



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

INGENIERÍA MECÁNICA

**TRABAJO ESTRUCTURADO DE MANERA INDEPENDIENTE PREVIO A
LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO**

TEMA: “ANÁLISIS DE VARIACIÓN DE ELECTRODOS EN UN PROCESO DE SOLDADURA SMAW EN ACERO INOXIDABLE AISI 304 AUSTENÍTICO Y SU INCIDENCIA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS.”

AUTOR: WILLIAN FERNANDO NAULA SANGUCHO

TUTOR: ING. MG. HENRY VACA

AMBATO - ECUADOR

2014

CERTIFICACIÓN

En mi calidad de Tutor del trabajo de investigativo “**ANÁLISIS DE VARIACIÓN DE ELECTRODOS EN UN PROCESO DE SOLDADURA SMAW EN ACERO INOXIDABLE AISI 304 AUSTENÍTICO Y SU INCIDENCIA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS**”. Elaborado por Willian Fernando Naula Sangucho, egresado de la facultad de ingeniería Civil y Mecánica, carrea de Ingeniería Mecánica. **Certifico** que el presente informe es original de su autor, ha sido revisado en cada uno de sus capítulos, está concluido y puede continuar con el trámite correspondiente al plan de tesis aprobado.

Ambato, Noviembre de 2013

EL TUTOR

ING. MG. HENRY VACA

AUTORÍA

Declaro que el contenido del trabajo investigativo **“ANÁLISIS DE VARIACIÓN DE ELECTRODOS EN UN PROCESO DE SOLDADURA SMAW EN ACERO INOXIDABLE AISI 304 AUSTENÍTICO Y SU INCIDENCIA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS”**, así como sus ideas, opiniones, resultados, análisis, conclusiones y propuesta son auténticos y de responsabilidad exclusiva de mi persona en calidad de autor del presente proyecto.

Ambato, Noviembre de 2013

EL AUTOR

Willian Fernando Naula Sangucho

C. I.: 1803302130

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de grado a mi querida familia por darme las fuerzas necesarias sobre todo en mi etapa de estudios superiores en especial Silvia mi fiel compañera, Evelyn, Fernanda y Salome, la razón de mi vida, por darme un apoyo constante ya que nunca perdieron la confianza depositada en mí para cumplir mi meta.

A mi hermano Marco por darme un apoyo y comprensión constante en momentos difíciles de mi etapa, a mi sobrino Patricio por estar apoyando constantemente.

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecerle infinitamente a mí estimada esposa Silvia por ser un pilar muy fundamental en mi hogar y su apoyo continuo durante el periodo de estudios superior, agradecerles a mis padres por darme la vida y formarme en mi juventud, a Marco mi hermano que dio mucho a cambio de nada, de igual forma a mis suegros que con su apoyo moral ha sido de mucho en el caminar.

ÍNDICE GENERAL

Certificación.....	II
Autoría.....	III
Dedicatoria.....	IV
Agradecimiento.....	V
Índice general.....	VI
Resumen ejecutivo.....	XVII

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

ANÁLISIS DE VARIACIÓN DE ELECTRODOS EN UN PROCESO DE SOLDADURA SMAW EN ACERO INOXIDABLE AISI 304 AUSTENÍTICO Y SU INCIDENCIA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS.

Autor: Willian Fernando Naula Sangucho

Tutor: Ing. Mg. Henry Vaca

Fecha: Noviembre 28 de 2013

RESUMEN EJECUTIVO

El presente trabajo de investigación se determinó entre la relación microestructura/propiedades para soldaduras con diferentes electrodos en Acero inoxidable austenítico AISI 304 han sido evaluadas en este trabajo con la finalidad de determinar los cambios microestructurales y las propiedades mecánicas de las juntas soldada como: dureza Rockwell B, pruebas de impacto, análisis metalográfico, resistencia a la fluencia y rotura.

El metal base fueron soldados en múltiples pasadas usando el material de aporte distintos electrodos AWS E308L-16, AWS E309L-16, AWS E316H-16 con el proceso de soldadura SMAW manual, para lo cual se ha calibrado la máquina un amperaje adecuado según catálogos de fabricantes de electrodos, para mantener un arco equilibrado y una correcta disolución del material de aporte.

Los resultados microestructurales en juntas mostraron en la zona afectada por el calor: tamaño de grano grueso es la parte donde existe un riesgo a un esfuerzo, con mayores probabilidades de rotura, la zona de soldadura se incrementa el tamaño de grano es un punto muy importante es decir la soldadura tiende a ser más dúctil y es menos propensa a rotura.

Los ensayos de dureza Rockwell B indicaron una tendencia desde la zona de fusión incrementa la dureza y se disminuye la misma cuando más se aproxima al metal base. Mientras que los ensayos de tracción y rotura tuvieron resistencias aceptables.

Los resultados de impacto fueron muy inferiores en relación al material sin efecto de soldadura, en juntas soldadas tiene menor capacidad de absorber energía de impacto es menos dúctil en dicha zona.

Esta investigación ha demostrado muy buenos resultados para la relación entre la microestructura y propiedades en este tipo de soldaduras.

Palabras clave: Soldadura, electrodo, propiedades mecánicas, tracción, dureza, análisis metalográfico, ductilidad, impacto.

CAPÍTULO I

1.- EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1.- TEMA DE INVESTIGACIÓN.

ANÁLISIS DE VARIACIÓN DE ELECTRODOS EN UN PROCESO DE SOLDADURA SMAW EN ACERO INOXIDABLE AISI 304 AUSTENÍTICO Y SU INCIDENCIA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS.

1.2.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

1.2.1.- CONTEXTUALIZACIÓN.

La soldadura SMAW (**SHIELDED METAL ARC WELDING**) es una de las más utilizadas para unir piezas metálicas en elementos de máquinas a nivel mundial, en la actualidad puesto que sus costos operacionales no son tan altos en comparación con los demás procesos de soldadura, es por esto que en este estudio se dará a conocer las variables que afectan las propiedades mecánicas del material como: la selección no adecuada del electrodo, tipo de material base a soldar, velocidad de pase, voltaje y el amperaje.

La soldadura SMAW y los demás procesos es de gran importancia por tener la capacidad de crear un cordón de soldadura en las dos piezas que une, forma prácticamente un solo elemento. Por esto la soldadura tiene más importancia como tecnología que como elemento, ya que lo importante y lo más difícil es el proceso seguido.

El soldador se encarga de fabricar el cordón con su trabajo y según lo realice, el cordón será perfecto, o tendrá poros, oclusiones de gas, fisuras, grietas, etc. El trabajo de soldador constituye una verdadera especialidad dentro del campo de soldadura, con una técnica peculiar. La fuente más importante del proceso SMAW se puede ver en el campo de la industria petrolera, estructuras de puentes, línea alimenticia, sector agrícola, campo automotriz, aeronáutico, marina, talleres metalmeccánica.

El Ecuador es un país que está dedicado 80 % en las labores técnicas, de construcción y mantenimiento de máquinas y montajes, reparación de partes de elementos móviles, desmontajes, y la industria metalmeccánica, e industria plástica la cual crea una gran cantidad de fuentes de trabajo para la sociedad.

1.2.2.- ANÁLISIS CRÍTICO.

En vista de que los procesos de soldadura no son adecuados es necesario realizar un análisis en los elementos soldados, la cual intervienen varias dificultades como carencia de información sobre el procedimiento de análisis de la microestructura y costos elevados de equipos para realizar el proceso con técnicas adecuadas, escasos centros de capacitación para la correcta elección de los electrodos. El cual ayuda para evitar fisuras en el material base y pérdidas de tiempo, para eliminar irregularidades en la microestructura donde existe disminución o crecimiento del tamaño de grano.

1.2.3.- PROGNOSIS.

Si no se realiza un análisis adecuado de las propiedades mecánicas en el proceso de soldadura SMAW se tendrán grandes pérdidas económicas y posibles rupturas de juntas soldadas, dando cada vez poca utilidad de ensayos metalográficos para evaluación de la microestructura de uniones soldadas. La utilización de un proceso adecuado para el análisis de propiedades mecánicas aportará considerables beneficios, no sólo a las industrias metalmeccánicas, sino también al usuario final. Permitirá la integración y

confianza en los elementos soldados, dando así la posibilidad de mejorar la producción en soldadura en elementos de máquina.

1.2.4.- FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.

¿Cuál será la incidencia en las propiedades mecánicas con el análisis en variación de electrodos de un proceso de soldadura **SMAW** en acero inoxidable AISI 304 austenítico?

1.2.5.- PREGUNTAS DIRECTRICES.

¿Por qué hacer el análisis en variación de electrodos de un proceso de soldadura SMAW en acero inoxidable AISI 304?

¿Cuál es la causa principal que afecta en las propiedades mecánicas de juntas soldadas en elementos de máquinas?

¿Por qué existen grandes pérdidas económicas en reparación, fabricación de soldadura en aceros inoxidables?

¿Cómo afecta la pérdida de tiempo en el proceso de soldado SMAW en la industria metalmecánica?

¿A que conlleva el desconocimiento técnico de los operarios en la ejecución de los proyectos de soldadura inoxidable?

¿Qué tipo de proceso puede facilitar la disminución o aumento en el tamaño de grano?

1.2.6.- DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.

1.2.6.1.- DELIMITACIÓN ESPACIAL.

La investigación se realizara en los laboratorios de Materiales, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica en la Universidad Técnica de Ambato. La Universidad se encuentra ubicado en la ciudad de Ambato, localizado en la Provincia de Tungurahua. Al norte limitada por la provincia de Cotopaxi, al sur la provincia de Chimborazo.

1.2.6.2.- DELIMITACIÓN TEMPORAL.

El presente trabajo de investigación, análisis de variación de electrodos en un proceso de soldadura **SMAW** en acero inoxidable AISI 304 se realizara en el periodo Enero 2013 - Diciembre 2013.

1.2.6.3.- DELIMITACIÓN DEL CONTENIDO.

El campo de investigación científica se abarca dentro del área Ingeniería Mecánica, enmarcada dentro del área de Materiales, para acceder a una información efectiva se apoya en la biblioteca física, respaldada por normas e información relacionadas al ensayos en propiedades mecánicas como: tracción, impacto, dureza y metalográfico por medio de ataques químicos utilizando materiales para la realización de juntas soldadas en acero inoxidable AISI 304; en la cual se usa proceso de soldadura SMAW utilizando una junta a tope.

1.3.- JUSTIFICACIÓN.

El objetivo de este estudio es realizar ensayos metalográfico, determinar la resistencia a la tracción, limite elástico mínimo, elongación, impacto y dureza máxima para observar de qué manera se produce la fusion entre los metales base y de aporte. Además determinar si existe cambios en la composición del metal base que en este caso se daría por precipitación de carburos de cromo. Las soldaduras de diferentes materiales tienen generalmente más cambios que aquellas de materiales similares tanto en propiedades

físicas, mecánicas y metalúrgicas. Estas diferencias suelen complicar la selección del material de aporte dificultando la predicción de sus propiedades y su microestructura.

Una de las más grandes preocupaciones que existe hoy en día en la industria es dar el uso adecuadamente de procesos de soldadura SMAW y en especial para las fabricaciones de elementos de máquinas como son ejes, tuberías, silos, planchas, los mismos que por falta de asistencia técnica se realiza sin un adecuado diagnóstico.

Por lo anteriormente mencionado surge el interés por mejorar la calidad de los procesos de soldadura, ya que además en los últimos años se ha visto un ingreso de técnicos en soldadura de países vecinos, perjudicando así la situación económica de nuestra mano de obra técnica de soldador. La importancia de este estudio radica en que será de mucho interés y ayuda para realizar un proceso adecuado de soldadura SMAW para obtener productos de calidad mediante un desarrollo tecnológicamente y además de ayudar a las industrias metalmeccánicas a ser más competitivos y mejorar sus ingresos económicos mediante un incremento de mercado frente a productos extranjeros los cuales cuentan con sistemas tecnificados. La elaboración de productos usando acero inoxidable AISI 304 por soldadura genera un alto porcentaje de ruptura, motivo por el cual debe estudiarse que es lo que está ocurriendo con la estructura del material.

Para la elaboración y conformación de los distintos tipos de aceros y materiales industriales utilizados en el mundo; conocer claramente las diferentes variantes que tienen los mismos debido a su estructura química interna se hace necesario tener en cuenta las propiedades para así mismo determinar una función o realizar algún cambio según sea necesario en alguna ocasión.

1.4.- OBJETIVOS.

1.4.1.- OBJETIVO GENERAL.

Estudiar la variación de electrodos de un proceso de soldadura **SMAW** en acero inoxidable AISI 304 austenítico y su incidencia en las propiedades mecánicas.

1.4.2.- OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Realizar procesos de soldadura en placas AISI 304 con diferentes tipos de electrodos E308L-16, E309L-16, E316H-16 para determinar variaciones de las propiedades en juntas soldadas con un proceso **SMAW**.
- Determinar las transformaciones microestructurales que ocurren en la soldadura y el metal base durante el proceso **SMAW**
- Analizar las alteraciones en la dureza por un proceso de soldadura **SMAW** en acero inoxidable AISI 304.
- Verificar la resistencia a la tracción en juntas soldadas por un proceso de soldadura **SMAW** en acero inoxidable AISI 304.
- Realizar ensayos de impacto en muestras del material elegido con diferentes tipos de electrodos.
- Verificar cómo se altera la tenacidad de un metal con la temperatura.

CAPÍTULO II

2.- MARCO TEÓRICO.

2.1.- ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS.

Todos los aceros inoxidable solidifican ya sea con ferrita o austenita como fase primaria, y una posterior transformación de la ferrita en austenita. Debido a que el coeficiente de expansión y contracción térmica en los aceros inoxidable austeníticos es mayor que en los otros aceros inoxidable, la magnitud de esfuerzos residuales puede ser mayor. Así, el tratamiento de relevado de esfuerzos post-soldadura se hace necesario para reducir los efectos de distorsión en el componente, de manera particular si son requeridas operaciones de maquinado post-soldadura o si el elemento soldado debe mantener una alta estabilidad dimensional durante el servicio. En el presente trabajo de investigación fue determinado el tipo y magnitud de esfuerzos residuales generados a diferentes distancias del centro de la unión soldada de placas de acero inoxidable austenítico AISI 304 de 6.35 mm de espesor mediante el proceso SMAW.

[Fuente: investigación “ESFUERZOS RESIDUALES GENERADOS EN LA SOLDADURA DE PLACAS DE ACERO INOXIDABLE AISI 304 MEDIANTE EL PROCESO SMAW”, por: I. Mejía, C. Maldonado, A. Bedolla, Ch. J. García. Instituto de Investigaciones Metalúrgicas, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. 2006.].

El mayor inconveniente que presenta la soldadura de los aceros austeníticos es la precipitación de carburos que pueden producirse en las zonas cercanas al cordón de soldadura, quedando sensibilizados a la corrosión intergranular.

Para evitar esta precipitación se deben soldar las piezas sin precalentamiento y con el menor aporte de calor posible. Otra posibilidad es emplear aceros austeníticos con porcentaje de carbono menor a 0,03% o aceros austeníticos estabilizados con titanio, niobio o Tántalo.

[FUENTE Manual de soldadura. Electrodo comunes, especiales y gases para corte y soldadura (www.indura.com) Ecuador.2008].

Cambios en la microestructura cuando se le mantiene a temperaturas comprendidas entre 450 y 900 °C se provoca la precipitación de carburos que lo hacen sensible a la corrosión intergranular. Estos carburos precipitados podemos disolverlos con un temple austenítico. Este problema aparece en la soldadura precipitando carburos en las zonas cercanas al cordón donde la temperatura está comprendida entre 450 y 900 °C. Por ello su empleo queda limitado a aquellas piezas que posteriormente pueden recibir un temple austenítico. Para espesores pequeños puede emplearse la soldadura de arco. La estructura de este acero es austenítica a todas las temperaturas

[Fuente: Tesis “RELACIÓN, MICROESTRUCTURA/PROPIEDAD EN LA SOLDADURA ENTRE ACEROS INOXIDABLES Y ACEROS AL CARBONO”, Ing. Villavicencio Cevallos Julio César. *Facultad de Ingeniería Mecánica, Escuela Superior Politécnica De Chimborazo. 2010*]

2.2.- FUNDAMENTACIÓN FILOSÓFICA.

Para llevar a cabo la investigación se requiere el paradigma crítico propositivo ya que el tema a indagar se encuentra influenciado por valores, tales como el de la contribución a la sociedad debido a que se ha visto la necesidad de analizar las propiedades mecánicas en juntas soldadas. Además la investigación es participativa ya que en la misma se

acogen ideas de varias fuentes de aporte, así como la opinión misma de los investigadores; es abierta y flexible, ya que a cada instante con el surgir de nuevas ideas se las atiende a estas como posibles alternativas de mejora a la investigación.

El paradigma propositivo en sus aspectos de teología, ontología, valores, da la facilidad de involucrarse de lleno en el tema investigado ya que por cuanto este paradigma ayuda a la comprensión, identificación de cambio, acción social, y la visión de la existencia de varias realidades en el medio; lo que brinda a la investigación un gran interés por las partes involucradas.

Además permitirá una correcta interpretación, comprensión y explicación de las variables involucradas en esta investigación para considerar las cualidades más no las cantidades que en el desarrollo de dicha investigación se podrán encontrar y producir durante el transcurso investigativo del tema.

Mediante el paradigma propuesto se podrá plantear alternativas de solución al presente problema en desarrollo, siempre enfocándose a un desarrollo de fácil comprobación y proporcionando una correcta comprensión.

Es propicio para la participación de los actores sociales, lo que permitirá que estos se vean beneficiados con los resultados de dicha investigación, por tal motivo de la presencia de actores sociales nace la obligación de que la investigación este sometida a cambios de ser necesario.

2.3.- FUNDAMENTACIÓN LEGAL.

En el Comité Técnico de Normalización CEN/TC-121 'soldadura' se pensó que la existencia de unas normas para el control de calidad de las fabricaciones soldadas, podrían ser adecuadas para ser referenciadas en los diferentes códigos.

Por ello, para la selección de la varilla y electrodos más adecuados para la soldadura de acero inoxidable se ha utilizado las normas AWSA5.14 Y AWS A5.11

Norma ASTM E 8-00 Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials
(Ensayo de tracción)

Norma ASTM E 3-01 Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens
(Ensayo de microestructuras)

Norma ASTM E 23-00 Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials (Ensayo de impacto)

Norma ASTM E 18-00 Standard Test Methods for Rockwell Hardness and Rockwell Superficial Hardness of Metallic Materials (determinación de la dureza Rockwell)

Norma ASTM E 112-96 Standard Test Methods for Determining Average Grain Size (Determinación de tamaño de grano).

Norma ASTM A 276-02a Standard Specification for Stainless Steel Bars and Shapes

Norma ANSI Z49.1:2012 Safety in Welding, Cutting, and Allied Processes

Norma AWS D1.6 Structural welding code stainless Steel

Norma ASTM E111 – 04 Standard Test Method for Young's Modulus, Tangent Modulus, and Chord Modulus.

2.4.- FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.

2.4.1.- TIPOS DE JUNTAS DE SOLDADURA.

INTRODUCCIÓN.

Antes de comenzar a soldar se realiza una preparación del material o de chapas metálicas a ser soldadas para tener una penetración profunda y compacta. Esta preparación consiste en dar forma por medio de un bisel mediante grados de inclinación de acuerdo a consideraciones de normas, las chapas se preparan de distintas formas dependiendo de su espesor, y de esto dependerá el diámetro del electrodo y el amperaje para su uso adecuado.

Una junta es la unión de las partes, o los extremos de las mismas, que van a ser unidos o que han sido unidos.

2.4.1.1- TIPOS DE JUNTAS.

a).- Unión a tope o empalmada.

Es la más utilizada y consiste en unir las chapas situadas en el mismo plano para chapas superiores a 6 mm o para soldar por ambos lados, hay que preparar los bordes. El objetivo de esta soldadura es conseguir una penetración completa y que constituya una transición lo más perfecta posible entre los elementos soldados (Andalucía, 2010).

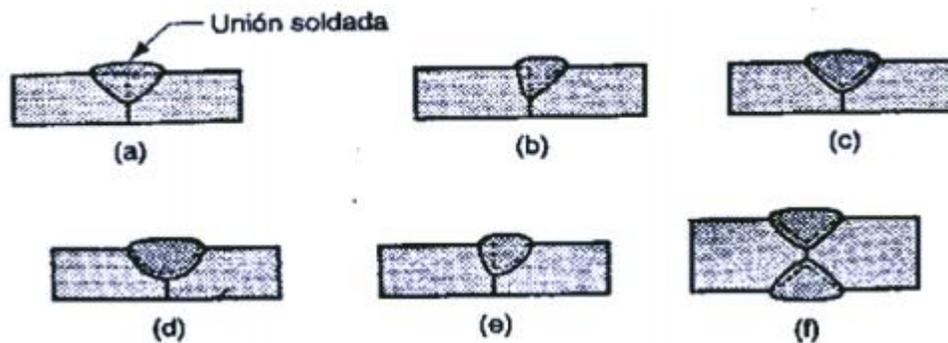


Figura 2. 1.- Uniones a tope

FUENTE: <http://www2.fe.ccoo.es/andalucia/docu/p5sd6731.pdf>

- a) Soldadura a tope cuadrada, un lado; (b) soldadura de bisel único
- (c) soldadura a tope en V único; (d) soldadura a tope en U único

(e) soldadura con a tope único; (f) soldadura a tope en V doble.

b).- Unión de solapado, superpuesta o traslape.

La junta de traslape es una junta indesarmable de dos piezas superpuesta una sobre otra y ofrece la máxima resistencia mecánica incluso cuando se emplea metales de aporte de baja resistencia mecánica, pues la resistencia de esta junta depende de la penetración de las superficies conformadas para quedar en estrechos contactos, más que de los cordones externos ya que el esfuerzo que ha de trabajar las juntas es cortante (Tituaña, 2007).



Figura 2. 2.- Unión a traslape

FUENTE: Tesis Cristian Pilla, escuela de formación tecnológica

c).- Unión de esquinas o ángulo exterior.

Para la soldadura de este tipo de juntas, sea cual sea el espesor, siempre se precisa la aportación de material. Cuando sea posible, debe realizarse la soldadura de ambos lados el número de pasadas depende del espesor de la pieza y el tamaño requerido para el cordón. (Weecks, 2007)

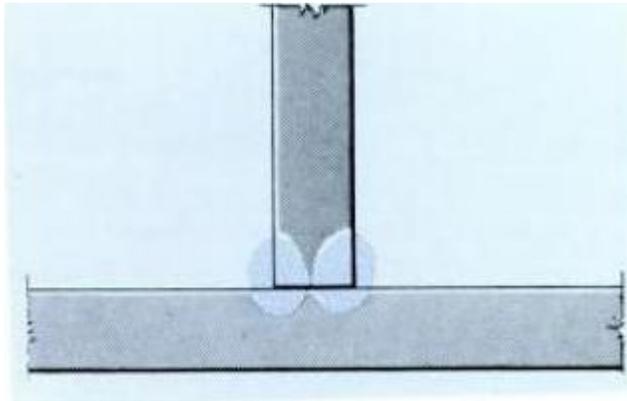


Figura 2. 3.- Unión en ángulo exterior

FUENTE: Técnicas y prácticas de soldadura de Joseph W.

d).- Unión de borde.

Independientemente del tipo de junta, para obtener una soldadura de calidad resulta imprescindible una limpieza adecuada de los bordes. Hay que eliminar cuidadosamente toda traza de óxido, aceite, grasa, pintura y suciedades. Se utiliza normalmente para espesores finos sin aporte de material (soldadura oxiacetilénica y TIG), el procedimiento de soldeo es crear un baño de fusión con el metal base y desplazarlo por toda la junta.

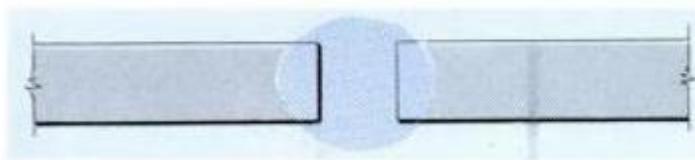


Figura 2. 4.- Unión a tope con bordes rectos

FUENTE: Técnicas y prácticas de soldadura de Joseph W.

e).- Unión de ranura.

Las soldaduras con insertos y las soldaduras ranuradas se usan para unir placas planas, como se muestra en la siguiente figura, usando uno o más huecos o ranuras en la parte superior, que después se rellenan con metal para fundir las dos partes (Andalucía, 2010).

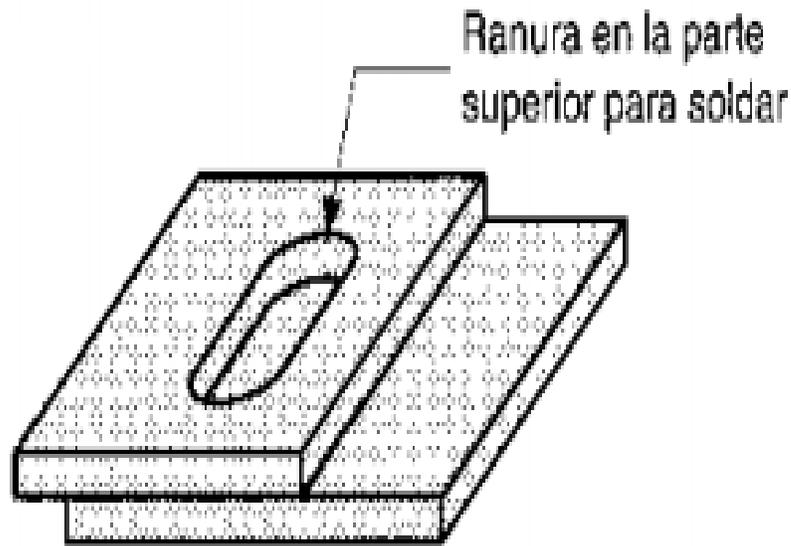


Figura 2. 5.- Unión a ranura

FUENTE: <http://www2.fe.ccoo.es/andalucia/docu/p5sd6731.pdf>.

2.4.1.2.-DISEÑO DE LAS JUNTAS.

El diseño de juntas utilizadas para acero inoxidable, es similar a las de los aceros ordinarios. El diseño de juntas seleccionada debe producir una soldadura de resistencia apropiada y desempeño en servicio, manteniendo bajos los costos. Las soldaduras a tope deberán ser con penetración completa, para servicio en atmósferas corrosivas. Los filetes de soldadura no necesitan tener penetración completa, siempre que se suelden ambos lados y las puntas para evitar espacios vacíos que puedan juntar líquido y permitir la corrosión por rendijas.

