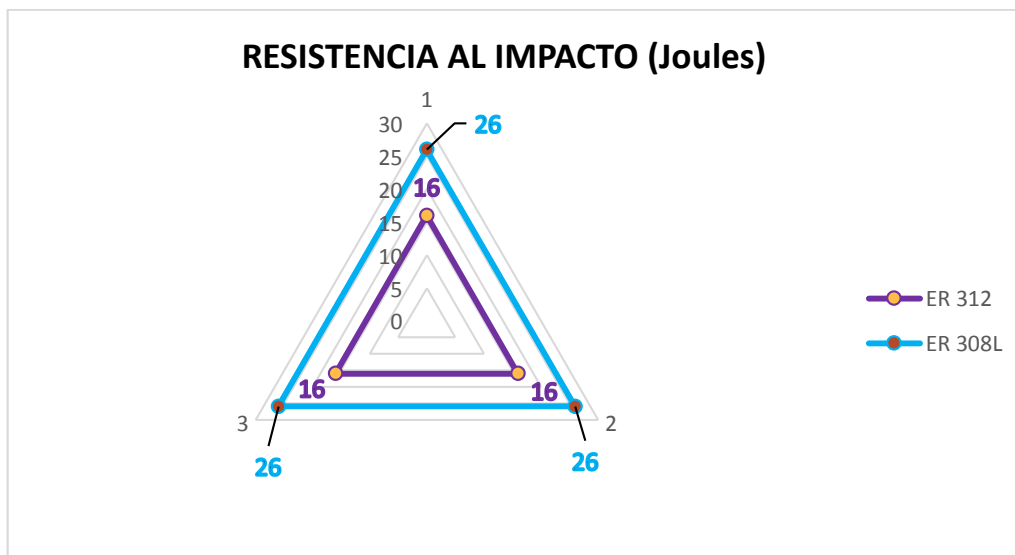


Figura 4-12. Relación de la resistencia al impacto.
Fuente: El autor

Los valores obtenidos mediante el ensayo Charpy determino que el material de aporte ER 308L tiene una mayor resistencia a la energía de impacto debido a su bajo contenido de carbono en comparación con el material de aporte ER 312 como se puede observar en la figura 4-12.

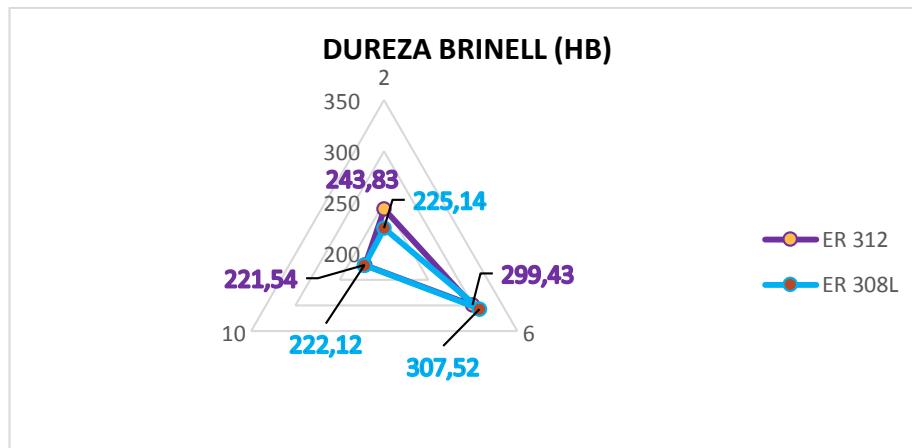


Figura 4-13. Relación de dureza (HB).
Fuente: El autor

En la figura 4-13 se puede observar que los valores altos de dureza se presentan a una distancia de 6 mm desde el centro de cordón de soldadura y a partir de una distancia de 8 mm tiende a estabilizarse, para este tipo de análisis se determina que el material de aporte ER 308L genera una mayor dureza en la Zona Afectada por el Calor (ZAC).

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

Una vez terminado todos los ensayos en el análisis de material de aporte en el proceso de soldadura GTAW aplicado en el acero inoxidable martensítico AISI 420 y su influencia en las propiedades mecánicas podemos concluir con los siguientes aspectos más relevantes:

- Se determinó que en un proceso de soldadura GTAW con variación de material de aporte ER 308L los resultados presentan un mejor comportamiento de las propiedades debido a su composición Austenítico + Ferrítico + Martensítico cuya composición química fue determinada mediante la figura 2-14 en el diagrama de SHAFFLER.
- En el proceso de soldadura GTAW aplicado en el acero inoxidable martensítico AISI 420 se incrementa la dureza en el punto de fusión del material base con el material de aporte (ZAC) dando como resultado que no exista riesgo alguno de romperse en el cordón de soldadura.
- Los mayores valores de dureza en todas las probetas ensayadas se presenta a una distancia de 6 mm medidas desde el centro del cordón de soldadura, los valores mínimos se producen a una distancia de 2 mm y a partir de una distancia de 8 mm hasta una distancia de 15 mm la dureza tiende a estabilizarse.
- Se determinó que las probetas soldadas mediante el proceso GTAW con material de aporte ER 308L tuvieron una mayor resistencia a la tracción, debido a que este material de aporte contiene más bajo contenido de carbono en comparación al material de aporte ER 312 ya que a menor porcentaje de carbono mayor será la resistencia a la tracción.
- La zona afectada por el calor ZAC influye de manera directa en las propiedades mecánicas, ya que si la zona afectada por el calor es de menor longitud proporciona mejores propiedades a la junta soldada.
- En el análisis del ensayo de doblez guiado se concluye, el material de aporte ER 312 debido a que no presenta una composición química similar al material base genera una mayor probabilidad de que existan grietas e incluso rotura de las probetas en el cordón de soldadura.

- Mediante el ensayo Charpy se determinó que las probetas soldadas con el material de aporte ER 308L absorbe una mayor energía de impacto de rotura de 29,2 J generando una rotura completa en la muesca.
- El proceso de soldadura adecuado para la unión de este tipo de aceros inoxidable es el proceso GTAW debido a que este presenta una baja contaminación al momento de realizar el proceso de soldadura.
- Los parámetros de soldadura en el proceso de soldadura GTAW se ven influenciados con el diseño de la junta, espesor del material de aporte, posición y el gas de protección ya que este genera una gran tolerancia en las uniones soldadas al momento de realizar el maquinado de las mismas.

5.2 RECOMENDACIONES

- Debido a la presencia del oxígeno en el ambiente el pase de raíz puede presentar contaminación si no se tiene las debidas precauciones por lo cual se recomienda realizar una cámara cerrada la que permita menorar el flujo de oxigeno hacia las placas a soldar.
- Para evitar la formación de estructuras frágiles se recomienda realizar un precalentamiento adecuado con la finalidad de evitar la presencia de carburos y puede quedar sensible a la corrosión intergranular.
- Para realizar los cortes de las placas se debe tomar muy en cuenta de no recalentar la superficie de las mismas debido a que estas pueden variar las propiedades mecánicas dando como resultado datos erróneos lo que no permitirá realizar de una manera correcta este tipo estudios.
- Para realizar el proceso de soldadura se debe tener en cuenta que la superficie debe estar completamente limpia asegurándonos de que no existan residuos de aceite, pintura u otras impurezas.
- Utilizar todos los equipos de protección personal debido a que el tipo de soldadura GTAW se trabaja a altas temperaturas y así también debido al gas de protección (Argón) genera dificultad al momento de respirar lo que genera molestias en la salud del soldador.
- Al realizar el ensayo de tracción verificar de una manera adecuada el ajuste del deformimetro, debido a que a medida que avanza el ensayo el elemento se va aflojando registrando mediadas erróneos y muchas veces puede llegar a soltarse de la probeta.
- Al momento de realizar el maquinado de las probetas se debe tener claro la velocidad de avance y corte, ya que si se utilizan velocidades altas pueden llegar a recalentar las probetas y por ende cambiar las propiedades de las probetas.
- Al realizar el ensayo de dureza se debe tener mucho cuidado al momento de medir la huella de indentación debido a que a veces se pueden tomar medidas erróneas generando datos equívocos.
- Realizar pruebas de macrografía, fatiga y soldabilidad con el objetivo de determinar la tenacidad y procedimiento adecuado para así complementar el estudio de las propiedades mecánicas de los aceros inoxidables martensíticos.

- Utilizar materiales de aporte con composición químicas similares a las del material base con la finalidad de que la composición química no varíe mucho al momento de terminar el proceso de unión de las placas se recomienda los materiales de aporte: ER 410, ER 420 para estudios posteriores.

BIBLIOGRAFÍA

- [1].W. F. Naula Sangucho, Análisis de variación de electrodos en un proceso de soldadura SMAW en acero inoxidable AISI 304 austenítico y su incidencia en las propiedades mecánicas, Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2014.
- [2].M. J. Bombón Sandoval, Análisis de la variación de velocidad de avance en la soldadura del acero inoxidable en la soldadura del acero inoxidable austenítico AISI 304 mediante el proceso GMAW y su incidencia en la defectología, Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2014.
- [3].J. J. Auz Mogrovejo, Estudio del tratamiento térmico post soldadura del acero inoxidable martensítico ASTM A743 grado CA6-NM y su incidencia en las propiedades mecánicas del material aplicado a la recuperación de rodets hidráulicos, Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2017.
- [4].C.F. Cañizares Silva, J.C. Quinchuela Paucar, Tecnologías para la recuperación por soldadura de alabes de turbinas hidráulicas construidas de acero inoxidable martensítico ASTM A743 CA-6NM (UNS J91540), Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, 2017.
- [5].J. C. Villavicencio Cevallos, Relación microestructura/propiedad en la soldadura GTAW entre aceros inoxidables y aceros al carbono, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, 2010.
- [6].B. J. Flores Rodríguez, Secuencia de procesamiento de aceros Inoxidables martensíticos, Universidad Autónoma de Nuevo León, San Nicolás de los Garza, 1996.
- [7].S. A. Leal. Alanís, Caracterización de aceros inoxidables y estudio de su resistencia mecánica y conformabilidad, Universidad Autónoma de Nuevo León, San Nicolás de los Garza, 2011.
- [8].W. F. Smith, Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales, Madrid: McGraw-Hill/Interamericana de España, S.S.U, 1998
- [9].M. del C . Cevallos. M. V. Cisneros, Estudio de soldabilidad de aceros inoxidables y aceros al carbono mediante el proceso GTAW, Escuela Superior Politecnica Nacional , Quito, 2013
- [10]. Facultad de Ingeniería –UNLP. Estructura y propiedades de las Aleaciones. Capítulo 4: Bainita.

- [11]. R. Ospina. H. Aguirre. H. Parra, Soldadura en aceros inoxidable y aceros disimiles, Scientia et Technica , vol. primero , n° 34, p. 274, 2007
- [12]. J. Rivera, Historia de los aceros inoxidable,» TEC de Teziutlan , Puebla, 2010.
- [13]. INDURA, Manual de aceros inoxidable, Indura S.A, Chile, 2010.
- [14]. M. Acuña. M. Lozada, Estudio de la soldabilidad del acero inoxidable martensitico AISI 420, Escuela Superior Politecnica Nacional , Quito , 2013.
- [15]. S. Almeida. C. Villena , Soldadura fuerte de acero inoxidable Austenitico, Escuela Superior Politecnica Nacional , Quito, 2009.
- [16]. J. Ramirez, El Acero, Universidad de Pamplona , Colombia , 2010.
- [17]. C. Maldonado. A. Sotomayor, Estudio de soldabilidad del acero resistente a alta temperatura AISI 314 mediante el proceso de soldadura GTAW, Escuela Superior Politecnica Nacional , Quito, 2013.
- [18]. S. Kalpajian. S. Schmid, Manufactura, Ingenieria y tecnologia, Mexico: Pearson Educacion de Mexico, S.A. de C.V., 2008.
- [19]. The lincoln Electric Company , The procedure Handbook of arc welding, Cleveland, Ohio 44117, 1973
- [20]. Calvo Sealing, Clasificaciomn aceros inoxidable, ICP, Barcelona , 2010.
- [21]. J. Lippold y D. Kotecki, Welding Metallurgy and Weldability of Stainless Steels, New Jersey : John Wiley &Sins, Inc., 2005
- [22]. G. Istrati, Manual de aceros inoxidable, Buenos Aires : Libreria y editorial ALSINA, 1961
- [23]. INDURA, Manual de sistemas y materiles de soldadua, Indura S.A, Chile , 2001
- [24]. SOLDEXA, Manual de soldadura y catalogo, OERLIKON, Galicia , 2011.
- [25]. WELDING JOURNAL, Clasificacion de electrodos para el proceso GTAW. Extraido del Welding Handbook, vol. tercero, novena edición, p. 40, 2008.
- [26]. R. Echevarria. . Defectologia, Universidad Nacional de COMAHUE , Neuquen, 2002.
- [27]. IBCA, Catalogo de productos, Ivan Bohman C.A, Ecuador , Tercera Edicion.
- [28]. AGA, Catalogo de electrod comunes y especiales & gases para corte y soldadura, Linde, USA , 1998.

ANEXOS

ANEXO A1. COMPOSICIÓN QUÍMICA STAVAX AISI 420

► Cód. IBCA: STAVAX ≅ AISI 420 ≅ W. Nr. 1.2083 ≅ UDDEHOLM STAVAX



Información general	Aplicaciones																														
<p>STAVAX es un acero inoxidable para utilajes, aleado al cromo, dotado de las siguientes propiedades:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Buena resistencia a la corrosión. • Buena pulibilidad. • Buena resistencia al desgaste. • Buena mecanibilidad. • Buena estabilidad en el temple. <p>Combinadas, estas propiedades reportan al acero unas excepcionales prestaciones en la producción. Los beneficios prácticos de una buena resistencia a la corrosión en un molde para plástico pueden resumirse como sigue:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Menor costo de mantenimiento del molde. Las superficies de las impresiones con cavidades mantienen su acabado original durante largos periodos de producción. Los moldes conservados o empleados en lugares húmedos no requieren protección especial. • Menor costo de producción. Debido a que los canales para el agua de refrigeración no pueden oxidarse (a diferencia de los aceros convencionales para moldes), las características de transferencia térmica y, por tanto, de eficacia en la refrigeración son constantes durante toda la vida de servicio del molde, lo cual garantiza unos ciclos de fabricación estables. <p>Estas cualidades, unidas a la alta resistencia al desgaste de STAVAX ofrecen al usuario del molde unos utilajes de larga duración que reportando una máxima rentabilidad.</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th style="background-color: #d9ead3;">Análisis típico %</th> <th style="background-color: #d9ead3;">C</th> <th style="background-color: #d9ead3;">Si</th> <th style="background-color: #d9ead3;">Mn</th> <th style="background-color: #d9ead3;">Cr</th> <th style="background-color: #d9ead3;">V</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="background-color: #d9ead3;"></td> <td>0,38</td> <td>0,9</td> <td>0,5</td> <td>13,6</td> <td>0,3</td> </tr> <tr> <td style="background-color: #d9ead3;">Normas equivalentes</td> <td colspan="5">(AISI 420) (W.-Nr. 1.2083)</td> </tr> <tr> <td style="background-color: #d9ead3;">Estado de suministros</td> <td colspan="5">Recocido blando hasta aprox. 190 Brinell</td> </tr> <tr> <td style="background-color: #d9ead3;">Código de color</td> <td colspan="5">Naranja / Negro</td> </tr> </tbody> </table>	Análisis típico %	C	Si	Mn	Cr	V		0,38	0,9	0,5	13,6	0,3	Normas equivalentes	(AISI 420) (W.-Nr. 1.2083)					Estado de suministros	Recocido blando hasta aprox. 190 Brinell					Código de color	Naranja / Negro					<p>Se recomienda para todo tipo de utilajes de moldeo, aunque sus propiedades especiales lo hacen particularmente adecuado para moldes que deban reunir los siguientes requisitos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Resistencia a la corrosión/manchas, es decir, para el moldeo de materiales corrosivos, por ejemplo PVC, acetatos, y para moldes expuestos a condiciones de trabajo/almacenamiento húmedas. • Resistencia al desgaste, es decir, para el moldeo de materiales abrasivos/con cargas, incluyendo materiales termoendurecibles moldeados por inyección. Asimismo, para moldes con series de producción excepcionalmente largas, por ejemplo, componente eléctricos/electrónicos; cubertería y envases de un solo uso. • Acabado superficial de gran calidad, es decir, para la producción de piezas ópticas, tales como lentes de cámaras fotográficas y cristales de gafas de sol, y para artículos médicos, por ejemplo, jeringas y frascos de análisis.
Análisis típico %	C	Si	Mn	Cr	V																										
	0,38	0,9	0,5	13,6	0,3																										
Normas equivalentes	(AISI 420) (W.-Nr. 1.2083)																														
Estado de suministros	Recocido blando hasta aprox. 190 Brinell																														
Código de color	Naranja / Negro																														

Fuente: Catalogo Ivan Bohman. [27]

ANEXO A2. PROPIEDADES VARILLA DE APOORTE ER 308L

VARILLA DE ACERO INOXIDABLE PARA PROCESO TIG

ER 308 L

Norma:

AWS

ER 308 L

Análisis Químico:

C	0.025	máx.	Cr	19.5	FeNi	9.0	Mn	1.0	Si	0.25
---	-------	------	----	------	------	-----	----	-----	----	------

Descripción:

Varilla de acero inoxidable de bajo contenido de carbono. Su extra-bajo contenido de carbono reduce la formación de carburos de cromo por lo que disminuye la corrosión intergranular. Buena ductibilidad y resistencia al impacto y abrasión son beneficios adicionales.

Proceso:

TIG (G.T.A.W.)	GAS DE PROTECCION
	ARGON PURO (99.995%)

Propiedades Mecánicas:

RESISTENCIA A LA TRACCION	LIMITE DE FLUENCIA	ELONGACION
80.000 Lbs./Pulg. ²	38%	46.000 Lbs./Pulg. ²

DATOS PARA SOLDAR:

ESPESOR DE TRABAJO		AMPERAJE	VOLTAJE	FLUJO DE GAS L/min	ELECTRODO TUNGSTENO ø	VARILLA DE APOORTE ø
mm	Pulg					
1.6	1/16	80-110	11	8 - 12	1/16	1/16
2.5	3/32	90-120	12	8 - 12	1/16	2/32

Las condiciones de esta tabla son para soldadoras convencionales. Para otro tipo de equipos, consultar a Escuelas de Soldadura de AGA.

Importante:

Las mejores condiciones para cada aplicación deben determinarse mediante pruebas, al momento de soldar.

Aplicaciones:

Varilla de uso general para soldar todos los aceros inoxidables tipo 18 Cr/8Ni, tales como 301, 302, 302B, 303 Se, 304, 304 L, 305, 308, 321, 347, 348, 405, 410, 420, y los aceros inoxidables al cromo-niquel-manganeso, como 201 y 202, donde la resistencia a la corrosión es el principal requerimiento.

LONGITUD DE LA VARILLA: 900 mm.

PESO POR CAJA: 4.5 kg./10 lbs

Fuente: Catálogo de electrodos comunes y especiales AGA. [28]

ANEXO A3. PROPIEDADES VARILLA DE APORTE ER 312

VARILLA DE ACERO INOXIDABLE PARA PROCESO TIG

ER 312

Norma:	AWS	ER 312
--------	-----	--------

Análisis Químico:

Al	0.05	Cr	30.1	Ni	8.38	Mo	0.02	Mn	1.75	Si	0.44
----	------	----	------	----	------	----	------	----	------	----	------

Descripción:

Varilla de aporte. La composición de esta varilla es especial, de estructura austenítica-ferrítica tipo 29/9 (Cr/Ni) y tiene alta resistencia a la tracción, ductibilidad y resistencia al impacto.

Proceso:

TIG (G.T.A.W.)	GAS DE PROTECCION ARGON PURO (99.995%)
-------------------	---

Propiedades:

RESISTENCIA A LA TRACCION	ELONGACION	LIMITE DE FLUENCIA	DUREZA BRINELL
125.000 Lbs./Pulg. ²	25%	115.000 Lbs./Pulg. ²	240 HB

DATOS PARA SOLDAR:

ESPESOR TRABAJO		AMPERAJE	VOLTAJE	FLUJO GAS L/min	ELECTRODO TUNGSTENO Ø	VARILLA DE APORTE Ø
mm	Pulg					
1.6	1/16	70-120	11	8-12	1/16	1/16
2.5	3/32	90-130	12	8-12	1/16	3/32

Las condiciones de esta tabla son para soldadoras convencionales. Para otro tipo de equipos, consultar a Escuelas de Soldadura de AGA.

Importante:

Las mejores condiciones para cada aplicación deben determinarse mediante pruebas, al momento de soldar.

Aplicaciones:

Varilla especial para soldar aceros de análisis desconocido difíciles de soldar:



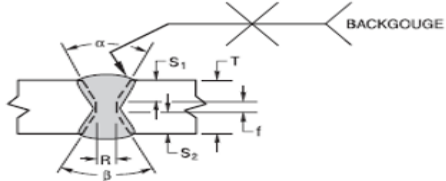
- Acero al manganeso, acero de herramientas, acero con tratamiento térmico, etc.
- De uso frecuente para soldar acero inoxidable o aceros del carbono.
- Base para soldaduras de recubrimiento protector.

LONGITUD DE LA VARILLA: 900 mm.



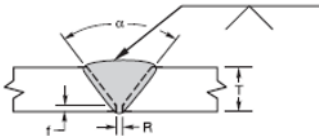
PESO POR CAJA: 4.5 kg./10 lbs.