La conexión de secciones de tubería mediante filetes de soldadura deja una rendija grande en el interior del diámetro, lo cual favorece una corrosión por rendijas y microbiológica, y debe ser prohibida en toda construcción de cañerías de acero inoxidable, para todo servicio.

El diseño de juntas para la soldadura de chapas y planchas ver figura 2.6

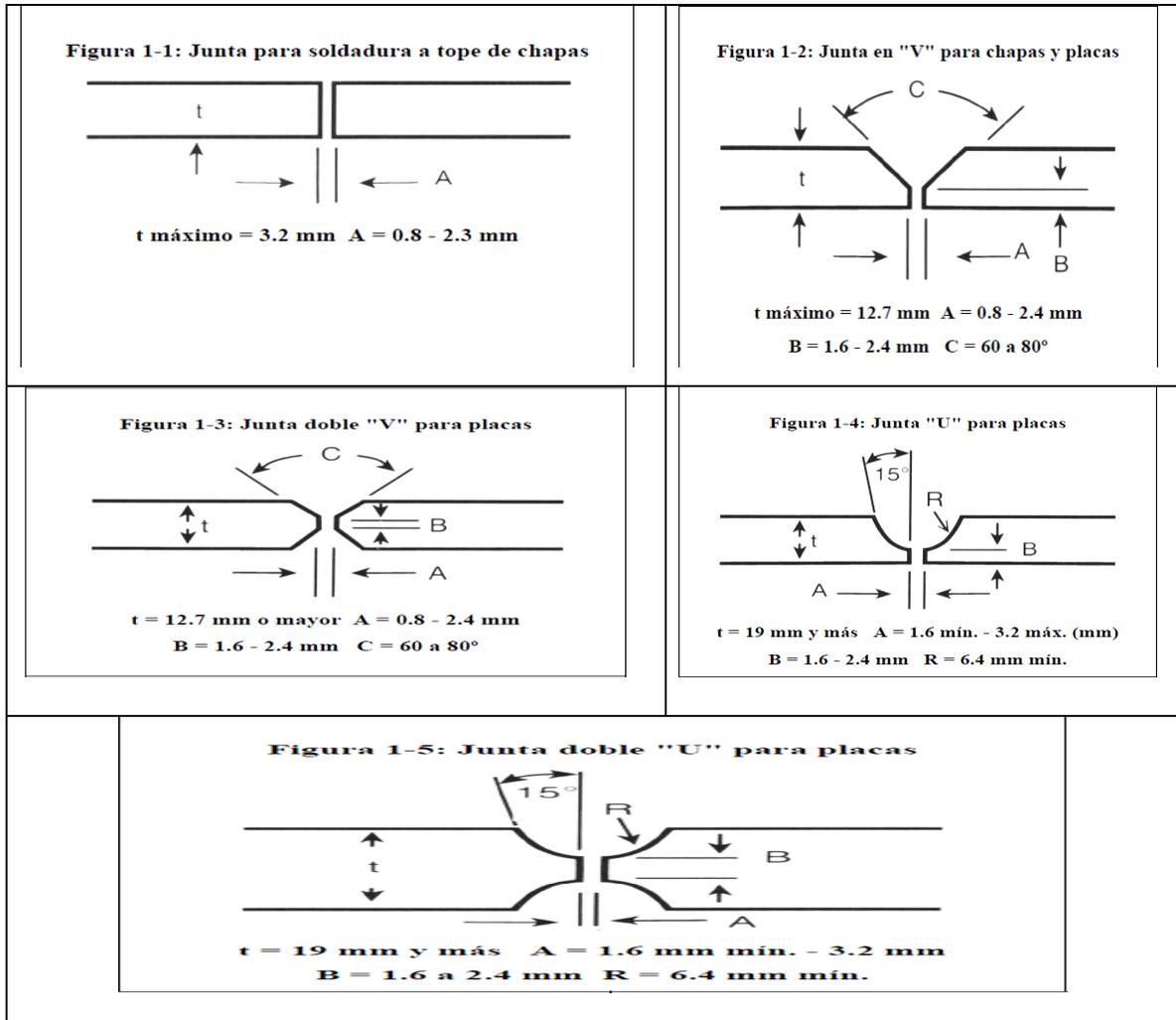


Figura 2. 6.- Diseño de juntas típico.

FUENTE: <http://www.cientificosaficionados.com/libros/solinox1.pdf>

2.4.1.3.- PRINCIPIO DE ARCO ELÉCTRICO.

Un arco eléctrico es una descarga de corriente eléctrica a través de una separación en un circuito. Se sostiene por una presencia de una columna de gas térmicamente ionizada (denominada plasma) a través de la cual fluye la corriente. En un proceso de arco

eléctrico. El arco eléctrico se inicia al acercarse el electrodo a la pieza de trabajo, después del contacto el electrodo se separa rápidamente de la pieza a una distancia corta. La energía eléctrica del arco eléctrico así formado produce temperatura de 5500 C o mayores, que son lo suficientemente calientes para fundir cualquier metal (Masabanda, 2009, p.8).

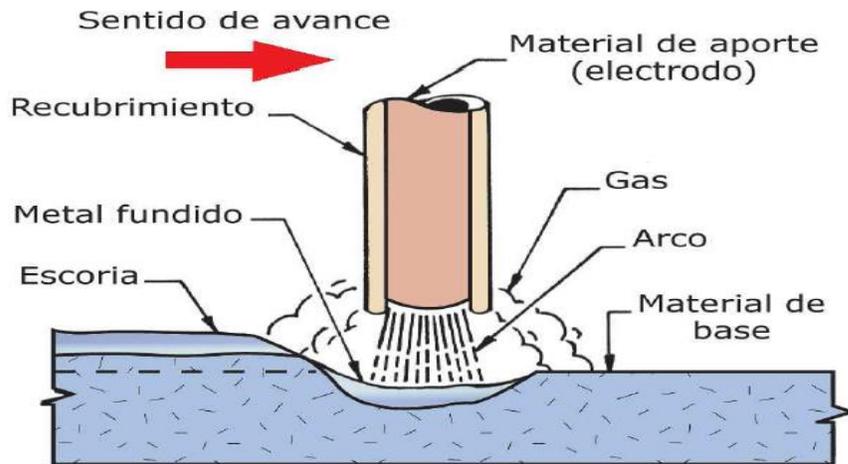


Figura 2. 7.- Esquema básico del arco eléctrico.

FUENTE: <http://bibdigital.epn.edu.ec> pdf

2.4.1.4.- CIRCUITO DE SOLDADURA POR ARCO ELÉCTRICO.

La corriente fluye a partir del borne de la máquina de soldar, donde se fija el cable del electrodo (1), y termina en el borne de la máquina, donde se fija el cable de tierra o de trabajo (2) como puede observar en la figura 2.12, partir del punto (1) la corriente fluye al porta electrodo y por este el electrodo; por el extremo del electrodo salta la electricidad a la pieza formando el arco eléctrico; sigue fluyendo la electricidad por el metal base al cable de tierra (2) y vuelve a la máquina. El circuito está establecido solo cuando el arco se cierra (Masabanda, 2009, p.9)

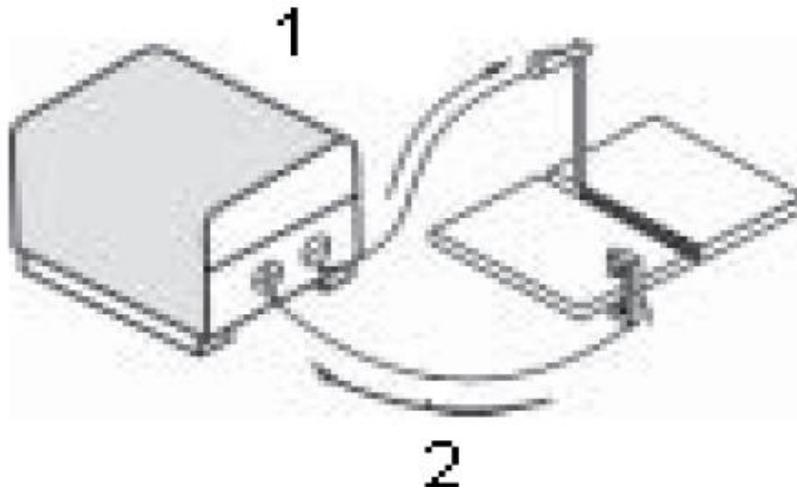


Figura 2. 8.- Flujo eléctrico.

FUENTE: <http://bibdigital.epn.edu.ec> pdf

2.4.1.5.- CLASES DE CORRIENTE ELÉCTRICA.

Corriente alterna (AC). El flujo de corriente varía de una dirección a la opuesta. Este cambio de dirección se efectúa 120 veces por segundo. El tiempo comprendido entre los cambios de dirección positiva o negativa se conoce con los nombres de ciclos o periodo (60 ciclos).

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

Polarizar.- en corriente continua es importante saber la dirección del flujo de corriente. La dirección de flujo de corriente en el circuito de soldadura es expresada en término de polaridad.

Polaridad directa. Se denomina así, si el cable del porta electrodo es conectado al polo negativo (-) de la fuente de poder y el cable de tierra al polo positivo (+). Ver figura.

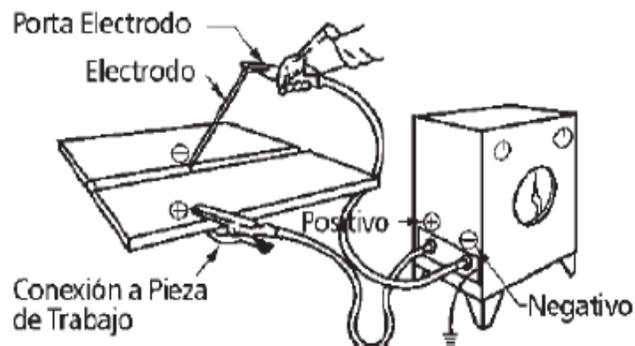


Figura 2. 9.- Polaridad directa.

FUENTE: <http://bibdigital.epn.edu.ec> pdf.

Polaridad indirecta. Se denomina así, si el cable del porta electrodos es conectado al polo (+) de la fuente de poder y el cable de tierra al polo negativo (Masabanda, 2009, p. 11)

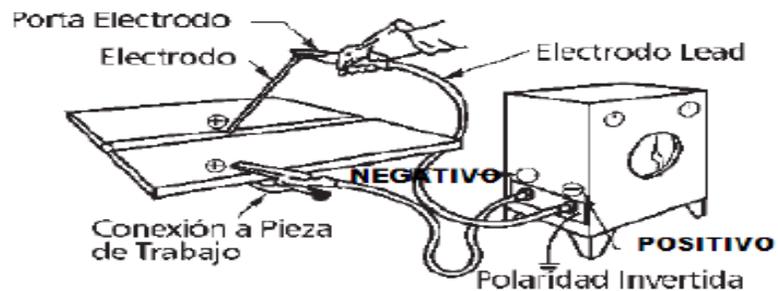


Figura 2. 10.- Polaridad indirecta.

FUENTE: <http://bibdigital.epn.edu.ec> pdf

2.4.1.6.- TIPOS DE SOLDADURAS.

Unos de los aspectos de diseños de juntas es el correspondiente al tipo de soldadura que se utiliza en junta. Existen 5 tipos básicos de soldadura que son:

Las soldaduras de cordón. Se hacen en una sola pasada, con el metal de aporte sin movimiento hacia uno u otro lado. Esta soldadura se utiliza principalmente para reconstruir superficies desgastadas, y en muy pocos casos para juntas.

Las soldaduras ondeadas. Se logra haciendo el cordón con algo de movimiento hacia uno u otro lado el ancho del cordón depende del diseño o la necesidad. Entre estas soldaduras hay también varios tipos, como el zigzag, el circular, el oscilante y otros. Las soldaduras ondeadas también se usan primordialmente para la reconstrucción de superficies (Henry, 2003, p. 118).

Las soldaduras de filetes. Son muy similares a los de ranura, pero se hacen con mayor rapidez que estas, y a menudo se prefieren en condiciones similares por razones de economía, las soldaduras de solo filete no son a veces tan resistentes como las soldaduras de ranura.

Soldadura de tapón y agujeros alargados. Sirven principalmente para hacer las veces de los remaches. Se emplean para unir por fusión dos piezas de metal cuyos bordes, por alguna razón no pueden fundirse puede soldar un círculo interior (de tapón), o una abertura o ranura alargada, dejando las orillas libres (Henry, 2003, p. 119).

Las soldaduras de ranuras. Se hacen en la ranura que queda entre dos piezas de metal estas soldaduras se emplean en muchas combinaciones, dependiendo de la accesibilidad, de la economía del diseño, y del tipo de proceso de soldadura que se aplique y comprende de ángulo de ranura, cara de ranura, radio de ranura

Electrodo para soldadura de arco. El desarrollo de electrodos recubiertos con fundente, capaces de producir soldaduras con propiedades físicas que igualen o sobrepasen las del metal base, ha convertido a la soldadura de arco en el proceso de soldadura más generalizada. Antes del desarrollo del electrodo recubierto, los gases atmosféricos que rodeaban la zona de soldadura de alta temperatura, formaban óxidos y nitruros con el metal de la soldadura. En general los óxidos tienen bajas resistencias a la tensión, y baja ductilidad por lo cual tienden a reducir las propiedades normales de los metales de base. (Henry, 2003, p. 120)

2.4.1.7.- LAS DISCONTINUIDADES EN SOLDADURA.

Una forma simple de clasificar las discontinuidades y defectos en soldadura es en superficiales e internas.

2.4.1.8.- DISCONTINUIDADES SUPERFICIALES.

2.4.1.9.- EXCESO DE PENETRACIÓN.

Se produce por efecto de un movimiento que causa la penetración del electrodo dentro de los biselos, los cuales son distribuidos en esas áreas. Causa que el material chorree al interior y puede retener escoria o no en su interior. Este defecto puede producir en soldadura de gaseoductos, desgaste por erosión. (Oswaldo, 2011, p.48).

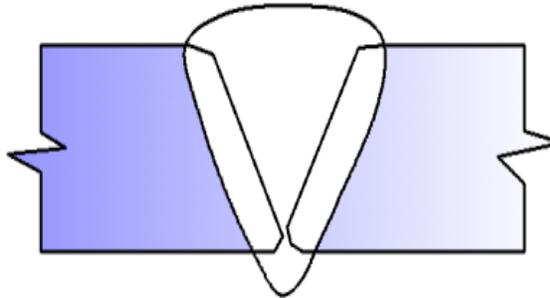


Figura 2. 11.-Exceso de penetración.

FUENTE: Calero Rodríguez, Oswaldo Leonardo tesis pdf.

2.4.1.10.- FALTA DE PENETRACIÓN.

Como en las uniones en U o en V son visibles por la cara posterior, esta imperfección puede considerarse superficial.

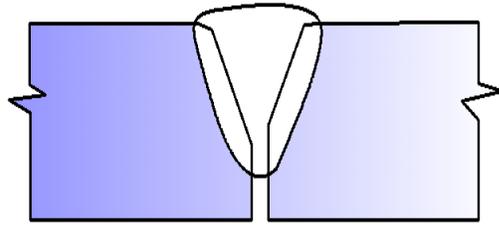


Figura 2. 12.-Falta de penetración

FUENTE: Calero Rodríguez, Oswaldo Leonardo tesis pdf.

2.4.1.11.- SOCAVADURAS O MORDEDURAS.

La mordedura es una ranura fundida en el metal base, adyacente a la raíz de una soldadura o sobremonta, que no ha sido llenada por el metal de soldadura.

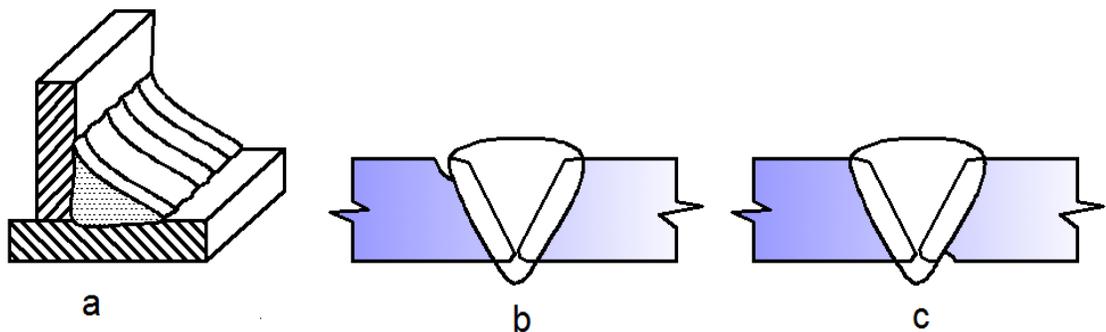


Figura 2. 13.- Socavaduras o Mordeduras.

FUENTE: Calero Rodríguez, Oswaldo Leonardo tesis pdf.

Causa

- Intensidad de soldeo demasiado elevada.
- Ángulo de desplazamiento excesivamente pequeño. (Electrodo perpendicular a la pieza).
- Arco largo o elevado.

Solución.

- Seleccionar la intensidad adecuada para el diámetro, posición y tipo de electrodo.
- Inclinar el electrodo hasta que el ángulo de desplazamiento sea de 5-10°.
- Utilizar una longitud de arco igual al diámetro del electrodo, o la mitad de este si este es básico. (Oswaldo, 2011, p.48-49)

2.4.1.12.- FACTORES QUE AFECTAN LA RESISTENCIA A LA CORROSIÓN DE LAS SOLDADURAS EN ACERO INOXIDABLE.

Se describe los tipos de soldaduras y las superficies de acero inoxidable que darán el mejor resultado en ambientes corrosivos. Estos son factores que pueden controlar los soldadores, y no la elección del material, la cual se hace generalmente por el usuario final o por el Ingeniero en Materiales. La fabricación de equipos resistentes a la corrosión debiera ser un esfuerzo conjunto de la selección de la aleación correcta y entonces emplear las prácticas correctas de fabricación y soldadura.

2.4.1.13.- EVITAR ÓXIDOS SUPERFICIALES DE LA SOLDADURA.

Para una mejor resistencia a la corrosión, las superficies de acero inoxidable deben estar libres de óxidos superficiales. Los óxidos pueden estar en la forma de tinte de calor azulados, en el otro lado de la chapa, como resultante de la soldadura, o en la zona adyacente al cordón que es la ZAT.

Los óxidos pueden variar desde un color pajizo, pasando por el púrpura, hasta negro. Se debe entender que los óxidos son peligrosos en ambientes corrosivos. Normalmente, deben ser eliminados mediante decapado ácido, blastinado o con gratas circulares acopladas en amoladoras.

2.4.1.14.- SELLAR LAS RENDIJAS EN LAS SOLDADURAS.

Las rendijas entre dos superficies de acero inoxidable tales como en los soportes para bandejas en un tanque, también favorece la corrosión por rendijas. Evitar tales rendijas es una responsabilidad del Ingeniero de Diseño. Sin embargo, es útil que aquellos que están haciendo el equipo lo ayuden a eliminar las rendijas siempre que sea posible (Acerind, 2006, p. 2).

2.4.1.15.- CONTAMINACIÓN POR HIERRO.

Cuando un equipo nuevo de acero inoxidable desarrolla puntos de herrumbre, casi siempre es el resultado de la contaminación por partículas de hierro. En algunos ambientes, si el hierro no se elimina, puede tener lugar un severo ataque en forma de corrosión por picado. En atmósferas no tan exigentes, las partículas de hierro pueden actuar como un contaminante, afectando la pureza del producto, o presentar una apariencia superficial desagradable a la vista (Acerind, 2006, p. 3).

2.4.1.16.- OTROS DEFECTOS RELACIONADOS CON LA SOLDADURA.

Los defectos relacionados con la soldadura, y el procedimiento para su eliminación:

Las marcas de encendido del arco dañan la capa protectora del acero inoxidable y crean imperfecciones similares a rendijas. Los puntos de parada de la soldadura pueden crear defectos similares a pinchazos de alfiler en el metal soldado.

Las salpicaduras de soldadura crean pequeñas marcas donde el metal fundido toca la superficie y se adhiere. La capa protectora de óxido del acero inoxidable es penetrada y se crean pequeñas rendijas donde esta capa es más débil.

La escoria de algunas soldaduras practicadas con electrodos revestidos es difícil de eliminar completamente. Pequeñas partículas de escoria resisten la limpieza y permanecen particularmente donde hay pequeñas hendiduras u otras irregularidades.

Deben ser eliminadas mediante cepillado, un ligero pulido o blastinado con materiales libres de hierro (Acerind, 2012)

2.4.1.17.- PREPARACIÓN PARA LA SOLDADURA.

Los aceros inoxidable deben ser manejados con un poco más de cuidado que los aceros ordinarios, en el corte y montaje. El cuidado que se tome en la preparación para la soldadura será tiempo bien usado, lo que incrementará la calidad de la soldadura y la terminación del producto, lo cual dará un óptimo rendimiento en servicio, preparación de la unión La importancia de una preparación adecuada de la unión no puede ser tomada a la ligera. Maquine las grietas de manera que las pendientes de la unión, el ancho del fondo de la unión debe tener por lo menos un milímetro más que el diámetro máximo del electrodo a ser usado (Metalforming, 2008).

2.4.1.18.- CORTE Y PREPARACIÓN DE LAS JUNTAS.

Con excepción del corte oxiacetilénico, el acero inoxidable puede ser cortado con los mismos métodos utilizados para el acero al carbono. El corte oxiacetilénico resulta en la formación de óxidos de cromo refractarios, que impiden un corte preciso y parejo. El espesor y la forma de las partes a ser cortadas o preparadas para la soldadura, son los que dictan cuáles de los métodos que se muestran en la Tabla serán los más apropiados (Metalforming, 2008).

Tabla 2. 1.- Métodos de corte de Acero Inoxidable

Método.	Espesor.	Comentario.
Guillotina.	Láminas, cintas, placas finas	Preparar el borde expuesto al ambiente para eliminar rendijas
Corte por sierra y abrasivo.	Amplio rango de espesores	Eliminar lubricantes o líquidos de corte antes la soldadura o tratamiento térmico
Maquinado.	Amplio rango de formas	Eliminar lubricantes o líquidos de corte antes de la soldadura o tratamiento térmico
Corte con arco de plasma.	Amplio rango de espesores	Amolar las superficies cortadas para limpiar el metal
Corte con polvo metálico.	Amplio rango de espesores	Corte menos preciso que con plasma, se deben eliminar todas las escorias
Corte por arco de grafito.	Usado para acanalar la parte de atrás de soldaduras y cortar formas irregulares	Amolar las superficies cortadas para limpiar el metal

FUENTE: Aceros inoxidables Metalforming.

2.4.1.19.- LIMPIEZA EN LA PREPARACIÓN DE LA SOLDADURA.

En la soldadura de los aceros inoxidables se necesita efectuar una limpieza de los depósitos, recurriendo al uso de abrasivos y sustancias corrosivas (soluciones de ácido sulfúrico y clorhídrico), que presentan riesgos al personal que efectúa la limpieza y por supuesto también dañan al metal por el cloro o el azufre. UTP Industria Mexicana, S.A. de C.V., desarrolló una PASTA DECAPANTE para la limpieza y el pasivado de los depósitos; con un mínimo riesgo para el personal que efectúa la limpieza y la debida protección al material soldado. (LA PASTA DECAPANTE no contiene cloruros o azufres). La importancia del decapado dará un alto valor a la resistencia contra el ataque químico, porque elimina cualquier residuo que pudiera provocar corrosión.

La PASTA DECAPANTE, se utiliza en la limpieza de superficies oxidadas del revenido que aparece después de aplicar soldadura (eléctrica o autógena) en los aceros inoxidable. En aceros inoxidable el tiempo de reacción para la limpieza es de 15 a 60 minutos. En temperaturas mayores a 20°C (industrial, 2012).

2.4.1.20.- ÓXIDOS Y OTRAS CAPAS SUPERFICIALES.

Las juntas a ser soldadas deberán estar libres de los óxidos superficiales que quedan frecuentemente después del corte por métodos térmicos. Estos óxidos están compuestos preferentemente por compuestos de cromo y níquel, los cuales se funden a una temperatura mucho mayor que el metal base, y por lo tanto no se funden durante la soldadura.

Tabla 2. 2.- Temperatura de fusión de metales y óxidos metálicos.

Metal.	Temperatura de fusión (°C).	Oxido metálico.	Temperatura de fusión (°C).
Hierro.	1537	Fe ₂ O ₃	1565.
Níquel.	1454	NiO	1982.
AISI 304.	1400-1454	Cr ₂ O ₃	2266.

FUENTE: Acerind Soldadura de los Aceros Inoxidables

Con el acero, los óxidos de hierro funden a casi la misma temperatura que el metal base. Si bien se considera mala práctica soldar sobre una capa de óxido en acero, esto no presenta el problema causado por los óxidos en el acero inoxidable. Las diferencias entre las temperaturas de fusión del metal y sus óxidos se presentan en la Tabla (Acerind, 2006, p. 2-6)

2.4.1.20.- ACEROS INOXIDABLES AUSTENÍTICOS.

Son los más utilizados por su amplia variedad de propiedades, se obtienen agregando Níquel a la aleación, por lo que la estructura cristalina del material se transforma en austenita y de aquí adquieren el nombre. El contenido de Cromo varía de 16 a 28%, el de Níquel de 3.5 a 22% y el de Molibdeno 1.5 a 6%. Los tipos más comunes son el AISI 304, 304L, 316, 316L, 310 y 317. Las propiedades básicas son: Excelente resistencia a la corrosión, excelente factor de higiene - limpieza, fáciles de transformar, excelente soldabilidad, no se endurecen por tratamiento térmico, se pueden utilizar tanto a temperaturas criogénicas como a elevadas temperaturas. Principales aplicaciones: Utensilios y equipo para uso doméstico, hospitalario y en la industria alimentaria, tanques, tuberías, etc.

La serie 300 es la de los aceros inoxidable austeníticos, aceros no magnéticos con estructura cúbica de caras centradas, básicamente aleaciones de Fe-Cr-Ni. En todos los aceros inoxidable están también siempre presentes el carbono y otros elementos que se encuentran presentes en todos los aceros, comunes o no, como el Silicio Si, manganeso Mn, fósforo P y azufre S (Benedetto, Letona, 2008, p.6)

Tabla 2. 3.- Propiedades de los aceros inoxidable

Propiedades mecánicas	AISI 304	AISI 316	AISI 316L	AISI 316Ti
Resistencia a la tracción (MPa)	515	515	485	515
Punto de fluencia 0,02% (MPa)	205	205	170	205
Elongación 2 pulg. (%)	40	40	40	40
Dureza	Rockwell B	92	95	95
	Brinell	201	217	217

Fuente: Norma ASTM A240

2.4.1.21.- ACEROS INOXIDABLES 304.