Fuente: Catálogo de electrodos comunes y especiales AGA. [27]

ANEXO A4. PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA PROBETAS DE TRACCIÓN

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA						
WPS ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA PROBETAS TRACCIÓN							
Institución:	Universidad Técnica de Ambato	Identificación N°:	WPS PT				
Proceso(s) de soldadura:	GTAW	Soporte de PQR N°:	PA-ECU-PQR-002				
Tipo:	Manual: <input checked="" type="checkbox"/> Automático: <input type="checkbox"/>	Semiautomático: <input type="checkbox"/>	Maquina: <input type="checkbox"/>				
Revisión:	0	Fecha:	11/05/2018				
		Revisado por:	Ing. Patín Gustavo				
DISEÑO DE UNIÓN		POSICIÓN					
Tipo de Unión:	A TOPE	Ranura:	IG				
Tipo de Soldadura:	RANURA EN X	Filete:	N/A				
Abertura de Raíz:	N/A	Plancha:	N/A				
Longitud de Cara de Raíz:	N/A	Tubería:	N/A				
CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS							
Angulo de ranura	Radio J/U	Modo de transferencia GTAW:	N/A				
Soporte:	Si <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/>	Corto Circuito:	Globular: <input type="checkbox"/> Spray: <input type="checkbox"/>				
Material de aporte:	AWS ER 308L	Corriente:	Proceso GTAW				
Limpieza de Raíz:	SI <input checked="" type="checkbox"/> Método: MOLADORA	AC:	DCEP 120-160 A				
		Pulso:	DCEN				
METAL BASE		TÉCNICA					
DATOS	M.B. 1	M.B. 2	Aportación:				
Grupo:	1	1	Oscilante:				
Especificación:	AISI 420	AISI 420	Recta:				
Grado:	N/A	N/A	Múltiple:				
Espesor	N/A	N/A	Simple:				
Diámetro (Tubería)	15 mm	15 mm	Limpieza en pases:				
Superficie			SI <input checked="" type="checkbox"/> Método				
Otros			GRATA				
PRECALENTAMIENTO							
			Temperatura de precalentamiento:				
			N/A				
POSTCALENTAMIENTO							
			Temperatura interpase:				
			N/A				
METAL DE APORTE		PROTECCIÓN					
Especificación AWS:	AWS 5.9	Fundente:	Gas:				
Clasificación AWS:	ER 308L	Composición:	ARGÓN				
Marca:	AGA	Composición:	99.8%				
Tamaño del electrodo:	1/8"	Fundente:	V. de flujo:				
PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA							
Pase	Proceso	Metal de aporte		Corriente			Velocidad de avance
		Clase	Diámetro	Tipo y polaridad (AC/DC)	Amperaje (A)	Voltaje (V)	
1	GTAW	ER 308L	1/8"	DC-	120	9.6	6.7 cm/min
2	GTAW	ER 308L	1/8"	DC-	120	9.6	6.7 cm/min
DETALLE DE LA JUNTA :							
							
Elaborado por:	Rafael Ushiña	Fecha:	11/05/2018				
Aprobado por:	Rafael Ushiña	Compañía:	U.T.A				

ANEXO A5. PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA PROBETAS DE DUREZA, IMPACTO Y DOBLEZ GUIADO

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
		WPS ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA PROBETAS IMPACTO Y DUREZA					
Institución:		Universidad Técnica de Ambato		Identificación N°:		WPS PIDG	
Proceso(s) de soldadura:		GTAW		Soporte de PQR N°:		PA-ECU-PQR-002	
Tipo:	Manual:	<input checked="" type="checkbox"/>	Automático:	<input type="checkbox"/>	Semiautomático:	<input type="checkbox"/>	Maquina:
Revisión:	0	Fecha:	11/05/2018	Revisado por:	Ing. Patín Gustavo		
DISEÑO DE UNIÓN				POSICIÓN			
Tipo de Unión:		A TOPE		Ranura:	1G	Filete:	N/A
Tipo de Soldadura:		RANURA EN V		Plancha:	X	Tubería:	N/A
Abertura de Raíz:		3 mm		CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS			
Longitud de Cara de Raíz:		N/A		Modo de transferencia GTAW:		N/A	
Angulo de ranura		Radio J/U		Corto Circuito:	<input type="checkbox"/>	Globular:	<input type="checkbox"/>
Soporte:	Si	<input checked="" type="checkbox"/>	No	<input type="checkbox"/>	Spray:		
Material de aporte:		AWS ER 308L		Corriente: Proceso GTAW			
Limpieza de Raíz:	SI	Método:	MOLADORA	AC:	<input type="checkbox"/>	DCEP	120-160 A
Pulso:				DCEN			
METAL BASE				TÉCNICA			
DATOS		M.B. 1	M.B. 2	Aportación:	Oscilante:	<input checked="" type="checkbox"/>	Recta:
Grupo:	1	1	1	Pase:	Múltiple:	<input checked="" type="checkbox"/>	Simple:
Especificación:	AISI 420	AISI 420	AISI 420	Limpieza en pases:	SI	Método	GRATA
Grado:	N/A	N/A	N/A	PRECALENTAMIENTO			
Espesor	12 mm	12 mm	12 mm	Temperatura de precalentamiento:		N/A	
Diámetro (Tubería)				Temperatura interpase:		N/A	
Superficie				POSTCALENTAMIENTO			
Otros				Temperatura:	N/A	Tiempo:	N/A
METAL DE APORTE				PROTECCIÓN			
Especificación AWS:		AWS 5.9		Fundente:		Gas:	ARGÓN
Clasificación AWS:		ER 308L		Composición:		Composición:	99.8%
Marca:		AGA		Fundente:		V. de flujo:	
Tamaño del electrodo:		1/8"					
PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA							
Pase	Proceso	Clase	Metal de aporte Diámetro	Corriente			Velocidad de avance
				Tipo y polaridad (AC/DC)	Amperaje (A)	Voltaje (V)	
1	GTAW	ER 308L	3/32"	DC-	120	8.1	4.5 cm/min
2	GTAW	ER 308L	3/32"	DC-	120	8.1	4.7 cm/min
3	GTAW	ER 308L	3/32"	DC-	120	8.1	4.7 cm/min
DETALLE DE LA JUNTA :							
							
Elaborado por:		Rafael Ushiña		Fecha:		11/05/2018	
Aprobado por:		Rafael Ushiña		Compañía:		U.T.A	

ANEXO A6. CALIFICACIÓN DEL SOLDADOR

SISTEMA DE GESTION DE CALIDAD				
CALIFICACION DEL DESEMPEÑO DEL SOLDADOR (WPQ)				
OS : 114739		CLIENTE: PETROAMAZONAS		
PROYECTO:	PROVISION DEL SERVICIO ESPECIALIZADO DE BASE PERMANENTE CIVIL, MECANICA Y ELECTRICA PARA BRINDAR SOPORTE A LA OPERACIÓN EN LOS CAMPOS OSOS Y MONO, UBICADOS EN LA ZONA SUR DEL BLOQUE 7, PETROAMAZONAS EP			
FECHA: 04/12/2013	PAGINA:		1 DE 1	
DE ACUERDO CON PQR No.		DE ACUERDO CON WPS No.	PROCESO DE SOLDADURA	CODIGO APLICADO
PA-ECU-PQR-002		PA-ECU-WPS-002	GTAW	ASME SECCION IX
PROCESO		MANUAL		
NOMBRE EL SOLDADOR		C.I.	PROVINCIA	# ESTAMPA
CHICAIZA JUNTA CESAR IVAN		180429289-4	TUNGURAHUA	WA - 311
METAL BASE				
ESPECIFICACION		ASTM A106 Gr B	GRUPO	P1 Grupo 1 con P1 Grupo 1
ESPESOR DE PRUEBA		5,5mm	DIAMETRO DE PRUEBA	2" NPS
RANGO DE CALIFICACION				
RANGO DE ESPESORES	DESDE	1/16in (1,6mm)	HASTA	0,436 in (11,08mm)
RANGO DE DIAMETROS	DESDE	1 in (25,4")	HASTA	ILIMITADO
DEPOSITO DE SOLDADURA CALIFICADO				
SOLDADURA DEPOSITADA GTAW	5,5mm	DEPOSITO DE SOLDADURA CALIFICADO GTAW	11,0mm	
SOLDADURA DEPOSITADA SMAW	NA	DEPOSITO DE SOLDADURA CALIFICADO SMAW	NA	
MATERIALES DE APORTE				
GRUPO	GTAW (F6)	ESPECIFICACION AWS	A5.18	
TIPO DE ELECTRODO	ER 70S-6	No DE SOLDADORES	1	
TAMAÑO Y TIPO DE ELECTRODO DE TUGSTENO	SFA 5,12 E con 2% Torio - 2,4mm			
DIAMETRO DEL METAL DE APORTE	3/32 in (2,5mm)			
DISEÑO DE LA JUNTA			POSICION DE SOLDADURA	
TIPO DE JUNTA	RANURA EN "V"		POSICION DE SOLDADURA	6G
RESPALDO (BAKING)	SI	NO	X	PROGRESION DE SOLDADURA
				ASCENDENTE
GAS DE PROTECCION				
DESCRIPCION		ARGON 100%		
CARACTERISTICAS ELECTRICAS				
TIPO DE CORRIENTE	DC	POLARIDAD	GTAW (DC-)	
		ACEPTADO	RECHAZADO	OBSERVACIONES
INSPECCION VISUAL		N/A	-----	
ENSAYO NO DESTRUCTIVO (Gamagrafia)		X	-----	HOMOLOGACION
ENSAYO DESTRUCTIVO		X	-----	HOMOLOGACION
EL ENSAYO ES	ACEPTADO	N/A	OBSERVACIONES: El WA-311 sera recalificado en los proximos 6 meses, sin embargo si en producción, se observaran máximo tres juntas de soldadura con defectos, debera ser recalificado y no podrá continuar en la actividad.	
	RECHAZADO	N/A		
	REGISTRADO POR	REVISADO POR	APROBADO POR	REGISTRADO POR
CARGO:	QA/QC AZULEC	SUP. MECANICO FIC	QA/QC FIC	SUPERVISOR PAM
NOMBRE	MAYRA BASANTES	EDISON SISA	LUIS CANDO	BYRON CAICEDO
FIRMA:				

ANEXO B1.CODIGO DE SOLDADURA PARA ACEROS INOXIDABLES.

AWS D1.6/D1.6M:2007
An American National Standard

**Structural
Welding Code—
Stainless Steel**



American Welding Society



ANEXO B2. CONEXIONES DE SOLDADURA

2.7.2 Filler Plates Less Than 1/4 in. [6 mm]. Any filler plate less than 1/4 in. [6 mm] thick shall not be used to transfer stress, but shall be kept flush with the welded edges of the stress-carrying part. The sizes of welds along such edges shall be increased over the required sizes by an amount equal to the thickness of the filler plate.

2.7.3 Filler Plates 1/4 in. [6 mm] and Larger. Any filler plate 1/4 in. [6 mm] or more in thickness shall be capable of transferring the stress and shall extend beyond the edges of the splice plate or connection material. It shall be welded to the part on which it is fitted, and the joint shall be of sufficient strength to transmit the splice plate or connection material stress applied at the surface of the filler plate as an eccentric load. The welds joining the splice plate or connection material to the filler plate shall be sufficient to transmit the splice plate or connection material stress and shall be long enough to avoid overstressing the filler plate along the toe of the weld.

2.7.4 Filler Plates Used for Dissimilar Thickness Connections. For assemblies, in which the thickness is less than 1/4 in. [6 mm], the Engineer may specify a limit of filler plate thickness less than 1/4 in. [6 mm] as determined in 2.7.2 and 2.7.3. In no case, however, shall the thickness of filler plate used as per 2.7.3 be less than the thickness of the thinner of the connected parts.

2.8 Lap Joints

2.8.1 Minimum Overlap. The minimum overlap of parts in stress-carrying lap joints shall be five times the thickness of the thinner part joined but not less than 1 in. [25 mm] (see Figures 2.2 and 2.3).

2.8.2 Double Fillet Welded. Lap joints in parts carrying axial stress shall be double-fillet welded (see Figure 2.3), except where deflection of the joint is sufficiently restrained to prevent it from opening under load.

2.8.3 Double Plug or Slot Welds. Unless lateral deflection of the parts is prevented, they are to be connected by at least two transverse lines of plug or slot welds, or by two or more longitudinal slot welds.

2.9 Transitions of Butt Joints in Nontubular Connections

Butt joints between axially aligned members of different thicknesses or widths, or both, and subject to tensile stress greater than one-third the allowable design tensile stress or to fatigue loads, shall have appropriate transition of thickness as per 2.9.1 and of width as per 2.9.2.

2.9.1 Transition of Thicknesses The slope in the transition of thickness shall not exceed 1 in 2-1/2 with the surface of either part (see Figure 2.4). The transition shall be accomplished by chamfering the thicker part, sloping the weld metal, or by any combination of these.

2.9.2 Transition of Width. Parts having different widths shall have a smooth transition between offset edges at a slope of no more than 1 in 2-1/2 with the edge of either part or shall be transitioned with a 2 ft [600 mm] minimum radius tangent to the narrower part of the center of the butt joints.

2.10 Transitions in Tubular Connections

2.10.1 Size Transition. Flared connections and tube size transitions not excepted below shall be checked for local stresses caused by the change in direction [angle (Ψ)] at the transition. Exceptions: Circular tubes having D/t less than 30, box sections having a/t less than 20, and transition slopes for circular tubes and box sections less than 1 in 4.

2.10.2 Transition of Thicknesses. Tension butt joints in axially aligned primary members of different material thicknesses or size shall be made in such a manner that the slope through the transition zone does not exceed 1 in 2-1/2. The transition shall be accomplished by chamfering the thicker part, sloping the weld metal, or by any combination of these methods (see Figure 2.5).

2.11 Connections or Splices

2.11.1 Tension or Compression Members. Connections or splices of tension or compression members made by groove welds shall have CJP welds, except as specified in 2.11.2. Connections or splices made with fillet or plug welds, except as noted in 2.11.2, shall be designed for an average of the calculated stress and the strength of the member, but not less than 75% of the strength of the member; or if there is repeated application of load, the maximum stress or stress range in such connection or splice shall not exceed the fatigue stress permitted by the applicable contract specification.

2.11.2 Compression Members with Milled Joints. If members subject to compression only are spliced and full-milled bearing is provided, the splice material and its welding shall be arranged, unless otherwise stipulated by the applicable general specifications, to hold all parts in alignment and shall be proportioned to carry 50% of the computed stress in the member. Where such members

are in full-milled bearing on base plates, there shall be sufficient welding to hold all parts securely in place.

2.11.3 Splices in Girders and Beams

2.11.3.1 Splices between sections of rolled beams or built-up girders shall preferably be made in a single transverse plane. Shop splices of webs and flanges in built-up girders, made before the webs and flanges are joined to each other, may be located in a single transverse plane or multiple transverse planes, but the fatigue stress provisions of the contract specification shall apply.

2.11.3.2 Girders (built-up I sections) shall preferably be made with one plate in each flange, i.e., without cover plates. The unsupported projection of a flange shall be no more than permitted by the applicable contract specification. The thickness and width of a flange may be varied by butt joint welding parts of different thickness or width with transitions conforming to the requirements of 2.9.

2.12 Built-Up Members in Statically Loaded Structures

2.12.1 Minimum Required Welding. If two or more plates or rolled shapes are used to build up a member, sufficient welding (fillet, plug, or slot type) shall be provided to make the parts act in unison but not less than that which may be required to transmit the calculated stress between the parts joined.

2.12.1.1 Maximum Longitudinal Spacing of Intermittent Welds. The maximum longitudinal spacing of intermittent welds connecting two or more rolled shapes, or a shape and a plate, in contact with one another shall not exceed 24 in. [600 mm].

2.12.1.2 Longitudinal Spacing in Built-Up Tension and Compression Members. In built-up tension and compression members, the longitudinal spacing of intermittent welds connecting a plate component to other components, or connecting two plate components to each other, shall not exceed 12 in. [300 mm] or 24 times the thickness of the thinner plate.

2.12.2 Intermittent or Partial Length Groove Welds. Intermittent or partial length groove welds are not permitted except as specified in 2.12.3.

2.12.3 Groove Welds in Elements Connected by Fillet Welds. Members built-up of elements connected by fillet welds, at points of localized load application, may have groove welds of limited length to participate in the transfer of the localized load. The groove weld shall extend at uniform size for at least the length required to transfer the load. Beyond this length, the groove shall be transitioned in depth to zero over a distance, not less than four

times its depth. The groove shall be filled flush before the application of the fillet weld.

2.13 Noncontinuous Beams

The connections at the ends of noncontinuous beams shall be designed with flexibility so as to avoid excessive secondary stresses due to bending. Seated connections with a flexible or guiding device to prevent end twisting are recommended.

2.14 Specific Requirements for Cyclically Loaded Structures

2.14.1 Connections of Components of Built-Up Members. When a member is built up of two or more pieces, the pieces shall be connected along their longitudinal joints by sufficient continuous welds to make the pieces act in unison.

2.14.2 When the offset between surfaces at either side of the joint is greater than the thickness of the thinner part connected, the transition of thicknesses (see Figure 2.4) subject to shear or compressive stress shall be made as specified in 2.9.1. When the offset is equal to or less than the thickness of the thinner part connected, the face of the weld shall be sloped no more than 1 in 2-1/2 from the surface of the thinner part or shall be sloped to the surface of the thicker part if this requires a lesser slope with the following exception: Truss member joints and beam and girder flange joints shall be made with smooth transitions of the type specified in 2.9.1.

2.14.3 Prohibited Types of Joints and Welds

2.14.3.1 In butt joints, PJP welds subject to tension normal to their longitudinal axis are prohibited. In other joints, transversely loaded PJP welds are prohibited, unless fatigue design criteria allow for their application.

2.14.3.2 SMAW and SAW CJP groove welds, made from one side only, are prohibited, if the welds are made:

- (1) Without any backing, or
- (2) With backing, other than stainless steel, that has not been qualified in accordance with Clause 4.

These prohibitions do not apply to:

- (1) Secondary or nonstress carrying members and shoes or other nonstressed appurtenances, or,
- (2) Corner joints parallel to the direction of computed stress, between components for built-up members designed primarily for axial stress.

ANEXO B3.- DISEÑO DE CONEXIONES DE SOLDADURA

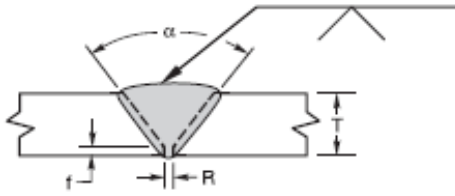
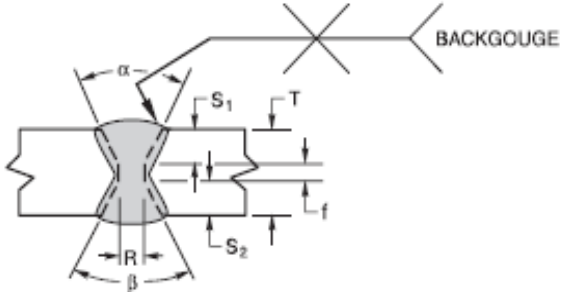
Single-V-groove weld (2) Butt joint (B)							
							
ALL DIMENSIONS IN mm							
Welding Process	Joint Designation	Base Metal Thickness Max. T	Groove Preparation			Permitted Welding Positions	Notes
			Root Opening Root Face Groove Angle	Tolerances			
GTAW	B-L2b	2 min. to 25	R = 0 to T/2 ≤ 3 f = 0 to T/2 ≤ 2 α = 75°	As Detailed (see 3.24.2)	As Fit-Up (see 5.4)	All	e, o, p, q
				+T/4 ≤ 2, -0 +T/4 ≤ 1, -0 0°, -10°	+2, -T/2 ≤ 1 +0, -T/2 ≤ 1 ±5%		

Figure 3.5 (Continued)—Prequalified CJP Groove Welded Joints—Nontubular (see 3.24.1) (Dimensions in Millimeters)

Double-V-groove weld (3) Butt joint (B)						For B-U3c-S only																									
																															
ALL DIMENSIONS IN mm																															
Welding Process	Joint Designation	Base Metal Thickness Max. (U = Unlimited) T	Groove Preparation			Permitted Welding Positions	Notes																								
			Root Opening Root Face Groove Angle	Tolerances																											
SMAW	B-U3b	U	R = 0 to T/2 ≤ 3 f = 0 to T/2 ≤ 3 α = β = 60°	As Detailed (see 3.24.2)	As Fit-Up (see 5.4)	All	d, i, k, o																								
GTAW	B-L3b	50		+T/2 ≤ 2, -0 +T/2 ≤ 2, -0 +10°, -0°	+2, -T/2 ≤ 3 Not limited*	All	a, d, i, k, o																								
GMAW FCAW	B-U3-GF	U		+2, -0 +6, -0 +10°, -5°	+2, -0 +6, -0 +10°, -0°	F	d, i, k																								
SAW	B-U3c-S	12 min. to U	To find S ₁ see table above: S ₂ = T - (S ₁ + f)																												
						<table border="1"> <thead> <tr> <th>Over</th> <th>to</th> <th>S₁</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>50</td> <td>60</td> <td>35</td> </tr> <tr> <td>60</td> <td>80</td> <td>45</td> </tr> <tr> <td>80</td> <td>90</td> <td>55</td> </tr> <tr> <td>90</td> <td>100</td> <td>60</td> </tr> <tr> <td>100</td> <td>120</td> <td>70</td> </tr> <tr> <td>120</td> <td>140</td> <td>80</td> </tr> <tr> <td>140</td> <td>160</td> <td>90</td> </tr> </tbody> </table>		Over	to	S ₁	50	60	35	60	80	45	80	90	55	90	100	60	100	120	70	120	140	80	140	160	90
Over	to	S ₁																													
50	60	35																													
60	80	45																													
80	90	55																													
90	100	60																													
100	120	70																													
120	140	80																													
140	160	90																													

*Limited by a minimum groove depth.

Figure 3.5 (Continued)—Prequalified CJP Groove Welded Joints—Nontubular (see 3.24.1) (Dimensions in Millimeters)

ANEXO B4. PROCESO DE SOLDADURA

However, WPSs using these processes which do not conform to the requirements of Clause 3 shall be qualified in conformance with Clause 4. See Annex B for non-prequalified stainless steel qualification guidelines.

3.4 Welding Processes

3.4.1 Prequalified Welding Processes. Shielded metal arc welding (SMAW), gas metal arc welding (GMAW), gas tungsten arc welding (GTAW) (including autogenous GTAW), and flux cored arc welding (FCAW) WPSs which conform to the provisions of Clause 3, Parts C, D, E, F, G, and H, may be used for prequalified WPSs, and therefore approved for use without WPS qualification tests (see limitations of Table 3.5).

3.4.2 Submerged Arc Welding (SAW). Fluxes for SAW of stainless steels are not presently classified by AWS. Accordingly, fluxes cannot be prequalified by their classification. However, SAW with a flux of a particular trade designation and a specific wire classification shall be considered prequalified for welding prequalified base metals (see 3.6) under the following conditions:

(1) Test welds are made under production conditions or are actual production welds, and

(2) Test welds are made with that classification of filler metal, and flux of the particular trade designation, and

(3) Test welds exhibit at least a 4.0 Ferrite Number (FN) along the top centerline of the weld bead, and a strength (see Table 3.3) not less than corresponding base metal. Measurements of the FN shall be made with an instrument calibrated according to the latest edition of AWS A4.2M:2006, *Standard Procedures for Calibrating Magnetic Instruments to Measure the Delta Ferrite Content of Austenitic and Duplex Austenitic-Ferritic Stainless Steel Weld Metal*.

Otherwise, SAW with a particular filler metal and flux shall be qualified as prescribed in Clause 4 and approved by the Engineer.

3.5 Other Welding Processes

Other welding processes may be used, provided they are qualified by applicable tests as prescribed in Clause 4 and approved by the Engineer.

Part C *Base Metals*

3.6 Base Metals for Prequalified WPSs

3.6.1 Exempt Base Metal. The base metals listed in Table 3.2 may be used in prequalified WPSs; however, WPSs using these base metals which do not conform to the requirements of Clause 3 shall be qualified by test in conformance with Clause 4.

3.7 Auxiliary Component Base Metals

The Engineer may approve unlisted materials for auxiliary attachments or components which fall within the chemical composition range of a listed material to be welded with prequalified WPSs. The filler metal shall belong to the corresponding filler metal group (Table 3.3) based upon equal or greater minimum tensile strength of the filler metal.

3.8 Base Metal for Weld Tabs and Backing

Weld tabs shall be of any base metal group in Table 3.2. Backings may be used provided they are approved by the Engineer. Steel for backing shall be of the same base metal group (Table 3.2) as the base metal, unless otherwise approved.

Part D *Prequalified Filler Metals, Fluxes, and Gases*

3.9 Filler Metals

3.9.1 Filler Metals for Prequalified WPS. Table 3.3 lists filler metal groups, based upon strength, which are prequalified for the corresponding prequalified base metal groups of Table 3.2. In the event that base metals from two different base metal groups in Table 3.2 are to be joined, filler metal from the filler metal group in Table 3.3 corresponding to the lower strength of the two base metal groups in Table 3.2 shall be considered prequalified.

3.9.2 Electrode or Electrode-Flux Combinations. The electrode, including electrodes for SAW, shall be as specified in Table 3.3. SAW electrode-flux combinations can be prequalified as prescribed in 3.4.2. Other SAW

electrode-flux combinations shall be qualified according to Clause 4.

3.9.3 Filler Metal Removed from Packages. After filler metal has been removed from its original package, it shall be protected or stored so that its characteristics or welding properties are not adversely affected. Filler metals of different classifications shall not be mixed in one container.

3.10 Electrodes for SMAW

3.10.1 Purchasing Requirements. Electrodes for SMAW shall conform to the requirements of the latest edition of AWS A5.4/A5.4M:2006, *Specification for Stainless Steel Welding Electrodes for Shielded Metal Arc Welding*.

3.10.2 Electrode Storage and Drying Conditions. Electrodes supplied in hermetically sealed containers may remain in the container, once opened, provided that the container is reclosed at once. Otherwise, once the container is opened, the electrodes shall be stored in an oven at 250°F to 300°F [120°C to 150°C]. Electrodes received in containers which are not hermetically sealed, whether by design or by damage, shall be redried according to the manufacturer's instructions, then stored until use in an oven at 250°F to 300°F [120°C to 150°C].

3.10.3 Manufacturer's Certification. When requested by the Engineer, the contractor or fabricator shall furnish an electrode manufacturer's certification that the electrode will meet the requirements of the classification, and will provide at least 3.0 Ferrite Number in undiluted weld metal when tested with an instrument calibrated according to AWS A4.2M:2006.

3.11 Electrodes and Fluxes for SAW

3.11.1 Purchasing Requirements. The bare electrodes (solid or composite) for SAW of stainless steels shall conform to the requirements in the latest edition of AWS A5.9/A5.9M:2006, *Specification for Bare Stainless Steel Welding Electrodes and Rods*.

3.11.2 Manufacturer's Certification. When requested by the Engineer, the contractor or fabricator shall furnish an electrode manufacturer's certification that the electrode will meet the requirements of the classification or grade, and a flux manufacturer's certification of the composition, Ferrite Number, and mechanical properties obtained with the particular flux formulation and an electrode of the same classification (see 3.9.2).

3.11.3 Storage Conditions. Flux used for SAW shall be dry and free of contamination from dirt, mill scale, or other foreign material. All flux shall be purchased in packages that can be stored under normal conditions, for at least six months, without such storage affecting its welding characteristics or weld properties. Flux from damaged packages shall be discarded or shall be dried at a minimum temperature of 500°F [260°C] for one hour before use. Flux shall be placed in the dispensing system immediately upon opening a package or withdrawal from an oven, or, if used from an opened package, the top 1 in. [25 mm] shall be discarded or dried as above. Flux that has been wet shall not be used.

3.11.4 Flux Reclamation

3.11.4.1 Unmelted Flux. SAW flux that has not been melted during the welding operation may be reused after recovery by vacuuming, catch pans, sweeping, or other means. The welding fabricator shall have a system for collecting unmelted flux, adding new flux, and welding with the mixture of these two, such that the flux composition and particle size distribution at the welding arc are relatively constant.

3.11.4.2 Melted Flux (Crushed Slag). Crushed slag shall not be considered prequalified. Melted flux or slag removed from a weld deposit may be crushed and used as a SAW flux again. However, it must be recognized that this crushed slag is likely to be a chemically and physically different flux from the unmelted virgin flux. It shall therefore require separate certification testing for the particular dry mix or lot of crushed slag, according to the requirements of 3.4.2. The crusher, not the original flux manufacturer, shall be considered the manufacturer of flux made from crushed slag, or from mixtures of crushed slag with virgin flux. The crusher shall provide certification in accordance with 3.11.2.

3.12 Consumables for GMAW, GTAW, and FCAW

3.12.1 Purchasing Requirements. The filler metals for GMAW, GTAW, or FCAW shall conform to the requirements of the latest edition of AWS A5.9/A5.9M:2006, *Specification for Bare Stainless Steel Welding Electrodes and Rods*, AWS A5.22-95R, *Specification for Stainless Steel Electrodes for Flux Cored Arc Welding and Stainless Steel Flux Cored Rods for Gas Tungsten Arc Welding*, or AWS A5.30-97, *Specification for Consumable Inserts*, as applicable.

3.12.2 Electrode Manufacturer's Certification. When requested by the Engineer, the contractor or fabricator shall furnish the electrode manufacturer's certification

that the electrode will meet the requirements of the classification or grade. In addition, if requested by the Engineer for electrodes for GMAW, and for rods or consumable inserts for GTAW welding, the certification shall include typical mechanical properties of the all-weld metal. For electrodes and rods classified according to AWS A5.22-95R, certification shall indicate that the specimen for the all-weld-metal test will contain at least 3.0 Ferrite Number when tested with an instrument calibrated according to AWS A4.2M:2006. For filler metals classified according to AWS A5.9/A5.9M:2006 or A5.30-97, certification shall indicate a calculated Ferrite Number of at least 3.0 FN using the filler metal composition and Figure 3.1.

3.12.3 Shielding Gas for GMAW, GTAW, and FCAW. A gas or gas mixture used for shielding in GMAW, GTAW, or FCAW shall be of a welding grade having a dew point of -40°F [-40°C] or lower. When requested by the Engineer, the contractor or fabricator shall furnish the gas manufacturer's certification that the gas or gas mixture composition and dew point meet applicable requirements.

Part E

Weld Sizes for Prequalified Joints

3.13 General

The provisions of Part E shall be complied with for the determination of weld size and effective throat of welds made with a prequalified WPS. Joint details that depart from the details prescribed in this clause shall be qualified in accordance with the requirements of Clause 4 of this code and their conformance with applicable provisions of Clause 5.

Note: The use of weld sizes or effective throats other than those defined in Part E shall be determined by the use of qualifying tests found in Clause 4, Qualification.

3.14 Prequalified Fillet Welds

The provisions of this subclause shall apply to joints where the minimum angle between the joined pieces is 60° and the maximum angle is 135° .

3.14.1 Maximum Leg Sizes. The maximum fillet weld size (see Figure 3.2) detailed along edges of material shall be:

(1) the thickness of the base metal, for metal less than $1/4$ in. [6 mm] thick

(2) $1/16$ in. [2 mm] less than the thickness of base metal, for metal $1/4$ in. [6 mm] or more in thickness, unless the weld is designated on the drawing to be built out to obtain full throat thickness. In the as-welded condition, the distance between the edge of the base metal and the toe of the weld may be less than $1/16$ in. [2 mm], provided the weld size is clearly verifiable.

3.14.2 Effective Throat. The effective throat of skewed T-joint welds (see Annex B) is dependent upon the minimum angle between members to be joined and the magnitude of the root opening. Joints with angles between members to be welded of less than 60° are not prequalified. These joints shall be qualified per Clause 4 based upon the WPS, the minimum joint angle and the minimum root face or distance between members (see Figure 3.3).

3.15 Prequalified Partial Joint Penetration (PJP) Groove Welds in Nontubular Connections

The weld size of a PJP groove weld shall be the depth of bevel less $1/8$ in. [3 mm] for grooves having a groove angle less than 60° , but not less than 45° , at the root of the groove, when made by SMAW or GTAW in any position, by SAW in the flat position, or when made in the vertical or overhead welding positions by GMAW or FCAW. The weld size of a PJP groove weld shall be the depth of bevel, without reduction, for grooves having the following as detailed angles:

(1) A groove angle of 60° or greater at the root of the groove when made by any of the following welding processes: SMAW, SAW, GMAW, GTAW, or FCAW.

(2) A groove angle not less than 45° at the root of the groove when made in flat or horizontal positions by GMAW or FCAW.

The design weld size of a prequalified PJP groove weld shall not be greater than that shown in Figures 3.4 and 3.6 for the particular welding process, joint designation, groove angle, and welding position proposed for use in welding fabrication.

3.15.1 Combined Welds. The effective throat of a combination PJP groove weld and a fillet weld shall be the

shortest distance from the joint root to the weld face of the diagrammatic weld (see Annex A).

3.16 Prequalified Partial Joint Penetration (PJP) Groove Welds in Tubular Connections

The weld sizes for tubular connections shall be determined from Figure 3.6.

3.17 Prequalified Flare-Bevel Groove Weld Sizes

The effective weld size for flare groove welds when filled flush to the surface of a round bar, a 90° bend in a formed section, or a rectangular tube shall be as shown in Table 3.4.

3.18 Prequalified Skewed Joints

The effective weld size of skewed joints are dependent upon the minimum angle between members to be joined and the magnitude of the root opening (see Annex B).

3.18.1 Exceptions. Joints with angles between members to be welded of less than 60° are not prequalified.

3.18.1.1 Qualifications. Joints with angles less than 60° and more than 30° shall be qualified by macroetch examination in accordance with 4.3.2. The weld size acceptance criteria shall be established by the Engineer.

3.19 Prequalified Plug and Slot Weld Sizes

3.19.1 Plug Welds. The minimum hole diameter shall be the thickness of the member containing it plus 5/16 in. [8 mm]. The maximum hole diameter shall be the minimum diameter plus 1/8 in. [3 mm] or 2-1/4 times the thickness of the member, whichever is greater.

3.19.2 Slot Welds. The minimum slot width shall be the thickness of the member containing it plus 5/16 in. [8 mm] or 2-1/2 times the thickness of the member, whichever is smaller. The maximum slot width shall be the minimum width plus 1/8 in. [3 mm] or 2-1/4 times

the thickness of the member, whichever is greater. The ends of the slot shall be semicircular.

3.20 Prequalified Complete Joint Penetration (CJP) Groove Welds in Nontubular Connections

The joints shown in Figure 3.5 for CJP groove welds may be welded without performing the tests described in Clause 4, provided the allowable joint configurations are maintained.

3.21 Prequalified Complete Joint Penetration (CJP) Groove Welds in Tubular Connections

The weld size of a CJP groove weld shall be the thickness of the thinner part joined. No increase shall be permitted for weld reinforcement (see Figure 3.5).

Part F

Prequalified Nontubular Joint Details

3.22 General

The provisions of this subclause cover the requirements for prequalified status for joints with fillet, PJP, CJP, plug, slot, or flare-bevel groove welds in nontubular connections.

3.22.1 Minimum Joint Requirements. Joints meeting the following requirements are designated as prequalified:

(1) Conformance with the details in Table 3.4 and Figures 3.2, 3.4, and 3.5.

(2) Use of one of the following welding processes in accordance with the requirements of Clause 3: SMAW, SAW, GMAW, GTAW, or FCAW.

3.22.1.1 Joints meeting these requirements may be used without performing the WPS qualification tests prescribed in Clause 4.

3.22.1.2 The WPS for all joints not meeting these requirements shall be qualified by tests prescribed in Clause 4.

3.23 Partial Joint Penetration (PJP) Groove Welds

3.23.1 Prequalified PJP Groove Welds. PJP groove welds are detailed in Figure 3.4.

3.23.1.1 Definition. Except as provided in Figure 3.5, groove welds without steel backing, welded from one side, and groove welds welded from both sides, but without back gouging, are considered PJP groove welds for purposes of prequalification.

3.23.2 Dimensions of Groove Welds. Dimensions of groove welds specified in 3.23.1 may vary on design or detail drawings within the limits or tolerances shown in the "As Detailed" column in Figure 3.4. Fit up tolerances of 5.4 may be applied to the dimensions shown on the detail drawing. J- and U-grooves may be prepared before or after assembly.

3.23.3 Groove Preparation. Groove preparations detailed for prequalified SMAW and SAW may be used for prequalified GMAW, GTAW, or FCAW.

3.23.4 Corner Joint Preparation. For corner joints, the outside groove preparation may be in either or both members, provided the basic groove configuration is not changed and adequate edge distance is maintained to support the welding operations without excessive melting.

3.24 Complete Joint Penetration (CJP) Groove Welds

3.24.1 Prequalified CJP Groove Welds. CJP groove welds are detailed in Figure 3.5 and are subject to the limitations specified in 3.24.2.

3.24.2 Dimensions of Groove Welds. Dimensions of groove welds specified in 3.24.1 may vary on design or detail drawings within the limits or tolerances shown in the "As Detailed" column in Figure 3.5. Fit up tolerance of 5.4 may be applied to the dimensions shown on the detail drawing. J- and U-grooves and the other side of partially welded double-V and double-bevel grooves may be prepared before or after assembly. After back-gouging, the other side of partially welded double-V or

double-bevel joints should resemble a prequalified U- or J-joint configuration at the joint root.

3.24.3 Groove Preparations. Groove preparations detailed for prequalified SMAW and SAW joints may be used for prequalified GMAW, GTAW, or FCAW.

3.24.4 Joint Root Openings. Joint root openings may vary as noted in Figure 3.5. However, for automatic or machine welding using FCAW, GMAW, GTAW, and SAW processes, the maximum root opening variation (minimum to maximum opening as fit up) may not exceed 1/8 in. [3 mm]. Variations greater than 1/8 in. [3 mm] shall be locally corrected prior to automatic or machine welding.

3.24.5 Corner Joint Preparation. For corner joints, the outside groove preparation may be in either or both members, provided the basic groove configuration is not changed and adequate edge distance is maintained to support the welding operations without excessive melting.

3.25 Plug and Slot Welds

The details of plug and slot welds made by the SMAW, GMAW, GTAW, or FCAW welding processes are listed in 2.5, 2.13, and 3.19, and may be used without performing the WPS qualification prescribed in Clause 4, provided the technique provisions of 3.30 are complied with.

3.26 Flare-Bevel Groove Welds

The joint detail requirements for a prequalified flare-bevel groove weld are given in 3.17, Figure 3.6, and Table 3.4.

Part G *Prequalified Tubular Joint Details*

3.27 General

The provisions of this subclause cover the requirements for prequalified status for joints with fillet, PJP, CJP, plug, slot or flare-bevel groove welds in tubular connections. The provisions of 3.28 shall apply to prequalification of tubular joints.

3.28 Prequalified Joints

Any production joint that cannot be welded in accordance with a prequalified WPS shall be qualified by testing in accordance with Clause 4.

3.28.1 CJP Tubular Groove Welds

(1) A prequalified WPS for production joints welded from one side with backing, or both sides with backgouging, shall use the appropriate Figure 3.5 detail and shall conform with Clause 3. However, nominal pipe diameters less than 12 in. [300 mm] and welded with SAW shall require WPS qualification in accordance with Clause 4.

(2) A prequalified WPS for tubular CJP butt joints welded from one side without backing shall use Detail B-L6 or B-L2b of Figure 3.5, whichever is appropriate, and shall conform with Clause 3.

(3) This code does not address welded T-, Y-, or K-connections.

3.28.2 PJP Tubular Groove Welds. A prequalified WPS for circular or box section PJP butt joints shall use the appropriate Figure 3.6 detail and shall conform with Clause 3.

3.28.3 Fillet Welded Tubular Connection. A prequalified WPS for fillet welded tubular connections shall use the appropriate Figure 3.3 details and conform with Clause 3.

Part H

Prequalified WPS Requirements

3.29 General

The following provisions pertain to the requirements for the technique employed in the performance of prequalified welds of austenitic stainless steels. Prequalified welding applies only to the nominally austenitic stainless steels listed in Table 3.2 (comparable to ASME *Boiler and Pressure Vessel Code*, Section IX P8 and AWS B2.1:2005 M8) welded with filler metals whose weld metal is expected to contain delta ferrite of at least 3.0 FN as determined according to the latest edition of AWS A4.2M:2006. For all processes:

- (1) The base metal shall be clean and free of moisture.
- (2) The filler metals shall be clean and dry.

(3) The minimum preheat shall be sufficient to remove moisture from the work, unless other means are used to keep moisture away from the weld puddle area.

(4) The maximum interpass temperature shall be 350°F [175°C].

(5) The work shall be positioned for flat position welding whenever practicable.

(6) The classification and size of electrode, arc length, voltage, and amperage shall be suited to the thickness of the material, type of groove, welding positions, and other circumstances attending the work. The welding current, arc voltage, gas flow, and speed of travel shall be such that each pass will have complete fusion with adjacent base metal and weld metal, and there will be no overlap or excessive porosity or undercutting.

(7) The minimum size of a root pass shall be sufficient to prevent cracking.

(8) The progression for all passes in vertical position welding shall be upward, except that GTAW, GMAW-S, and FCAW-G are prequalified vertical down for base metal of 3/16 in. [5 mm] maximum thickness. Undercut may be repaired vertically downwards on the joint faces only, by any prequalified welding process listed in 3.4.1, without base thickness limitation, within the limits of 5.11.1.

(9) CJP groove welds made without the use of backing shall have the root backgouged to sound metal before welding is started from the second side, except as permitted by Figure 3.5, Joint B-L1-S and B-L2-b.

(10) Roots of groove or fillet welds may be backed by copper, flux, glass tape, or backing bars of prequalified stainless steel to prevent melting through (see 3.8). Copper shall not be melted. Copper backing shall be removed and the root visually inspected. Roots may also be sealed by means of root passes deposited by other arc welding processes.

(11) Neither the depth nor the maximum width in the cross section of weld metal deposited in each weld pass shall exceed the width at the surface of the weld pass (see Figure 3.7). This requirement may be waived only if the testing of a WPS to the satisfaction of the Engineer has demonstrated that such welds exhibit freedom from cracks, and the same WPS and filler metal classifications are used in construction.

(12) For welding processes with external gas shielding, welding shall not be done in a draft or wind unless the weld is protected by a shelter. Such shelter shall be of material and shape appropriate to reduce wind velocity in the vicinity of the weld to a maximum of 5 mph [8 km/h],

Table 3.1
Prequalified Variables to be Specified in the WPS^a (see 3.1)

Welding Variable Range Limits					
Welding Process	Amperage or Wire Feed Speed	Voltage	Travel Speed	Shielding Gas Flow Rate	Gas Composition or Flux Trade Designation
SMAW	MR	DCEP, not restricted	Not restricted	—	—
SAW	Mean ±10% for each diameter	Mean ±7% for each diameter	Mean ±15% for each diameter	—	Flux trade designation
FCAW	Mean ±10% for each diameter	Mean ±7% for each diameter	Mean ±25% for each diameter	Rate +25%, -10%	Nominal gas composition, if used
GMAW	Mean ±10% for each diameter	Mean ±7% for each diameter	Mean ±25% for each diameter	Rate +25%, -10%	Nominal gas composition
GTAW	Mean ±25%	Mean ±25%	Not restricted	Rate +50%, -25%	Nominal gas composition

^a Position shall be specified for all WPSs. "MR" = electrode manufacturer's recommended range.

Table 3.5
Prequalified WPS Requirements (see 3.29)

Variable	Position	Weld Type	SMAW	SAW ^b	GMAW ^{c,d}	FCAW ^{c,e}	GTAW ^{c,f,g}
Maximum Electrode Diameter in. [mm]	Flat	Fillet	1/4 [6.4]	5/16 [8.0]	1/16 [1.6]	3/32 [2.4]	5/32 [4.0]
		Groove	1/4 [6.4]	5/16 [8.0]			
		Root Pass	1/4 [6.4] ^a	5/16 [8.0]			
	Horizontal	Fillet	1/4 [6.4]	5/16 [8.0]			
		Groove	3/16 [4.8]	5/16 [8.0]			
	Vertical	All	5/32 [4.0]	NA			
Maximum Current (A)	All	Fillet	Within the range of recommended operation by the filler metal manufacturer	600 (H) 800 (F)	Within the range of recommended operation by the filler metal manufacturer	Within the range of recommended operation by the filler metal manufacturer	See Note g
	All	Groove Weld Root Pass With Opening		600			
		Groove Weld Root Pass Without Opening					
		Groove Weld Fill Passes					
		Groove Weld Cap Passes					
Maximum Root Pass Thickness in. [mm] ^f	Flat	All	1/4 [6]	1/2 [12]	3/16 [5]	1/4 [6]	3/16 [5]
	Horizontal		1/4 [6]	3/8 [10]	3/16 [5]	1/4 [6]	
	Vertical		1/4 [6]	NA	3/16 [5]	1/4 [6]	
	Overhead		1/4 [6]	NA	3/16 [5]	1/4 [6]	
Maximum Fill Pass Thickness in. [mm]	Flat	All	1/8 [3]	1/4 [6]	1/4 [6]	1/4 [6]	1/8 [3]
	Horizontal		3/16 [5]	5/16 [8]			
	Vertical		3/16 [5]	NA			
	Overhead		3/16 [5]	NA			
Maximum Single Pass Fillet Weld Size in. [mm]	Flat	Fillet	3/8 [10]	1/2 [12]	1/2 [12]	1/2 [12]	1/4 [6]
	Horizontal		5/16 [8]	5/16 [8]	5/16 [8]	5/16 [8]	3/16 [5]
	Vertical		1/2 [12]	NA	1/2 [12]	1/2 [12]	3/16 [5]
	Overhead		5/16 [8]	NA	1/4 [6]	5/16 [8]	3/16 [5]
Maximum Single Pass Layer Width in. [mm] ⁱ	All (for SMAW, GMAW, FCAW, GTAW) F & H (for SAW)	Any individual layer of width w	1/2 [12]	5/8 [16]	1/2 [12]	1/2 [12]	1/2 [12]

(Continued)

Table 3.5 (Continued)
Prequalified WPS Requirements (see 3.29)

^a 1/4 in. [6 mm] for fillet welds and groove welds with backing and a root opening of 1/4 in. [6 mm] or more.

^b Single electrode.

^c See 3.29(8).

^d Pulsed GMAW is prequalified in all positions except vertical down. Prequalification of short circuiting transfer GMAW is limited to helium base shielding gas mixes (at least 85% He by volume), extends to all positions, but is limited to 3/16 in. [5 mm] maximum base metal thickness. Prequalified shielding gases for all GMAW are argon and/or helium-based and limited to those containing at least 0.5%, but not more than 6% total, by volume, of oxygen plus carbon dioxide, including no more than 3% carbon dioxide.

^e Gas shielded FCAW is prequalified in all positions, except that vertical-down prequalification is limited to 3/16 in. [5 mm] maximum base metal thickness. Self-shielded FCAW is prequalified in the flat and horizontal positions only. Prequalified shielding gases for electrodes classified with gas shielding are limited to welding grade carbon dioxide and mixes of argon with not less than 20%, by volume, carbon dioxide. Self-shielded electrodes are prequalified only without external shielding gas.

^f See Figure 3.7 for Width-to-Depth limitations.

^g GTAW and Pulse GTAW is prequalified in all welding positions, DCEN only. Prequalified shielding gases are restricted to welding grade (or higher purity) argon, helium, and argon-helium mixes. Prequalified current range depends upon tungsten electrode diameter (size) as follows:

Electrode Diameter		Current Range, DCEN
in.	mm	
0.060 (1/16)	1.60	40–150
0.093 (3/32)	2.40	60–250
	2.50	70–250
	3.00	90–350
0.125 (1/8)	3.20	100–400
	4.00	150–500

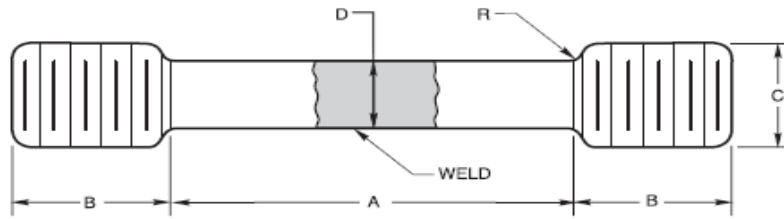
^h For GTAW the electrode is per AWS A5.12/A5.12M-98, *Specification for Tungsten and Tungsten-Alloy Electrodes for Arc Welding and Cutting*.

ⁱ Split layers when the maximum single pass layer width is exceeded.