Éste es el más versátil y uno de los más usados de los aceros inoxidable de la serie 300. Tiene excelentes propiedades para el conformado y el soldado. Se puede usar para aplicaciones de embutición profunda, de rolado y de corte. Tiene buenas características para la soldadura, no requiere recocido tras la soldadura para que se desempeñe bien en una amplia gama de condiciones corrosivas. Incluyendo productos de petróleo calientes o con vapores de combustión de gases. Tiene excelente resistencia a la corrosión en servicio intermitente hasta 870 °C y en servicio continuo hasta 925°C. No se recomienda para uso continuo entre 425 - 860°C pero se desempeña muy bien por debajo y por encima de ese rango (Sumiteccr,2004, p. 1).

2.4.1.22.- TRATAMIENTOS TÉRMICOS.

Éste acero inoxidable no puede ser endurecido por tratamiento térmico. Para el recocido, caliente entre 1010 y 1120°C y enfríe rápidamente para obtener una mejor propiedad y características en los materiales. Sus usos son muy variados, se destacan los equipos para procesamiento de alimentos, enfriadores de leche, intercambiadores de calor, contenedores de productos químicos, tanques para almacenamiento de vinos y cervezas, partes para extintores de fuego. (Sumiteccr, 2004)

Tabla 2. 4.- Propiedades Los aceros inoxidable 304.

Propiedades mecánicas: Resistencia a la fluencia 310 MPa (45 KSI) Resistencia máxima 620 MPa (90 KSI) Elongación 30 % (en 50mm) Reducción de área 40 % Módulo de elasticidad 200 GPa (29000 KSI)	Propiedades químicas: 0.08 % C mín. 2.00 % Mn 1.00 % Si 18.0 – 20.0 % Cr 8.0 – 10.5 % Ni 0.045 % P 0.03 % S	Propiedades físicas: Densidad 7.8 g/cm ³ (0.28 lb/in ³)
--	--	---

FUENTE: Sumitccr catálogo de Aceros Inoxidables

2.4.1.23.- PROPIEDADES.

2.4.1.24.- FÍSICAS DE LOS ACEROS INOXIDABLES AUSTENÍTICOS.

Las propiedades físicas de los aceros al carbono y los inoxidables austeníticos son bastante diferentes, y esto requiere una revisión de los procesos de soldadura. En la Tabla de Propiedades Físicas, se incluyen algunos ítems como el punto de fusión, expansión térmica, conductividad térmica, y otros que no cambian significativamente con el tratamiento térmico o mecánico. Como se ilustra en esta Tabla, el punto de fusión de los grados austeníticos es menor, así que se requiere menos calor para lograr la fusión (Acerind, 2006, p. 1)

Tabla 2. 5.- Propiedades físicas en la soldadura de aceros inoxidables austeníticos, comparados con el acero al carbono.

Aceros inoxidables Austeníticos		Aceros al carbono	Observaciones
Punto de fusión (Tipo 304)	1400 - 1450 °C	1540 °C	El Tipo 304 requiere menos calor para producir la fusión, lo cual significa una soldadura más rápida para el mismo calor
Respuesta Magnética	No magnético a todas las temperaturas (1)	Magnético hasta más de 705 °C	Los aceros inoxidables al níquel no están sujetos a la soldadura de arco
Velocidad de conductividad térmica A 100 °C A 650 °C	28% 66%	100 % 100%	El Tipo 304 conduce el calor mucho más lentamente que los aceros al carbono, lo cual produce gradientes de temperatura más pronunciados. Esto acelera la de formación. Una difusión más lenta del calor a través del metal de base significa que la zona soldada permanece caliente por más tiempo

Resistencia Eléctrica (aleado) (microhm.cm, Aprox.) a 20 °C a 885 °C	72.0 126.0	12.5 125	Esto es importante en los métodos de fusión eléctrica. 304 resulta en la generación de más calor para la misma corriente, o la misma cantidad de calor con menos corriente, comparado con los aceros al carbono. Esta propiedad, junto con una menor velocidad de conductividad térmica, resulta en la efectividad de los métodos para soldadura por resistencia del Tipo 304
Expansión térmica en el rango indicado pulg./pulg./°C x10-6	17.6 (20 - 500 °C)	11.7 (20 - 628 °C)	El tipo 304 se expande y contrae a una velocidad más alta que el acero al carbono, lo cual significa que se debe permitir expansión y contracción a fin de controlar la deformación y el desarrollo de tensiones térmicas después del enfriamiento. Por ejemplo, para el acero inoxidable deben usarse más puntos de soldadura que para el acero al carbono

FUENTE: Acerind Soldadura de los Aceros Inoxidables

2.4.1.25.- ELECTRODOS.

2.4.1.26.- ELECTRODO 308 L (AWS: E 308 L-16).

Descripción: Tiene un revestimiento rutílico, lo que permite soldar con CA o CCEP, electrodo positivo. Arco estable de transferencia spray, depósito de excelente forma y apariencia. La escoria se desprende fácilmente, muy buena reanudación de arco. El depósito es de acero inoxidable austenítico.

Usos: Aceros inoxidables austenítico con un contenido extra bajo de carbono. El contenido de 0.04% de carbono, evita la formación y la precipitación de carburos. Excelente protección contra la corrosión intergranular. Se recomienda especialmente

para aplicaciones resistentes a la corrosión, producida por los ácidos y soluciones de celulosa. Se recomienda su uso en soldaduras intermitentes.

Aplicaciones típicas: Aceros Inoxidables. 304, 304L, 308, 308L, 321, 347, 348. Equipos químicos y petroquímicos. Estanques (Indura, 2010, p. 47).

Tabla 2. 6.- Propiedades de los electrodos

Composición química	Propiedades mecánicas
C: 0.02% Mn: 0.63% Si: 0.76% P: 0.025% S: 0.008% Cr: 18.7% Ni: 10.0% Mo: 0.18%	Resistencia a la tracción 590 MPa Elongación (L = 4d) 53%.
Posiciones de soldadura	Tipo de corriente:
P, H, V, SC.	CCEP, CA.

FUENTE: Willian Naula

2.4.1.26.- ELECTRODO 309 L (AWS: E 309 L-16).

Descripción: Su bajo contenido de carbono previene la precipitación de carburos de cromo. Excelente contra la corrosión intergranular. Excelente operatividad en toda posición.

Usos: Adecuado para uniones de aceros inoxidables a aceros bajo carbono y baja aleación. Apto para enmantequillado (buttering) y como depósito base para aplicaciones que requieren un posterior recubrimiento duro. Su depósito tiene excelente resistencia a la corrosión a temperatura ambiente, pero primordialmente fue diseñado para resistir la oxidación a altas temperaturas (1000°C).

Aplicaciones típicas: Adecuado para aceros AISI 309,309L, 309Cb, 304, 304L, 321, 347 y soldaduras disímiles (Indura, 2010, p. 48).

Tabla 2. 7.- Propiedades de los electrodos

Composición química	Propiedades mecánicas
C: 0.02% Mn: 0.69% Si: 0.80% P: 0.022% S: 0.009% Cr: 22.5% Ni: 13.4% Mo: 0.16%	Resistencia a la tracción 555 MPa Elongación L = 4d, 42%
Posiciones de soldadura	Tipo de corriente:
P, H, V, SC.	CCEP, CA.

Fuente: Willian Naula

2.4.1.27.- ELECTRODO (AWS: E 316 H-16).

Descripción: Electrodo para aceros de alta resistencia a la oxidación y la corrosión. Es un electrodo de fácil aplicación, con fácil encendido y reencendido. Posee un núcleo sólido tipo austenítico de la familia de aceros inoxidable al Cr/Ni/Mo, recomendado para la soldadura de aceros inoxidables del tipo 316, y 316H, industria química, ambientes corrosivos acompañados de alta temperatura.

Aplicaciones típicas: Usado ampliamente en construcción, soldadura y reparación de equipo de la industria química, de manejo de cárnicos y de alimentos que conlleven ácidos o sustancias básicas, equipos de revelado fotográficos, etc., trabaja particularmente bien en medios donde existan ácidos diluidos. Utilizado para la construcción de reactores, intercambiadores de calor, destiladores, tuberías, digestores, recipientes de alta y baja presión y en la industria petroquímica.

Materiales base 316 Gr. H (Infra, 2009, p.74)

Tabla 2. 8.- Propiedades de los electrodos

Composición química	Propiedades mecánicas
C: 0.04-0.08%, Mn: 0.6-2.5% Si: 1.0%, P: 0.04% S: 0.03% Cr: 17-20% Ni: 11-14% Mo: 2-3 %	Resistencia a la tracción 520 Mpa Elongación L = 4d, 30%
Posiciones de soldadura	Tipo de corriente:
P, H, V, SC.	CCEP, CA.

FUENTE: Willian Naula

2.4.1.28.- SENSIBILIZACIÓN.

La precipitación del Cromo en el área adyacente al borde del grano, deja una cantidad insuficiente de Cromo para procurar la mantención de la protección necesaria de la película de óxido. Existen soluciones para este problema, que es bajar el contenido de Carbono evitando así la precipitación del Cromo. Se considera en la práctica un 0.03% de Carbono como máximo para prevenir la sensibilización. (Ramón, 2004, p. 23)

2.4.1.29.- SOLDABILIDAD.

En un sentido amplio y generalizado, la soldadura puede definirse como la realización de una unión entre dos piezas de metal haciendo uso de las fuerzas de cohesión. Todo proceso de soldadura debe esencialmente lograr el acercamiento de las superficies a unir a distancias del orden interatómico con el propósito de crear las condiciones propicias para que se desarrollen las fuerzas de cohesión inherentes a los enlaces metálicos. Para lo que normalmente se emplea alguna fuente de energía. El comportamiento de los aceros inoxidable puede verse seriamente afectado por la soldadura, debido a la importancia de mantener una balanceada microestructura y evitar

la formación de fases metalúrgicas indeseables. Los parámetros de soldadura y materiales de aporte empleados deben ser cuidadosamente seleccionados y además los aceros inoxidable se verán afectadas por el ciclo térmico de soldadura, por lo que la pérdida de propiedades puede ser. Debido a que los aceros inoxidable 304 tienen dos fases, las características de cada una de éstas se verán evidenciadas. Los aceros inoxidable austeníticos tienen una excelente soldabilidad y tenacidad a bajas temperaturas (Salazar, 2009).

2.4.1.30.- EFECTOS DE LOS COMPONENTES DE LOS ACEROS INOXIDABLES.

CROMO.- Es el único elemento imprescindible para la formación de la película pasivada que proporciona resistencia a la corrosión del acero. La película puede observarse ya cuando el contenido de cromo es de 10,5%, esta película es muy susceptible de romperse en medios agresivos (Lázaro, 2012, p. 2).

NÍQUEL.- En suficientes cantidades es estabilizador de la estructura austenítica. Es un elemento muy efectivo en la reformación de la capa pasivada. El níquel es particularmente útil para aumentar la resistencia a la corrosión en medios ácidos (Lázaro, 2012, p. 2).

MANGANESO.- En moderadas cantidades y en asociación con el níquel proporciona muchas de las cualidades de este último. Sin embargo, no es práctico substituir totalmente al níquel por el manganeso. El manganeso interactúa con el azufre de los aceros inoxidable formando sulfuro de manganeso que puede tener efectos importantes respecto a la resistencia a la corrosión, picaduras (Lázaro, 2012, p. 2-3).

MOLIBDENO.- En combinación con el cromo es muy efectivo en términos de estabilizar la película pasivada en presencia de cloruros. Es especialmente efectivo para evitar la iniciación de fisuras y picaduras de corrosión (Lázaro, 2012, p. 3).

CARBONO.- Es útil ya que aumenta la capacidad de endurecimiento mediante tratamiento térmico al resultar un acero susceptible de transformación martensítica. En general, el carbono disminuye la resistencia a la corrosión del acero inoxidable al formarse carburos de cromo en los límites de grano (Lázaro, 2012, p.3).

NITRÓGENO.- Beneficia a los aceros inoxidables austeníticos en cuanto a su resistencia a corrosión por picaduras, retardando la formación de la fase σ -cromo-molibdeno. Su presencia es esencial en los nuevos tipos de aceros inoxidables dúplex ya que incrementa el contenido de austenita y disminuye la segregación de cromo y molibdeno, aumentando así la resistencia a la corrosión de la fase austenítica. Sin embargo, el nitrógeno disminuye enormemente las propiedades mecánicas de los aceros inoxidables ferríticos (Lázaro, 2012, p. 3)

2.4.2.- PROPIEDADES MECÁNICAS.

2.4.2.1.- METALOGRAFÍA DE LOS ACEROS INOXIDABLES 304

En una metalografía podemos estudiar la estructura, composición y propiedades físicas de un metal y sus aleaciones. La metalografía recurre a la microscopía y a la polarimetría para estudiar la superficie de las probetas metálicas previamente pulidas y atacadas y corroídas con ácidos. Generalmente cuando se atacan una superficie metálica, las fronteras de grano de una microestructura serán reveladas como líneas negras. Para una mejor identificación figura 2.14 que es una metalografía hecha al acero inoxidable tipo 304 (Catarina, 2005, p. 102)

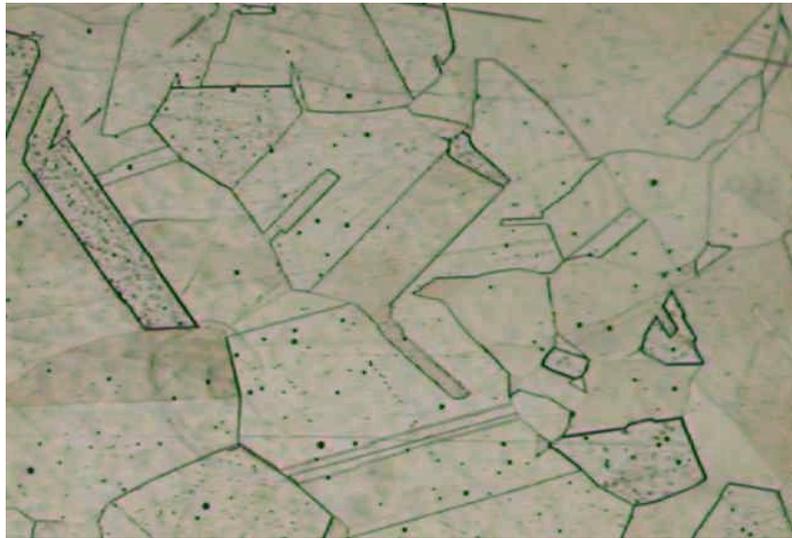


Figura 2. 14.- Metalografía de acero inoxidable tipo 304 -100x

FUENTE: <http://www.upv.es/materiales>

2.4.2.2.- ANÁLISIS MICROGRÁFICO DE LAS PROBETAS SOLDADAS.

Las micrografías analizadas son representativas de todos los ensayos realizados y se encuentran caracterizadas y tabuladas con las correspondientes energías impuestas y número de pases, como lo muestran las zonas donde se obtuvieron las probetas para obtener las micrografías y analizar (ingeniería, 2004).

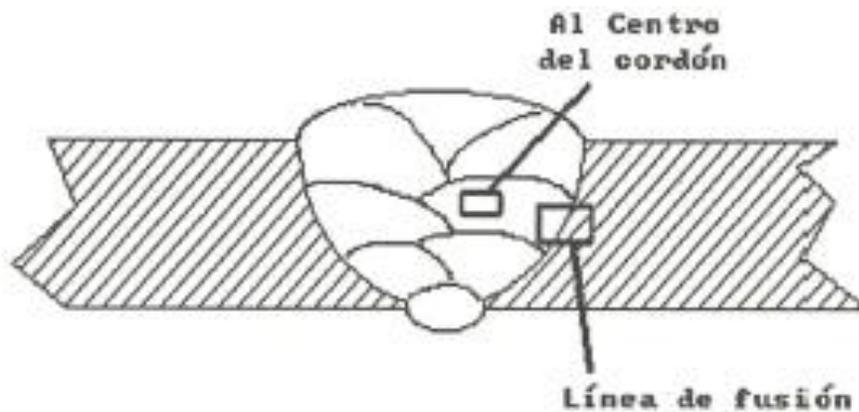


Figura 2. 15.-Zona donde fue retirada las muestras

FUENTE: Revista de la Facultad de Mecánica Chile.

2.4.2.3.- MICROGRAFÍAS.

La estructura austenítica del material base, no son afectadas significativamente por las altas temperaturas que se alcanzan en la ZAC. Tampoco se observan precipitados de carburos de Cromo en el material base, esto es muy poco probable por su bajo contenido de carbono (menor que 0,03%) y al reducido tiempo en que se mantiene a las temperaturas críticas de sensibilización. (ingeniería, 2004).

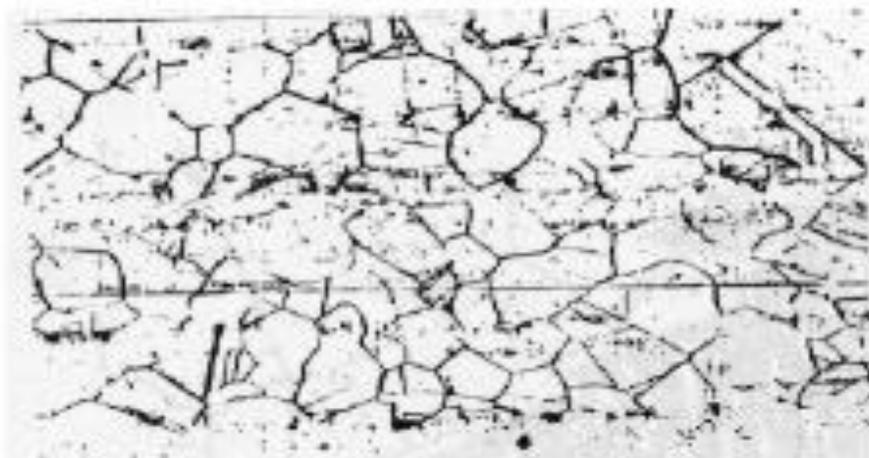


Figura 2. 16.- Micrografía, metal base AISI 9041 x200

FUENTE: Revista de la Facultad de Mecánica Chile

2.4.2.4.- CAMBIOS MICROESTRUCTURALES EN LA ZONA AFECTADA POR EL CALOR.

Se pueden presentar las siguientes microestructuras en la zona afectada por el calor:

- Un incremento en el contenido de ferrita debido al ciclo térmico de la soldadura, la velocidad de enfriamiento si es muy rápida impide la retransformación de la ferrita formada durante el calentamiento.
- Descomposición parcial de la ferrita con la formación de fases intermetálicas, acompañadas posiblemente por la precipitación de carburos y nitruros, particularmente durante el recalentamiento de los pases de soldadura. El aporte

de calor debe mantenerse en el rango de 10 –20 kJ/cm, mientras que la temperatura de interfase debe mantenerse por debajo de 150°C. Un esquema del cambio microestructural ocurrido en la ZAC de un acero inoxidable dúplex donde se presenta la temperatura máxima alcanzada en el ciclo térmico (Yenisey, 2011, p.21-22)

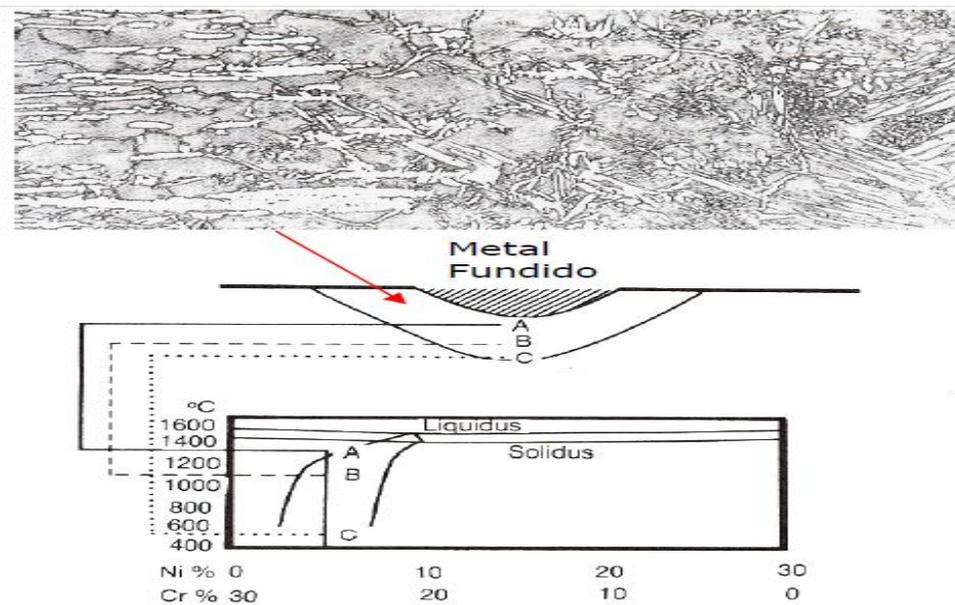


Figura 2. 17.- Cambios Microestructurales.

FUENTE: <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio.pdf>

2.4.2.5. – ENSAYO DE DUREZA ROCKWELL.

2.4.2.6. – DEFINICIÓN DE DUREZA.

Se entiende por dureza la propiedad de la capa superficial de un material de resistir la deformación elástica, plástica y destrucción, en presencia de esfuerzos de contacto locales inferidos por otro cuerpo, más duro, el cual no sufre deformaciones residuales (indentador o penetrador), de determinada forma y dimensiones. (Calle, 2005, p.1)

2.4.2.7. – DUREZA ROCKWELL

Al igual que en el ensayo Brinell la dureza se determina en función del grado de penetración de la pieza a ensayar a causa de la acción del penetrador bajo una carga estática dada. Difiere del ensayo Brinell en que las cargas son menores y los penetradores más pequeños por lo que la impronta será menor y menos profunda. Además el ensayo Rockwell no requiere la utilización de formula alguna para la determinación de la dureza. Esta se obtiene directamente del dial indicador de la máquina ya que la misma está dada por el incremento de profundidad de penetración debido a la acción del penetrador, el cual puede ser una bolilla de acero o un cono de diamante. En la operación, la cual se muestra esquemáticamente en la Fig. 2.3, se aplica inicialmente una carga de 10 kg la cual causa una penetración inicial A que pone el penetrador sobre el material y lo mantiene en posición.

El indicador de la máquina se pone en cero, es decir se toma la línea de referencia a partir de la cual se medirá la indentación y se aplica la carga adicional, la que generalmente es de 50 o 90 kg cuando se utiliza como penetrador una bolilla de acero y es de 140 kg cuando se utiliza el cono de diamante (Arias, 2008).

2.4.2.8. – DUREZA ROCKWELL SUPERFICIAL.

La dureza Rockwell superficial es una extensión del método, en el que las escalas surgen de las combinaciones de los mismos penetradores, el cono de diamante y las mismas bolillas, con cargas menores. En este caso se utiliza una carga inicial de 3 kg y cargas adicionales de 12, 27 y 42 kg.

La dureza superficial con el cono de diamante puede emplearse en piezas extremadamente delgadas tales como hojas de afeitar, o bien en aquellas que han sido endurecidas superficialmente en una capa de muy delgado espesor, como es el caso de los aceros nitrurados o cementados. Con los penetradores esféricos se pueden ensayar

los aceros blandos, bronces, etc. La máquina de ensayo tiene una escala única dividida en 100 partes iguales, correspondiendo cada división a 0,001mm, lo que hace a un rango total de penetración de 0,1 mm. En este caso las combinaciones entre penetradores y cargas se distinguen con subíndices, constituidos por el valor de la carga total en kg y las letras N, T, W, X e Y. (Laufgang, 2008, p.10)

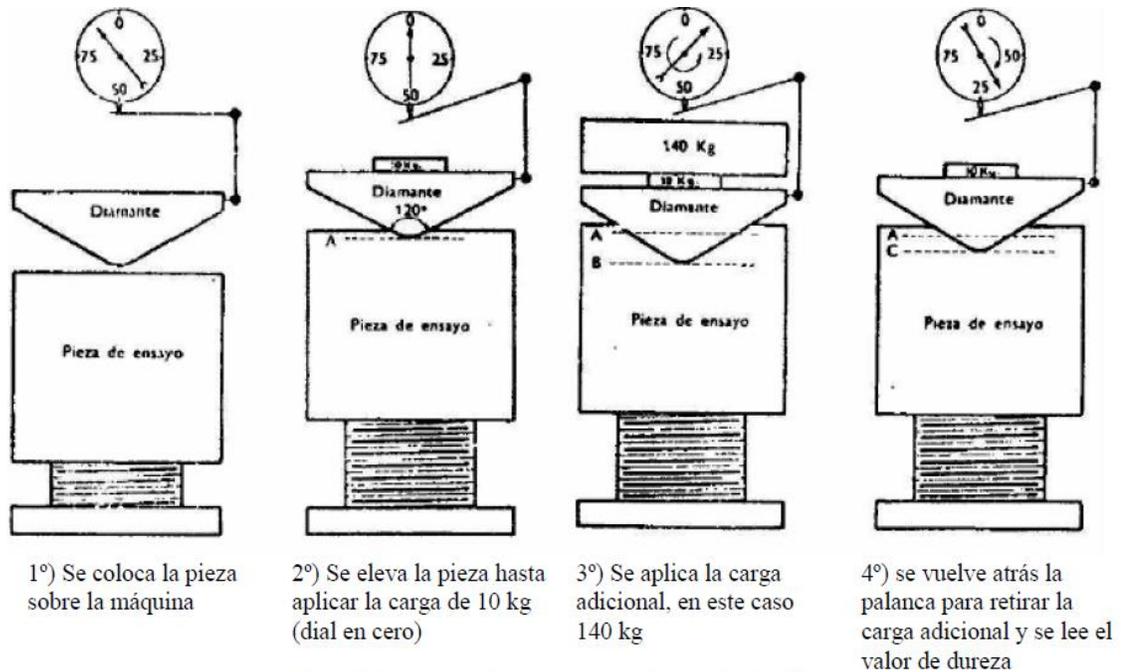


Figura 2. 18.- Secuencia de ensayos de dureza Rockwell.

FUENTE: <http://WWW. Ensayo de dureza estudio pdf>.