H = Horizontal

F = Flat

ANEXO B5. PROBETAS PARA WPS

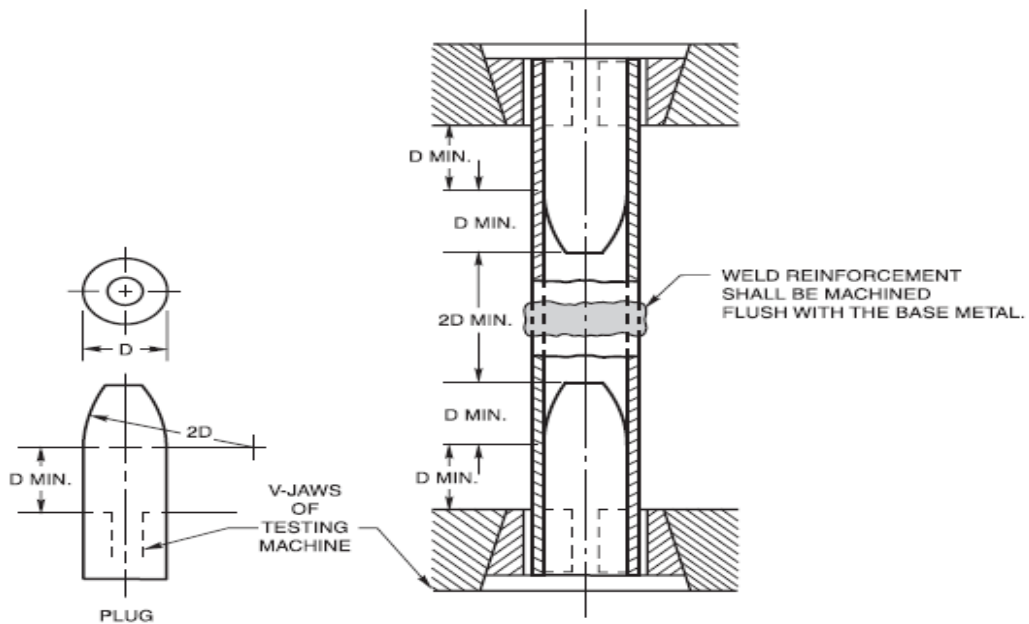


Standard Dimension (in.)				
	(a) 0.505 Specimen	(b) 0.353 Specimen	(c) 0.252 Specimen	(d) 0.188 Specimen
A—Length, reduced section	See Note 4	See Note 4	See Note 4	See Note 4
D—Diameter	0.500 ± 0.010	0.350 ± 0.007	0.250 ± 0.005	0.188 ± 0.003
R—Radius of fillet	3/8, min.	1/4, min.	3/16, min.	1/8, min.
B—Length of end section	1-3/8, approx.	1-1/8, approx.	7/8, approx.	1/2, approx.
C—Diameter of end section	3/4	1/2	3/8	1/4
Standard Dimension (mm)				
	(a) 12.83 Specimen	(b) 8.97 Specimen	(c) 6.4 Specimen	(d) 4.78 Specimen
A—Length, reduced section	See Note 4	See Note 4	See Note 4	See Note 4
D—Diameter	12.7 ± 0.25	8.9 ± 0.18	6.4 ± 0.13	4.78 ± 0.08
R—Radius of fillet	9.5, min.	6.4, min.	4.8, min.	3.2, min.
B—Length of end section	35, approx.	28.6, approx.	22.2, approx.	12.7, approx.
C—Diameter of end section	19.0	12.7	9.5	6.4

Notes:

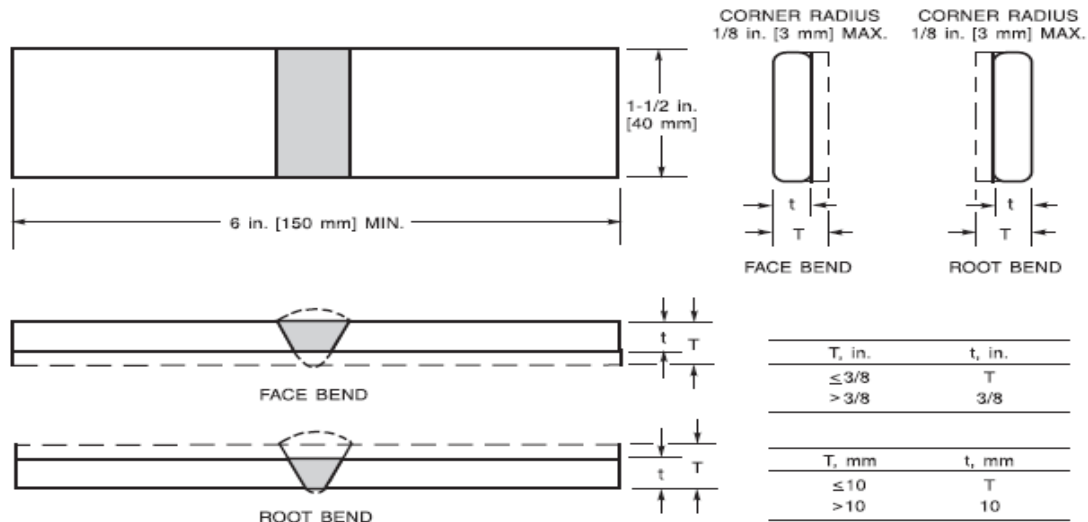
1. Use maximum diameter specimen (a), (b), (c), or (d) that can be cut from the section.
2. Weld should be in center of reduced section.
3. Where only a single specimen is required, the center of the specimen should be midway between the surfaces.
4. Reduced Section "A" should not be less than width of weld plus two times "D."
5. The ends may be of any shape to fit the holders of the testing machine in such a way that the load is applied axially.

Figure 4.13(A)—Tension Specimens—Reduced Section—Turned Specimens (see 4.6.6.1)



NOTE: FOR 2 in. [50 mm] NOMINAL DIAMETER OR SMALLER.

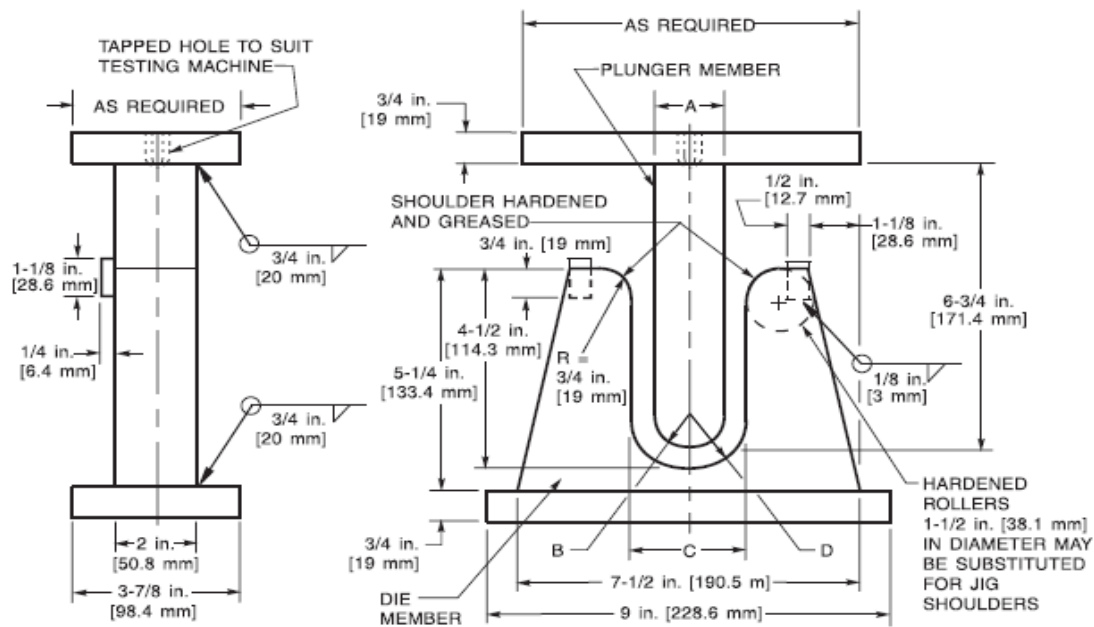
Figure 4.13(B)—Tension Specimens—Full Section—Small Diameter Pipe (see 4.6.6.1)



Notes:

1. The specimen may be thermally cut but, in this case, at least 1/8 in. [3 mm] of material shall be mechanically removed from the thermally cut surface.
2. For clad metals having an elongation requirement of at least 25%, the specimen thickness, t, may be reduced when using a bend-radius testing jig. The specimen thickness shall comply with the nomogram in Figure 4.9.
3. If the weld joins base metals with different thicknesses, the specimen should be reduced to a constant thickness based on the thinner base metal.
4. The weld reinforcement and backing, if any, shall be mechanically removed flush with the specimen surfaces.
5. The diameter of the test plunger shall be equal to or exceed the weld width. If this requirement cannot be met, a greater thickness, T, shall be chosen in accordance with the nomogram in Figure 4.9.
6. All longitudinal surfaces shall be no rougher than 125 microinches [3 μm] RMS. It is not recommended that the lay of the surface roughness be oriented parallel to the longitudinal axis of the specimen.

Figure 4.17—Transverse Face-Bend and Root-Bend Specimens—Plate (see 4.10.2.3)



Jig Dimensions for 20% Elongation					
Specimen Thickness, T		Plunger Radius, B		Die Radius, D	
in.	mm	in.	mm	in.	mm
3/8	9.5	3/4	19.0	1-3/16	30.2
T		2T		B + T + 1/16	
				B + T + 1.6	

Note: For elongation other than 20%, the specimen thickness, T, and the plunger radius, B, shall be adjusted in accordance with the nomogram of Figure 4.9.

Figure 4.7—Bottom Guided-Bend Test Jig (see 4.6.3.1)



Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials [Metric]¹

This standard is issued under the fixed designation E8M; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reappraisal. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reappraisal.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.

1. Scope *

1.1 These test methods cover the tension testing of metallic materials in any form at room temperature, specifically, the methods of determination of yield strength, yield point elongation, tensile strength, elongation, and reduction of area.

NOTE 1—These test methods are the metric companion of Test Methods E 8. Committee E-28 was granted an exception in 1997 by the Committee on Standards to maintain E8 and E8M as separate companion standards rather than combining standards as recommended by the Form and Style manual.

NOTE 2—These metric test methods are essentially the same as those in Test Methods E 8, and are compatible in technical content except that gage lengths are required to be 5D for most round specimens rather than 4D as specified in Test Methods E 8. Test specimens made from powder metallurgy (P/M) materials are exempt from this requirement by industry-wide agreement to keep the pressing of the material to a specific projected area and density.

NOTE 3—Exceptions to the provisions of these test methods may need to be made in individual specifications or test methods for a particular material. For examples, see Test Methods and Definitions A 370 and Test Methods B 557M.

NOTE 4—Room temperature shall be considered to be 10 to 38°C unless otherwise specified.

1.2 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

- A 356/A356M Specification for Steel Castings, Carbon, Low Alloy, and Stainless Steel, Heavy-Walled for Steam Turbines²
- A 370 Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products³
- B 557M Test Methods of Tension Testing Wrought and Cast

Aluminum- and Magnesium-Alloy Products [Metric]⁴

- E 4 Practices for Force Verification of Testing Machines⁵
- E 6 Terminology Relating to Methods of Mechanical Testing⁵
- E 8 Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials⁵
- E 29 Practice for Using Significant Digits in Test Data to Determine Conformance with Specifications⁶
- E 83 Practice for Verification and Classification of Extensometers⁵
- E 345 Test Methods of Tension Testing of Metallic Foil⁵
- E 691 Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method⁶
- E 1012 Practice for Verification of Specimen Alignment Under Tensile Loading⁵

3. Terminology

3.1 *Definitions*—The definitions of terms relating to tension testing appearing in Terminology E 6 shall be considered as applying to the terms used in these test methods of tension testing. Additional terms being defined are as follows:

3.1.1 *discontinuous yielding*—a hesitation or fluctuation of force observed at the onset of plastic deformation, due to localized yielding. (The stress-strain curve need not appear to be discontinuous.)

3.1.2 *lower yield strength, LYS* [FL^{-2}]²—the minimum stress recorded during discontinuous yielding, ignoring transient effects.

3.1.3 *upper yield strength, UYS* [FL^{-2}]²—the first stress maximum (stress at first zero slope) associated with discontinuous yielding.

3.1.4 *yield point elongation, YPE*—the strain (expressed in percent) separating the stress-strain curve's first point of zero slope from the point of transition from discontinuous yielding to uniform strain hardening. If the transition occurs over a range of strain, the YPE end point is the intersection between (a) a horizontal line drawn tangent to the curve at the last zero slope and (b) a line drawn tangent to the strain hardening portion of the stress-strain curve at the point of inflection. If there is no point at or near the onset of yielding at which the

¹ These test methods are under the jurisdiction of ASTM Committee E28 on Mechanical Testing and are the direct responsibility of Subcommittee E28.04 on Uniaxial Testing.

Current edition approved Dec. 10, 2000. Published February 2001. Originally published as E 8M – 84. Last previous edition E 8M – 00a.

² Annual Book of ASTM Standards, Vol 01.02.

³ Annual Book of ASTM Standards, Vol 01.03.

⁴ Annual Book of ASTM Standards, Vol 02.02.

⁵ Annual Book of ASTM Standards, Vol 03.01.

⁶ Annual Book of ASTM Standards, Vol 14.02.

*A Summary of Changes section appears at the end of this standard.

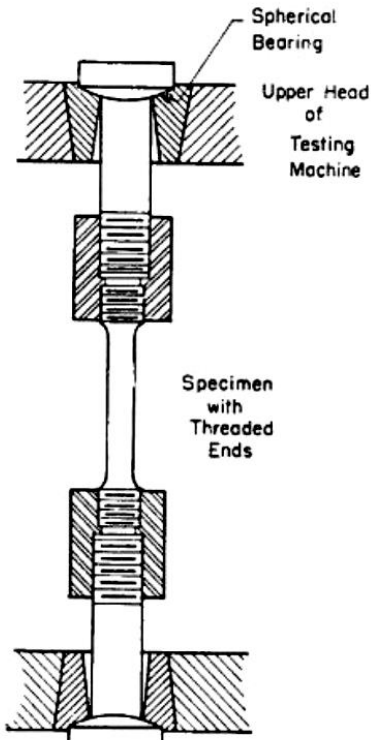


FIG. 3 Gripping Device for Threaded-End Specimens

within the gage length. For this reason, a small taper is permitted in the reduced section of each of the specimens described in the following sections.

6.1.4 *Specimen Surface Finish*—When materials are tested with surface conditions other than as manufactured, the surface finish of the test specimens shall be as provided in the applicable product specifications.

NOTE 8—Particular attention should be given to the uniformity and quality of surface finish of specimens for high strength and very low ductility materials, since this has been shown to be a factor in the variability of test results.

6.2 *Plate-Type Specimens*—The standard plate-type specimen is shown in Fig. 1. This specimen is used for testing metallic materials in the form of plate, shapes, and flat material having a nominal thickness of 5 mm or over. When product specifications so permit, other types of specimens may be used, as provided in 6.3, 6.4, and 6.5.

6.3 *Sheet-Type Specimens*:

6.3.1 The standard sheet-type test specimen is shown in Fig. 1. This specimen is used for testing metallic materials in the form of sheet, plate, flat wire, strip, band, hoop, rectangles, and shapes ranging in nominal thickness from 0.13 to 19 mm. When product specifications so permit, other types of specimens may be used as provided in 6.2, 6.4, and 6.5.

NOTE 9—Test Methods E 345 may be used for tension testing of

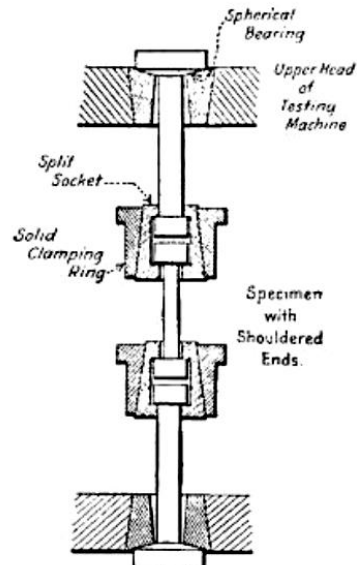


FIG. 4 Gripping Device for Shouldered-End Specimens

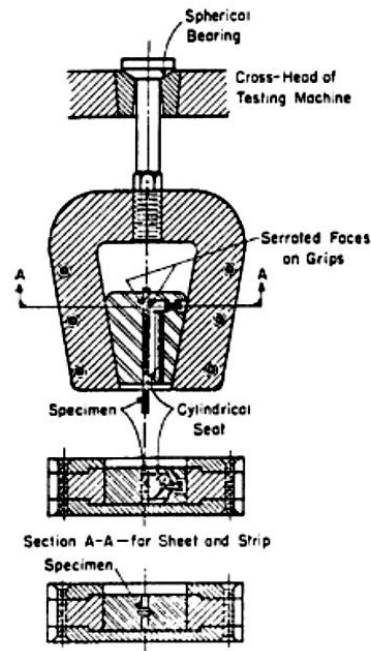
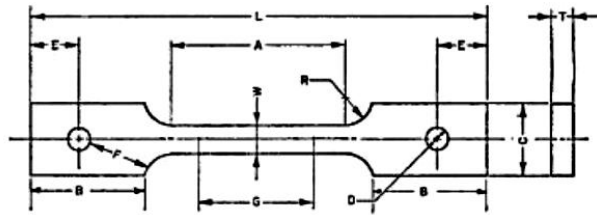


FIG. 5 Gripping Devices for Sheet and Wire Specimens

materials in thicknesses up to 0.150 mm.

6.3.2 Pin ends as shown in Fig. 7 may be used. In order to avoid buckling in tests of thin- and high-strength materials, it

E 8M



Dimensions, mm

G—Gage length	50.0 ± 0.1
W—Width (Note 1)	12.5 ± 0.2
T—Thickness, max (Note 2)	12.5
R—Radius of fillet, min (Note 3)	13
L—Overall length, min	200
A—Length of reduced section, min	57
B—Length of grip section, min	50
C—Width of grip section, approximate	50
D—Diameter of hole for pin, min (Note 4)	13
E—Edge distance from pin, approximate	40
F—Distance from hole to fillet, min	15

NOTE 1—The ends of the reduced section shall differ in width by not more than 0.1 mm. There may be a gradual taper in width from the ends to the center, but the width at each end shall be not more than 1 % greater than the width at the center.

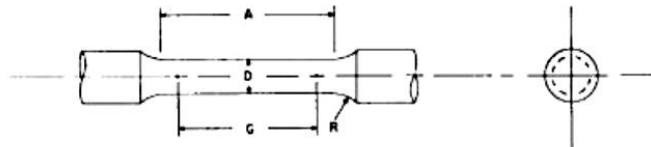
NOTE 2—The dimension *T* is the thickness of the test specimen as stated in the applicable product specifications.

NOTE 3—For some materials, a fillet radius *R* larger than 13 mm may be needed.

NOTE 4—Holes must be on center line of reduced section, within ± 0.1 mm.

NOTE 5—Variations of dimensions *C*, *D*, *E*, *F*, and *L* may be used that will permit failure within the gage length.

FIG. 7 Pin-Loaded Tension Test Specimen with 50-mm Gage Length



Dimensions, mm

	Standard Specimen					Small-Size Specimens Proportional To Standard				
	12.5	9	6	4	2.5					
G—Gage length	62.5 ± 0.1	45.0 ± 0.1	30.0 ± 0.1	20.0 ± 0.1	12.5 ± 0.1					
D—Diameter (Note 1)	12.5 ± 0.2	9.0 ± 0.1	6.0 ± 0.1	4.0 ± 0.1	2.5 ± 0.1					
R—Radius of fillet, min	10	8	6	4	2					
A—Length of reduced section, min (Note 2)	75	54	36	24	20					

NOTE 1—The reduced section may have a gradual taper from the ends toward the center, with the ends not more than 1 % larger in diameter than the center (controlling dimension).

NOTE 2—If desired, the length of the reduced section may be increased to accommodate an extensometer of any convenient gage length. Reference marks for the measurement of elongation should, nevertheless, be spaced at the indicated gage length.

NOTE 3—The gage length and fillets shall be as shown, but the ends may be of any form to fit the holders of the testing machine in such a way that the load may be axial (see Fig. 9). If the ends are to be held in wedge grips it is desirable, if possible, to make the length of the grip section great enough to allow the specimen to extend into the grips a distance equal to two thirds or more of the length of the grips.

NOTE 4—On the round specimens in Figs. 8 and 9, the gage lengths are equal to five times the nominal diameter. In some product specifications other specimens may be provided for, but the 5-to-1 ratio is maintained within dimensional tolerances, the elongation values may not be comparable with those obtained from the standard test specimen.

NOTE 5—The use of specimens smaller than 6 mm in diameter shall be restricted to cases when the material to be tested is of insufficient size to obtain larger specimens or when all parties agree to their use for acceptance testing. Smaller specimens require suitable equipment and greater skill in both machining and testing.

FIG. 8 Standard 12.5-mm Round Tension Test Specimen with Gage Lengths Five Times the Diameters (5D), and Examples of Small-Size Specimens Proportional to the Standard Specimen

6.8 *Shapes, Structural and Other*—In testing shapes other than those covered by the preceding sections, one of the types of specimens described in 6.2, 6.3, and 6.4 shall be used.

6.9 *Specimens for Pipe and Tube* (Note 12):
6.9.1 For all small tube (Note 12), particularly sizes 25 mm and under in nominal outside diameter, and frequently for

experimentally determined by using suitable length-measuring and timing devices.

NOTE 21—For machines not having crossheads or having stationary crossheads, the phrase “free-running crosshead speed” may be interpreted to mean the free-running rate of grip separation.

7.6.3 Speed of Testing When Determining Yield Properties—Unless otherwise specified, any convenient speed of testing may be used up to one half the specified yield strength or up to one quarter the specified tensile strength, whichever is smaller. The speed above this point shall be within the limits specified. If different speed limitations are required for use in determining yield strength, yield point elongation, tensile strength, elongation, and reduction of area, they should be stated in the product specifications. In the absence of any specified limitations on speed of testing, the following general rules shall apply:

NOTE 22—In the previous and following paragraphs, the yield properties referred to include yield strength and yield point elongation.

7.6.3.1 The speed of testing shall be such that the forces and strains used in obtaining the test results are accurately indicated.

7.6.3.2 When performing a test to determine yield properties, the rate of stress application shall be between 1.15 and 11.5 MPa/s.

NOTE 23—When a specimen being tested begins to yield, the stressing rate decreases and may even become negative in the case of a specimen with discontinuous yielding. To maintain a constant stressing rate in this case would require the testing machine to operate at extremely high speeds and, in many cases, this is not practical. The speed of the testing machine shall not be increased in order to maintain a stressing rate when the specimen begins to yield. In practice, it is simpler to use either a strain rate, a rate of separation of the heads, or a free-running crosshead speed which approximates the desired stressing rate. As an example, use a strain rate that is less than 11.5 MPa/s divided by the nominal Young’s Modulus of the material being tested. As another example, find a rate of separation of the heads through experimentation which would approximate the desired stressing rate prior to the onset of yielding, and maintain that rate of separation of the heads through the region that yield properties are determined. While both of these methods will provide similar rates of stressing and straining prior to the onset of yielding, the rates of stressing and straining may be different in the region where yield properties are determined. This difference is due to the change in the rate of elastic deformation of the testing machine, before and after the onset of yielding. In addition, the use of any of the methods other than rate of straining may result in different stressing and straining rates when using different testing machines, due to differences in the stiffness of the testing machines used.

7.6.4 Speed of Testing When Determining Tensile Strength—In the absence of any specified limitations on speed of testing, the following general rules shall apply for materials with expected elongations greater than 5%. When determining only the tensile strength, or after the yield behavior has been recorded, the speed of the testing machine shall be set between 0.05 and 0.5 m/m of the length of the reduced section (or distance between the grips for specimens not having reduced sections) per minute. Alternatively, an extensometer and strain rate indicator may be used to set the strain between 0.05 and 0.5 m/m/min.

NOTE 24—For materials with expected elongations less than or equal to 5%, the speed of the testing machine may be maintained throughout the test at the speed used to determine yield properties.

NOTE 25—Tensile strength and elongation are sensitive to test speed for many materials (see Appendix XI) to the extent that variations within the range of test speeds given above can significantly affect results.

7.7 Determination of Yield Strength—Determine yield strength by any of the methods described in 7.7.1 to 7.7.4. Where extensometers are employed, use only those which are verified over a strain range in which the yield strength will be determined (see 5.4).

NOTE 26—For example, a verified strain range of 0.2 to 2.0% is appropriate for use in determining the yield strengths of many metals.

NOTE 27—Determination of yield behavior on materials which cannot support an appropriate extensometer (thin wire, for example) is problematic and outside the scope of this standard.

7.7.1 Offset Method—To determine the yield strength by the offset method, it is necessary to secure data (autographic or numerical) from which a stress-strain diagram may be drawn. Then on the stress-strain diagram (Fig. 21) lay off Om equal to the specified value of the offset, draw mn parallel to OA , and thus locate r , the intersection of mn with the stress-strain diagram (Note 33). In reporting values of yield strength obtained by this method, the specified value of offset used should be stated in parentheses after the term yield strength, as follows:

$$\text{yield strength (offset} = 0.2\%) = 360 \text{ MPa} \quad (3)$$

In using this method, a Class B2 or better extensometer (see Practice E 83) shall be used.

NOTE 28—There are two general types of extensometers, averaging and non-averaging, the use of which is dependent on the product tested. For most machined specimens, there are minimal differences. However, for some forgings and tube sections, significant differences in measured yield strength can occur. For these cases, it is recommended that the averaging type be used.

NOTE 29—When there is a disagreement over yield properties, the

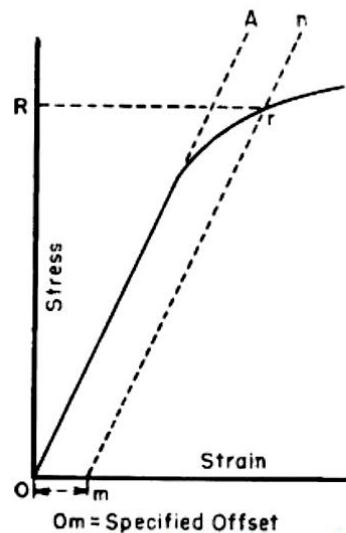


FIG. 21 Stress-Strain Diagram for Determination of Yield Strength by the Offset Method

offset method for determining yield strength is recommended as the referee method.

7.7.2 Extension-Under-Load Method—Yield strength by the extension-under-load method may be determined by: (1) using autographic or numerical devices to secure stress-strain data, and then analyzing this data (graphically or using automated methods) to determine the stress value at the specified value of extension, or (2) using devices that indicate when the specified extension occurs, so that the stress then occurring may be ascertained (Note 31). Any of these devices may be automatic. This method is illustrated in Fig. 22. The stress at the specified extension shall be reported as follows:

$$\text{yield strength (EUL = 0.5 \%)} = 360 \text{ MPa} \quad (4)$$

Extensometers and other devices used in determination of the extension shall meet Class B2 requirements (see Practice E 83) at the strain of interest, except where use of low-magnification Class C devices is helpful, such as in facilitating measurement of YPE if observed. If Class C devices are used, this must be reported along with the results.

NOTE 30—The appropriate value of the total extension must be specified. For steels with nominal yield strengths of less than 550 MPa, an appropriate value is 0.005 mm/mm (0.5 %) of the gage length. For higher strength steels, a greater extension or the offset method should be used.

NOTE 31—When no other means of measuring elongation are available, a pair of dividers or similar device can be used to determine a point of detectable elongation between two gage marks on the specimen. The gage length shall be 50 mm. The stress corresponding to the load at the instant of detectable elongation may be recorded as the *approximate* extension-under-load yield strength.

7.7.3 Autographic Diagram Method (for materials exhibiting discontinuous yielding)—Obtain stress-strain (or force-elongation) data or construct a stress-strain (or load-elongation) diagram using an autographic device. Determine the upper or lower yield strength as follows:

7.7.3.1 Record the stress corresponding to the maximum force at the onset of discontinuous yielding as the upper yield strength. This is illustrated in Fig. 23 and Fig. 24.

NOTE 32—If multiple peaks are observed at the onset of discontinuous

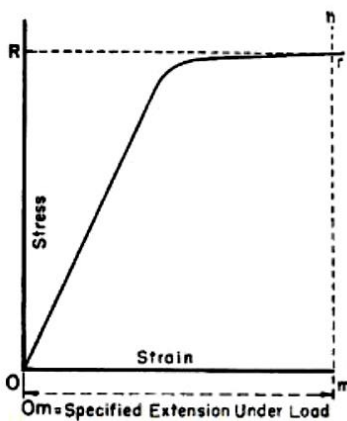


FIG. 22 Stress-Strain Diagram for Determination of Yield Strength by the Extension-Under-Load Method

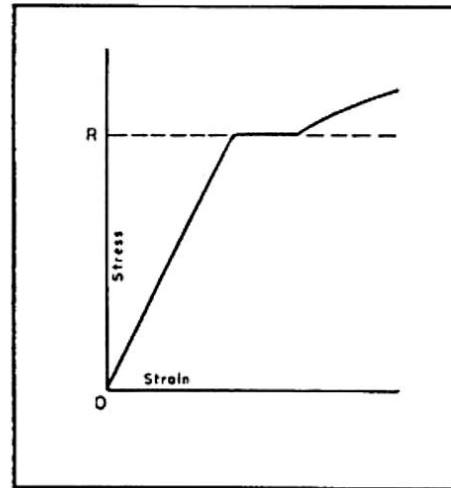


FIG. 23 Stress-Strain Diagram Showing Upper Yield Strength Corresponding with Top of Knee

yielding, the first is considered the upper yield strength. (See Fig. 24.)

7.7.3.2 Record the minimum stress observed during discontinuous yielding (ignoring transient effects) as the lower yield strength. This is illustrated in Fig. 24.

NOTE 33—Yield properties of materials exhibiting yield point elongation are often less repeatable and less reproducible than those of similar materials having no YPE. Offset and EUL yield strengths may be significantly affected by force fluctuations occurring in the region where the offset or extension intersects the stress-strain curve. Determination of upper or lower yield strengths (or both) may therefore be preferable for such materials, although these properties are dependent on variables such as test machine stiffness and alignment. Speed of testing may also have a significant effect, regardless of the method employed.

NOTE 34—Where low-magnification autographic recordings are needed to facilitate measurement of yield point elongation for materials which may have discontinuous yielding, Class C extensometers may be employed. When this is done but the material exhibits no discontinuous yielding, the extension-under-load yield strength may be determined instead, using the autographic recording (see Extension-Under-Load Method).

7.7.4 Halt-of-the-Force Method (for materials exhibiting discontinuous yielding)—Apply an increasing force to the specimen at a uniform deformation rate. When the force hesitates, record the corresponding stress as the upper yield strength.

NOTE 35—The Halt-of-the-Force Method was formerly known as the Halt-of-the-Pointer Method, the Drop-of-the-Beam Method, and the Halt-of-the-Load Method.

7.8 Yield Point Elongation—Calculate the yield point elongation from the stress-strain diagram or data by determining the difference in strain between the upper yield strength (first zero slope) and the onset of uniform strain hardening (see definition of YPE and Fig. 24).

NOTE 36—The stress-strain curve of a material exhibiting only a hint of the behavior causing YPE may have an inflection at the onset of yielding

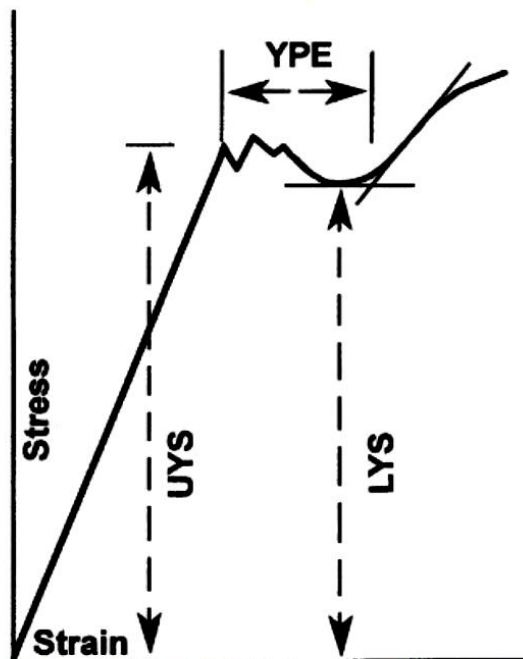


FIG. 24 Stress-Strain Diagram Showing Yield Point Elongation and Upper and Lower Yield Strengths

with no point where the slope reaches zero (Fig. 25). Such a material has no YPE, but may be characterized as exhibiting an *inflection*. Materials exhibiting inflections, like those with measurable YPE, may, in certain applications, acquire an unacceptable surface appearance during forming.

7.9 Tensile Strength—Calculate the tensile strength by dividing the maximum force carried by the specimen during the tension test by the original cross-sectional area of the specimen.

NOTE 37—If the upper yield strength is the maximum stress recorded, and if the stress-strain curve resembles that of Fig. 26, it is recommended that the maximum stress *after discontinuous yielding* be reported as the tensile strength. Where this may occur, determination of the tensile strength should be in accordance with the agreement between the parties involved.

7.10 Elongation:

7.10.1 In reporting values of elongation, give both the original gage length and the percentage increase. If any device other than an extensometer is placed in contact with the specimen's reduced section during the test, this shall also be noted.

Example: elongation = 30 % increase (50-mm gage length) (5)

NOTE 38—Elongation results are very sensitive to variables such as: (a) speed of testing, (b) specimen geometry (gage length, diameter, width, and thickness), (c) heat dissipation (through grips, extensometers, or other devices in contact with the reduced section), (d) surface finish in reduced section (especially burrs or notches), (e) alignment, and (f) fillets and tapers. Parties involved in comparison or conformance testing should standardize the above items, and it is recommended that use of ancillary devices (such as extensometer supports) which may remove heat from

specimens be avoided. See Appendix X1, for additional information on the effects of these variables.

7.10.2 When the specified elongation is greater than 3 %, fit ends of the fractured specimen together carefully and measure the distance between the gage marks to the nearest 0.25 mm for gage lengths of 50 mm and under, and to at least the nearest 0.5 % of the gage length for gage lengths over 50 mm. A percentage scale reading to 0.5 % of the gage length may be used.

7.10.3 When the *specified* elongation is 3 % or less, determine the elongation of the specimen using the following procedure, except that the procedure given in 7.10.2 may be used instead when the *measured* elongation is greater than 3 %.

7.10.3.1 Prior to testing, measure the original gage length of the specimen to the nearest 0.05 mm.

7.10.3.2 Remove partly torn fragments that will interfere with fitting together the ends of the fractured specimen or with making the final measurement.

7.10.3.3 Fit the fractured ends together with matched surfaces and apply a force along the axis of the specimen sufficient to close the fractured ends together. If desired, this force may then be removed carefully, provided the specimen remains intact.

NOTE 39—The use of a force of approximately 15 MPa has been found to give satisfactory results on test specimens of aluminum alloy.

7.10.3.4 Measure the final gage length to the nearest 0.05 mm and report the elongation to the nearest 0.2 %.

7.10.4 Elongation measured per paragraph 7.10.2 or 7.10.3

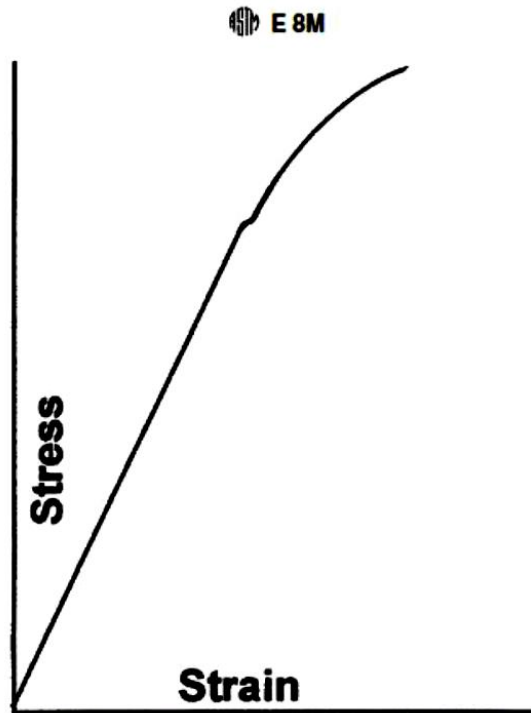


FIG. 25 Stress-Strain Diagram With an Inflection, But No YPE

may be affected by location of the fracture, relative to the marked gage length. If any part of the fracture occurs outside the gage marks or is located less than 25 % of the elongated gage length from either gage mark, the elongation value obtained using that pair of gage marks may be abnormally low and non-representative of the material. If such an elongation measure is obtained in acceptance testing involving only a minimum requirement and meets the requirement, no further testing need be done. Otherwise, discard the test and retest the material.

7.10.5 Elongation at fracture is defined as the elongation measured just prior to the sudden decrease in force associated with fracture. For many ductile materials not exhibiting a sudden decrease in force, the elongation at fracture can be taken as the strain measured just prior to when the force falls below 10 % of the maximum force encountered during the test.

7.10.5.1 Elongation at fracture shall include elastic and plastic elongation and may be determined with autographic or automated methods using extensometers verified over the strain range of interest (see 5.4). Use a class B2 or better extensometer for materials having less than 5 % elongation, a class C or better extensometer for materials having elongation greater than or equal to 5 % but less than 50 %, and a class D or better extensometer for materials having 50 % or greater elongation. In all cases, the extensometer gage length shall be the nominal gage length required for the specimen being tested. Due to the lack of precision in fitting fractured ends together, the elongation after fracture using the manual methods of the preceding paragraphs may differ from the elongation at fracture determined with extensometers.

7.10.5.2 Percent elongation at fracture may be calculated directly from elongation at fracture data and be reported instead of percent elongation as calculated in paragraphs 7.10.2 to 7.10.3. However, these two parameters are not interchangeable. Use of the elongation at fracture method generally provides more repeatable results.

NOTE 40—When disagreements arise over the percent elongation results, agreement must be reached on which method to use to obtain the results.

7.11 Reduction of Area:

7.11.1 The reduced area used to calculate reduction of area (see 7.11.2 and 7.11.3) shall be the minimum cross section at the location of fracture.

7.11.2 *Specimens With Originally Circular Cross Sections*—Fit the ends of the fractured specimen together and measure the reduced diameter to the same accuracy as the original measurement.

NOTE 41—Because of anisotropy, circular cross sections often do not remain circular during straining in tension. The shape is usually elliptical, thus, the area may be calculated by $\pi \cdot d_1 \cdot d_2 / 4$, where d_1 and d_2 are the major and minor diameters, respectively.

7.11.3 *Specimens With Originally Rectangular Cross Sections*—Fit the ends of the fractured specimen together and measure the thickness and width at the minimum cross section to the same accuracy as the original measurements.

NOTE 42—Because of the constraint to deformation that occurs at the corners of rectangular specimens, the dimensions at the center of the original flat surfaces are less than those at the corners. The shapes of these surfaces are often assumed to be parabolic. When this assumption is made,

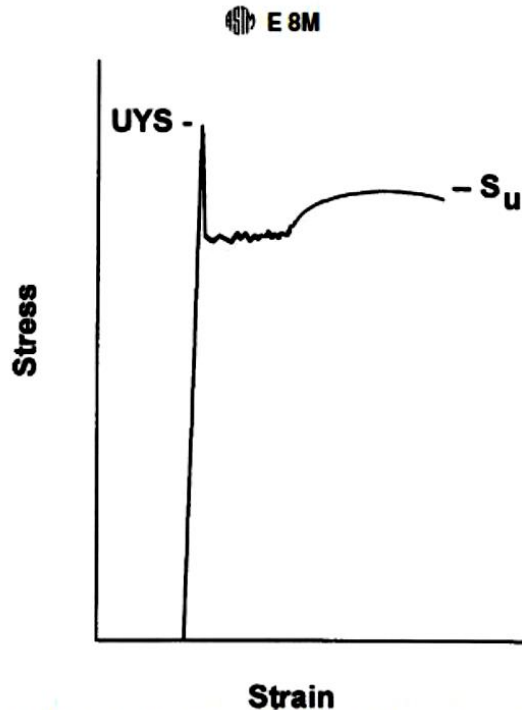


FIG. 26 Stress-Strain Diagram in Which the Upper Yield Strength is the Maximum Stress Recorded

an effective thickness, t_e , may be calculated by: $(t_1 + 4t_2 + t_3)/6$, where t_1 and t_3 are the thicknesses at the corners, and t_2 is the thickness at the mid-width. An effective width may be similarly calculated.

7.11.4 Calculate the reduced area based upon the dimensions determined in 7.11.2 or 7.11.3. The difference between the area thus found and the area of the original cross section expressed as a percentage of the original area is the reduction of area.

7.11.5 If any part of the fracture takes place outside the middle half of the reduced section or in a punched or scribed gage mark within the reduced section, the reduction of area value obtained may not be representative of the material. In acceptance testing, if the reduction of area so calculated meets the minimum requirements specified, no further testing is required, but if the reduction of area is less than the minimum requirements, discard the test results and retest.

7.11.6 Results of measurements of reduction of area shall be rounded using the procedures of Practice E 29 and any specific procedures in the product specifications. In the absence of a specified procedure, it is recommended that reduction of area test values in the range from 0 to 10 % be rounded to the nearest 0.5 % and test values of 10 % and greater to the nearest 1 %.

7.12 *Rounding Reported Test Data for Yield Strength and Tensile Strength*—Test data should be rounded using the procedures of Practice E 29 and the specific procedures in the product specifications. In the absence of a specified procedure for rounding the test data, one of the procedures described in the following paragraphs is recommended.

7.12.1 For test values up to 500 MPa, round to the nearest 1 MPa; for test values of 500 MPa and up to 1000 MPa, round to the nearest 5 MPa; for test values of 1000 MPa and greater, round to the nearest 10 MPa.

NOTE 43—For steel products, see Test Methods and Definitions A 370.

7.12.2 For all test values, round to the nearest 1 MPa.

NOTE 44—For aluminum- and magnesium-alloy products, see Methods B 557M.

7.12.3 For all test values, round to the nearest 5 MPa.

7.13 *Replacement of Specimens*—A test specimen may be discarded and a replacement specimen selected from the same lot of material in the following cases:

- 7.13.1 The original specimen had a poorly machined surface,
- 7.13.2 The original specimen had the wrong dimensions,
- 7.13.3 The specimen's properties were changed because of poor machining practice,
- 7.13.4 The test procedure was incorrect,
- 7.13.5 The fracture was outside the gage length,
- 7.13.6 For elongation determinations, the fracture was outside the middle half of the gage length, or
- 7.13.7 There was a malfunction of the testing equipment.

NOTE 45—The tension specimen is inappropriate for assessing some types of imperfections in a material. Other methods and specimens employing ultrasonics, dye penetrants, radiography, etc., may be considered when flaws such as cracks, flakes, porosity, etc., are revealed during a test and soundness is a condition of acceptance.



Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials¹

This standard is issued under the fixed designation E 23; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.

1. Scope

1.1 These test methods describe notched-bar impact testing of metallic materials by the Charpy (simple-beam) test and the Izod (cantilever-beam) test. They give the requirements for: test specimens, test procedures, test reports, test machines (see Annex A1) verifying Charpy impact machines (see Annex A2), optional test specimen configurations (see Annex A3), pre-cracking Charpy V-notch specimens (see Annex A4), designation of test specimen orientation (see Annex A5), and determining the percent of shear fracture on the surface of broken impact specimens (see Annex A6). In addition, information is provided on the significance of notched-bar impact testing (see Appendix X1), methods of measuring the center of strike (see Appendix X2), and the availability of Charpy V-notch verification specimens (see Appendix X3).

1.2 These test methods do not address the problems associated with impact testing at temperatures below -196°C (-320°F , 77°K).

1.3 The values stated in SI units are to be regarded as the standard. Inch-pound units are provided for information only.

1.4 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.* Specific precautionary statements are given in Section 5.

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

E 177 Practice for Use of the Terms Precision and Bias in ASTM Test Methods²

E 399 Test Method for Plane-Strain Fracture Toughness of Metallic Materials³

E 604 Test Method for Dynamic Tear Energy of Metallic Materials³

E 691 Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method²

¹ These test methods are under the jurisdiction of ASTM Committee E-28 on Mechanical Testing and are the direct responsibility of Subcommittee E28-07 on impact testing.

Current edition approved May 10, 2000. Published August 2000. Originally published as E 23 – 33 T. Last previous edition E 23 – 98.

² Annual Book of ASTM Standards, Vol 14.02.

³ Annual Book of ASTM Standards, Vol 03.01.

E 1271 Practice for Qualifying Charpy Verification Specimens of Heat-treated Steel³

E 1313 Guide for Recommended Formats for Data Records Used in Computerization of Mechanical Test Data for Metals⁴

3. Summary of Test Method

3.1 The essential features of an impact test are: a suitable specimen (specimens of several different types are recognized), an anvil or support on which the test specimen is placed to receive the blow of the moving mass, a moving mass that has sufficient energy to break the specimen placed in its path, and a device for measuring the energy absorbed by the broken specimen.

4. Significance and Use

4.1 These test methods of impact testing relate specifically to the behavior of metal when subjected to a single application of a force resulting in multi-axial stresses associated with a notch, coupled with high rates of loading and in some cases with high or low temperatures. For some materials and temperatures the results of impact tests on notched specimens, when correlated with service experience, have been found to predict the likelihood of brittle fracture accurately. Further information on significance appears in Appendix X1.

5. Precautions in Operation of Machine

5.1 Safety precautions should be taken to protect personnel from the swinging pendulum, flying broken specimens, and hazards associated with specimen warming and cooling media.

6. Apparatus

6.1 General Requirements:

6.1.1 The testing machine shall be a pendulum type of rigid construction.

6.1.2 The testing machine shall be designed and built to conform with the requirements given in Annex A1.

6.2 Inspection and Verification

6.2.1 Inspection procedures to verify impact machines directly are provided in A2.2 and A2.3. The items listed in A2.2 must be inspected annually.

6.2.2 The procedures to verify Charpy V-notch machines

⁴ Annual Book of ASTM Standards, Vol 14.01.

indirectly, using verification specimens, are given in A2.4. Charpy impact machines must be verified annually.

7. Test Specimens

7.1 Configuration and Orientation:

7.1.1 Specimens shall be taken from the material as specified by the applicable specification. Specimen orientation should be designated according to the terminology given in Annex A5.

7.1.2 The type of specimen chosen depends largely upon the characteristics of the material to be tested. A given specimen may not be equally satisfactory for soft nonferrous metals and hardened steels; therefore, many types of specimens are recognized. In general, sharper and deeper notches are required to distinguish differences in very ductile materials or when using low testing velocities.

7.1.3 The specimens shown in Figs. 1 and 2 are those most widely used and most generally satisfactory. They are particularly suitable for ferrous metals, excepting cast iron.⁵

7.1.4 The specimen commonly found suitable for die-cast alloys is shown in Fig. 3.

7.1.5 The specimens commonly found suitable for powdered metals (P/M) are shown in Figs. 4 and 5. The specimen

surface may be in the as-produced condition or smoothly machined, but polishing has proven generally unnecessary. Unnotched specimens are used with P/M materials. In P/M materials, the impact test results are affected by specimen orientation. Therefore, unless otherwise specified, the position of the specimen in the machine shall be such that the pendulum will strike a surface that is parallel to the compacting direction.

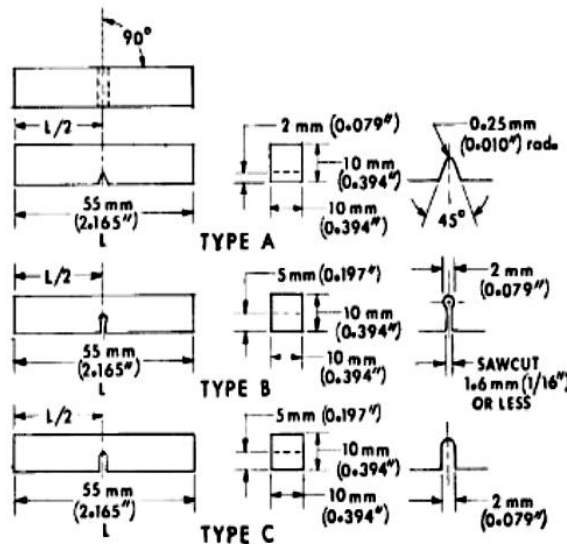
7.1.6 Sub-size and supplementary specimen recommendations are given in Annex A3.

7.2 Specimen Machining:

7.2.1 When heat-treated materials are being evaluated, the specimen shall be finish machined, including notching, after the final heat treatment, unless it can be demonstrated that the impact properties of specimens machined before heat treatment are identical to those machined after heat treatment.

7.2.2 Notches shall be smoothly machined but polishing has proven generally unnecessary. However, since variations in notch dimensions will seriously affect the results of the tests, adhering to the tolerances given in Fig. 1 is necessary (Appendix X1.2 illustrates the effects from varying notch dimensions on Type A specimens). In keyhole specimens, the round hole shall be carefully drilled with a slow feed rate. The slot may be cut by any feasible method, but care must be exercised in cutting the slot to ensure that the surface of the drilled hole opposite the slot is not damaged.

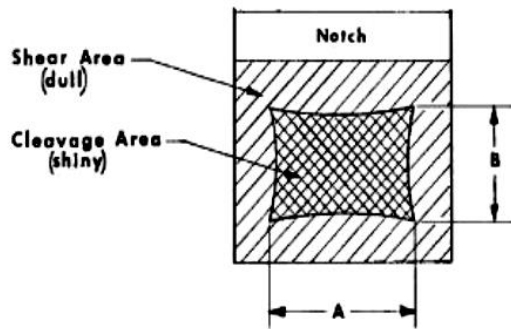
⁵ Report of Subcommittee XV on Impact Testing of Committee A-3 on Cast Iron, Proceedings, ASTM, Vol 33 Part 1, 1933.