2.4.2.9. – ROCKWELL Y ROCKWELL SUPERFICIAL

Para medir dureza Rockwell o Rockwell superficial, primero se aplica una fuerza inicial de ensayo y entonces una fuerza de ensayo a un espécimen y se regresa a la fuerza de ensayo inicial usando un penetrador de diamante ángulo de la punta del cono: 120° radio de la punta: 0.2 mm) o un penetrador de esfera hecha de carburo). Esta dureza es obtenida a partir de la fórmula de dureza, expresada por la diferencia en la profundidad de indentación h (mm) entre la primera y segunda fuerza inicial. Rockwell usa una

fuerza inicial de ensayo de 98.07N, y Rockwell superficial 29.42N. Un símbolo específico proporcionado en combinación con un tipo de indentador, fuerza de ensayo y formula de dureza es conocido como una escala. Las Normas Industriales Japonesas (JIS) definen varias escalas de dureza relacionadas. En algunos materiales, la penetración provoca una deformación en la huella, la cual puede llegar a dar una información falsa a la hora de medir el diámetro (Mitutoyo, 2011, p. 8-10).

Tabla 2. 9.- Relación entre escala de dureza Rockwell y Rockwell superficial.

Escala de Dureza Rockwell				Escala de Dureza Rockwell Superficial			
Escala	Penetrador	Fuerza de ensayo (N)	Aplicación	Escala	Penetrador	Fuerza de ensayo (N)	Aplicación
A	Diamante	588.4	Carburo, lamina de acero delgada	15N	Diamante	147.1	Capa delgada endurecida sobre acero tal como una capa carburizada o nitrurada
D		980.7	Acero con cubierta endurecida	30N		294.2	
C		1471	Acero(más de 100HRB menos de 70HRC)	45N		441.3	
F	Bola con diámetro de 1.5875 mm	588.4	Metal para cojinete	15T	Bola con diámetro de 1.5875 mm	147.1	Hoja delgada de metal de acero suave, bronce etc.
B		980.7	Latón	30T		294.2	
G		1471	Aleación de aluminio endurecida	45T		441.3	
H	Bola con diámetro de 3.175 mm	588.4	Metal para cojinete, piedra de esmeril	15W	Bola con diámetro de 3.175 mm	147.1	Plástico, zinc, aleación para cojinete
E		980.7	Metal para cojinete	30W		294.2	
K		1471	Metal para cojinete	45W		441.3	
L	Bola con diámetro de 6.35 mm	588.4	Plástico, plomo	15X	Bola con diámetro de 6.35 mm	147.1	Plástico, zinc, aleación para cojinete
M		980.7		30X		294.2	
P		1471		45X		441.3	
R	Bola con diámetro de 12.7 mm	588.4	Plástico	15Y	Bola con diámetro de 12.7 mm	147.1	Plástico, zinc, aleación para cojinete
S		980.7		30Y		294.2	
V		1471		45Y		441.3	

FUENTE: Catálogos Mitutoyo

2.4.2.10.- ENSAYO DE TRACCIÓN.

La probeta de ensayo estándar se usa para obtener una variedad de características y resistencia de los materiales que se emplea en el diseño, una probeta típica y sus dimensiones características. El diámetro original d_0 y la longitud calibrada l_0 , lo que se usa para medir la deflexión, se registra antes de comenzar la prueba. Después, la probeta

se monta en la máquina de prueba y se carga lentamente en tensión mientras se observan la carga P y la flexión la carga se convierte en esfuerzo mediante la formula

$$\sigma = \frac{P}{A_0}$$

Donde A_0 es el área original de la probeta

La deflexión, o extensión de la longitud calibrada, está dada por $(l - l_0)$ donde l es la longitud calibrada correspondiente a la carga P. la deformación unitaria normalmente se calcula a partir de

$$\varepsilon = \frac{l - l_0}{l_0}$$

A la conclusión de la prueba, o durante ella, se grafican los resultados como un diagrama de esfuerzo-deformación unitaria (Shigley, 2008, p. 28-29)

2.4.2.11.- PARAMETROS DE LOS ENSAYOS DE TRACCIÓN.

Alargamiento.- Incremento de longitud que ha sufrido la probeta. Se mide entre dos puntos cuya posición está normalizada y se expresa con la letra griega delta.

Deformaciones elásticas.- En esta zona las deformaciones se reparten a lo largo de la probeta, son de pequeña magnitud y, si se retirara la carga aplicada, la probeta recuperaría su forma inicial.

Deformaciones plásticas.- Si se retira la carga aplicada en dicha zona, la probeta recupera sólo parcialmente su forma quedando deformada permanentemente. Las deformaciones en esta región son más acusadas que en la zona elástica.

Estricción.- Es la reducción de la sección que se produce antes y después de la zona de la rotura, para aceros dúctiles esta reducción es aproximadamente el 50%.

Fuerza axial (P).- Es la carga dirigida a lo largo del eje del miembro que se somete a tracción.

La deformación.- Es el cambio en el tamaño o forma de un cuerpo debido a esfuerzos internos producidos por una o más fuerzas aplicadas sobre el mismo o la ocurrencia de dilatación térmica, a veces, la deformación se expresa como porcentaje.

La ductilidad.- Es una propiedad del material que le permite deformarse sin romperse, o bien, es medida del grado de deformación plástica que puede ser soportada hasta la fractura.

La tenacidad.- Capacidad de un material de absorber energía antes de la fractura.

Ley de Hooke.- Es la relación lineal entre la tensión y la deformación lineal en una barra sometida a tracción.

Límite de fluencia o límite elástico.- Valor de la tensión que soporta la probeta en el momento de producirse el fenómeno de la cedencia o fluencia. Este fenómeno tiene lugar en la zona de transición entre las deformaciones elásticas y plásticas y se caracteriza por un rápido incremento de la deformación sin aumento apreciable de la carga aplicada. Se expresa en fuerza por unidad de área, generalmente MPa.

Módulo de elasticidad o Módulo de Young (E).- Es la relación entre la tensión realizada y la deformación adquirida en el tramo lineal de la curva tensión deformación (región elástica). Su valor es de (210 GPa), para aceros.

Porcentaje de alargamiento.- Es el incremento en longitud producido por la tensión de tracción, 20-30%.

Resistencia a la tracción.- Máxima tensión nominal que soporta la probeta a tracción por unidad de área

Resistencia de rotura.- Tensión que soporta el material en el punto de rotura. Generalmente se da la deformación en el límite elástico convencional o en el punto de fluencia convencional que corresponde al 0.2% de elongación.

Tensión.- Es la intensidad de la fuerza (o sea la fuerza por unidad de área) y se denota con la letra griega sigma (Fernando, 2012, p. 29-31)

Curva de esfuerzo deformación.

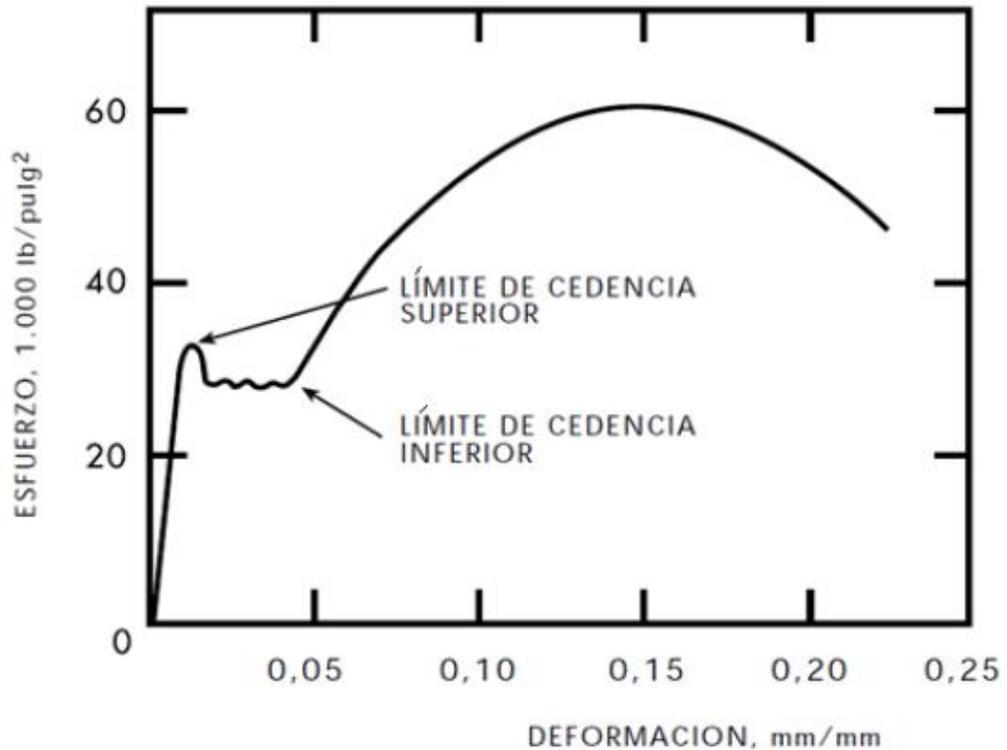


Figura 2. 19.- Parámetros de tensión

FUENTE: Tesis Gusnay Fernando.

2.4.2.12.- ENSAYO DE IMPACTO.

Los ensayos dinámicos son realizados para valorar la capacidad de resistencia de los materiales metálicos a las cargas de impacto (tenacidad) y determinar su tendencia a la destrucción frágil. Método para determinar el comportamiento del material sometido a la carga de choque en la flexión, tracción o torsión. La cantidad que se suele medir es la energía absorbida al romper la probeta en un único golpe, como en el ensayo de impacto Charpy, el ensayo de impacto Izod y el ensayo de tracción dinámica. Los ensayos de impacto se realizan sometiendo a las probetas a varios golpes de intensidad creciente, como en el ensayo de impacto con caída de bola y el ensayo de impacto con golpe

repetido. La elasticidad del impacto y la dureza con escleroscopio se determinan en ensayos de impacto no destructivos (Instron, 2009).

2.4.2.13.- OBJETIVO DEL ENSAYO.

Familiarizarse con los criterios de valoración de la resistencia de los materiales a las cargas de impacto; comparación de la conducta de un mismo material, sometido a un solo impacto, llamado ensayo de impacto de Charpy.

2.4.2.14.- CONSIDERACIONES GENERALES.

Los ensayos dinámicos de choque se realizan generalmente en máquinas denominadas péndulos o martillo pendulares, en las que se verifica el comportamiento de los materiales al ser golpeados por una masa conocida a la que se deja caer desde una altura determinada, realizándose la experiencia en la mayoría de los casos, de dos maneras distintas el método Izod y el método Charpy. En ambos casos la rotura se produce por flexionamiento de la probeta, la diferencia radica en la posición de la probeta entallada, como se muestra en la figura por lo que se los denomina flexión por choque (Bejarano, 2012).

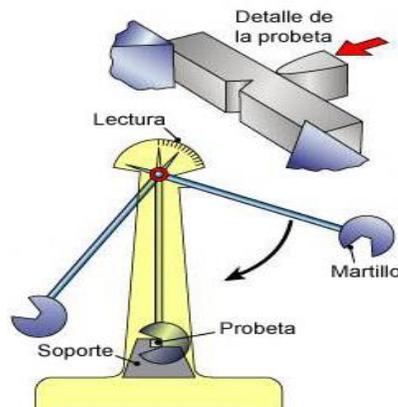


Figura 2. 20.- Esquema de trabajo del Péndulo Charpy

FUENTE: <http://e-ducativa.catedu.es> charpy

La muestra se coloca horizontalmente en un patrón especial que garantiza estrictamente la posición de la incisión (ranura, entalla) en la parte media del vano entre los apoyos. El impacto es aplicado desde el lado opuesto a la incisión, en el plano perpendicular al eje longitudinal de la muestra. El péndulo se fija en la posición superior inicial a la altura h_α de 1,6 m, lo que corresponde a una velocidad del cuchillo del péndulo, en el momento del impacto de 5,6 m/s. Luego la uña de fijación se retira, el péndulo cae libremente por efecto de su propia gravedad aplicando un impacto a la muestra, que la encorva y destruye elevándose en relación al eje vertical del péndulo Charpy en un ángulo β . Este ángulo es tanto menor, cuanto mayor es la energía aplicada en el proceso por el péndulo para la deformación y destrucción de la muestra (Calle, 2000, p.2).

2.4.30.3.- CÁLCULO DE RELACIONES ENERGÉTICAS

La magnitud de la energía empleada en la deformación y destrucción de la probeta se determina por la diferencia de la energía potencial del péndulo en el momento inicial (después de la elevación al ángulo α) y final del ensayo (después del impacto y elevación hasta el ángulo β)

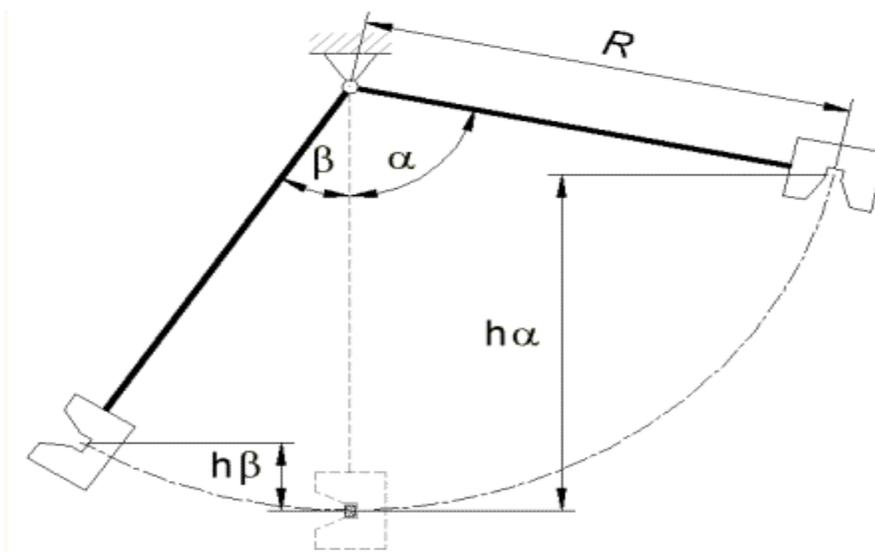


Figura 2. 21.- Esquema de ángulos del Péndulo Charpy

FUENTE: <http://www.utp.edu.com>

$$E = m \cdot g \cdot (h\alpha - h\beta)$$

Donde m es la masa del péndulo

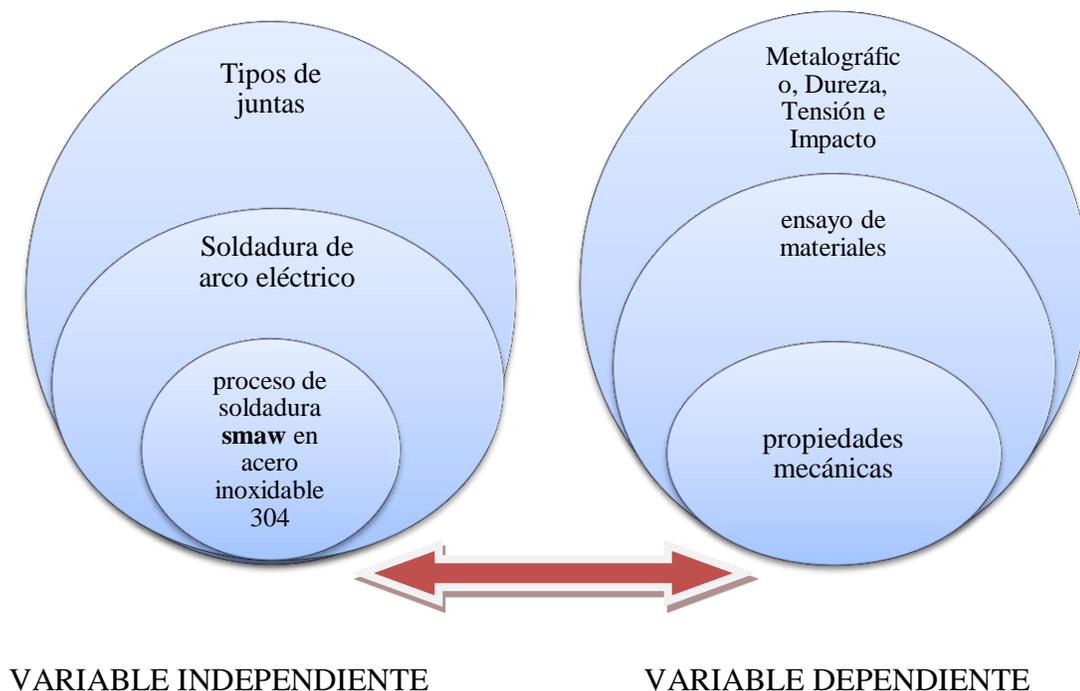
$$h\alpha = R - R \cos \alpha = R(1 - \cos \alpha) \quad h\beta = R - R \cos \beta = R(1 - \cos \beta)$$

$$E = mg[R(1 - \cos \alpha) - R(1 - \cos \beta)] \quad E = mgR(\cos \beta - \cos \alpha)$$

Como los valores del ángulo α , la masa m , el radio del péndulo R y la aceleración de la gravedad g , no varían; es posible instalar en el dial indicador del ángulo de elevación β una escala que nos indique la energía E consumida en el proceso.

Este valor de energía total del proceso debe ser corregido para obtener la energía invertida exclusivamente en el rompimiento de la probeta. En otras palabras, deben ser restadas las energías de fricción, desplazamiento de la aguja indicadora y cinética invertida en proyectar la probeta después del golpe. (Calle, 2000, p.5)

2.5.- RED DE CATEGORÍAS FUNDAMENTALES.



2.6.- HIPÓTESIS.

Con el análisis en variación de electrodos de un proceso de soldadura **SMAW** en acero inoxidable AISI 304 austenítico mejorará las propiedades mecánicas

2.7.- SEÑALAMIENTO DE VARIABLES DE LA HIPÓTESIS.

2.7.1 VARIABLE INDEPENDIENTE.

Análisis en variación de electrodos de un proceso de soldadura **SMAW** en acero inoxidable AISI 304 austenítico.

2.7.2 VARIABLE DEPENDIENTE.

Propiedades mecánicas

2.7.3 TÉRMINO DE RELACIÓN.

Mejorará.

CAPÍTULO III

3.- METODOLOGÍA

3.1 ENFOQUE

En el presente trabajo se hará análisis y estudios predominantemente cuantitativos, ya que las variables existentes en el proyecto admiten fracciones los cuales a su vez serían explicativos, porque realizaremos diferentes tipo de análisis para determinar las diferentes composiciones en la microestructura.

La información necesaria la cual será indispensable para la realización del proyecto proviene principalmente de fuentes primarias y secundarias, realizando posteriormente el análisis de las mismas.

Las fuentes primarias nos proporcionaran información importante, la cual sería recolectada o encontrada en fuentes como en libros, tesis, documentales, internet, etc.

Las secundarias son resúmenes y listados de referencias que estén vigentes en el área de estudio a su vez personas entendidas en el tema que puedan brindar ayuda en base a su experiencia.

3.2 MODALIDAD DE LA INVESTIGACIÓN.

Tiene la siguiente modalidad:

Descriptivo.- Esta investigación se dará un enfoque muy minucioso referente al problema en una circunstancia espacial determinada, la siguiente investigación será la

más acertada al problema enfocado por su origen. Después de realizar del ensayo metalográfico y análisis de las propiedades mecánicas.

Aplicada.- En vista de los resultados de la siguiente investigación se utilizaran para evitar procesos inapropiados de soldadura en aceros inoxidable AISI 304 austeníticos y se lograran soluciones apropiadas en daños de propiedades mecánicas en juntas soldadas para evitar rupturas de elementos de máquinas.

De laboratorio.- La investigación se desarrolla en los laboratorios de materiales y en los laboratorios de soldadura, de la Facultad De Ingeniería Civil Y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

3.3 NIVELES DE LA INVESTIGACIÓN.

La presente investigación contendrá una modalidad de nivel experimental. La investigación experimental es indispensable en este proyecto puesto que para el desarrollo del trabajo se debe analizar y evaluar la fiabilidad de nuestro proyecto y científica; esta modalidad toma contacto en forma directa con la realidad, para obtener información de acuerdo al objetivo del proyecto.

La modalidad de la investigación documental bibliográfica tiene como propósito detectar, ampliar y profundizar diferentes enfoques, teorías, conceptualizaciones y criterios de diversos autores sobre una cuestión determinada, basándose en documentos, libros, revistas, internet y estadística, La recolección de información es uno de los procesos más importante y complejos no solamente para la investigación de las partes constitutivas sino también para comparar datos y ampliar los conocimientos.

3.4.- POBLACIÓN Y MUESTRA.

La población sobre la cual versa la investigación está constituida por placas de acero inoxidable AISI 304 austenítico, a los cuales se realizarán una serie de pruebas de laboratorio con el objeto de obtener datos acerca de las propiedades mecánicas los cuales deben ser concretos y verídicos. Los datos se obtendrán de:

Placas en acero inoxidable AISI 304 austenítico.

Para ensayos en juntas de soldadura de aceros inoxidables según norma AWS D1.6 recomienda 2 muestras, en este caso para una mejor interpretación de datos se considera 5 muestras por electrodo.

5 Placas soldadas, acero inoxidable AISI 304 austenítico con electrodo E 308L-16.

5 Placas soldadas, acero inoxidable AISI 304 austenítico con electrodo E 309 L-16.

5 Placas soldadas, acero inoxidable AISI 304 austenítico con electrodo E 316 H-16.

3.5.- OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES.

Variable independiente:

Análisis en variación de electrodos de un proceso de soldadura SMAW en acero inoxidable AISI 304 austenítico.

Concepto	Categoría	Indicador	Índice.	Técnicas e instrumentos
Soldadura con variación de electrodos.	Por electrodos	E 308L-16.	70-100 [A].	Normas Catálogos.
Distorsión que presentan en la estructura de propiedades de elementos soldados en cada una de las mismas		E 309 L-16.	70-100 [A].	Observación directa
		E 316 H-16.	75-105 [A].	Bibliográfica.
	Posición	Plana	1G	Normas Catalogos
	Tipo de junta	A tope con ranura	Bisel a 60 grados	Normas Bibliografía catalogos

Variable Dependiente.

Propiedades mecánicas.

Concepto	Categoría	Indicador	Índice	Técnicas e instrumentos
<p>PROPIEDADES MECÁNICAS.</p> <p>Transformaciones de componentes estructurales mediante esfuerzos aplicados en elementos de prueba para determinar resistencia del material.</p>	Ensayo de tracción.	Resistencia a la tracción (MPa).	54-72(MPa)	Normas Observación Bibliográfica. Catálogos.
		Resistencia a la fluencia (MPa).	31(MPa)	Normas Observación
		Modulo elástico (GPa)	210 (Gpa)	Directa.
		Alargamiento mínimo.	30% (en50mm)	Normas Catálogos Observación.
	Ensayo de impacto.	Resistencia al impacto (J)	300(Joule)	Normas Observación Catálogos.
	Ensayo de dureza.	Rockwell B (HRB)	92 HRB	Bibliografía Observación. Normas
Análisis metalográfico.	Componentes metalografios (%)	100%	Normas Catalogo Observación	

3.6.-RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN.

La gran parte de información será obtenida de ensayos, pruebas, practicas, observaciones, ideas, fotografías de microestructuras, ensayos de tracción, dureza, impacto Charpy, procesos, registros, experimentaciones, controles etc. Todos estos procesos serán útiles para apreciar el tipo de defecto y posibles falencias en juntas soldadas como elemento de estudio.

Para empezar todos estos análisis se iniciara por la cantidad de probetas que se va a utilizar, donde se enfoca la selección apropiada de los electrodos y verificar cada una de las probetas por medio de ensayos para el estudio del comportamiento de las propiedades mecánicas en aceros inoxidables AISI 304 austeníticos.

3.7.-PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS.

- Revisión adecuada de la información bibliográfica recogida.
- Selección de la información más importante adquirida.
- Realizar y analizar los ensayos para obtener la información más adecuada.
- Representación con fotografías de la microestructura de las uniones soldadas y de los resultados adquiridos en los ensayos.
- Análisis de los resultados de las pruebas basándose en normas.
- Interpretación de los resultados, basándose en la información obtenida (marco teórico).
- Analizar e interpretar resultados.
- Crear conclusiones y recomendaciones de los estudios realizados.

3.8 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.

- Análisis microestructural de probeta.

- Análisis en los ensayos de tracción en las muestras.
- Análisis de dureza, impacto.
- Interpretación de los resultados, basándose en la información obtenida (marco teórico).
- Analizar y relacionar los resultados obtenidos con las diferentes partes de nuestra investigación y con los requerimientos planteados.
- Representación de los resultados obtenidos a través de tablas y gráficos.
- Verificación de la hipótesis.
- Crear conclusiones y recomendaciones.

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.

4.1. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

4.1.1. PROCESO DE OBTENCIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.

El proceso que se tomó para obtener resultados de varios ensayos para el tema de estudio propuesto del análisis de variación de electrodos en un proceso de soldadura SMAW en acero inoxidable AISI 304 austenítico y su incidencia en las propiedades mecánicas.

Se describe las partes más relevantes y la forma más adecuada.

1. Material base acero inoxidable AISI 304 austenítico.

Se toma como parte principal del tema a estudiar el acero ya mencionado, por la principal característica que es la más utilizada en la actualidad en las industrias láctea, alimentos por su alta resistencia a la corrosión

2. Tipos electrodos.

Para interpretación de resultados se adquiere tres tipos de electrodos que se puede encontrar en el mercado, pero con algo de dificultad por tener un costo considerable y los proveedores limitan la venta por ser consumidores minoristas

3. Preparación de juntas.

La preparación de juntas se apoya según normas de soldadura de acero inoxidable Structural Welding Code Stainless Steel AWS D1.6, se realiza en un

material base para realizar la soldadura en las siguientes dimensiones mínimas con 30 pulgadas por 14 pulgadas.

3.1. Junta a tope con ranura.

Es una junta que está diseñada de un ángulo de 30 grados por elemento a ser soldado y un talón de 1/8 de pulgada.

3.2. El ángulo se le da forma con una amoladora con piedra de desbaste que no sea usada en acero al carbono para evitar la contaminación.

3.3. Se trata de evitar el exceso de calor al momento a ser amolado, para esto debe dar tramos cortos y sin aplicar excesiva carga.

4. Soldado de las juntas.

4.1. Regulación de amperaje de la maquina soldadora de acuerdo a catálogos recomendado por los fabricantes de electrodos.

4.2. Ubicar las probetas en un lugar completamente limpio de grasas y aceites.

4.3. Dar puntos de soldadura en los extremos de la probeta para evitar ser deformado al momento de ser soldados y anclar con prensas en los extremos.

4.4. Se da tramos cortos del cordón para evitar el exceso de temperatura en la probeta.

4.5. Una vez terminado de soldar debe ser enfriado a temperatura ambiente, evitando el enfriamiento forzado para que no se altere las propiedades de las probetas soldadas.

5. Preparación de las probetas.

5.1. Una vez que se encuentran completamente fría la probeta se debe pulir con mucho cuidado la parte del cordón, con el fin que quede a espesor del material base.

5.2. Se procede a señalar para el corte de las probetas según las dimensiones que nos indican la norma ASTM E8 para ensayos de tracción.

5.3. Para realizar las probetas de impacto se sigue el mismo procedimiento tomando en cuenta las dimensiones que la norma ASTM E 18 nos recomienda

5.4. Para el ensayo de dureza y metalográfico las probetas deben ser pulidas muy finas para una apreciación de datos precisos.

6. Maquinado de probetas.

6.1. Una vez obtenidas las probetas en sobre dimensiones es considerable dar un acabado en una máquina herramienta de preferencia una fresadora en revoluciones lentas.

6.2. Para tener probetas con medidas estándares, recomendable juntar todas las probetas posibles y mecanizar en conjunto, siendo esto que se ahorra tiempo y dinero ya que el maquinado tiene un costo muy elevado por probeta.

6.3. Para dar la ranura en la probeta de impacto la cuchilla debe ser afilado con mucho cuidado el ángulo de 55 grados y su radio, para evitar alteraciones de lo recomendado en la norma.

7. Ensayos de las probetas.

7.1. analizar e interpretar detenidamente las normas según el ensayo a realizar para que no sean dañadas las probetas u obtención de datos erróneos.

7.2. Calibrar los equipos antes de realizar el ensayo de tracción, impacto, dureza y metalográfico.

7.3. Adquisición de datos con mucha atención para una mejor interpretación de resultados de cada uno de los elementos

8. Tabulación de datos

8.1. Los datos obtenidos en cada uno de los ensayos deben ser interpretados minuciosamente.

8.2. Con los datos adquiridos en los ensayos sirve de mucho ya que con estos se puede comprobar la hipótesis

9. Conclusiones y recomendaciones.

9.1. Se detallan las partes más relevantes realizados en los ensayos y en los procesos del estudio.

9.2. Recomendar los procesos que debe tener muy en cuenta al momento de realizar la preparación de juntas, soldadura, ensayos en laboratorios.

4.2. PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS.

Los resultados obtenidos en las pruebas de ensayo de tracción, impacto, dureza metalográficos en juntas soldadas realizados en proceso de soldadura SMAW en acero inoxidable AISI 304 austenítico con variación de electrodos.

Se realizó los siguientes ensayos en soldadura SMAW en acero inoxidable AISI 304 austenítico con diferentes electrodos de acero inoxidables

AWS E308L-16, AWS E309L-16, AWS E316H-16

ENSAYOS DE TRACCIÓN NORMA ASTM E8.

Probeta sin soldar	N.- de probetas	5
Probeta soldada con electrodo 308L-16	N.- de probetas	5
Probeta soldada con electrodo 309L-16	N.- de probetas	5
Probeta soldada con electrodo 316H-16	N.- de probetas	5

ENSAYOS DE DUREZA NORMA ASTM E18.

Material base	N.- de probetas	1
Cordón 308L-16	N.- de probetas	1
Cordón 309L-16	N.- de probetas	1
Cordón 316H-16	N.- de probetas	1

ENSAYOS DE IMPACTO NORMA ASTM E23.

Material base a temperatura ambiente	N.- de probetas	5
Cordón 308L-16	N.- de probetas	5
Cordón 309L-16	N.- de probetas	5
Cordón 316H-16	N.- de probetas	5

ENSAYOS METALGRÁFICOS NORMA ASTM E3.

Material base	METAL BASE	1
Cordón 308L-16	METAL BASE, SOLDADURA, INTERCARA, ZAT	1
Cordón 309L-16	METAL BASE, SOLDADURA, INTERCARA, ZAT	1
Cordón 316H-16	METAL BASE, SOLDADURA, INTERCARA, ZAT	1

4.2.1.- ANÁLISIS DEL ACERO INOXIDABLE AISI 304 AUSTENÍTICO DE FÁBRICA.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE MATERIALES				
		DATOS INFORMATIVOS				
PROBETA	N.-1	Autorizado por:	Ing. Mg. H. Vaca	Realizado por:	Willian Naula	
Lugar de realización.	Laboratorio de materiales FICM			Fecha de ejecución	04/05/2013	
Temperatura ambiente del lugar			22 °C	Flujo de aire del medio	Estático.	
DENOMINACIONES DEL ACERO UTILIZADO						
Material.	Acero AISI 304	Tipo.	Austenítico			
Espesor.	3/16 ”	Resistencia a la tracción:	515 MPa 75 KSI			
Longitud.	18 ”	Dureza	92 Rockwell B Max			
Característica.	plancha	Tratamiento térmico	Condiciones de recocido			
Elongación 50 mm	40 %	Resistencia a fluencia 0,2%	205 MPa 30 KSI			
OBSERVACIÓN:						
Las propiedades principales de aceros inoxidables austeníticos fueron obtenidas según normas ASTM A-240 (ANEXO A.1)						
Autor: Willian Naula S.						

4.2.1.1.- ANÁLISIS METALOGRÁFICO DEL ACERO INOXIDABLE AISI 304 AUSTENÍTICO DE FÁBRICA.



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



ENSAYO METALOGRÁFICO.

DATOS INFORMATIVOS

Proceso.	SMAW	Amperaje:	100[A]	Voltaje:	----	Electrodo	AWS E 308L-16
Realizado por:	Willian Naula.			Tipo de estudio.	De laboratorio.		
Ensayo N.-			0.1	Fecha de ejecución.	10/04/2013		
Solicitado por:	Willian Naula.	Norma aplicable	ASTM. E 3-01, ASTM E112-96				
Revisado por:	Ing. Mg. Henry Vaca.						
Centro de Estudio y Análisis	Laboratorio de materiales de la (FICM)						

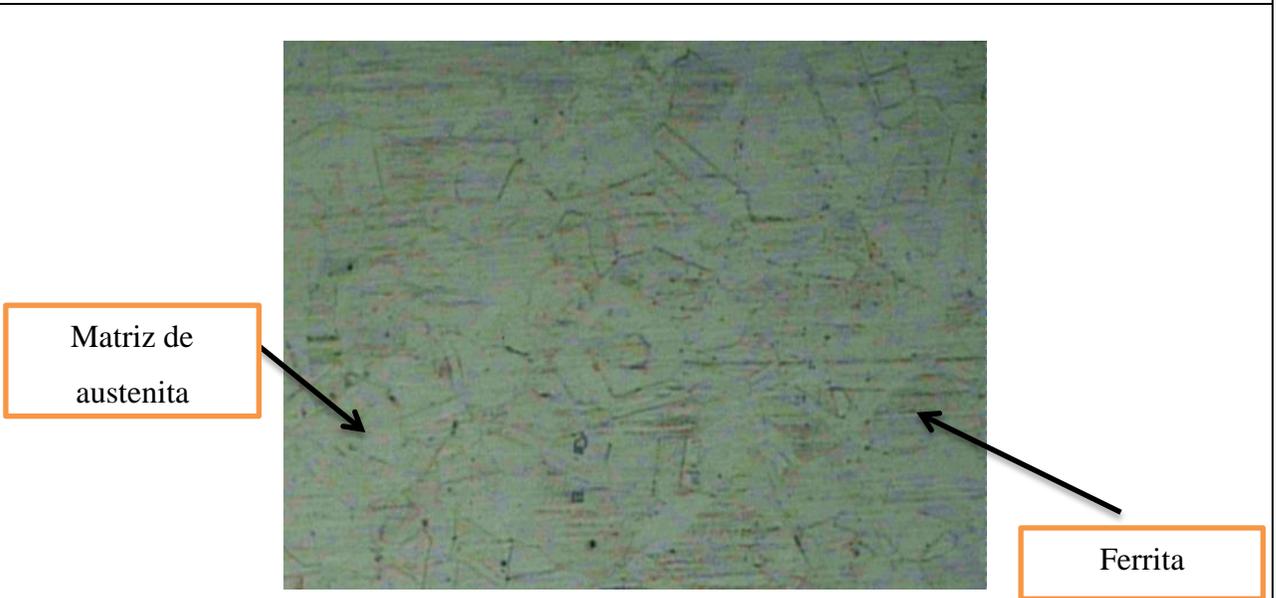
PARÁMETROS DE ENSAYOS DE METALOGRÁFICO

Descripción.

Acondicionamiento de superficie	Pulido mecánico.						
Temperatura durante el pulido	22 °C	Superficie preparada en:	50 min.				
Ataque químico de la superficie con:	Aceros inoxidables (89) agua regia modificada glicerinada			Durante:	45 seg		

RESULTADO.

FOTOGRAFÍA DE LA MICROESTRUCTURA DEL ACERO INOXIDABLE AISI 304 AUSTENÍTICO DE FÁBRICA.



ACERO INOXIDABLE AISI 304 AUSTENÍTICO DE FÁBRICA.



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



EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA: METAL BASE

DATOS INFORMATIVOS

Determinación de tamaño de grano | Microestructura: metal base AISI 304

Amperaje. | 100 [A] | Voltaje | -----

Norma aplicable | ASTM E3-0.1, ASTM E112-96

Calculo por procedimiento planimétrico.

$$NA = f \left(Ni + \frac{N_{int}}{2} \right) = 8 \left(7 + \frac{12}{2} \right)$$

$f = 8$ por Jeffries (200X)

$$NA = 8 * 13 = 104$$

$$G = 3.321918 * \log NA - 2.954$$

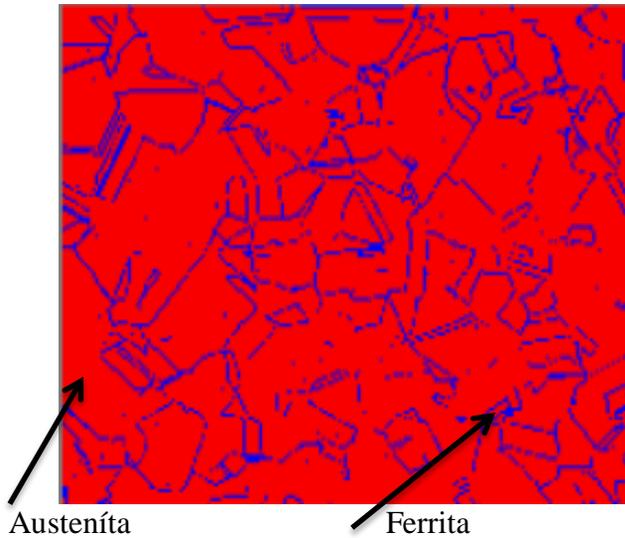
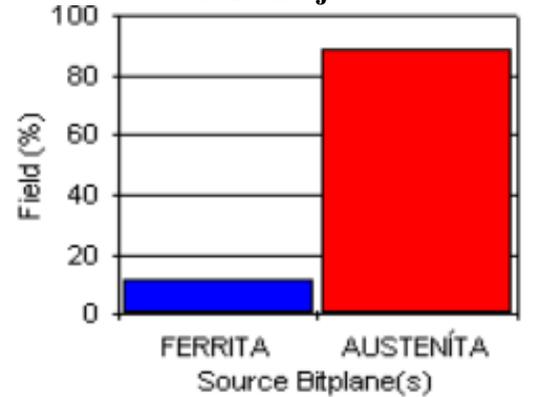
$$G = 3.321918 * \log (104) - 2.954$$

$$G = 3.75 \cong 4$$

Tamaño de grano ASTM | 4

Magnificación. 200X



COMPONENTES:**Componentes microestructurales: 100X****Porcentajes:****CÁLCULO DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN APROXIMADO.**

$$R.T.A = \frac{28*(\% \text{ de ferrita}) + 84*(\% \text{ de austenita})}{100}$$

$$R.T.A = \frac{28*(11,4) + 84*(88,6)}{100}$$

$$R.T.A = 77,6 \text{ Kg/mm}^2$$

Interpretar resultados:

En dicho análisis determinamos. La resistencia a la tracción calculada mediante los porcentajes de ferrita y austenita es de $77,6 \text{ Kg/mm}^2$ ($761,18 \text{ N/mm}^2$) la resistencia a la tracción se encuentra en el rango del acero inoxidable AISI 304 austenítico (**ANEXO A.1**)

Observaciones:

4.2.1.2.- ENSAYO DE TRACCIÓN DE ACERO INOXIDABLE AISI 304 AUSTENÍTICO DE FÁBRICA.



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



ENSAYO DE TRACCIÓN

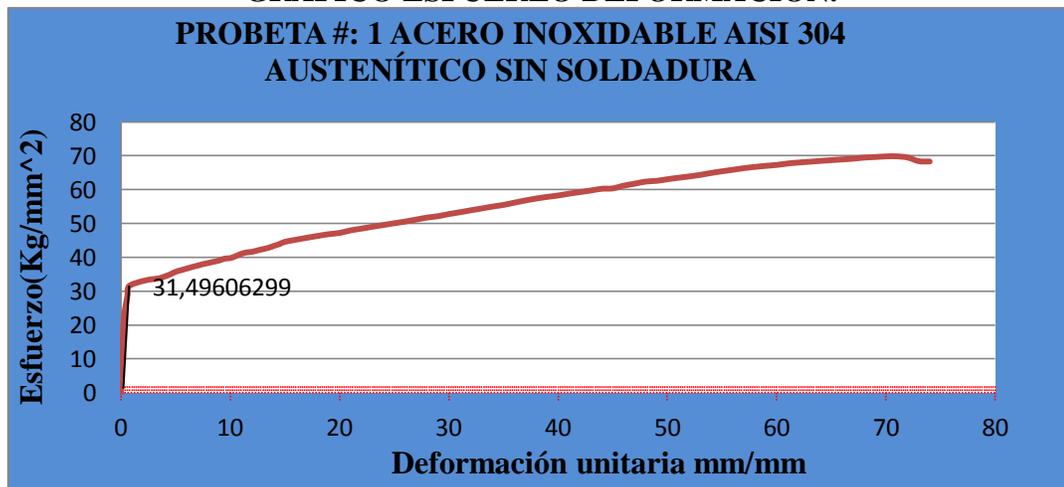
DATOS INFORMATIVOS

Probeta #	1	Proceso de soldado.	Ninguno.
Amperaje.	-----	Voltaje	----
Norma aplicable	ASTM E8, ASTM E111		
Centro de Estudio y Análisis	Laboratorio de ensayos de materiales de la (FICM)		
Instrumento.	Máquina Universal Tinius Olsen Capacidad 30 Tn		
Fecha de ejecución:	15/05/2013	Realizado por:	Willian Naula.
Método	Deformación controlada.		
Espesor de la probeta.	5 mm	Longitud calibrada	203.2 mm

RESULTADOS

GRÁFICO ESFUERZO DEFORMACIÓN.

PROBETA #: 1 ACERO INOXIDABLE AISI 304 AUSTENÍTICO SIN SOLDADURA



RESULTADOS REGISTRADOS DE LOS ENSAYOS

Carga máxima.	13304 Kg	Deformación máxima	98.8 mm
Longitud inicial	203,2 mm	Longitud final	302 mm
Espesor inicial.	5 mm	Espesor final	3,81 mm

RESULTADOS CALCULADOS

Resistencia a la tracción (Sut)	684.92 MPa.	% De elongación.	48,62 %
Resistencia a la cedencia.	308.82 MPa.	% de reducción de área	44 %
Módulo de elasticidad.	208,87 GPa		

Observaciones:



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



ENSAYO DE TRACCIÓN

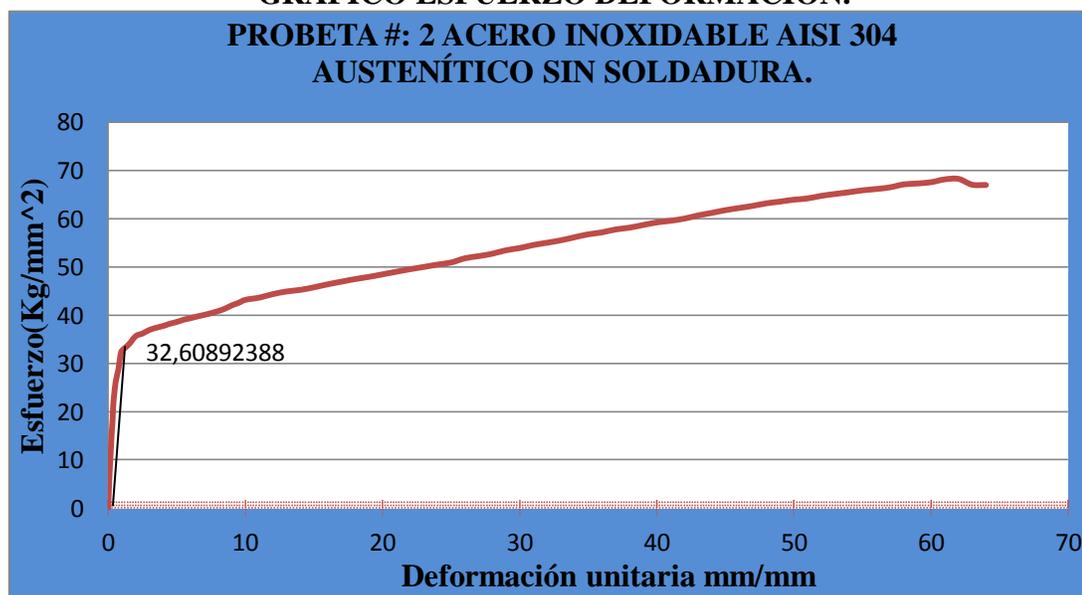
DATOS INFORMATIVOS

Probeta #	2	Proceso de soldado.	Ninguna.
Amperaje.	-----	Voltaje	----
Norma aplicable	ASTM E8, ASTM E111		
Centro de Estudio y Análisis	Laboratorio de ensayos de materiales de la (FICM)		
Instrumento.	Máquina Universal Tinius Olsen Capacidad 30 Tn		
Fecha de ejecución:	15/05/2013	Realizado por:	Willian Naula.
Método	Deformación controlada.		
Espesor de la probeta.	5 mm	Longitud calibrada	203.2 mm

RESULTADOS

GRÁFICO ESFUERZO DEFORMACIÓN.

**PROBETA #: 2 ACERO INOXIDABLE AISI 304
AUSTENÍTICO SIN SOLDADURA.**



RESULTADOS REGISTRADOS DE LOS ENSAYOS

Carga máxima.	13300 Kg	Deformación máxima	91.8 mm
Longitud inicial	203,2 mm	Longitud final	295 mm
Espesor inicial.	5 mm	Espesor final	3,82 mm

RESULTADOS CALCULADOS

Resistencia a la tracción (Sut)	670.79 MPa.	% De elongación.	45,17 %
Resistencia a la cedencia.	319.70 MPa.	% de reducción de área	43 %
Módulo de elasticidad.	206,85 GPa		

Observaciones:



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



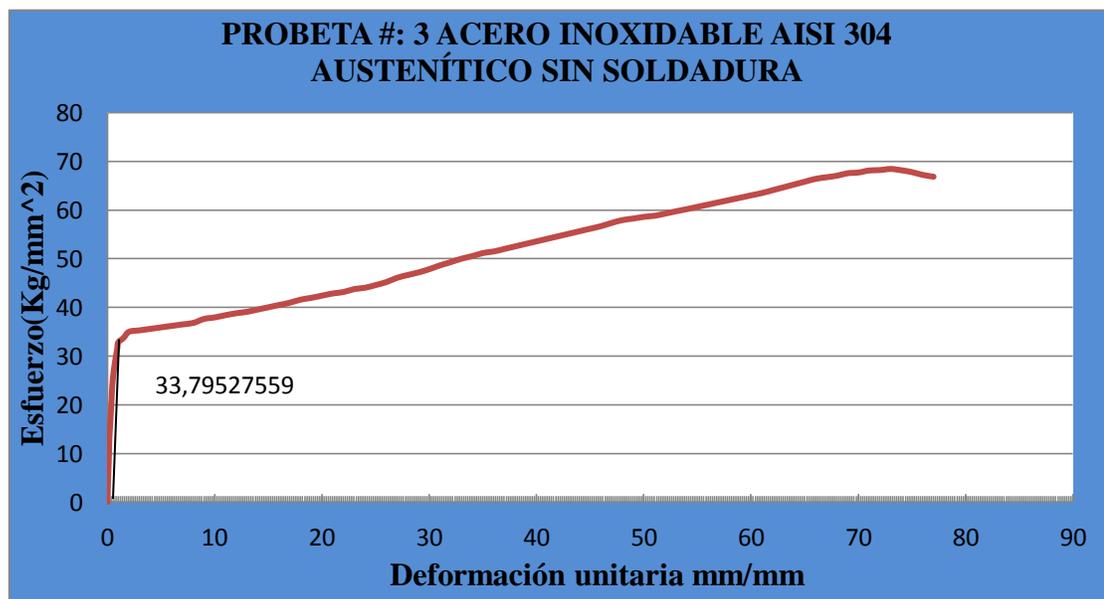
ENSAYO DE TRACCIÓN

DATOS INFORMATIVOS

Probeta #	1,3	Proceso de soldado.	Ninguna.
Amperaje.	-----	Voltaje	----
Norma aplicable	ASTM E8, ASTM E111		
Centro de Estudio y Análisis	Laboratorio de ensayos de materiales de la (FICM)		
Instrumento.	Máquina Universal Tinius Olsen Capacidad 30 Tn		
Fecha de ejecución:	15/05/2013	Realizado por:	Willian Naula.
Método	Deformación controlada.		
Espesor de la probeta.	5 mm	Longitud calibrada	203.2 mm

RESULTADOS

GRÁFICO ESFUERZO DEFORMACIÓN.



RESULTADOS REGISTRADOS DE LOS ENSAYOS

Carga máxima.	13045 Kg	Deformación máxima	87.8 mm
Longitud inicial	203,2 mm	Longitud final	291 mm
Espesor inicial.	5 mm	Espesor final	3,83 mm

RESULTADOS CALCULADOS

Resistencia a la tracción (Sut)	671.48 MPa.	% De elongación.	43.20 %
Resistencia a la cedencia	331.37 MPa.	% de reducción de área	42,80 %
Módulo de elasticidad.	206,96 GPa.		

Observaciones:



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



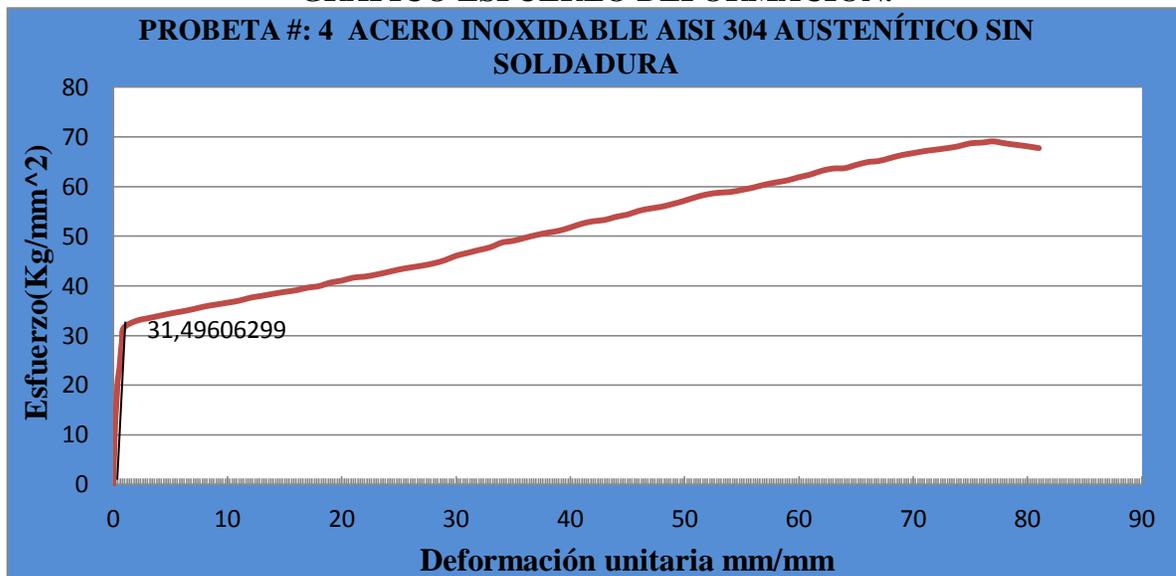
ENSAYO DE TRACCIÓN

DATOS INFORMATIVOS

Probeta #	4	Proceso de soldado.	Ninguno.
Amperaje.	-----	Voltaje	----
Norma aplicable	ASTM E8, ASTM E111		
Centro de Estudio y Análisis	Laboratorio de ensayos de materiales de la (FICM)		
Instrumento.	Máquina Universal Tinius Olsen Capacidad 30 Tn		
Fecha de ejecución:	15/05/2013	Realizado por:	Willian Naula.
Método	Deformación controlada.		
Espesor de la probeta.	5 mm	Longitud calibrada	203.2 mm

RESULTADOS

GRÁFICO ESFUERZO DEFORMACIÓN.



RESULTADOS REGISTRADOS DE LOS ENSAYOS

Carga máxima.	13160 Kg	Deformación máxima	93,8 mm
Longitud inicial	203,2 mm	Longitud final	297 mm
Espesor inicial.	5 mm	Espesor final	3,81 mm

RESULTADOS CALCULADOS

Resistencia a la tracción (Sut)	673.74 MPa.	% De elongación.	46,16 %
Resistencia a la cedencia.	308.82 MPa.	% de reducción de área	43,80 %
Módulo de elasticidad.	209,93 GPa.		