NOTE 1—Permissible variations shall be as follows:

Notch length to edge	90 ± 2°
Adjacent sides shall be at	90° ± 10 min
Cross-section dimensions	± 0.075 mm (± 0.003 in.)
Length of specimen (L)	+0, -2.5 mm (+0, -0.100 in.)
Centering of notch (L/2)	± 1 mm (± 0.039 in.)
Angle of notch	± 1°
Radius of notch	± 0.025 mm (± 0.001 in.)
Notch depth:	
Type A specimen	± 0.025 mm (± 0.001 in.)
Types B and C specimen	± 0.075 mm (± 0.003 in.)
Finish requirements	2 µm (63 µin.) on notched surface and opposite face; 4 µm (125 µin.) on other two surfaces

FIG. 1 Charpy (Simple-Beam) Impact Test Specimens, Types A, B, and C



NOTE 1—Measure average dimensions *A* and *B* to the nearest 0.5 mm or 0.02 in.

NOTE 2—Determine the percent shear fracture using Table 1 or Table 2.

FIG. 10 Determination of Percent Shear Fracture

provide an adequate description of how the shear measurements were made.

NOTE 7—Because of the subjective nature of the evaluation of fracture appearance, it is not recommended that it be used in specifications.

10. Report

10.1 *Absorbed energy values above 80 % of the scale range are inaccurate and shall be reported as approximate. Ideally an impact test would be conducted at a constant impact velocity. In a pendulum-type test, the velocity decreases as the fracture progresses. For specimens that have impact energies approaching 80 % of the capacity of the pendulum, the velocity of the pendulum decreases (to about 45 % of the initial velocity) during fracture to the point that accurate impact energies are no longer obtained.*

10.2 *For commercial acceptance testing, report the following information (for each specimen tested):*

10.2.1 Specimen type (and size if not the full-size specimen),

10.2.2 Test temperature,

10.2.3 Absorbed energy, and

10.2.4 Any other contractual requirements.

10.3 *For other than commercial acceptance testing the following information is often reported in addition to the information in 10.2:*

- 10.3.1 Lateral expansion,
- 10.3.2 Unbroken specimens,
- 10.3.3 Fracture appearance (% shear, See Note 7),
- 10.3.4 Specimen orientation, and
- 10.3.5 Specimen location.

NOTE 8—A recommended format for computerization of notched bar impact test data is available in Practice E 1313.

11. Precision and Bias

11.1 *An Interlaboratory study used CVN specimens of low energy and of high energy to find sources of variation in the CVN absorbed energy. Data from 29 laboratories were included with each laboratory testing one set of five specimens of each energy level. Except being limited to only two energy levels (by availability of reference specimens), Practice E 691 was followed for the design and analysis of the data, the details are given in ASTM Research Report NO. RR:E28-1014.⁷*

11.2 *Precision—The Precision information given below (in units of J and ft-lbf) is for the average CVN absorbed energy of five test determinations at each laboratory for each material.*

Material	Low Energy		High Energy	
	J	ft-lbf	J	ft-lbf
Absorbed Energy	15.9	11.7	96.2	71.0
95 % Repeatability Limit	2.4	1.7	8.3	6.1
95 % Reproducibility Limits	2.7	2.0	9.2	6.8

The terms repeatability and reproducibility limit are used as defined in Practice E 177. The respective standard deviations among test results may be obtained by dividing the above limits by 2.8.

11.3 *Bias—Bias cannot be defined for CVN absorbed energy. The physical simplicity of the pendulum design is complicated by complex energy loss mechanisms within the machine and the specimen. Therefore, there is no absolute standard to which the measured values can be compared.*

12. Keywords

12.1 charpy test; fracture appearance; Izod test; impact test; notched specimens; pendulum machine

⁷ Supporting data have been filed at ASTM Headquarters and may be obtained by requesting Research Report E28-1014.

ANNEXES

(Mandatory Information)

A1. GENERAL REQUIREMENTS FOR IMPACT MACHINES

A1.1 *The machine frame shall be equipped with a bubble level or a machined surface suitable for establishing levelness of the axis of pendulum bearings or, alternatively, the levelness of the axis of rotation of the pendulum may be measured directly. The machine shall be level to within 3:1000 and securely bolted to a concrete floor not less than 150 mm (6 in.) thick or, when this is not practical, the machine shall be bolted to a foundation having a mass not less than 40 times that of the*

pendulum. The bolts shall be tightened as specified by the machine manufacturer.

A1.2 *A scale or digital display, graduated in degrees or energy, on which readings can be estimated in increments of 0.25 % of the energy range or less shall be furnished for the machine.*

A1.2.1 The scales and digital displays may be compensated

to the following requirements: (a) have a thickness of approximately 1.5 mm (0.06 in.), (b) have a minimum hardness of 45 HRC, (c) have a radius of less than 1.5 mm (0.06 in.) at the underside corners, and (d) be so positioned that the clearance between them and the pendulum overhang (both top and sides) does not exceed 1.5 mm (0.06 in.).

NOTE A1.1—In machines where the opening within the pendulum permits clearance between the ends of a specimen (resting on the anvil supports) and the shrouds, and this clearance is at least 13 mm (0.5 in.), the requirements (a) and (d) need not apply.

A1.10 Charpy Apparatus:

A1.10.1 Means shall be provided (see Fig. A1.2) to locate and support the test specimen against two anvil blocks in such a position that the center of the notch can be located within 0.25 mm (0.010 in.) of the midpoint between the anvils (see 8.3.2).

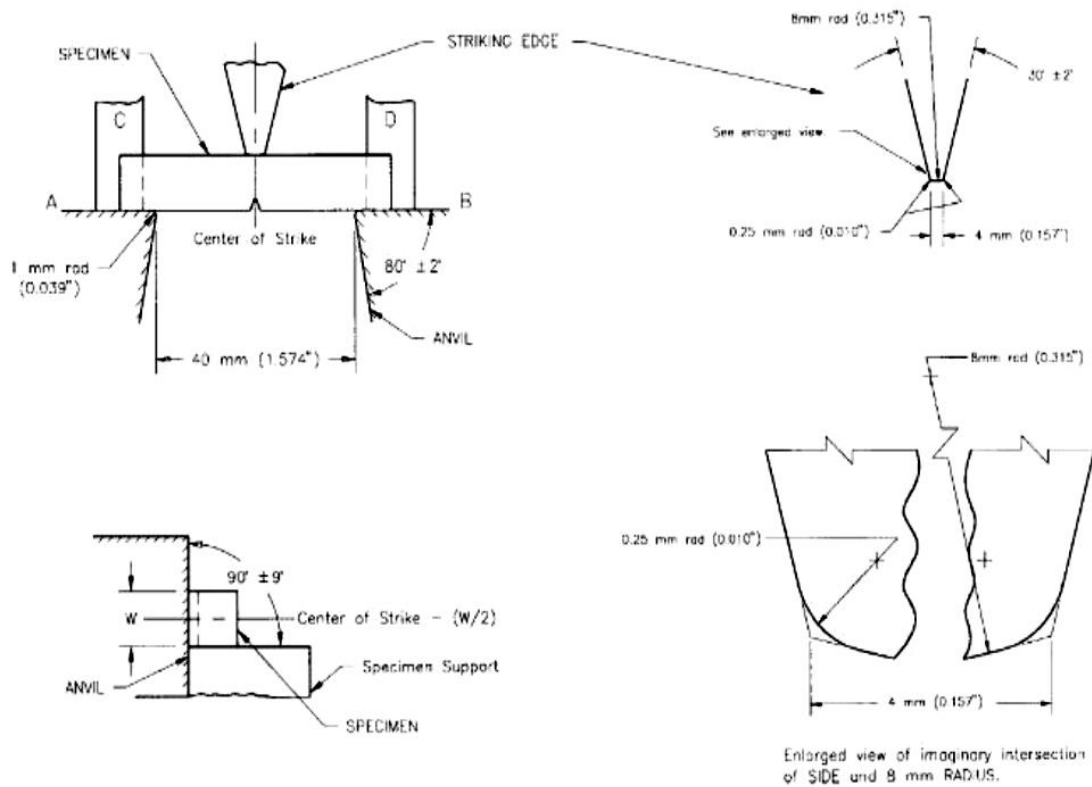
A1.10.2 The supports and striker shall be of the forms and dimensions shown in Fig. A1.2. Other dimensions of the pendulum and supports should be such as to minimize interference between the pendulum and broken specimens.

A1.10.3 The center line of the striker shall advance in the plane that is within 0.40 mm (0.016 in.) of the midpoint between the supporting edges of the specimen anvils. The striker shall be perpendicular to the longitudinal axis of the specimen within 5:1000. The striker shall be parallel within 1:1000 to the face of a perfectly square test specimen held against the anvil.

A1.11 Izod Apparatus:

A1.11.1 Means shall be provided (see Fig. A1.3) for clamping the specimen in such a position that the face of the specimen is parallel to the striker within 1:1000. The edges of the clamping surfaces shall be sharp angles of $90 \pm 1^\circ$ with radii less than 0.40 mm (0.016 in.). The clamping surfaces shall be smooth with a $2\text{-}\mu\text{m}$ (63- $\mu\text{in.}$) finish or better, and shall clamp the specimen firmly at the notch with the clamping force applied in the direction of impact. For rectangular specimens, the clamping surfaces shall be flat and parallel within 0.025 mm (0.001 in.). For cylindrical specimens, the clamping surfaces shall be contoured to match the specimen and each surface shall contact a minimum of $\pi/2$ rad (90°) of the specimen circumference.

A1.11.2 The dimensions of the striker and its position relative to the specimen clamps shall be as shown in Fig. A1.3.



All dimensional tolerances shall be ± 0.05 mm (0.002 in.) unless otherwise specified.

FIG. A1.2 Charpy Striking Top

NOTE A2.2—Expansion bolts or fasteners with driven in inserts shall not be used for foundations. These fasteners will work loose and/or tighten up against the bottom of the machine indicating a false high torque value when the bolts are tightened.

A2.2.7 Check the indicator zero and the friction loss of the machine as described in 8.1.

A2.3 *Direct Verification of Parts to be Verified at Least Once:*

A2.3.1 Specimen anvils and supports or Izod vises shall conform to the dimensions shown in Fig. A1.2 or Fig. A1.3.

NOTE A2.3—The impact machine will be inaccurate to the extent that some energy is used in deformation or movement of its component parts or of the machine as a whole; this energy will be registered as used in fracturing the specimen.

A2.3.2 The striker shall conform to the dimensions shown in Fig. A1.2 or Fig. A1.3. The mounting surfaces must be clean and free of defects that would prevent a good fit. Check that the striker complies with A1.10.3 (for Charpy tests) or A1.11.1 (for Izod tests).

A2.3.3 The pendulum alignment shall comply with A1.4 and A1.5. If the side play in the pendulum or the radial play in the bearings exceeds the specified limits, adjust or replace the bearings.

A2.3.4 *Determine the Center of Strike*—For Charpy machines the center of strike of the pendulum is determined using a half-width specimen (10 by 5 mm) in the test position. With the striker in contact with the specimen, a line marked along the top edge of the specimen on the striker will indicate the center of strike. For Izod machines, the center of strike may be considered to be the contact line when the pendulum is brought into contact with a specimen in the normal testing position.

A2.3.5 *Determine the Potential Energy*—The following procedure shall be used when the center of strike of the pendulum is coincident with the radial line from the centerline of the pendulum bearings (herein called the axis of rotation) to the center of gravity (see Appendix X2). If the center of strike is more than 1.0 mm (0.04 in.) from this line, suitable corrections in elevation of the center of strike must be made in A2.3.8.1 and A2.3.9, so that elevations set or measured correspond to what they would be if the center of strike were on this line. The potential energy of the system is equal to the height from which the pendulum falls, as determined in A2.3.5.2, times the supporting force, as determined in A2.3.5.1

A2.3.5.1 To measure the supporting force, support the pendulum horizontally to within 15:1000 with two supports, one at the bearings (or center of rotation) and the other at the center of strike on the striker (see Fig. A2.1). Then arrange the support at the striker to react upon some suitable weighing device such as a platform scale or balance, and determine the weight to within 0.4 %. Take care to minimize friction at either point of support. Make contact with the striker through a round rod crossing the edge at a 90° angle. The supporting force is the scale reading minus the weights of the supporting rod and any shims that may be used to maintain the pendulum in a horizontal position.

A2.3.5.2 Determine the height of pendulum drop for compliance with the requirement of A1.7. On Charpy machines determine the height from the top edge of a half-width (or

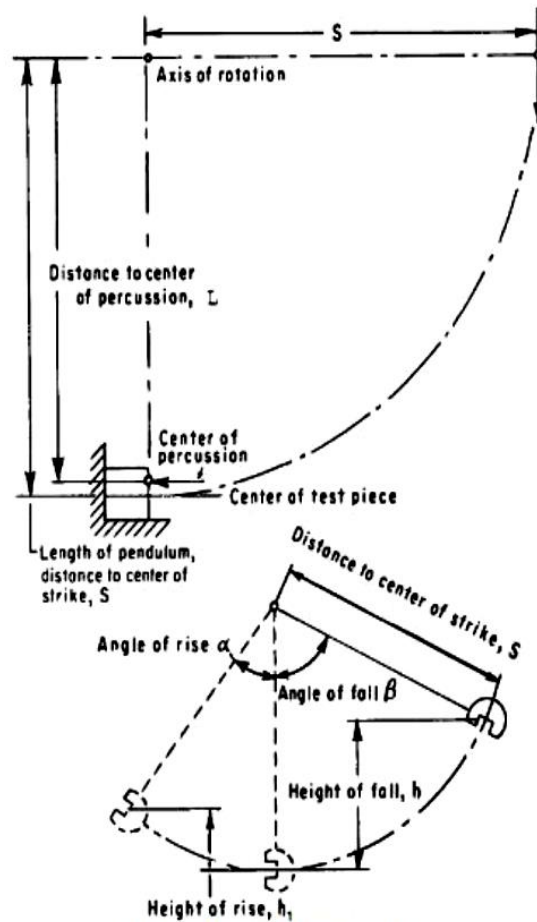


FIG. A2.1 Dimensions for Calculations

center of a full-width) specimen to the elevated position of the center of strike to 0.1 %. On Izod machines determine the height from a distance 22.66 mm (0.892 in.) above the vise to the release position of the center of strike to 0.1 %. The height may be determined by direct measurement of the elevation of the center of strike or by calculation from the change in angle of the pendulum using the following formulas (see Fig. A2.1):

$$h = S(1 - \cos(\beta)) \quad (A2.1)$$

$$h_1 = S(1 - \cos(\alpha)) \quad (A2.2)$$

where

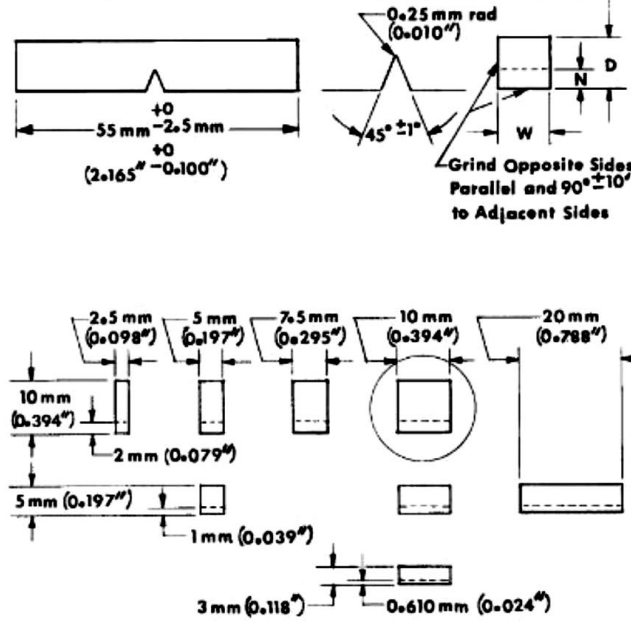
- h = initial elevation of the striker, m (ft),
- S = length of the pendulum distance to the center of strike, m (ft),
- β = angle of fall,
- h_1 = height of rise, m (ft), and
- α = angle of rise.

A2.3.6 Determine the impact velocity, $[v]$, of the machine, neglecting friction, by means of the following equation:

$$v = \sqrt{2gh} \quad (A2.3)$$

E 23

On subsize specimens the length, notch angle, and notch radius are constant (see Fig. 1); depth (*D*), notch depth (*N*), and width (*W*) vary as indicated below.



Note 1—Circled specimen is the standard specimen (see Fig. 1).

Note 2—Permissible variations shall be as follows:

Cross-section dimensions	± 1% or ± 0.075 mm (0.003 in.), whichever is smaller
Radius of notch	± 0.025 mm (0.001 in.)
Depth of notch	± 0.025 mm (0.001 in.)
Finish requirements	2 μm (63 μin.) on notched surface and opposite face; 4 μm (125 μin.) on other two surfaces

FIG. A3.1 Charpy (Simple-Beam) Subsize (Type A) Impact Test Specimens

E 23

A6. DETERMINATION OF THE PROPORTION OF SHEAR FRACTURE SURFACE

A6.1 The methods described here may be used to determine the percent shear fracture on the surface of impact specimens.

A6.1.1 Measure the length and width of the flat fracture region of the fracture surface, as shown in Fig. 10, and determine the percent shear from either Table A6.1 or Table A6.2 depending on the units of measurement.

A6.1.2 Compare the appearance of the fracture of the specimen with a fracture appearance chart such as that shown in Fig. A6.1.

A6.1.3 Magnify the fracture surface and compare it to a precalibrated overlay chart or measure the percent shear fracture by means of a planimeter.

A6.1.4 Photograph the fracture surface at a suitable magnification and measure the percent shear fracture by means of a planimeter.

A6.1.5 Capture a digital image of the fracture surface and measure the percent shear fracture using image analysis software.

TABLE A6.1 Percent Shear for Measurements Made in Millimetres

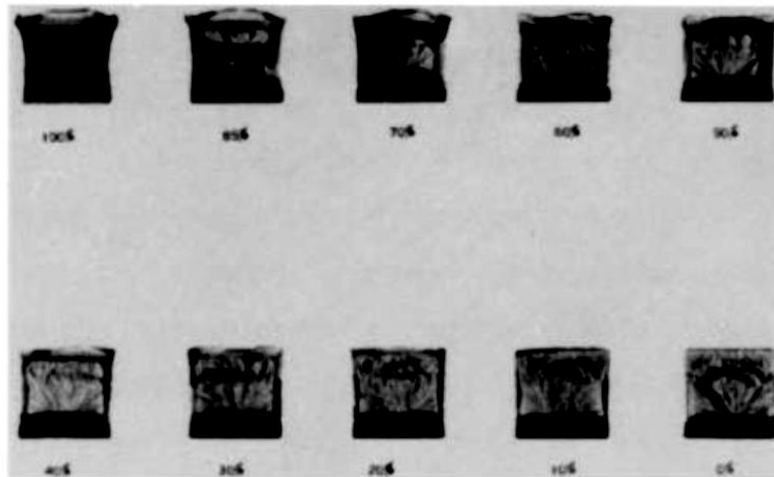
Note 1—100% shear is to be reported when either *A* or *B* is zero.

Dimension <i>B</i> , mm	Dimension <i>A</i> , mm																		
	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5	10
1.0	99	98	98	97	96	96	95	94	94	93	92	92	91	91	90	89	89	88	88
1.5	98	97	96	95	94	93	92	92	91	90	89	88	87	86	85	84	83	82	81
2.0	98	96	95	94	92	91	90	89	88	86	85	84	82	81	80	79	77	76	75
2.5	97	95	94	92	91	89	88	86	84	83	81	80	78	77	75	73	72	70	69
3.0	96	94	92	91	89	87	85	83	81	79	77	76	74	72	70	68	66	64	62
3.5	96	93	91	89	87	85	82	80	78	76	74	72	69	67	65	63	61	58	56
4.0	95	92	90	88	85	82	80	77	75	72	70	67	65	62	60	57	55	52	50
4.5	94	92	89	86	83	80	77	75	72	69	66	63	61	58	55	52	49	46	44
5.0	94	91	88	85	81	78	75	72	69	66	62	59	56	53	50	47	44	41	37
5.5	93	90	86	83	79	76	72	69	66	62	59	55	52	48	45	42	38	35	31
6.0	92	89	85	81	77	74	70	66	62	59	55	51	47	44	40	36	33	29	25
6.5	92	88	84	80	76	72	67	63	59	55	51	47	43	39	35	31	27	23	19
7.0	91	87	82	78	74	69	65	61	56	52	47	43	39	34	30	26	21	17	12
7.5	91	86	81	77	72	67	62	58	53	48	44	39	34	30	25	20	16	11	6
8.0	90	85	80	75	70	65	60	55	50	45	40	35	30	25	20	15	10	5	0

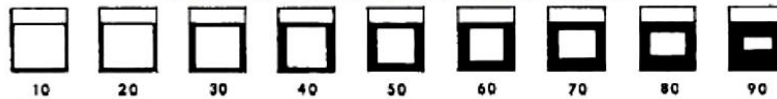
TABLE A6.2 Percent Shear for Measurements Made in Inches

NOTE 1—100 % shear is to be reported when either A or B is zero.

Dimension B, in.	Dimension A, in.																
	0.05	0.10	0.12	0.14	0.16	0.18	0.20	0.22	0.24	0.26	0.28	0.30	0.32	0.34	0.36	0.38	0.40
0.05	98	96	95	94	94	93	92	91	90	90	89	88	87	86	85	85	84
0.10	96	92	90	89	87	85	84	82	81	79	77	76	74	73	71	69	68
0.12	95	90	88	86	85	83	81	79	77	75	73	71	69	67	65	63	61
0.14	94	89	86	84	82	80	77	75	73	71	68	66	64	62	59	57	55
0.16	94	87	85	82	79	77	74	72	69	67	64	61	59	56	53	51	48
0.18	93	85	83	80	77	74	72	68	65	62	59	56	54	51	48	45	42
0.20	92	84	81	77	74	72	68	65	61	58	55	52	48	45	42	39	36
0.22	91	82	79	75	72	68	65	61	57	54	50	47	43	40	36	33	29
0.24	90	81	77	73	69	65	61	57	54	50	46	42	38	34	30	27	23
0.26	90	79	75	71	67	62	58	54	50	46	41	37	33	29	25	20	16
0.28	89	77	73	68	64	59	55	50	46	41	37	32	28	23	18	14	10
0.30	88	76	71	66	61	56	52	47	42	37	32	27	23	18	13	9	3
0.31	88	75	70	65	60	55	50	45	40	35	30	25	20	18	10	5	0



(a) Fracture Appearance Charts and Percent Shear Fracture Comparator



(b) Guide for Estimating Fracture Appearance

FIG. A6.1 Fracture Appearance

APPENDIXES

(Nonmandatory Information)

XI. NOTES ON SIGNIFICANCE OF NOTCHED-BAR IMPACT TESTING

X1.1 Notch Behavior:

used extensively in mechanical testing of steel products, in research, and in procurement specifications for over three

X1.1.1 The Charpy V-notch (CVN) impact test has been



Designation: E 10 - 96

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS
100 Barr Harbor Dr., West Conshohocken, PA 19428
Reprinted from the Annual Book of ASTM Standards. Copyright ASTM
If not listed in the current combined index, will appear in the next edition.

American Association State Highway
and Transportation Officials Standard
AASHTO No.: T70-96

Standard Test Method for Brinell Hardness of Metallic Materials¹

This standard is issued under the fixed designation E 10; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reappraisal. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reappraisal.

This test method has been approved for use by agencies of the Department of Defense to replace method 242.1 of Federal Test Method Standard No. 151b and for listing in DoD Index of Specifications and Standards.

1. Scope

1.1 This test method (Part A) covers the determination of the Brinell hardness of metallic materials, including methods for the verification of Brinell hardness testing machines (Part B) and the calibration of standardized hardness test blocks (Part C).