Observaciones:



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



ENSAYO DE TRACCIÓN

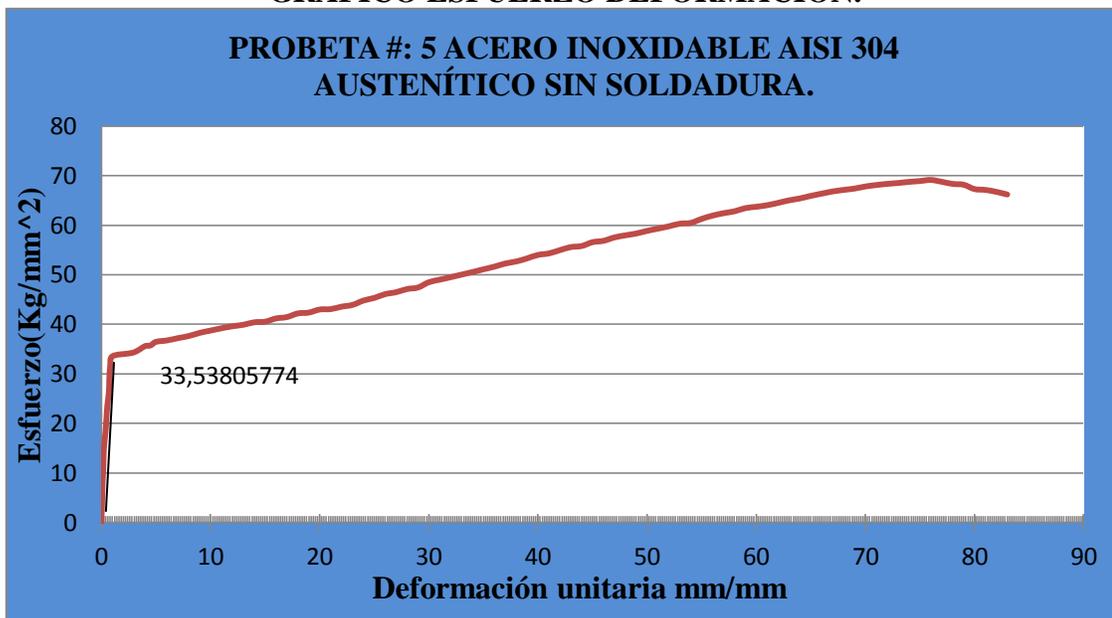
DATOS INFORMATIVOS

Probeta #	5	Proceso de soldado.	Ninguno.
Amperaje.	-----	Voltaje	----
Norma aplicable	ASTM E8, ASTM E111		
Centro de Estudio y Análisis	Laboratorio de ensayos de materiales de la (FICM)		
Instrumento.	Máquina Universal Tinius Olsen Capacidad 30 Tn		
Fecha de ejecución:	15/05/2013	Realizado por:	Willian Naula.
Método	Deformación controlada.		
Espesor de la probeta.	5 mm	Longitud calibrada	203.2 mm

RESULTADOS

GRÁFICO ESFUERZO DEFORMACIÓN.

**PROBETA #: 5 ACERO INOXIDABLE AISI 304
AUSTENÍTICO SIN SOLDADURA.**



RESULTADOS REGISTRADOS DE LOS ENSAYOS

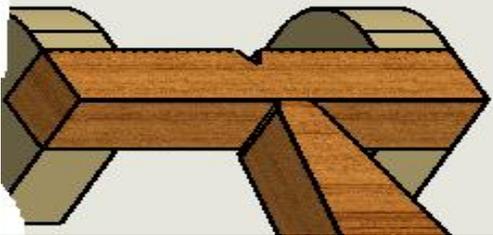
Carga máxima.	13172 Kg	Deformación máxima	94,8 mm
Longitud inicial	203,2 mm	Longitud final	298 mm
Espesor inicial.	5 mm	Espesor final	3,81 mm

RESULTADOS CALCULADOS

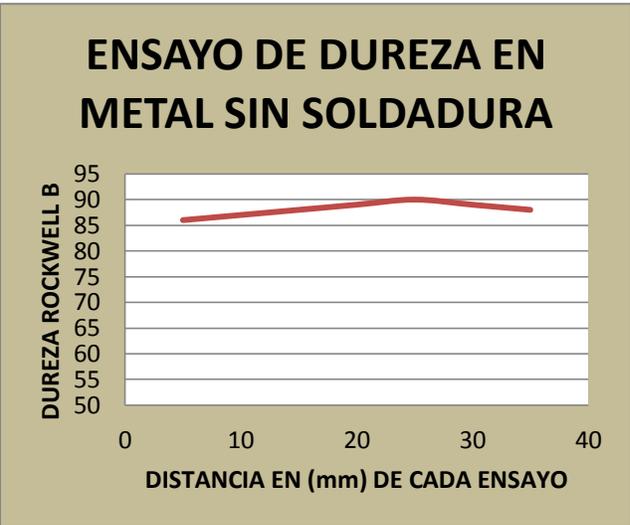
Resistencia a la tracción (Sut)	678.05 MPa.	% De elongación.	46,65 %
Resistencia a la cedencia.	328.82 MPa.	% de reducción de área	43,06 %
Módulo de elasticidad.	207.51 GPa		

Observaciones:

4.2.1.3.- ENSAYO DE IMPACTO DE ACERO INOXIDABLE AISI 304 AUSTENÍTICO DE FÁBRICA.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				
		ENSAYO DE IMPACTO.				
DATOS INFORMATIVOS.						
Temperatura.		22 °C T.A.	Proceso de soldado		Ninguno.	
Amperaje		-----	Voltaje		-----	
Centro de Estudio y Análisis			Laboratorio de materiales de la (FICM)			
Realizado por:		Willian Naula.	Tipo de estudio.		De laboratorio.	
Ensayos		5	Fecha de ejecución		10/02/2013	
Solicitado por:			Willian Naula.			
Supervisado por:				Ing. Mg. Henry Vaca.		
PARÁMETROS DE ENSAYOS DE IMPACTO.						
DESCRIPCIÓN.						
Método.		Charpy.	Norma aplicable		ASTM E-23	
Temperatura.		22 °C	Tiempo de ensayo		1 min	
RESULTADO.						
		ENERGÍA DE ROTURA PROBETAS SIN SOLDAR ACERO INOXIDABLE AISI 304				
						
		N. de probetas		Energía impacto(J)		
		1		275		
		2		281		
		3		280		
4		285				
5		280				
Promedio.		280,2				
INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.						
En probetas sin realizar ningún proceso de soldadura registra un promedio de 280,2 J. La energía mínima es de 275 J y la máxima energía es de 285 J.						
OBSERVACIONES. En este ensayo la probeta no sufre la rotura completa de forma que las dos partes de la probeta están unidas.						
T.A.- Es la temperatura ambiente donde se realizó los ensayos.						

4.2.1.4.- ENSAYO DE DUREZA EN ACERO INOXIDABLE AISI 304
AUSTENÍTICO DE FÁBRICA.

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
	ENSAYO DE DUREZA.		
DATOS INFORMATIVOS			
Realizado por:	Willian Naula.	Tipo de estudio.	De laboratorio.
Ensayo número.	1	Fecha de ejecución	10/02/2013
Solicitado por:	Willian Naula.	Número de mediciones	7
Revisado por:	Ing. Mg. Henry Vaca.		
Centro de Estudio y Análisis	Laboratorio de materiales de la (FICM)		
PARÁMETROS DE ENSAYOS DE DUREZA			
Descripción.			
Método.	Rockwell (B)	Norma aplicable	ASTM E-18.0
Tipo de penetrador.	Identador 1/16 Plg. Esfera de acero.		
Carga aplicada	980 N/100Kgf	Tiempo de ensayo	7 min
RESULTADO.			
5 (mm)	Numero	Dureza HRB	GRÁFICO. ENSAYO DE DUREZA EN METAL SIN SOLDADURA 
	1	86	
	2	87	
	3	88	
	4	89	
	5	90	
	6	89	
	7	88	
Promedio		88	
Es una separación de 5 mm por espacio de identador			
INTEERPRETACION DE RESULTADOS.			
EN material sin soldadura la dureza máxima es de 90 RHB y un valor mínimo es de 86 RHB donde el promedio es 88 RHB del acero inoxidable austenitico 304			
OBSERVACIONES.			
En los ensayos realizados tenemos un valor de 88 RHB en relación a los catálogos del material es de 90 RHB			

4.2.2.- ENSAYO DE TRACCIÓN EN SOLDADURA DE ACERO INOXIDABLE
 AISI 304 AUSTENÍTICO CON ELECTRODO AWS E 308L-16.



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



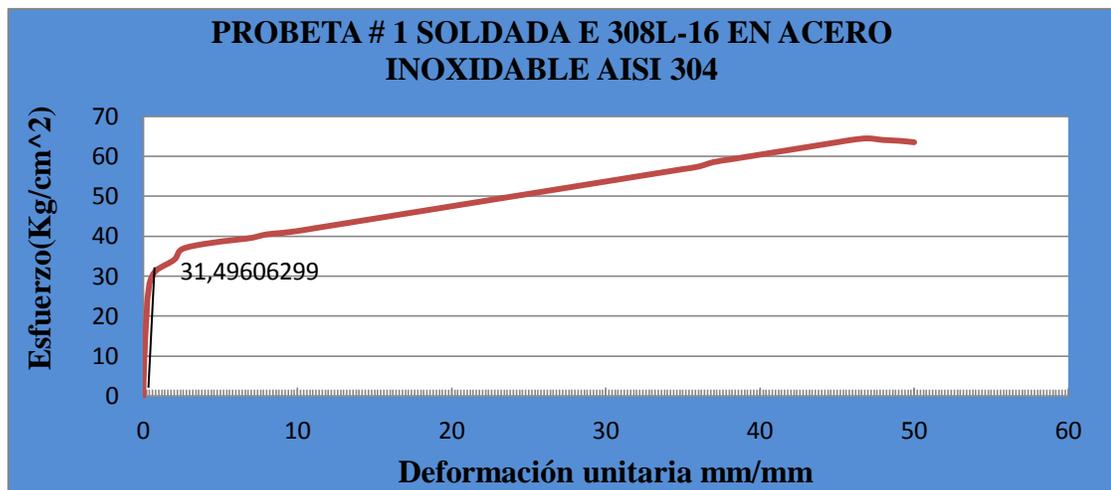
ENSAYO DE TRACCIÓN

DATOS INFORMATIVOS

Probeta #	1	Proceso de soldado.	SMAW
Amperaje.	100 [A]	Voltaje	70 [V] cc
Norma aplicable	ASTM E8, ASTM E111		
Centro de Estudio y Análisis	Laboratorio de ensayos de materiales de la (FICM)		
Instrumento.	Máquina Universal Tinius Olsen Capacidad 30 Tn		
Fecha de ejecución:	15/05/2013	Realizado por:	Willian Naula.
Método	Deformación controlada.		
Espesor de la probeta.	5 mm	Longitud calibrada	203.2 mm

RESULTADOS

GRÁFICO ESFUERZO DEFORMACIÓN.



RESULTADOS REGISTRADOS DE LOS ENSAYOS

Carga máxima.	12287,1 Kg	Deformación máxima	60,8 mm
Longitud inicial	203,2 mm	Longitud final	298 mm
Espesor inicial.	5 mm	Espesor final	3,94 mm

RESULTADOS CALCULADOS

Resistencia a la tracción (Sut)	632.45 MPa.	% De elongación.	29,49 %
Resistencia a la cedencia.	308.82 MPa.	% de reducción de área	33,81 %
Módulo de elasticidad.	198,16 GPa.		

Observaciones:



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



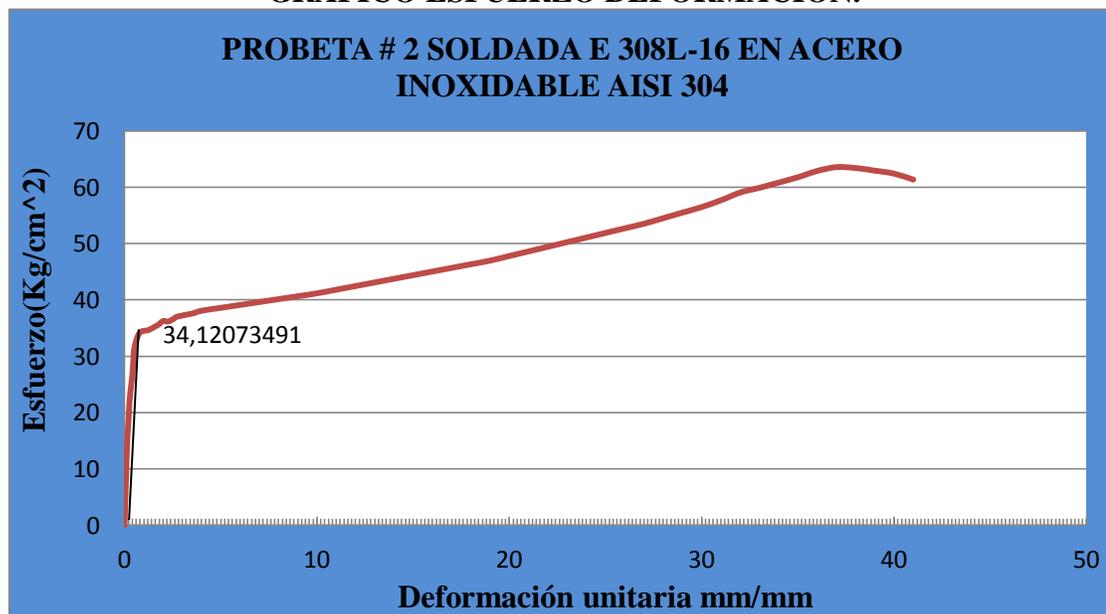
ENSAYO DE TRACCIÓN

DATOS INFORMATIVOS

Probeta #	2	Proceso de soldado.	SMAW.
Amperaje.	100 [A]	Voltaje	70 [V] cc
Norma aplicable	ASTM E8, ASTM E111		
Centro de Estudio y Análisis	Laboratorio de ensayos de materiales de la (FICM)		
Instrumento.	Máquina Universal Tinius Olsen Capacidad 30 Tn		
Fecha de ejecución:	15/05/2013	Realizado por:	Willian Naula.
Método	Deformación controlada.		
Espesor de la probeta.	5 mm	Longitud calibrada	203.2 mm

RESULTADOS

GRÁFICO ESFUERZO DEFORMACIÓN.



RESULTADOS REGISTRADOS DE LOS ENSAYOS

Carga máxima.	12109,3 Kg	Deformación máxima	57,8 mm
Longitud inicial	203,2 mm	Longitud final	261mm
Espesor inicial.	5 mm	Espesor final	3,3 mm

RESULTADOS CALCULADOS

Resistencia a la tracción (Sut)	623.33 MPa.	% De elongación.	28,44 %
Resistencia a la cedencia (Sy).	334.61 MPa.	% de reducción de área	44,04 %
Módulo de elasticidad	208,6 GPa		

Observaciones:



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



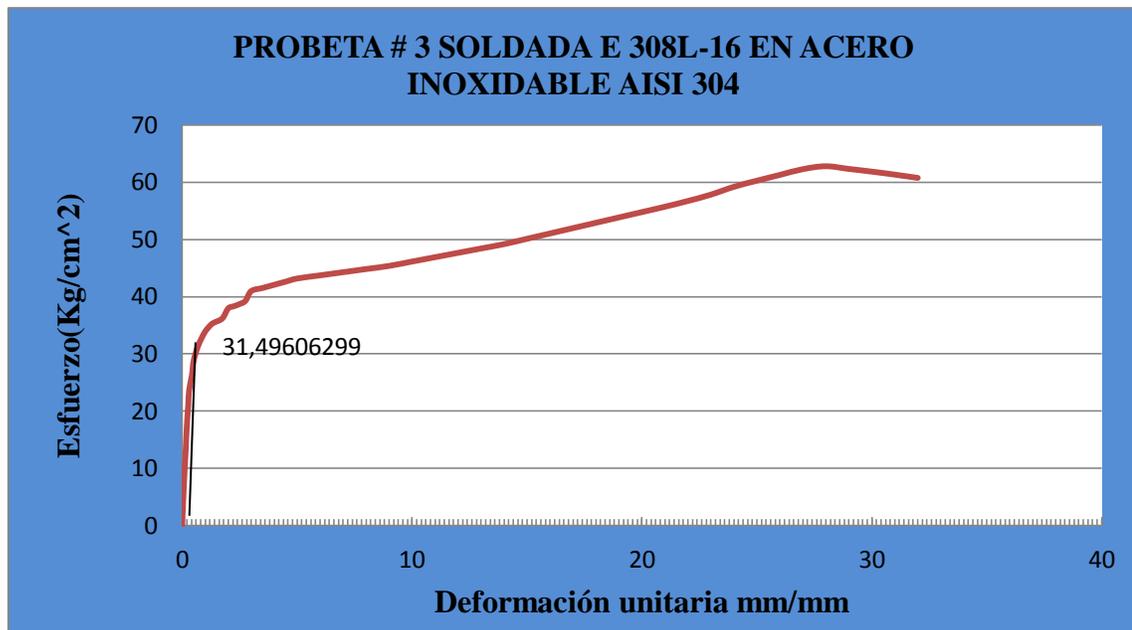
ENSAYO DE TRACCIÓN

DATOS INFORMATIVOS

Probeta #	3	Proceso de soldado.	SMAW.
Amperaje.	100 [A]	Voltaje	70 [V] cc
Norma aplicable	ASTM E8, ASTM E111		
Centro de Estudio y Análisis	Laboratorio de ensayos de materiales de la (FICM)		
Instrumento.	Máquina Universal Tinius Olsen Capacidad 30 Tn		
Fecha de ejecución:	15/05/2013	Realizado por:	Willian Naula.
Método	Deformación controlada.		
Espesor de la probeta.	5 mm	Longitud calibrada	203.2 mm

RESULTADOS

GRÁFICO ESFUERZO DEFORMACIÓN.



RESULTADOS REGISTRADOS DE LOS ENSAYOS

Carga máxima.	11965,5 Kg	Deformación máxima	58,8 mm
Longitud inicial	203,2 mm	Longitud final	262,0 mm
Espesor inicial.	5 mm	Espesor final	3,43 mm

RESULTADOS CALCULADOS

Resistencia a la tracción (Sut)	615,97 MPa.	% De elongación.	28,93 %
Resistencia a la cedencia (Sy).	308,82 MPa.	% de reducción de área	41,66 %
Módulo de elasticidad.	152,22GPa		

Observaciones:



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



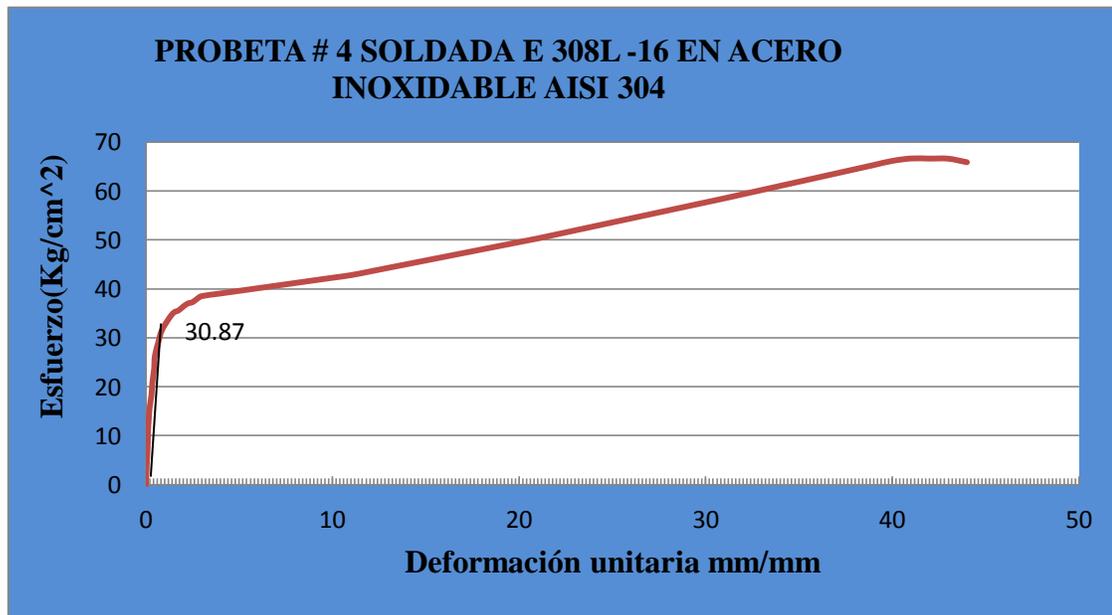
ENSAYO DE TRACCIÓN

DATOS INFORMATIVOS

Probeta #	4	Proceso de soldado.	SMAW.
Amperaje.	100 [A]	Voltaje	70 [V] cc
Norma aplicable	ASTM E8, ASTM E111		
Centro de Estudio y Análisis	Laboratorio de ensayos de materiales de la (FICM)		
Instrumento.	Máquina Universal Tinius Olsen Capacidad 30 Tn		
Fecha de ejecución:	15/05/2013	Realizado por:	Willian Naula.
Método	Deformación controlada.		
Espesor de la probeta.	5 mm	Longitud calibrada	203.2 mm

RESULTADOS

GRÁFICO ESFUERZO DEFORMACIÓN.



RESULTADOS REGISTRADOS DE LOS ENSAYOS

Carga máxima.	12693,5Kg	Deformación máxima	61,8 mm
Longitud inicial	203,2 mm	Longitud final	265 mm
Espesor inicial.	5 mm	Espesor final	3,3 mm

RESULTADOS CALCULADOS

Resistencia a la tracción (Sut)	653.44 MPa.	% De elongación.	30,41 %
Resistencia a la cedencia (Sy).	302.84 MPa.	% de reducción de área	44,39 %
Módulo de elasticidad.	198.79 GPa		

Observaciones:



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



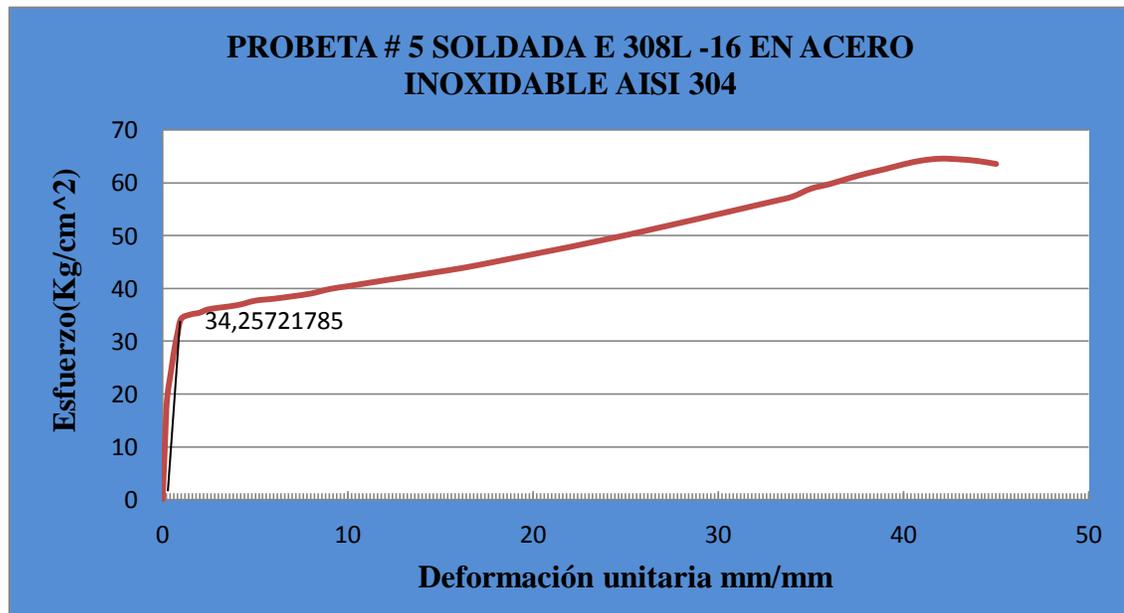
ENSAYO DE TRACCIÓN

DATOS INFORMATIVOS

Probeta #	5	Proceso de soldado.	SMAW.
Amperaje.	100 [A]	Voltaje	70 [V] cc
Norma aplicable	ASTM E8, ASTM E111		
Centro de Estudio y Análisis	Laboratorio de ensayos de materiales de la (FICM)		
Instrumento.	Máquina Universal Tinius Olsen Capacidad 30 Tn		
Fecha de ejecución:	15/05/2013	Realizado por:	Willian Naula.
Método	Deformación controlada.		
Espesor de la probeta.	5 mm	Longitud calibrada	203.2 mm

RESULTADOS

GRÁFICO ESFUERZO DEFORMACIÓN.



RESULTADOS REGISTRADOS DE LOS ENSAYOS

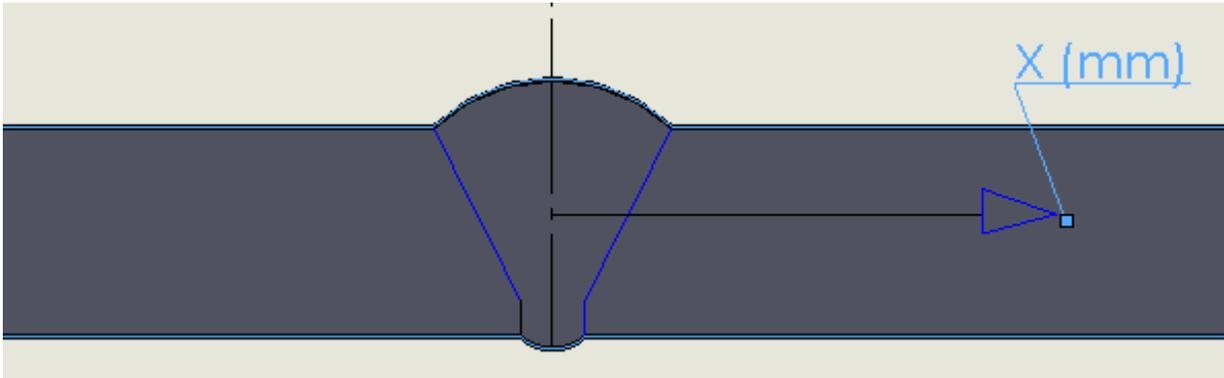
Carga máxima.	12303Kg	Deformación máxima	59,8 mm
Longitud inicial	203,2 mm	Longitud final	263 mm
Espesor inicial.	5 mm	Espesor final	3,6 mm

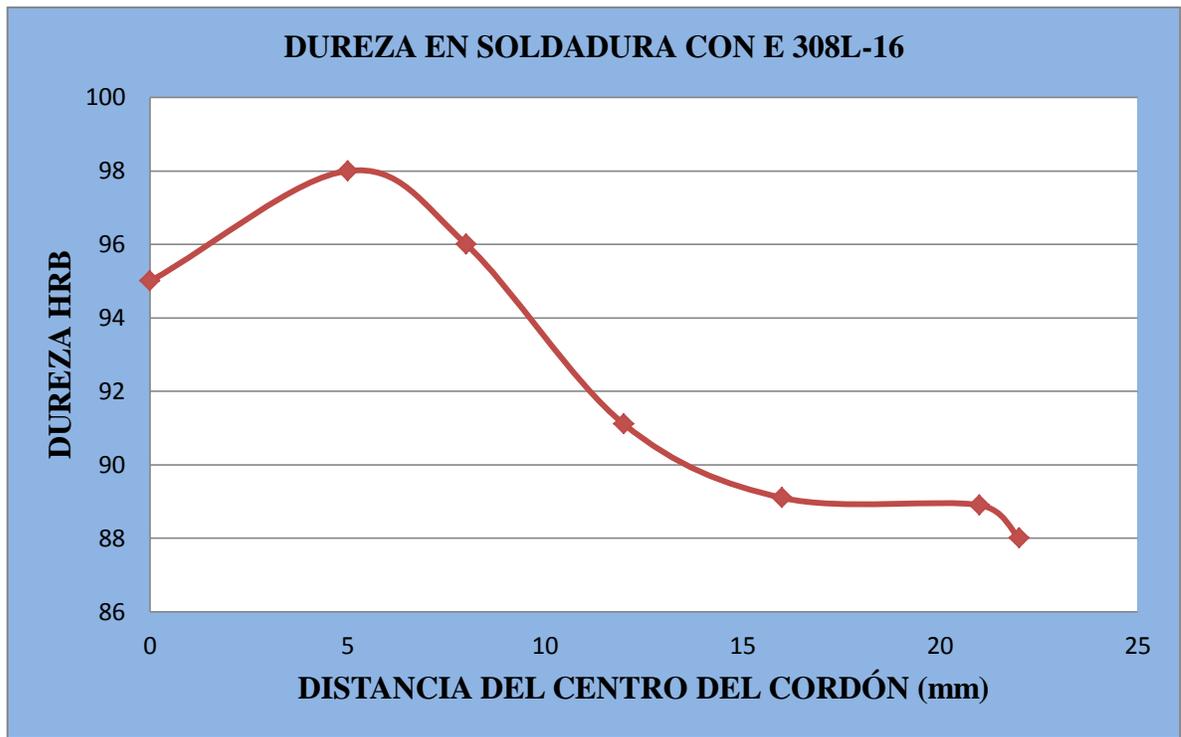
RESULTADOS CALCULADOS

Resistencia a la tracción (Sut)	633.33 MPa.	% De elongación.	29,42 %
Resistencia a la cedencia (Sy).	335.88 MPa.	% de reducción de área	38,96 %
Módulo de elasticidad.	198,67 GPa.		

Observaciones:

4.2.2.1.- ENSAYO DE DUREZA EN SOLDADURA DE ACERO INOXIDABLE
 AISI 304 AUSTENÍTICO CON ELECTRODO AWS E 308L-16.

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO						
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA						
	CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA						
ENSAYO DE DUREZA.							
DATOS INFORMATIVOS							
Proceso	SMAW	Amperaje	100[A]	Voltaje	70[v]	Electrodo	AWS E 308L-16
Realizado por:	Willian Naula.		Tipo de estudio.		De laboratorio.		
Ensayo número.	1		Fecha de ejecución		10/05/2013		
Solicitado por:	Willian Naula.	Número de mediciones		7	ASTM E-18		
Revisado por:				Ing. Mg. Henry Vaca.			
Centro de Estudio y Análisis				Laboratorio de materiales de la (FICM)			
PARÁMETROS DE ENSAYOS DE DUREZA							
Descripción.							
Método.	Rockwell (B)		Norma aplicable	ASTM E-18.0			
Tipo de penetrador.			Identador 1/16 Plg. Esfera de acero.				
Carga aplicada	980 N/100Kgf		Tiempo de ensayo		7 min		
RESULTADO.							
Número	Distancias desde el centro(mm)		Dureza HRB				
1	0		95				
2	5		98				
3	8		96				
4	12		91,1				
5	16		89.1				
6	21		88,9				
7	22		88				
							



INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.

En una junta soldada la dureza máxima es de 98 HRB a 5 mm del centro del cordón y la dureza mínima es de 88 HRB a 22 mm del centro del cordón

OBSERVACIONES. Aumenta la dureza en la zona afectada por el calor en relación al cordón y el material base

4.2.2.2.-ENSAYO DE IMPACTO EN SOLDADURA DE ACERO INOXIDABLE
AISI 304 AUSTENÍTICO CON ELECTRODO AWS E 308L-16.



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



ENSAYO DE IMPACTO.

DATOS INFORMATIVOS.

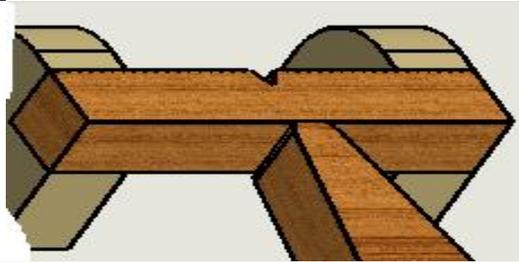
Temperatura.	22 °C T.A.	Proceso de soldado	SMAW
Amperaje	100 [A]	Voltaje	70 [V] cc
Centro de Estudio y Análisis		Laboratorio de materiales de la (FICM)	
Realizado por:	Willian Naula.	Tipo de estudio.	De laboratorio.
Ensayos	5	Fecha de ejecución	10/02/2013
Solicitado por:	Willian Naula.		
Supervisado por:	Ing. Mg. Henry Vaca.		

PARÁMETROS DE ENSAYOS DE IMPACTO.

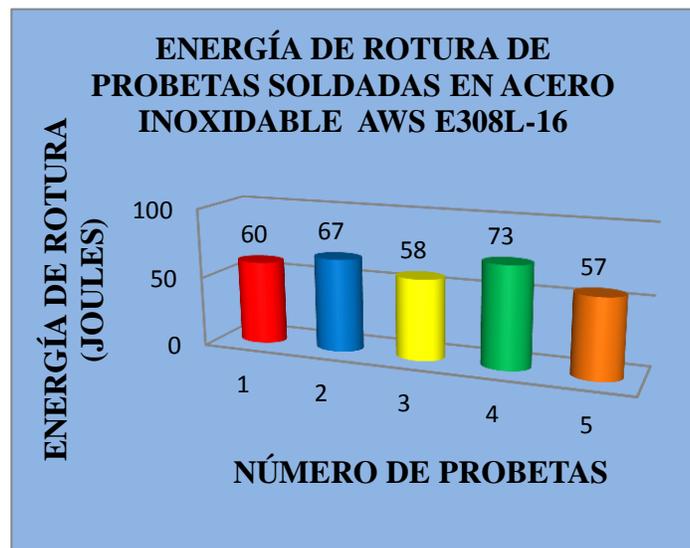
DESCRIPCIÓN.

Método.	Charpy.	Norma aplicable	ASTM. E-23
Temperatura.	22 °C	Tiempo de ensayo	1 min

RESULTADO.



N. de probetas	Energía impacto(J)
1	60
2	67
3	58
4	73
5	57
Promedio.	63



INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.

Con un proceso de soldadura SMAW en acero inoxidable AISI 304 con electrodo AWS E 308L-16 registra un promedio de 63 J. la energía máxima es 73 J y la energía mínima es 57 J.

OBSERVACIONES. En este ensayo la probeta sufre la rotura completa en la cual la probeta se separa en dos partes.

T.A.- Es la temperatura ambiente donde se realizó los ensayos.

4.2.2.3.- ENSAYO METALGRÁFICO DE LA SOLDADURA DE ACERO INOXIDABLE AISI 304 AUSTENÍTICO CON ELECTRODO AWS E 308L-16



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



ENSAYO METALGRÁFICO.

DATOS INFORMATIVOS

Proceso	SMAW	Amperaje	100[A]	Voltaje	70[V]	Electrodo	AWS E 308L-16
Realizado por:	Willian Naula.			Tipo de estudio.	De laboratorio.		
Ensayo N.-	1		Fecha de ejecución	04/06/2013			
Solicitado por:	Willian Naula.		Norma aplicable	ASTM. E 3-01, ASTM E112-96			
Revisado por:				Ing. Mg. Henry Vaca.			
Centro de Estudio y Análisis				Laboratorio de materiales de la (FICM)			

PARÁMETROS DE ENSAYOS DE METALGRÁFICO

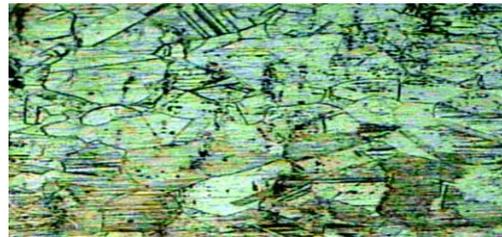
Descripción.

Acondicionamiento de superficie	Pulido mecánico.		
Temperatura durante el pulido	22 °C	Superficie preparada en:	50 min.
Ataque químico de la superficie con:	Aceros inoxidables (89) agua regia modificada glicerizada	Durante:	1.25 min

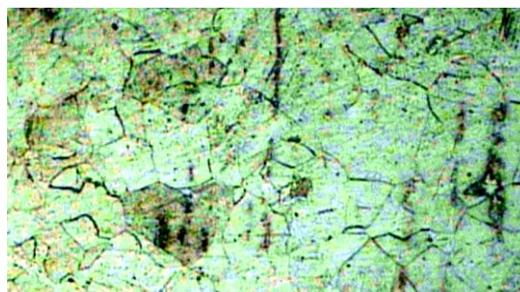
RESULTADO.



Soldadura



Metal base.



Zona ZAT

Junta soldada con electrodo AWS. E 308L-16, 100X, 1,25min. Aceros inoxidables (89) agua regia modificada glicerizada



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



EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA: JUNTA SOLDADA

DATOS INFORMATIVOS

Determinación de tamaño de grano		Microestructura: Soldadura	
Amperaje.	100 [A]	Voltaje	70[v] cc
Norma aplicable		ASTM E3-0.1, ASTM E112-96	
Calculo por procedimiento planimétrico.		Magnificación. 200X	

$$NA = f \left(Ni + \frac{Nint}{2} \right) = 8 \left(24 + \frac{16}{2} \right)$$

$f=8$ por Jeffries (200X)

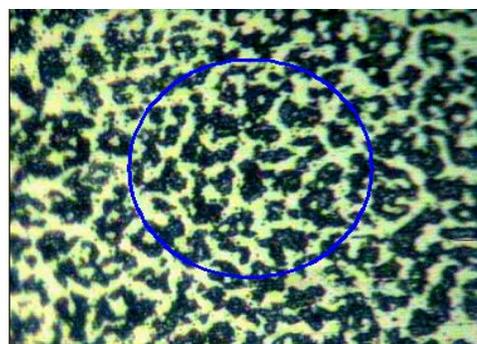
$$NA=8*32=256$$

$$G=3.321918*\log NA-2.954$$

$$G=3.321918*\log (256)-2.954$$

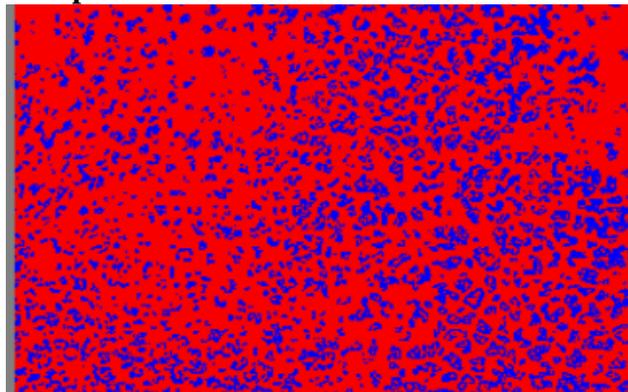
$$G=5.04 \cong 5.$$

Tamaño de grano ASTM 5

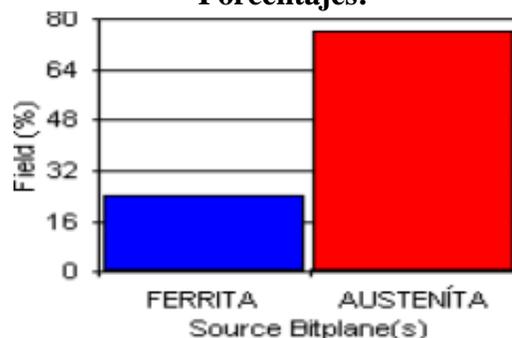


COMPONENTES:

Componentes microestructurales: 100X



Porcentajes:



S. Bitplane(s)	Field (%)
FERRITA	24,1
AUSTENITA	75,9

CÁLCULO DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN.

Interpretar resultados:

La microestructura de una junta soldada con electrodo AWS E308L-16 en acero inoxidable AISI 304 austenítico se determinan los componentes de la matriz es 75,9% de austenita y 24,1 % ferrita.

Tamaño de grano ASTM 5.

Observaciones:



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



EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA: METAL BASE

DATOS INFORMATIVOS

Determinación de tamaño de grano		Microestructura: Metal Base	
Amperaje.	100 [A]	Voltaje	70[v] cc
Norma aplicable		ASTM E3-01, ASTM E112-96	
Calculo por procedimiento planimétrico.		Magnificación. 200X	

$$NA = f \left(Ni + \frac{Nint}{2} \right) = 8 \left(12 + \frac{11}{2} \right)$$

$$f = 8 \text{ por Jeffries (200X)}$$

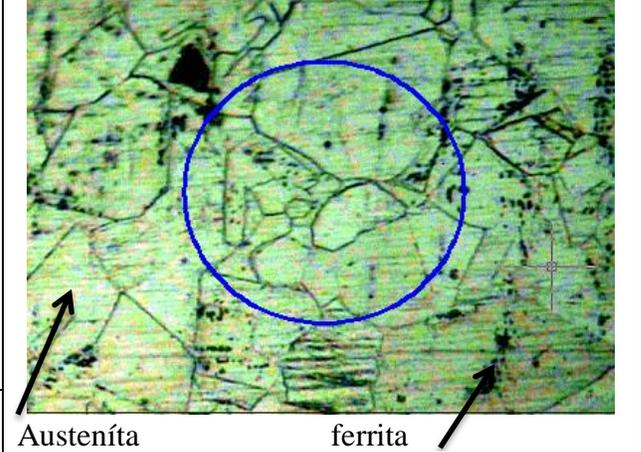
$$NA = 8 * 17.5 = 140$$

$$G = 3.321918 * \log NA - 2.954$$

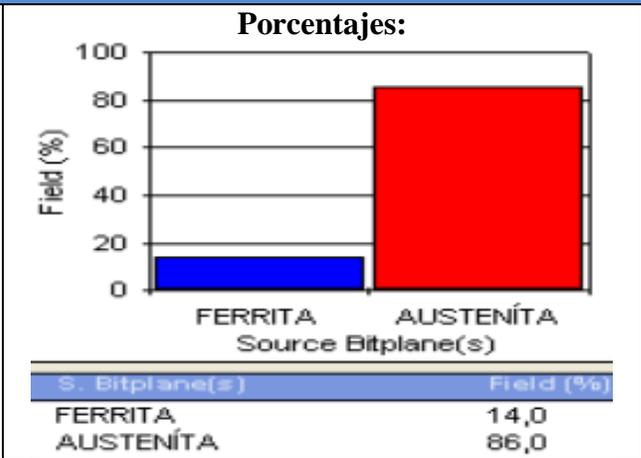
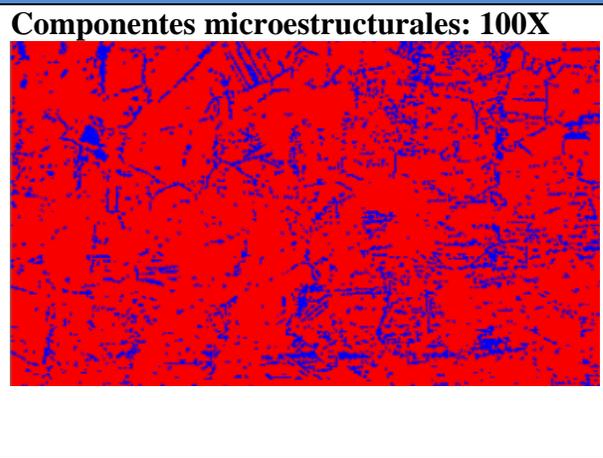
$$G = 3.321918 * \log (140) - 2.954$$

$$G = 4.17 \cong 4$$

Tamaño de grano ASTM	4
-----------------------------	---



COMPONENTES:



CÁLCULO DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN.

Interpretar resultados:

La microestructura del metal base soldada con electrodo AWS E308L-16 en acero inoxidable AISI 304 austenítico se determinan los componentes de la matriz es 86 % de austenita y 14 % ferrita.

Tamaño de grano ASTM 4.

Observaciones:



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



EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA: ZONA ZAT

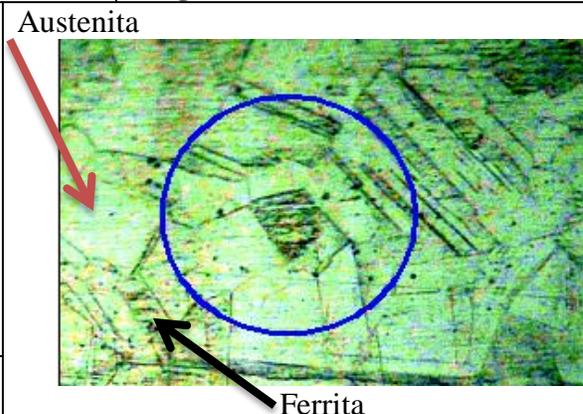
DATOS INFORMATIVOS

Determinación de tamaño de grano		Microestructura: ZONA ZAT	
Amperaje.	100 [A]	Voltaje	70[v] cc
Norma aplicable		ASTM E3-0.1, ASTM E112-96	
Calculo por procedimiento planimétrico.		Magnificación. 200X	

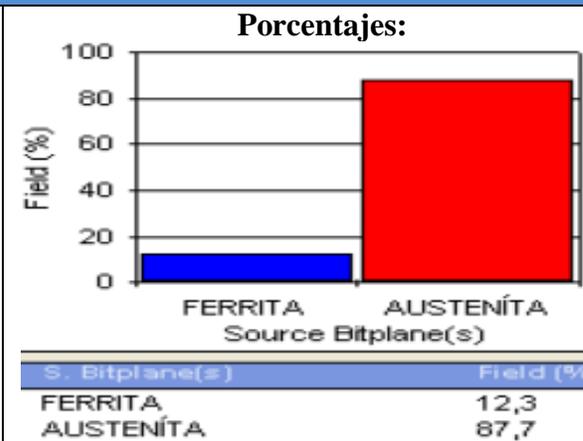
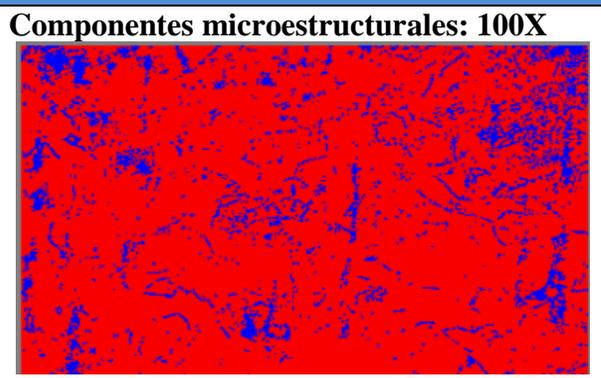
$$NA = f \left(Ni + \frac{Nint}{2} \right) = 8 \left(10 + \frac{14}{2} \right)$$

$f = 8$ por Jeffries (200X)
 $NA = 8 * 17 = 136$
 $G = 3.321918 * \log NA - 2.954$
 $G = 3.321918 * \log (136) - 2.954$
 $G = 4.13 \cong 4$

Tamaño de grano ASTM	4
-----------------------------	---



COMPONENTES:



CÁLCULO DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN.

Interpretar resultados:

La microestructura de la zona ZAT soldada con electrodo AWS E308L-16 en acero inoxidable AISI 304 austenítico se determinan los componentes de la matriz es 87,7 % de austenita y 12,3 % ferrita. Tamaño de grano ASTM 4

Observaciones: La matriz clara se encuentra conformada de Austenita y la zona oscura está formada por ferrita.

4.2.3.- ENSAYO DE TRACCIÓN EN SOLDADURA DE ACERO INOXIDABLE AISI 304 AUSTENÍTICO CON ELECTRODO AWS E 309L-16.



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



ENSAYO DE TRACCIÓN

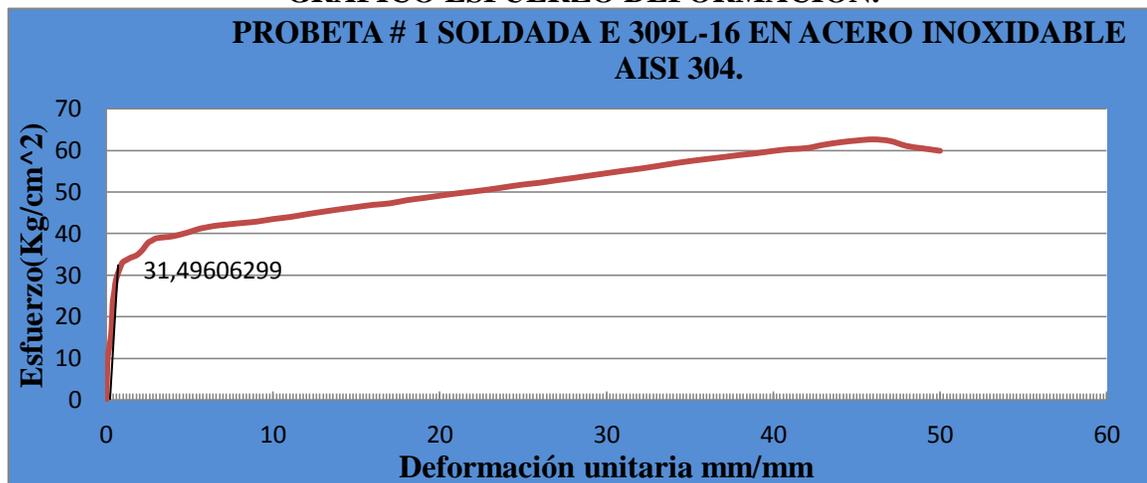
DATOS INFORMATIVOS

Probeta #	1	Proceso de soldado.	SMAW.
Amperaje.	100 [A]	Voltaje	70 [V] cc
Norma aplicable	ASTM E8, ASTM E111		
Centro de Estudio y Análisis	Laboratorio de ensayos de materiales de la (FICM)		
Instrumento.	Máquina Universal Tinius Olsen Capacidad 30 Tn		
Fecha de ejecución:	15/05/2013	Realizado por:	Willian Naula.
Método	Deformación controlada.		
Espesor de la probeta.	5 mm	Longitud calibrada	203.2 mm

RESULTADOS

GRÁFICO ESFUERZO DEFORMACIÓN.

PROBETA # 1 SOLDADA E 309L-16 EN ACERO INOXIDABLE AISI 304.



RESULTADOS REGISTRADOS DE LOS ENSAYOS

Carga máxima.	11938 Kg	Deformación máxima	58,8 mm
Longitud inicial	203,2 mm	Longitud final	262 mm
Espesor inicial.	5 mm	Espesor final	3,48 mm

RESULTADOS CALCULADOS

Resistencia a la tracción (Sut)	614.50 MPa.	% De elongación.	28,93 %
Resistencia a la cedencia (Sy).	308.82 MPa.	% de reducción de área	40,08 %
Módulo de elasticidad.	137.05 GPa.		

Observaciones:



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



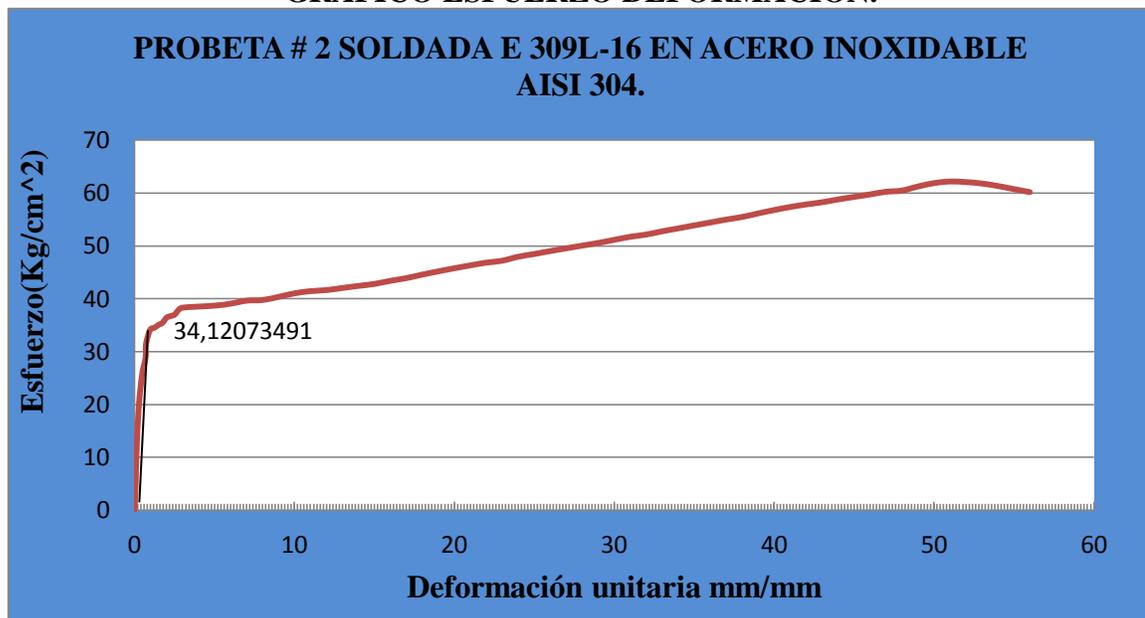
ENSAYO DE TRACCIÓN

DATOS INFORMATIVOS

Probeta #	2	Proceso de soldado.	SMAW.
Amperaje.	100 [A]	Voltaje	70 [V] cc
Norma aplicable	ASTM E8, ASTM E111		
Centro de Estudio y Análisis	Laboratorio de ensayos de materiales de la (FICM)		
Instrumento.	Máquina Universal Tinius Olsen Capacidad 30 Tn		
Fecha de ejecución:	15/05/2013	Realizado por:	Willian Naula.
Método	Deformación controlada.		
Espesor de la probeta.	5 mm	Longitud calibrada	203.2 mm

RESULTADOS

GRÁFICO ESFUERZO DEFORMACIÓN.