1.2 The values stated in SI units are to be regarded as the standard.

NOTE 1—In common terminology, the equivalent force in kgf is substituted for Newtons.

1.3 This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.

2. Referenced Documents

- 2.1 *ASTM Standards:*
- E 4 Practices for Force Verification of Testing Machines²
- E 29 Practice for Using Significant Digits in Test Data to Determine Conformance with Specifications³
- E 74 Practice for Calibration of Force Measuring Instruments for Verifying the Force Indication of Testing Machines²
- E 140 Hardness Conversion Tables for Metals²

3. Terminology

3.1 *Brinell hardness test*—An indenter (hardened steel ball or tungsten carbide ball with diameter D) is forced into the surface of a test piece and the diameter of the indentation d left in the surface after removal of the test force, F , is measured. (See Table 1 and Figs. 1 and 2.)

DISCUSSION 1—The steel or tungsten carbide ball may be used for materials with a Brinell hardness not exceeding 450.

DISCUSSION 2—The tungsten carbide ball shall be used for materials with a Brinell hardness greater than 450 and less than or equal to 650.

DISCUSSION 3—For Brinell hardnesses above 450, a significant difference is observed between results obtained using steel balls and those obtained using tungsten carbide balls.

3.2 *Brinell hardness number*—A number which is propor-

tional to the quotient obtained by dividing the test force by the curved surface area of the indentation which is assumed to be spherical and of the diameter of the ball.

$$\text{HBS or HBW} = 0.102 \times \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (\text{See Table 1})$$

where:

D = diameter of the ball, mm,

F = test force, N, and

d = mean diameter of the indentation, mm.

The Brinell hardness is denoted by the following symbols:

HBS in cases where a steel ball is used.

HBW in cases where a tungsten carbide ball is used.

NOTE 2—In former standards, in cases when a steel ball was used, the Brinell hardness was denoted by HB.

NOTE 3—The symbol HBS or HBW is preceded by the hardness value. When conditions other than those specified in 1.1.2 are used, the hardness value is supplemented by an index indicating the test conditions in the order:

- (1) Diameter of the ball, in millimetres,
- (2) A value representing the test force in kilogram-force (see Table 3), and
- (3) Duration of loading, in seconds.

Examples:

350 HBS 5/750 = Brinell hardness of 350 determined with a steel ball of 5-mm diameter and with a test force of 7.355 kN (750 kgf) applied for 10 to 15 s.

600 HBW 1/30/20 = Brinell hardness of 600 determined with a tungsten carbide ball of 1-mm diameter and with a test force of 294.2 N (30 kgf) applied for 20 s.

Brinell hardness numbers vary with the test force used; however, test results will generally be in agreement when the ratio of the test force to the square of the ball diameter is held constant (see Table 3).

Table 2 lists the Brinell hardness numbers corresponding to various

TABLE 1 Symbols and Designations

NOTE—Constant = $\frac{1}{9.80665} = \frac{1}{9.80665} = 0.102$

Symbol	Designation
D	Diameter of the ball, mm
F	Test force, N
d	Mean diameter of the indentation, mm
h	Depth of the indentation, mm
	$= \frac{D - \sqrt{D^2 - d^2}}{2}$
HBS or HBW	Brinell hardness
	$= \text{Constant} \times \frac{\text{Test force}}{\text{Surface area of indentation}}$
	$= 0.102 \times \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee E-28 on Mechanical Testing and is the direct responsibility of Subcommittee E28.06 on Indentation Hardness Testing.

Current edition approved Dec. 10, 1996. Published February 1997. Originally published as E 10 - 24 T. Last previous edition E 10 - 93.

² Annual Book of ASTM Standards, Vol 03.01.

³ Annual Book of ASTM Standards, Vol 14.02.

TABLE 2 Brinell Hardness Numbers^a
(Ball 10 mm in Diameter, Applied Forces of 500, 1500, and 3000 kgf)

NOTE—The values given in this table for Brinell hardness numbers are merely solutions of the equation given in the definition in 3.2, and include values for impression diameters outside the ranges recommended in 8.1. These values are indicated by italics.

Diameter of Indentation, mm	Brinell Hardness Number			Diameter of Indentation, mm	Brinell Hardness Number			Diameter of Indentation, mm	Brinell Hardness Number			Diameter of Indentation, mm	Brinell Hardness Number		
	500-kgf Load	1500-kgf Load	3000-kgf Load		500-kgf Load	1500-kgf Load	3000-kgf Load		500-kgf Load	1500-kgf Load	3000-kgf Load		500-kgf Load	1500-kgf Load	3000-kgf Load
2.00	158	473	945	2.60	92.6	278	555	3.20	60.5	182	363	3.80	42.4	127	255
2.01	156	468	936	2.61	91.8	276	551	3.21	60.1	180	361	3.81	42.2	127	253
2.02	154	463	926	2.62	91.1	273	547	3.22	59.8	179	359	3.82	42.0	126	252
2.03	153	459	917	2.63	90.4	271	543	3.23	59.4	178	356	3.83	41.7	125	250
2.04	151	454	908	2.64	89.7	269	538	3.24	59.0	177	354	3.84	41.5	125	249
2.05	150	450	899	2.65	89.0	267	534	3.25	58.6	176	352	3.85	41.3	124	248
2.06	148	445	890	2.66	88.4	265	530	3.26	58.3	175	350	3.86	41.1	123	246
2.07	147	441	882	2.67	87.7	263	526	3.27	57.9	174	347	3.87	40.9	123	245
2.08	146	437	873	2.68	87.0	261	522	3.28	57.5	173	345	3.88	40.6	122	244
2.09	144	432	865	2.69	86.4	259	518	3.29	57.2	172	343	3.89	40.4	121	242
2.10	143	428	856	2.70	85.7	257	514	3.30	56.8	170	341	3.90	40.2	121	241
2.11	141	424	848	2.71	85.1	255	510	3.31	56.5	169	339	3.91	40.0	120	240
2.12	140	420	840	2.72	84.4	253	507	3.32	56.1	168	337	3.92	39.8	119	239
2.13	139	416	832	2.73	83.8	251	503	3.33	55.8	167	335	3.93	39.6	119	237
2.14	137	412	824	2.74	83.2	250	499	3.34	55.4	166	333	3.94	39.4	118	236
2.15	136	408	817	2.75	82.6	248	495	3.35	55.1	165	331	3.95	39.1	117	235
2.16	135	404	809	2.76	81.9	246	492	3.36	54.8	164	329	3.96	38.9	117	234
2.17	134	401	802	2.77	81.3	244	488	3.37	54.4	163	326	3.97	38.7	116	232
2.18	132	397	794	2.78	80.8	242	485	3.38	54.1	162	325	3.98	38.5	116	231
2.19	131	393	787	2.79	80.2	240	481	3.39	53.8	161	323	3.99	38.3	115	230
2.20	130	390	780	2.80	79.6	239	477	3.40	53.4	160	321	4.00	38.1	114	229
2.21	129	386	772	2.81	79.0	237	474	3.41	53.1	159	319	4.01	37.9	114	228
2.22	128	383	765	2.82	78.4	235	471	3.42	52.8	158	317	4.02	37.7	113	226
2.23	126	379	758	2.83	77.9	234	467	3.43	52.5	157	315	4.03	37.5	113	225
2.24	125	376	752	2.84	77.3	232	464	3.44	52.2	156	313	4.04	37.3	112	224
2.25	124	372	745	2.85	76.8	230	461	3.45	51.8	156	311	4.05	37.1	111	223
2.26	123	369	738	2.86	76.2	229	457	3.46	51.5	155	309	4.06	37.0	111	222
2.27	122	366	732	2.87	75.7	227	454	3.47	51.2	154	307	4.07	36.8	110	221
2.28	121	363	725	2.88	75.1	225	451	3.48	50.9	153	306	4.08	36.6	110	219
2.29	120	359	719	2.89	74.6	224	448	3.49	50.8	152	304	4.09	36.4	109	218
2.30	119	356	712	2.90	74.1	222	444	3.50	50.3	151	302	4.10	36.2	109	217
2.31	118	353	706	2.91	73.6	221	441	3.51	50.0	150	300	4.11	36.0	108	216
2.32	117	350	700	2.92	73.0	219	438	3.52	49.7	149	298	4.12	35.8	108	215
2.33	116	347	694	2.93	72.5	218	435	3.53	49.4	148	297	4.13	35.7	107	214
2.34	115	344	688	2.94	72.0	216	432	3.54	49.2	147	295	4.14	35.5	106	213
2.35	114	341	682	2.95	71.5	215	429	3.55	48.9	147	293	4.15	35.3	106	212
2.36	113	338	676	2.96	71.0	213	426	3.56	48.6	146	292	4.16	35.1	105	211
2.37	112	335	670	2.97	70.5	212	423	3.57	48.3	145	290	4.17	34.9	105	210
2.38	111	332	665	2.98	70.1	210	420	3.58	48.0	144	288	4.18	34.8	104	209
2.39	110	330	659	2.99	69.6	209	417	3.59	47.7	143	286	4.19	34.6	104	208
2.40	109	327	653	3.00	69.1	207	415	3.60	47.5	142	285	4.20	34.4	103	207
2.41	108	324	648	3.01	68.6	206	412	3.61	47.2	142	283	4.21	34.2	103	205
2.42	107	322	643	3.02	68.2	205	409	3.62	46.9	141	282	4.22	34.1	102	204
2.43	106	319	637	3.03	67.7	203	406	3.63	46.7	140	280	4.23	33.9	102	203
2.44	105	316	632	3.04	67.3	202	404	3.64	46.4	139	278	4.24	33.7	101	202
2.45	104	313	627	3.05	66.8	200	401	3.65	46.1	138	277	4.25	33.6	101	201
2.46	104	311	621	3.06	66.4	199	398	3.66	45.9	138	275	4.26	33.4	100	200
2.47	103	308	616	3.07	65.9	198	395	3.67	45.6	137	274	4.27	33.2	99.7	199
2.48	102	306	611	3.08	65.5	196	393	3.68	45.4	136	272	4.28	33.1	99.2	198
2.49	101	303	606	3.09	65.0	195	390	3.69	45.1	135	271	4.29	32.9	98.8	198
2.50	100	301	601	3.10	64.6	194	388	3.70	44.9	135	269	4.30	32.8	98.3	197
2.51	99.4	298	597	3.11	64.2	193	385	3.71	44.6	134	268	4.31	32.6	97.8	196
2.52	98.6	296	592	3.12	63.8	191	383	3.72	44.4	133	266	4.32	32.4	97.3	195
2.53	97.8	294	587	3.13	63.3	190	380	3.73	44.1	132	265	4.33	32.3	96.8	194
2.54	97.1	291	582	3.14	62.9	189	378	3.74	43.9	132	263	4.34	32.1	96.4	193
2.55	96.3	289	578	3.15	62.5	188	375	3.75	43.6	131	262	4.35	32.0	95.9	192
2.56	95.5	287	573	3.16	62.1	186	373	3.76	43.4	130	260	4.36	31.8	95.5	191
2.57	94.8	284	569	3.17	61.7	185	370	3.77	43.1	129	259	4.37	31.7	95.0	190
2.58	94.0	282	564	3.18	61.3	184	368	3.78	42.9	129	257	4.38	31.5	94.5	189
2.59	93.3	280	560	3.19	60.9	183	366	3.79	42.7	128	256	4.39	31.4	94.1	188

E 10

TABLE 2 Continued

Diameter of Indentation, mm	Brinell Hardness Number			Diameter of Indentation, mm	Brinell Hardness Number			Diameter of Indentation, mm	Brinell Hardness Number			Diameter of Indentation, mm	Brinell Hardness Number		
	500-kgf Load	1500-kgf Load	3000-kgf Load		500-kgf Load	1500-kgf Load	3000-kgf Load		500-kgf Load	1500-kgf Load	3000-kgf Load		500-kgf Load	1500-kgf Load	3000-kgf Load
4.40	31.2	93.6	187	5.05	23.3	69.8	140	5.70	17.8	53.5	107	6.35	14.0	42.0	84.0
4.41	31.1	93.2	186	5.06	23.2	69.5	139	5.71	17.8	53.3	107	6.36	13.9	41.8	83.7
4.42	30.9	92.7	185	5.07	23.1	69.2	138	5.72	17.7	53.1	106	6.37	13.9	41.7	83.4
4.43	30.8	92.3	185	5.08	23.0	68.9	136	5.73	17.6	52.9	106	6.38	13.8	41.5	83.1
4.44	30.6	91.8	184	5.09	22.9	68.6	137	5.74	17.6	52.7	105	6.39	13.8	41.4	82.8
4.45	30.5	91.4	183	5.10	22.8	68.3	137	5.75	17.5	52.5	105	6.40	13.7	41.2	82.5
4.46	30.3	91.0	182	5.11	22.7	68.0	136	5.76	17.4	52.3	105	6.41	13.7	41.1	82.2
4.47	30.2	90.5	181	5.12	22.6	67.7	135	5.77	17.4	52.1	104	6.42	13.6	40.9	81.9
4.48	30.0	90.1	180	5.13	22.5	67.4	135	5.78	17.3	51.9	104	6.43	13.6	40.8	81.6
4.49	29.9	89.7	179	5.14	22.4	67.1	134	5.79	17.2	51.7	103	6.44	13.5	40.6	81.3
4.50	29.8	89.3	179	5.15	22.3	66.9	134	5.80	17.2	51.5	103	6.45	13.5	40.5	81.0
4.51	29.6	88.8	178	5.16	22.2	66.6	133	5.81	17.1	51.3	103	6.46	13.4	40.4	80.7
4.52	29.5	88.4	177	5.17	22.1	66.3	133	5.82	17.0	51.1	102	6.47	13.4	40.2	80.4
4.53	29.3	88.0	176	5.18	22.0	66.0	132	5.83	17.0	50.9	102	6.48	13.4	40.1	80.1
4.54	29.2	87.6	175	5.19	21.9	65.8	132	5.84	16.9	50.7	101	6.49	13.3	39.9	79.8
4.55	29.1	87.2	174	5.20	21.8	65.5	131	5.85	16.8	50.5	101	6.50	13.3	39.8	79.6
4.56	28.9	86.8	174	5.21	21.7	65.2	130	5.86	16.8	50.3	101	6.51	13.2	39.6	79.3
4.57	28.8	86.4	173	5.22	21.6	64.9	130	5.87	16.7	50.2	100	6.52	13.2	39.5	79.0
4.58	28.7	86.0	172	5.23	21.6	64.7	129	5.88	16.7	50.0	99.9	6.53	13.1	39.4	78.7
4.59	28.5	85.6	171	5.24	21.5	64.4	129	5.89	16.6	49.8	99.5	6.54	13.1	39.2	78.4
4.60	28.4	85.4	170	5.25	21.4	64.1	128	5.90	16.5	49.6	99.2	6.55	13.0	39.1	78.2
4.61	28.3	84.8	170	5.26	21.3	63.9	128	5.91	16.5	49.4	98.8	6.56	13.0	38.9	78.0
4.62	28.1	84.4	169	5.27	21.2	63.6	127	5.92	16.4	49.2	98.4	6.57	12.9	38.8	77.6
4.63	28.0	84.0	168	5.28	21.1	63.3	127	5.93	16.3	49.0	98.0	6.58	12.9	38.7	77.3
4.64	27.9	83.6	167	5.29	21.0	63.1	126	5.94	16.3	48.8	97.7	6.59	12.8	38.5	77.1
4.65	27.8	83.3	167	5.30	20.9	62.8	126	5.95	16.2	48.7	97.3	6.60	12.8	38.4	76.8
4.66	27.6	82.9	166	5.31	20.9	62.6	125	5.96	16.2	48.5	96.9	6.61	12.8	38.3	76.5
4.67	27.5	82.5	165	5.32	20.8	62.3	125	5.97	16.1	48.3	96.6	6.62	12.7	38.1	76.2
4.68	27.4	82.1	164	5.33	20.7	62.1	124	5.98	16.0	48.1	96.2	6.63	12.7	38.0	76.0
4.69	27.3	81.8	164	5.34	20.6	61.8	124	5.99	16.0	47.9	95.9	6.64	12.6	37.9	75.7
4.70	27.1	81.4	163	5.35	20.5	61.5	123	6.00	15.9	47.7	95.5	6.65	12.6	37.7	75.4
4.71	27.0	81.0	162	5.36	20.4	61.3	123	6.01	15.9	47.6	95.1	6.66	12.5	37.6	75.2
4.72	26.9	80.7	161	5.37	20.3	61.0	122	6.02	15.8	47.4	94.8	6.67	12.5	37.5	74.9
4.73	26.8	80.3	161	5.38	20.3	60.8	122	6.03	15.7	47.2	94.4	6.68	12.4	37.3	74.7
4.74	26.6	79.9	160	5.39	20.2	60.6	121	6.04	15.7	47.0	94.1	6.69	12.4	37.2	74.4
4.75	26.5	79.6	159	5.40	20.1	60.3	121	6.05	15.6	46.8	93.7	6.70	12.4	37.1	74.1
4.76	26.4	79.2	158	5.41	20.0	60.1	120	6.06	15.6	46.7	93.4	6.71	12.3	36.9	73.9
4.77	26.3	78.9	158	5.42	19.9	59.8	120	6.07	15.5	46.5	93.0	6.72	12.3	36.8	73.6
4.78	26.2	78.5	157	5.43	19.9	59.6	119	6.08	15.4	46.3	92.7	6.73	12.2	36.7	73.4
4.79	26.1	78.2	156	5.44	19.8	59.3	119	6.09	15.4	46.2	92.3	6.74	12.2	36.6	73.1
4.80	25.9	77.8	156	5.45	19.7	59.1	118	6.10	15.3	46.0	92.0	6.75	12.1	36.4	72.8
4.81	25.8	77.5	155	5.46	19.6	58.9	118	6.11	15.3	45.8	91.7	6.76	12.1	36.3	72.6
4.82	25.7	77.1	154	5.47	19.5	58.6	117	6.12	15.2	45.7	91.3	6.77	12.1	36.2	72.3
4.83	25.6	76.8	154	5.48	19.5	58.4	117	6.13	15.2	45.5	91.0	6.78	12.0	36.0	72.1
4.84	25.5	76.4	153	5.49	19.4	58.2	116	6.14	15.1	45.3	90.6	6.79	12.0	35.9	71.8
4.85	25.4	76.1	152	5.50	19.3	57.9	116	6.15	15.1	45.2	90.3	6.80	11.9	35.8	71.6
4.86	25.3	75.8	152	5.51	19.2	57.7	115	6.16	15.0	45.0	90.0	6.81	11.9	35.7	71.3
4.87	25.1	75.4	151	5.52	19.2	57.5	115	6.17	14.9	44.8	89.6	6.82	11.8	35.5	71.1
4.88	25.0	75.1	150	5.53	19.1	57.2	114	6.18	14.9	44.7	89.3	6.83	11.8	35.4	70.8
4.89	24.9	74.8	150	5.54	19.0	57.0	114	6.19	14.8	44.5	89.0	6.84	11.8	35.3	70.6
4.90	24.8	74.4	149	5.55	18.9	56.8	114	6.20	14.7	44.3	88.7	6.86	11.7	35.2	70.4
4.91	24.7	74.1	148	5.56	18.9	56.6	113	6.21	14.7	44.2	88.3	6.86	11.7	35.1	70.1
4.92	24.6	73.8	148	5.57	18.8	56.3	113	6.22	14.7	44.0	88.0	6.87	11.6	34.9	69.9
4.93	24.5	73.5	147	5.58	18.7	56.1	112	6.23	14.6	43.8	87.7	6.88	11.6	34.8	69.6
4.94	24.4	73.2	146	5.59	18.6	55.9	112	6.24	14.6	43.7	87.4	6.89	11.6	34.7	69.4
4.95	24.3	72.8	146	5.60	18.6	55.7	111	6.25	14.5	43.5	87.1	6.90	11.5	34.6	69.2
4.96	24.2	72.5	145	5.61	18.5	55.5	111	6.26	14.5	43.4	86.7	6.91	11.5	34.5	68.9
4.97	24.1	72.2	144	5.62	18.4	55.2	110	6.27	14.4	43.2	86.4	6.92	11.4	34.3	68.7
4.98	24.0	71.9	144	5.63	18.3	55.0	110	6.28	14.4	43.1	86.1	6.93	11.4	34.2	68.4
4.99	23.9	71.6	143	5.64	18.3	54.8	110	6.29	14.3	42.9	85.8	6.94	11.4	34.1	68.2
5.00	23.8	71.3	143	5.65	18.2	54.6	109	6.30	14.2	42.7	85.5	6.95	11.3	34.0	68.0
5.01	23.7	71.0	142	5.66	18.1	54.4	109	6.31	14.2	42.6	85.2	6.96	11.3	33.9	67.7
5.02	23.6	70.7	141	5.67	18.1	54.2	108	6.32	14.1	42.4	84.9	6.97	11.3	33.8	67.5
5.03	23.5	70.4	141	5.68	18.0	54.0	108	6.33	14.1	42.3	84.6	6.98	11.2	33.6	67.3
5.04	23.4	70.1	140	5.69	17.9	53.7	107	6.34	14.0	42.1	84.3	6.99	11.2	33.5	67.0

* Prepared by the Engineering Mechanics Section, National Bureau of Standards.

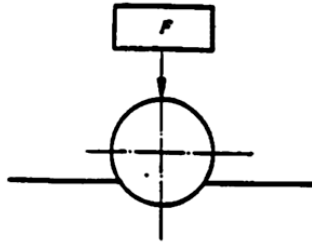


FIG. 1 Principle of Test

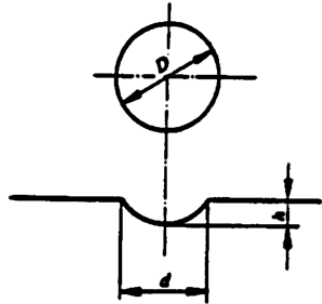


FIG. 2 Principle of Test

diameters of indentations for 29.4 kN (3000 kgf), 14.7 kN (1500 kgf), and 4.90 kN (500 kgf) test forces making it unnecessary to calculate for each test the value of the Brinell hardness number by the above equation in Table 1 when these forces are used with a 10-mm diameter ball.

3.3 *verification*—checking or testing to assure conformance with the specification.

3.4 *calibration*—adjustment of the significant parameters by comparison with values indicated by a reference instrument or by a set of reference standards.

4. Significance and Use

4.1 The Brinell hardness test is an empirical indentation hardness test. Brinell hardness tests provide useful information about metallic materials. This information may correlate to tensile strength, wear resistance, ductility, or other physical characteristics of metallic materials, and may be useful in quality control and selection of materials. Brinell hardness testing at the specific location on a part may not represent the physical characteristics of the whole part or end product. Brinell hardness tests are considered satisfactory for acceptance testing of commercial shipments, and they have been used extensively in industry for this purpose.

A. GENERAL DESCRIPTION AND TEST PROCEDURE FOR BRINELL HARDNESS TESTS

5. Apparatus

5.1 *Testing Machine*—Equipment for Brinell hardness testing usually consists of a testing machine which supports the test specimen and applies an indenting force to a ball in contact with the specimen. The design of the testing machines shall be such that no rocking or lateral movement of the indenter or specimen occurs while the force is being

TABLE 3 Test Conditions

Hardness Symbol	Ball Diameter D, mm	0.102 F / D ²	Test Force F Nominal Value
HBS (HBW) 10/3000	10	30	29.42 kN - (3000 kgf)
HBS (HBW) 10/1500	10	15	14.71 kN - (1500 kgf)
HBS (HBW) 10/1000	10	10	9.807 kN - (1000 kgf)
HBS (HBW) 10/500	10	5	4.903 kN - (500 kgf)
HBS (HBW) 10/250	10	2.5	2.452 kN - (250 kgf)
HBS (HBW) 10/125	10	1.25	1.226 kN - (125 kgf)
HBS (HBW) 10/100	10	1	980.7 N - (100 kgf)
HBS (HBW) 5/750	5	30	7.355 kN - (750 kgf)
HBS (HBW) 5/250	5	10	2.452 kN - (250 kgf)
HBS (HBW) 5/125	5	5	1.226 kN - (125 kgf)
HBS (HBW) 5/62.5	5	2.5	612.9 N - (62.5 kgf)
HBS (HBW) 5/31.25	5	1.25	306.5 N - (31.25 kgf)
HBS (HBW) 5/25	5	1	245.2 N - (25 kgf)
HBS (HBW) 2.5/187.5	2.5	30	1.839 kN - (187.5 kgf)
HBS (HBW) 2.5/62.5	2.5	10	612.9 N - (62.5 kgf)
HBS (HBW) 2.5/31.25	2.5	5	306.5 N - (31.25 kgf)
HBS (HBW) 2.5/15.625	2.5	2.5	153.2 N - (15.625 kgf)
HBS (HBW) 2.5/7.812.5	2.5	1.25	76.61 N - (7.8125 kgf)
HBS (HBW) 2.5/6.25	2.5	1	61.29 N - (6.25 kgf)
HBS (HBW) 2/120	2	30	1.177 kN - (120 kgf)
HBS (HBW) 2/40	2	10	392.3 N - (40 kgf)
HBS (HBW) 2/20	2	5	196.1 N - (20 kgf)
HBS (HBW) 2/10	2	2.5	98.07 N - (10 kgf)
HBS (HBW) 2/5	2	1.25	49.03 N - (5 kgf)
HBS (HBW) 2/4	2	1	39.23 N - (4 kgf)
HBS (HBW) 1/30	1	30	294.2 N - (30 kgf)
HBS (HBW) 1/10	1	10	98.07 N - (10 kgf)
HBS (HBW) 1/5	1	5	49.03 N - (5 kgf)
HBS (HBW) 1/2.5	1	2.5	24.52 N - (2.5 kgf)
HBS (HBW) 1/1.25	1	1.25	12.26 N - (1.25 kgf)
HBS (HBW) 1/1	1	1	9.807 N - (1 kgf)

applied. The design of the testing machine shall ensure that the force to the indenter shall be applied smoothly and without impact forces. Precautions shall be taken to prevent a momentary high test force caused by the inertia of the system, hydraulic system overshoot, etc. See equipment manufacturer's instruction manual for a description of the machine's characteristics, limitations, and respective operating procedure.

5.2 *Brinell Balls:*

5.2.1 The standard ball for Brinell hardness testing shall be 10.000 mm in diameter with a deviation from this value of not more than 0.005 mm in any diameter. The ball shall be polished and free of surface defects. Smaller balls having the diameters and tolerances indicated in Table 4 may be also used provided the precautions set forth in 8.1 are observed.

5.2.2 A hardened steel ball having a hardness of at least 850 HV10 using a 98.07-N (10-kgf) test force (see Table 8) may be used on material having a Brinell hardness value not over 450, or a tungsten carbide ball having a hardness of 1500 HV10 on material over 450.

NOTE 4: *Caution*—The Brinell test is not recommended for material having hardness over 650 HBW (see 8.1).

5.2.2.1 The chemical composition of tungsten carbide

TABLE 4 Tolerances for Brinell Hardness Balls

Ball Diameter, mm	Tolerance, mm
10	±0.005
5	±0.004
2.5	±0.003
2	±0.003
1	±0.003

balls shall be:

Tungsten Carbide (WC)	Balance
Cobalt (Co)	5.0 to 7.0 %
Total other Carbides	2.0 % max

NOTE 4—In order to conform with future ISO standards in 1997, there will be a proposal to eliminate the use of steel balls and only use tungsten carbide balls for this test method.

5.2.3 If a ball is used in a test of a specimen which shows a Brinell hardness number greater than the limit for the ball as detailed in 5.2.2, the results of the test shall be considered invalid and the ball shall be discarded.

5.3 *Measuring Device*—The divisions of the micrometer scale of the microscope or other measuring devices used for the measurement of the diameter of the indentations shall be such as to permit the direct measuring of the diameter to 0.1 mm and the estimation of the diameter to 0.05 mm.

NOTE 5—This requirement applies to the construction of the device only and is not a requirement for measurement of the indentation.

6. Test Specimen

6.1 There is no standard shape or size for a Brinell test specimen. The specimen upon which the indentation is made shall conform to the following:

6.1.1 *Thickness*—The thickness of the specimen tested shall be such that no bulge or other marking showing the effect of the test force appears on the side of the piece

TABLE 5 Minimum Thickness Requirements for Brinell Hardness Tests

Minimum Thickness of Specimen	Minimum Hardness for Which the Brinell Test May Safely Be Made	Minimum Hardness for Which the Brinell Test May Safely Be Made		
		3000-kgf Load	1500-kgf Load	500-kgf Load
in.	mm			
1/16	1.6	602	301	100
1/8	3.2	301	150	50
3/16	4.8	201	100	33
1/4	6.4	150	75	25
5/16	8.0	120	60	20
3/8	9.6	100	50	17

TABLE 6 Hardness Ranges Used By Standard Test Block Method

Steel Ball	Hardmetal Ball
100 to 200 HBS	100 to 200 HBW
250 to 350 HBS	300 to 400 HBW
	500 to 600 HBW

TABLE 7 Standard Test Forces

Ball Diameter, mm	Force	Recommended Range, HB
10	29.42 kN (3000 kgf)	96 to 600
10	14.7 kN (1500 kgf)	48 to 300
10	4.90 kN (500 kgf)	16 to 100

TABLE 8 Mean Diagonal with Vickers Indenter

Ball Diameter, mm	Maximum Value of Mean Diagonal Made on the Steel Ball with a Vickers Indenter at 96.07 N (HV 10), mm
10	0.146
5	0.145
2.5	0.143
2	0.142
1	0.139

opposite the indentation. As a general rule, the thickness of the specimen shall be at least ten times the depth of the indentation (Table 5).

6.1.2 The minimum width shall conform with the requirements of 8.3.

6.1.3 *Finish*—When necessary, the surface on which the indentation is to be made shall be filed, ground, machined or polished with abrasive material so that the edge of the indentation shall be clearly defined to permit the measurement of the diameter to the specified accuracy (see 9.1). Care should be taken to avoid overheating or cold working the surface.

7. Verification of Testing Machine

7.1 *Verification Methods*—The hardness testing machine shall be verified in accordance with one of the two acceptable methods of verifying Brinell hardness testing machines as given in Part B.

7.2 *Test Force Range*—When direct verification is used, the Brinell hardness testing machine is acceptable for use over a test force range within which the error in test force does not exceed ±1 %. When indirect verification is used, the Brinell hardness machine is acceptable for use over a test force range within which the mean hardness value obtained is within ±3 % of the Brinell hardness of the standardized test blocks used.

8. Procedure

8.1 *Magnitude of Test Force*—Typically, the force in the standard Brinell test shall be 29.42 kN (3000 kgf), 14.7 kN (1500 kgf), or 4.90 kN (500 kgf). It is recommended that the diameter of the indentation be between 24 and 60 % of the ball diameter. A lower limit in indentation diameter is necessary because of the risk in damaging the ball and difficulty measuring the indentation. The upper limit is necessary because of a reduction in sensitivity as the diameter of the indentation approaches the ball diameter. The thickness and spacing requirements of 6.1.1, 6.1.2, and 8.3 may determine the maximum permissible diameter of indentation for a specific test. Table 7 gives standard test forces and approximate Brinell hardness numbers for the above range of indentation diameters. It is not mandatory that the Brinell test conform to these hardness ranges, but it should be realized that different Brinell hardness numbers may be obtained for a given material by using different forces on a 10-mm diameter ball. For the purpose of obtaining a continuous scale of values it may be desirable, however, to use a single force to cover the complete range of hardness for a given class of materials. For softer metals, forces of 2.45 kN (250 kgf), 1.23 kN (125 kgf), or 0.981 kN (100 kgf) are

TABLE 9 Repeatability of Testing Machine

Hardness of Standardized Block HBS (HBW)	Repeatability of the Testing Machine, max	Examples of Equivalent Hardnesses			
		HBS		HBW	
		H	H ₁ -H ₂ max	H	H ₁ -H ₂ max
<225	0.04 \bar{d}	100	9	100	9
		200	17	200	17
		250	10	300	12
>225	0.02 \bar{d}	350	14	400	17
				500	20
				600	24

18. Manufacture

18.1 Each metal block to be calibrated shall be not less than 16 mm (5/8 in.) in thickness for 10-mm balls, 12 mm (1/2 in.) thick for 5-mm balls, and 6 mm (1/4 in.) thick for smaller balls.

18.1.1 The maximum surface area of the test block shall be 40 cm² (6 in.²) for balls less than 5 mm in diameter, and 150 cm² (24 in.²) for balls equal to or greater than 5 mm in diameter.

18.2 Each block shall be specially prepared and heat treated to give the necessary homogeneity and stability of structure.

18.3 The maximum error in parallelism shall not exceed 0.0008 mm/mm (in./in.) for blocks when used with balls having a diameter greater than or equal to 5 mm and 0.0002 mm/mm (in./in.) for blocks when used with balls having a diameter less than 5 mm. The maximum deviation in flatness of the block surfaces shall not exceed 0.02 mm (0.0008 in.) and 0.005 mm (0.0002 in.) for balls having diameters equal to or greater than 5 mm and less than 5 mm respectively.

18.4 The supporting surface of the test block shall have a ground finish and shall have a mean surface roughness height rating that shall not exceed 0.0008-mm (32- μ in.) centerline average.

18.5 The test surface shall be free of scratches which would interfere with measurements of the diameters of the indentation.

18.5.1 The mean surface roughness height of the test surface rating shall not exceed 0.0003-mm (12- μ in.) center line average for the standard 10-mm ball. For smaller balls a maximum mean test surface roughness height rating of 0.00015 mm (6 μ in.) is recommended.

18.6 To permit checking that no material is subsequently removed from the standardized block, its thickness at the time of standardization shall be marked on it to the nearest 0.1 mm (0.004 in.), or an identifying mark shall be made on the test surface. (See Section 24.)

18.7 Each block, if of steel, shall be demagnetized by the manufacturer and maintained demagnetized by the user.

18.8 Each block must be uniquely serialized by the manufacturer for traceability.

19. Standardizing Procedure

19.1 The standardized blocks shall be calibrated on a Brinell hardness testing machine which was verified in accordance with the requirements of 15.1.

19.2 The mechanism that controls the application of the force shall ensure that the speed of approach immediately before the ball touches the specimen and the speed of penetration does not exceed 1 mm/s (0.040 in./s).

19.3 The test force shall be within 0.25 % of the nominal force. Use of a Practice E 74 Class AA device will be required to verify the force.

19.4 The test force shall be applied for 10 to 15 s.

19.5 The standardized blocks shall be calibrated at a temperature of 23 \pm 5°C, using the general procedure described in Part A.

20. Indenter

20.1 A ball conforming to the requirements of 15.1.2 shall

be used for calibrating standardized hardness test blocks.

21. Number of Indentations

21.1 At least five uniformly distributed indentations shall be made on the test surface of the block.

22. Measurement of the Diameters of the Indentation

22.1 The illuminating system of the measuring device shall be adjusted to give uniform intensity over the field of view and maximum contrast between the indentations and the undisturbed surface of the block.

22.2 The measuring device shall be graduated to read 0.002 mm (0.00008 in.) for indentations made with balls of 5-mm diameter or larger and 0.001 mm (0.00004 in.) for indentations made with balls of smaller diameter.

22.3 The measuring device shall be checked by a stage micrometer, or by other suitable means to ensure that the difference between readings corresponding to any two divisions of the instrument is within \pm 0.001 mm (0.00004 in.) for balls of less than 5-mm diameter and within \pm 0.002 mm (0.00008 in.) for balls of larger diameter.

23. Uniformity of Hardness

23.1 If d_1, d_2, \dots, d_n are the mean values of the measured diameters as determined by one observer and arranged in increasing order of magnitude, the range of the hardness readings, measured from the last block, is defined as $d_n - d_1$ where $n =$ at least 5 indentations.

23.2 The range of hardness readings shall be equal to or less than 2 % of the mean diameter for Brinell hardness numbers equal to or less than 225 and 1 % for Brinell hardness number values greater than 225.

24. Marking

24.1 Each standardized block shall be marked with the following:

24.1.1 The arithmetic mean of the hardness values found in the standardizing test and the type of ball used.

24.1.2 The name or mark of the supplier.

24.1.3 The serial number or other unique identification of the block.

24.1.4 Name or mark of the calibrating agency if different from supplier.

24.1.5 The thickness of the block or an official mark on the test surface (see 18.6).

24.1.6 The year of calibration. It is sufficient that the year of calibration be incorporated into the serial number of the block.

24.2 All of the markings except the official mark should be placed outside of the test area or on the side of the block. When the markings are on the side of the block, the markings shall be upright when the test surface is the upper face.

24.3 Each block shall be supplied with a certificate showing the results of the individual standardizing tests and the arithmetic mean of those tests, including the following:

24.3.1 Date of standardization,

24.3.2 Serial number of block, and

24.3.3 Name of manufacturer or mark of supplier.

25. Keywords

25.1 Brinell hardness; metallic

the machine shall be examined to ensure that:

14.2.1 The change from test force application to measuring does not influence the readings.

14.2.2 The method of illumination does not affect the readings.

14.2.3 The center of the indentation is in the center of the field of view.

15. Verification

15.1 *Direct Verification*—Separate verification of force application, indenter, and measuring device:

15.1.1 *Force Application*—Brinell hardness testing machines shall be verified at the test force(s) at which it is used. The test forces will be checked periodically with a force measuring device traceable to national standards (in the United States, National Institute of Standards and Technology) in the manner described in Practices E 4. A Brinell hardness testing machine is acceptable for use when the test force error does not exceed $\pm 1\%$.

15.1.2 *Indenter*—The indenter to be verified shall be a new ball selected at random from a lot meeting the hardness requirements specified in 5.2. The diameter of each ball shall be verified at not less than three positions and the mean of these readings shall not differ from the nominal diameter by more than the tolerance specified in Table 4.

15.1.3 *Measuring Device*—The measuring device used to determine the diameter of the indentation shall be verified at five intervals over the working range by the use of an accurate scale such as a stage micrometer. The adjustment of the device shall be such that, throughout the range covered, the difference between the scale divisions of the device and of the calibrating scale does not exceed 0.01 mm (0.0004 in.).

15.1.4 The verification is incomplete if a verification report is not issued.

15.2 *Indirect Verification*—Verification by standardized test block method.

15.2.1 A Brinell hardness testing machine may also be checked by making a series of at least five indentations on standardized hardness test blocks (Part C).

15.2.2 If the machine is to be used at conditions other than 10/29.42 kN (3000 kgf)/15, the machine shall also be verified at those other conditions.

15.2.3 The testing machine shall be verified for each test force and for each size of ball used. For each test force, standardized blocks within the hardness ranges given in Table 6, depending on the type of ball, shall be used.

NOTE 8—When the hardness test in question makes it impossible to reach the higher hardness range defined in Table 6 (for $0.102/F/D^2 = 5$ or 10), the verification may be carried out with two blocks from the lower hardness range.

15.2.3.1 Verification shall be carried out using the same type of ball (steel or carbide) as will be used for testing and this verification will be valid:

(1) For hardnesses ≤ 450 HBS when steel balls are used, and

(2) For hardnesses ≤ 650 HBW when tungsten carbide balls are used.

15.2.4 *Repeatability*—For each standardized block, let d_1, d_2, \dots, d_n be the mean values of the measured diameter of the indentations, arranged in increasing order of magnitude. The repeatability of the testing machine under the particular

verification conditions is determined by the following quantity:

$$d_n - d_1$$

The repeatability of the testing machine verified is not considered satisfactory unless it satisfies the conditions given in Table 9.

15.2.5 *Error*—The error of the testing machine under the particular verification conditions is characterized by the following quantity:

$$H - H$$

where:

error = $H - H$

$$H = \frac{H_1 + H_2 \dots H_n}{n}$$

H_1, H_2, \dots, H_n = the hardness values corresponding to d_1, d_2, \dots, d_n , and

H = specified hardness of the standardized block.

15.2.6 The Brinell hardness testing machine shall be considered verified if the mean hardness differs by no more than 3% from the hardness value of the standardized hardness test block.

15.2.7 The verification is incomplete if a verification report is not issued.

15.3 *Verification Report*—The test report shall include the following information:

- 15.3.1 Reference to this ASTM test method,
- 15.3.2 Method of verification (direct or indirect),
- 15.3.3 Identification of the hardness testing machine,
- 15.3.4 Means of verification (test blocks, elastic proving devices, etc.),
- 15.3.5 Type of indenter and test force,
- 15.3.6 The result obtained,
- 15.3.7 Date of verification and reference to the calibration institution, and
- 15.3.8 Identity of person performing the verification.

16. Procedure for Periodic Checks by the User

16.1 Verification by the standardized test block method (15.2) is too lengthy for daily use. Instead, the following is recommended:

16.1.2 Make at least one routine check in accordance with 16.1.3 each day that the testing machine is used.

16.1.3 Consult the machine manufacturer's start-up procedures. Select the force, indenter, and measuring device which will be used for the routine testing. Make at least two indentations on a standardized hardness test block. If the mean of these two values falls within the tolerances required (see 15.2.6), the hardness machine may be regarded as producing satisfactory hardness results. If not, the hardness machine shall be verified as described in 15.2.

C. CALIBRATION OF STANDARDIZED HARDNESS TEST BLOCKS FOR BRINELL HARDNESS TESTING MACHINES

17. Scope

17.1 Part C covers the calibration of standardized hardness test blocks for the verification of Brinell hardness testing machines as described in Part B.

18. Manufacture

18.1 Each metal block to be calibrated shall be not less than 16 mm (5/8 in.) in thickness for 10-mm balls, 12 mm (1/2 in.) thick for 5-mm balls, and 6 mm (1/4 in.) thick for smaller balls.

18.1.1 The maximum surface area of the test block shall be 40 cm² (6 in.²) for balls less than 5 mm in diameter, and 150 cm² (24 in.²) for balls equal to or greater than 5 mm in diameter.

18.2 Each block shall be specially prepared and heat treated to give the necessary homogeneity and stability of structure.

18.3 The maximum error in parallelism shall not exceed 0.0008 mm/mm (in./in.) for blocks when used with balls having a diameter greater than or equal to 5 mm and 0.0002 mm/mm (in./in.) for blocks when used with balls having a diameter less than 5 mm. The maximum deviation in flatness of the block surfaces shall not exceed 0.02 mm (0.0008 in.) and 0.005 mm (0.0002 in.) for balls having diameters equal to or greater than 5 mm and less than 5 mm respectively.

18.4 The supporting surface of the test block shall have a ground finish and shall have a mean surface roughness height rating that shall not exceed 0.0008-mm (32- μ in.) centerline average.

18.5 The test surface shall be free of scratches which would interfere with measurements of the diameters of the indentation.

18.5.1 The mean surface roughness height of the test surface rating shall not exceed 0.0003-mm (12- μ in.) center line average for the standard 10-mm ball. For smaller balls a maximum mean test surface roughness height rating of 0.00015 mm (6 μ in.) is recommended.

18.6 To permit checking that no material is subsequently removed from the standardized block, its thickness at the time of standardization shall be marked on it to the nearest 0.1 mm (0.004 in.), or an identifying mark shall be made on the test surface. (See Section 24.)

18.7 Each block, if of steel, shall be demagnetized by the manufacturer and maintained demagnetized by the user.

18.8 Each block must be uniquely serialized by the manufacturer for traceability.

19. Standardizing Procedure

19.1 The standardized blocks shall be calibrated on a Brinell hardness testing machine which was verified in accordance with the requirements of 15.1.

19.2 The mechanism that controls the application of the force shall ensure that the speed of approach immediately before the ball touches the specimen and the speed of penetration does not exceed 1 mm/s (0.040 in./s).

19.3 The test force shall be within 0.25 % of the nominal force. Use of a Practice E 74 Class AA device will be required to verify the force.

19.4 The test force shall be applied for 10 to 15 s.

19.5 The standardized blocks shall be calibrated at a temperature of $23 \pm 5^\circ\text{C}$, using the general procedure described in Part A.

20. Indenter

20.1 A ball conforming to the requirements of 15.1.2 shall

be used for calibrating standardized hardness test blocks.

21. Number of Indentations

21.1 At least five uniformly distributed indentations shall be made on the test surface of the block.

22. Measurement of the Diameters of the Indentation

22.1 The illuminating system of the measuring device shall be adjusted to give uniform intensity over the field of view and maximum contrast between the indentations and the undisturbed surface of the block.

22.2 The measuring device shall be graduated to read 0.002 mm (0.00008 in.) for indentations made with balls of 5-mm diameter or larger and 0.001 mm (0.00004 in.) for indentations made with balls of smaller diameter.

22.3 The measuring device shall be checked by a stage micrometer, or by other suitable means to ensure that the difference between readings corresponding to any two divisions of the instrument is within ± 0.001 mm (0.00004 in.) for balls of less than 5-mm diameter and within ± 0.002 mm (0.00008 in.) for balls of larger diameter.

23. Uniformity of Hardness

23.1 If d_1, d_2, \dots, d_n are the mean values of the measured diameters as determined by one observer and arranged in increasing order of magnitude, the range of the hardness readings, measured from the last block, is defined as $d_n - d_1$ where $n =$ at least 5 indentations.

23.2 The range of hardness readings shall be equal to or less than 2 % of the mean diameter for Brinell hardness numbers equal to or less than 225 and 1 % for Brinell hardness number values greater than 225.

24. Marking

24.1 Each standardized block shall be marked with the following:

24.1.1 The arithmetic mean of the hardness values found in the standardizing test and the type of ball used.

24.1.2 The name or mark of the supplier.

24.1.3 The serial number or other unique identification of the block.

24.1.4 Name or mark of the calibrating agency if different from supplier.

24.1.5 The thickness of the block or an official mark on the test surface (see 18.6).

24.1.6 The year of calibration. It is sufficient that the year of calibration be incorporated into the serial number of the block.

24.2 All of the markings except the official mark should be placed outside of the test area or on the side of the block. When the markings are on the side of the block, the markings shall be upright when the test surface is the upper face.

24.3 Each block shall be supplied with a certificate showing the results of the individual standardizing tests and the arithmetic mean of those tests, including the following:

24.3.1 Date of standardization,

24.3.2 Serial number of block, and

24.3.3 Name of manufacturer or mark of supplier.

25. Keywords

25.1 Brinell hardness; metallic

ANEXO D1. OFICIO APROBACIÓN PARA PRUEBAS DE ENSAYO ESPOCH



ESPOCH

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

Riobamba, 04 de Abril de 2018

Ing. CARLOS SANTILLÁN MARIÑO
DECANO DE LA FACULTAD DE MECANICA

670.0000
2018.04.04
[Signature]
COORDINADOR DEL TÍTULO BUÑAY
M.C. ROBERTO GONZALEZ

De mis consideraciones.

Yo **JOSÉ RAFAEL USHIÑA YAGLOA** con C.I. 1804506168 egresado de la carrera de Ingeniería Mecánica de La Universidad Técnica De Ambato me dirijo a usted para solicitarle muy comedidamente se me permita utilizar las Máquinas de Ensayos: Máquina Universal, Doble Guiado, Impacto Charpy y sus accesorios, en el Laboratorio de Resistencia de Materiales de la Facultad de Mecánica, siendo el encargado del mismo el Ing. Jorge Sebastián Buñay Guaman quien supo manifestarme que existe la disponibilidad del laboratorio en el cronograma que adjunto, a su vez el laboratorio de Ingeniería de Materiales para realizar el ensayo de dureza, además pongo en conocimiento que los materiales y todos los suministros necesarios para los presentes ensayos serán facilitados por mi persona los datos obtenidos se requieren para la tesis de grado, "ANÁLISIS DE MATERIAL DE APORTE EN EL PROCESO DE SOLDADURA GTAW APLICADO EN EL ACERO INOXIDABLE MARTENSÍTICO AISI 420 Y SU INFLUENCIA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS".

Por la atención prestada al presente documento anticipo mis agradecimientos.

Atentamente

JOSE RAFAEL USHIÑA YAGLOA
C.I. 1804506168