RESULTADOS REGISTRADOS DE LOS ENSAYOS

Carga máxima.	11850 Kg	Deformación máxima	58,3 mm
Longitud inicial	203,2 mm	Longitud final	261,5 mm
Espesor inicial.	5 mm	Espesor final	3,4 mm

RESULTADOS CALCULADOS

Resistencia a la tracción (Sut)	609.99 MPa.	% De elongación.	28,69 %
Resistencia a la cedencia (Sy).	334,61 MPa.	% de reducción de área	41,28 %
Módulo de elasticidad.	196.22 GPa		

Observaciones:



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



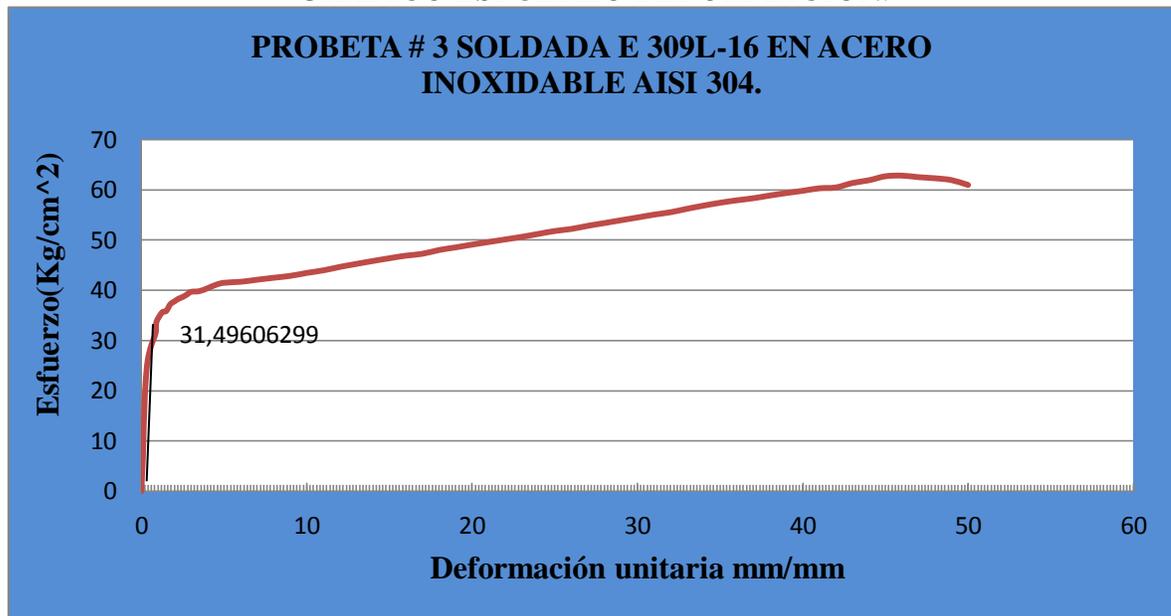
ENSAYO DE TRACCIÓN

DATOS INFORMATIVOS

Probeta #	3	Proceso de soldado.	SMAW.
Amperaje.	100 [A]	Voltaje	70 [V] cc
Norma aplicable	ASTM E8, ASTM E111		
Centro de Estudio y Análisis	Laboratorio de ensayos de materiales de la (FICM)		
Instrumento.	Máquina Universal Tinius Olsen Capacidad 30 Tn		
Fecha de ejecución:	15/05/2013	Realizado por:	Willian Naula.
Método	Deformación controlada.		
Espesor de la probeta.	5 mm	Longitud calibrada	203.2 mm

RESULTADOS

GRÁFICO ESFUERZO DEFORMACIÓN.



RESULTADOS REGISTRADOS DE LOS ENSAYOS

Carga máxima.	11969 Kg	Deformación máxima	58,3 mm
Longitud inicial	203,2 mm	Longitud final	261,5 mm
Espesor inicial.	5 mm	Espesor final	3,04 mm

RESULTADOS CALCULADOS

Resistencia a la tracción (Sut)	616.07 MPa.	% De elongación.	28,69 %
Resistencia a la cedencia (Sy)	308.82 MPa.	% de reducción de área	47,97 %
Módulo de elasticidad.	209,12 GPa.		

Observaciones:



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



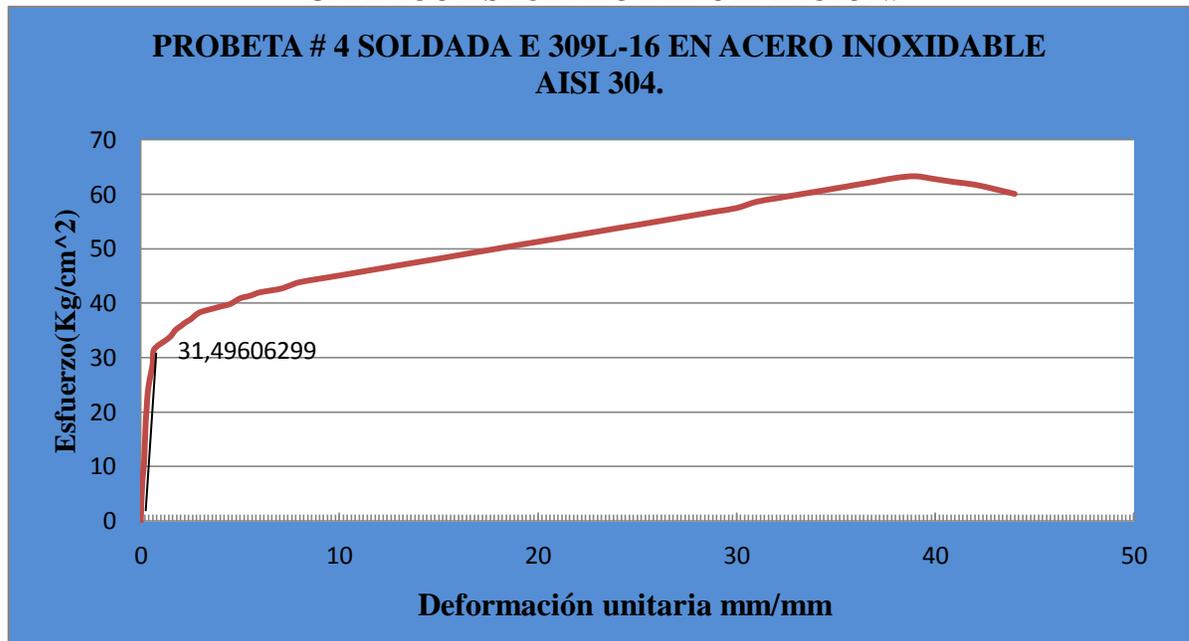
ENSAYO DE TRACCIÓN

DATOS INFORMATIVOS

Probeta #	4	Proceso de soldado.	SMAW.
Amperaje.	100 [A]	Voltaje	70 [V] cc
Norma aplicable	ASTM E8, ASTM E111		
Centro de Estudio y Análisis	Laboratorio de ensayos de materiales de la (FICM)		
Instrumento.	Máquina Universal Tinius Olsen Capacidad 30 Tn		
Fecha de ejecución:	15/05/2013	Realizado por:	Willian Naula.
Método	Deformación controlada.		
Espesor de la probeta.	5 mm	Longitud calibrada	203.2 mm

RESULTADOS

GRÁFICO ESFUERZO DEFORMACIÓN.



RESULTADOS REGISTRADOS DE LOS ENSAYOS

Carga máxima.	12060.8 Kg	Deformación máxima	57,8 mm
Longitud inicial	203,2 mm	Longitud final	261 mm
Espesor inicial.	5 mm	Espesor final	3,5 mm

RESULTADOS CALCULADOS

Resistencia a la tracción (Sut)	620.88 MPa.	% De elongación.	28,4 %
Resistencia a la cedencia (Sy).	308,82 MPa.	% de reducción de área	39,33 %
Módulo de elasticidad.	120.26 GPa		

Observaciones:



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



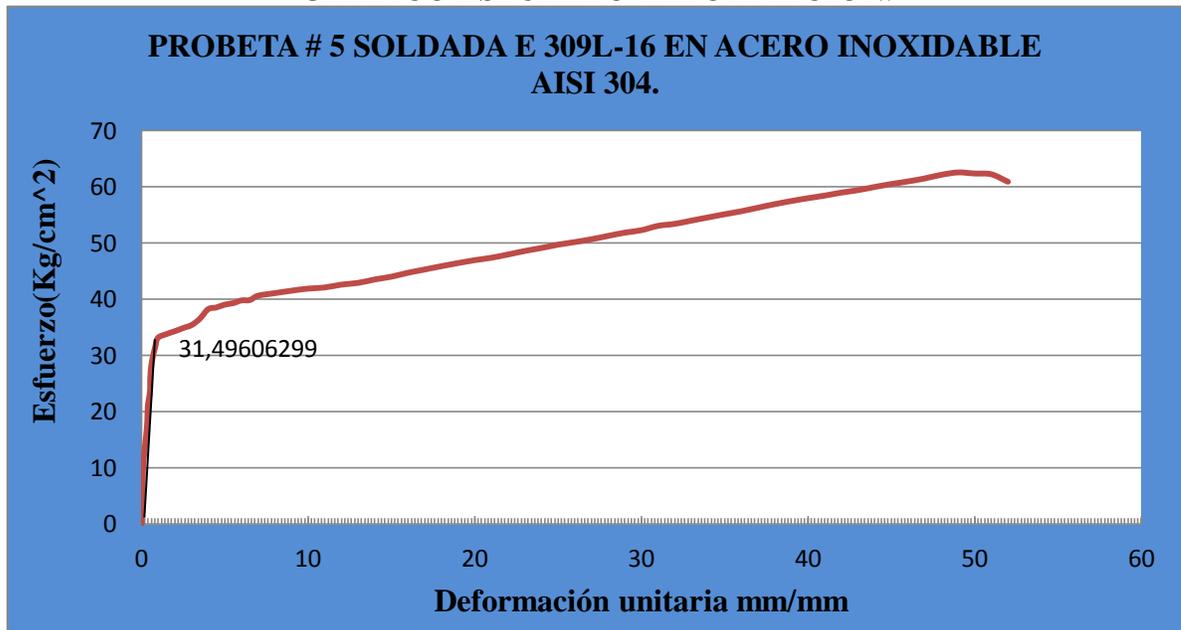
ENSAYO DE TRACCIÓN

DATOS INFORMATIVOS

Probeta #	5	Proceso de soldado.	SMAW.
Amperaje.	100 [A]	Voltaje	70 [V] cc
Norma aplicable	ASTM E8, ASTM E111		
Centro de Estudio y Análisis	Laboratorio de ensayos de materiales de la (FICM)		
Instrumento.	Máquina Universal Tinius Olsen Capacidad 30 Tn		
Fecha de ejecución:	15/05/2013	Realizado por:	Willian Naula.
Método	Deformación controlada.		
Espesor de la probeta.	5 mm	Longitud calibrada	203.2 mm

RESULTADOS

GRÁFICO ESFUERZO DEFORMACIÓN.



RESULTADOS REGISTRADOS DE LOS ENSAYOS

Carga máxima.	11923 Kg	Deformación máxima	58,8 mm
Longitud inicial	203,2 mm	Longitud final	262 mm
Espesor inicial.	5 mm	Espesor final	3,4 mm

RESULTADOS CALCULADOS

Resistencia a la tracción (Sut)	613.72 MPa.	% De elongación.	28,93 %
Resistencia a la cedencia (Sy).	308.82 MPa.	% de reducción de área	41,63 %
Módulo de elasticidad.	190,31 GPa.		

Observaciones:

**4.2.3.1.- ENSAYO DE DUREZA EN SOLDADURA DE ACERO INOXIDABLE
 AISI 304 AUSTENÍTICO CON ELECTRODO AWS E 309L-16.**



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



ENSAYO DE DUREZA.

DATOS INFORMATIVOS

Proceso	SMAW	Amperaje	100[A]	Voltaje	70[v]	Electrodo	AWS E 309L-16
Realizado por:	Willian Naula.			Tipo de estudio.	De laboratorio.		
Ensayo numero N.-	1		Fecha de ejecución			10/05/2013	
Solicitado por:	Willian Naula.	Número de mediciones	7	ASTM E-18			
Revisado por:	Ing. Mg. Henry Vaca.						
Centro de Estudio y Análisis	Laboratorio de materiales de la (FICM)						

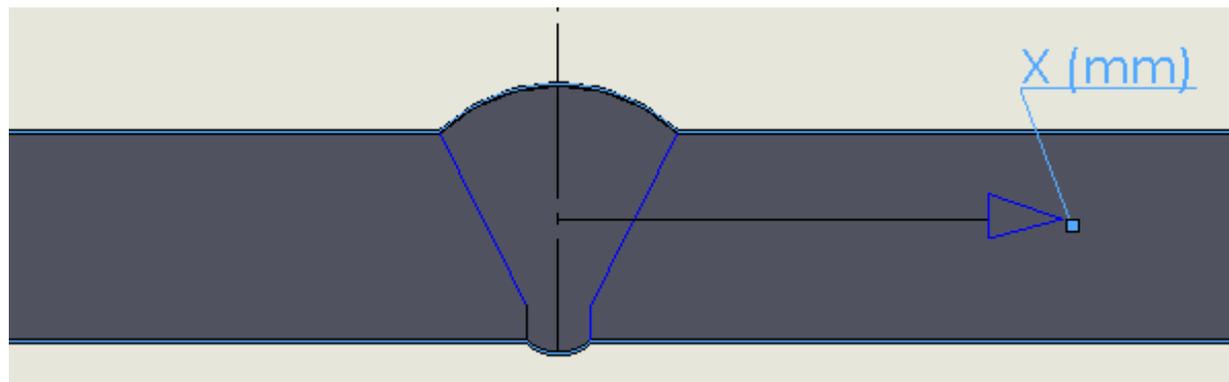
PARÁMETROS DE ENSAYOS DE DUREZA

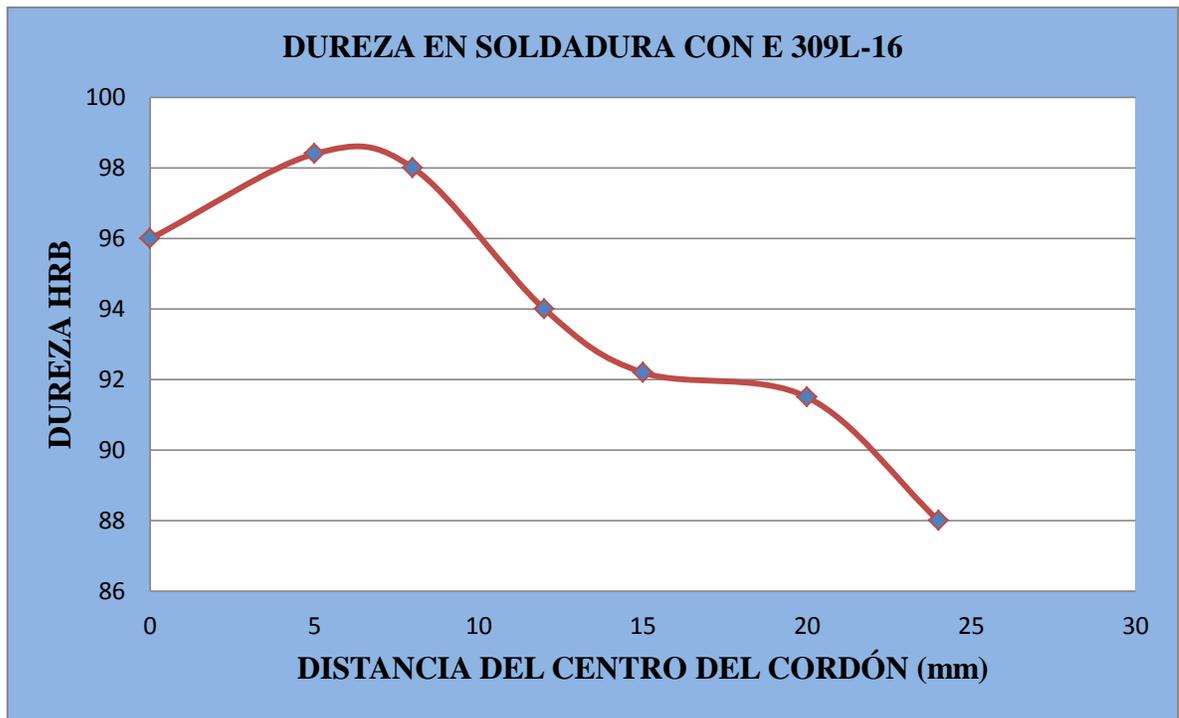
Descripción.

Método.	Rockwell (B)	Norma aplicable	ASTM E-18.0
Tipo de penetrador.	Identador 1/16 in. Esfera de acero.		
Carga aplicada	980 N/100Kgf	Tiempo de ensayo	7 min

RESULTADO.

Número	Distancias desde el centro(mm)	Dureza HRB
1	0	96
2	5	98,8
3	8	98
4	12	94
5	15	92,2
6	20	91,5
7	24	88



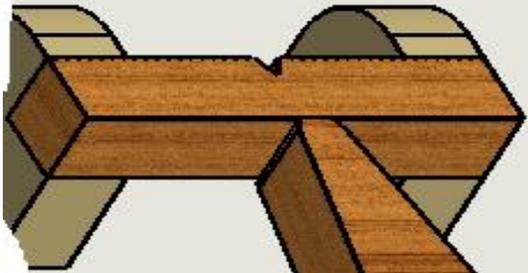
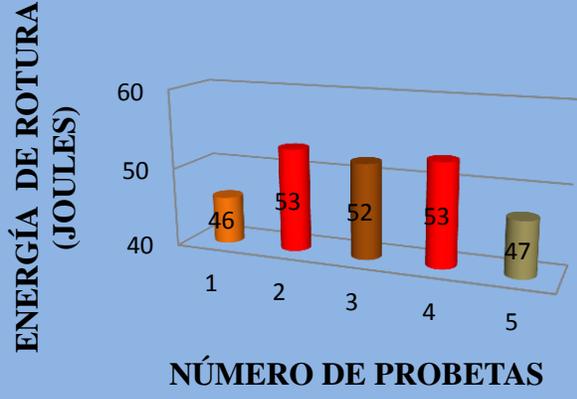


INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.

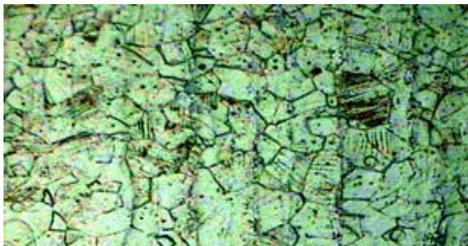
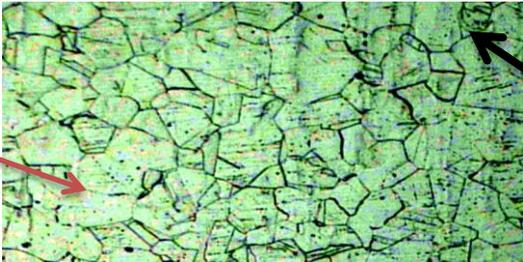
En una junta soldada la dureza máxima es de 98 HRB a 5 mm del centro del cordón y la dureza mínima es de 88 HRB a 22 mm del centro del cordón

OBSERVACIONES. Aumenta la dureza en la zona afectada por el calor en relación al cordón y el material base

4.2.3.2.- ENSAYO DE IMPACTO DE ACERO INOXIDABLE AISI 304 AUSTENÍTICO CON ELECTRODO AWS E 309L-16.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				
		ENSAYO DE IMPACTO.				
DATOS INFORMATIVOS						
Temperatura.		22 °C T.A.	Proceso de soldado		SMAW	
Amperaje		100 [A]	Voltaje		70 [V] cc	
Centro de Estudio y Análisis			Laboratorio de materiales de la (FICM)			
Realizado por:		Willian Naula.	Tipo de estudio.		De laboratorio.	
Ensayos	5	Fecha de ejecución	10/02/2013	Solicitado por:	Willian Naula.	
Supervisado por:				Ing. Mg. Henry Vaca.		
PARÁMETROS DE ENSAYOS DE IMPACTO.						
DESCRIPCIÓN.						
Método.		Charpy.	Norma aplicable		ASTM. E-23	
Temperatura.		22 °C	Tiempo de ensayo		1 min	
RESULTADO.						
		ENERGÍA DE ROTURA DE PROBETAS SOLDADAS EN ACERO INOXIDABLE AWS E309L-16				
						
		N. de probetas	Energía impacto(J)			
		1	46			
		2	53			
		3	52			
		4	53			
5	47					
Promedio.	50,2					
INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.						
Con un proceso de soldadura SMAW en acero inoxidable AISI 304 con electrodo AWS E 309L-16 registra un promedio de 50,2 J. la energía máxima es 53 J y la energía mínima es 46 J.						
OBSERVACIONES. En este ensayo la probeta sufre la rotura completa en la cual la probeta se separa en dos partes.						
T.A.- Es la temperatura ambiente donde se realizó los ensayos.						

4.2.3.3.- ENSAYO METALOGRAFICO DE LA SOLDADURA DE ACERO INOXIDABLE AISI 304 AUSTENÍTICO CON ELECTRODO AWS E 309L-16.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
		ENSAYO METALOGRAFICO.					
DATOS INFORMATIVOS							
Proceso	SMAW	Amperaje	100[A]	Voltaje	70[V]	Electrodo	AWS E309L-16
Realizado por:	Willian Naula.			Tipo de estudio.	De laboratorio.		
Ensayo N.-	1		Fecha de ejecución			04/06/2013	
Solicitado por:	Willian Naula.		Norma aplicable	ASTM. E 3-01, ASTM E112-96			
Revisado por:				Ing. Mg. Henry Vaca.			
Centro de Estudio y Análisis				Laboratorio de materiales de la (FICM)			
PARÁMETROS DE ENSAYOS DE METALOGRAFICO							
Descripción.							
Acondicionamiento de superficie					Pulido mecánico.		
Temperatura durante el pulido			22 °C	Superficie preparada en:		50 min.	
Ataque químico de la superficie con:	Aceros inoxidables (89) agua regia modificada glicerizada			Durante:	35 seg		
RESULTADO.							
							
Soldadura				Metal base.			
							
Austenita		Zona ZAT		Ferrita			
Junta soldada con electrodo AWS. E 309L-16, 100X, 35 Seg. Aceros inoxidables (89) agua regia modificada glicerizada							



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



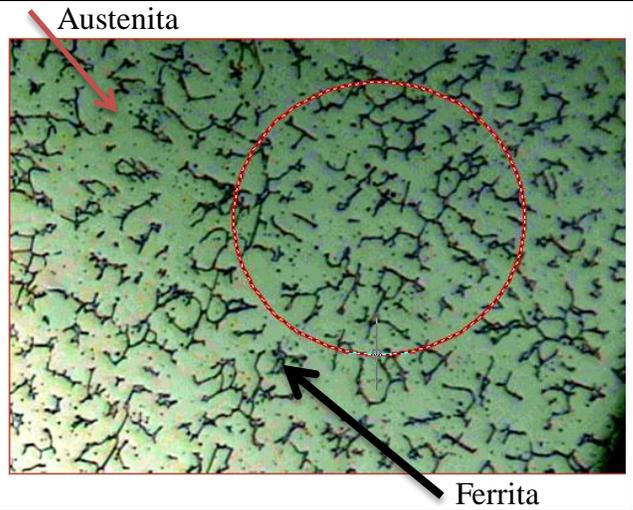
EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA: JUNTA SOLDADA

DATOS INFORMATIVOS

Determinación de tamaño de grano		Microestructura: Soldadura	
Amperaje.	100 [A]	Voltaje	70[v] cc
Norma aplicable		ASTM E3-0.1, ASTM E112-96	
Calculo por procedimiento planimétrico.		Magnificación. 200X	

$$NA = f \left(Ni + \frac{Nint}{2} \right) = 8 \left(10 + \frac{42}{2} \right)$$

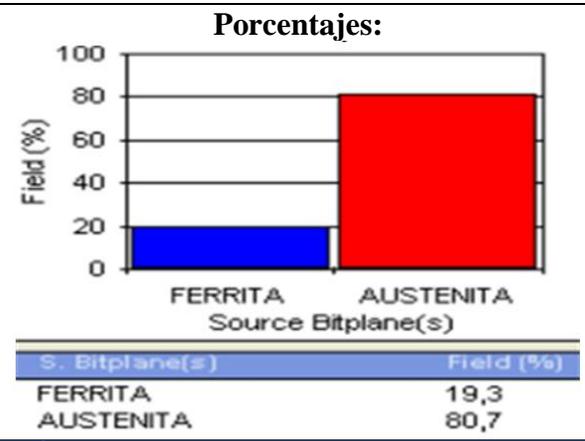
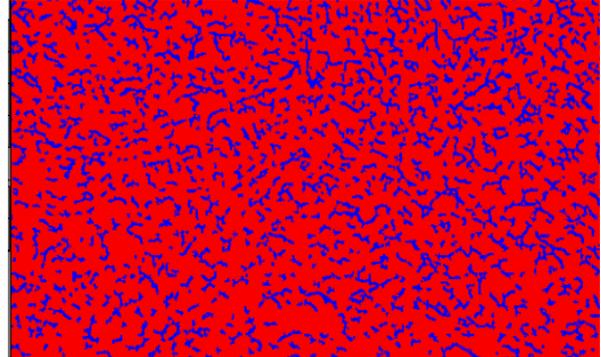
f = 8 por Jeffries (200X)
 NA = 8 * 31 = 248
 G = 3.321918 * log NA - 2.954
 G = 3.321918 * log (248) - 2.954
 G = 5



Tamaño de grano ASTM	5
-----------------------------	----------

COMPONENTES: Austenita Ferrita

Componentes microestructurales: 100X



CÁLCULO DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN.

Interpretar resultados:

Analizando la microestructura en la junta soldada en acero AISI 304 austenítico con electrodo AWS E 309L-16 se determina los componentes del material base es 80,7 % de austenita y 19,3 % de ferrita. Tamaño de grano es de **5**.

Observaciones: Los puntos negros muy pequeños son partículas de carbono



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



EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA: METAL BASE

DATOS INFORMATIVOS

Determinación de tamaño de grano		Microestructura: Metal Base	
Amperaje.	100 [A]	Voltaje	70[v] cc
Norma aplicable		ASTM E3-0.1, ASTM E112-96	
Calculo por procedimiento planimétrico.		Magnificación. 200X	

$$NA = f \left(Ni + \frac{Nint}{2} \right) = 8 \left(7 + \frac{11}{2} \right)$$

f = 8 por Jeffries (200X)

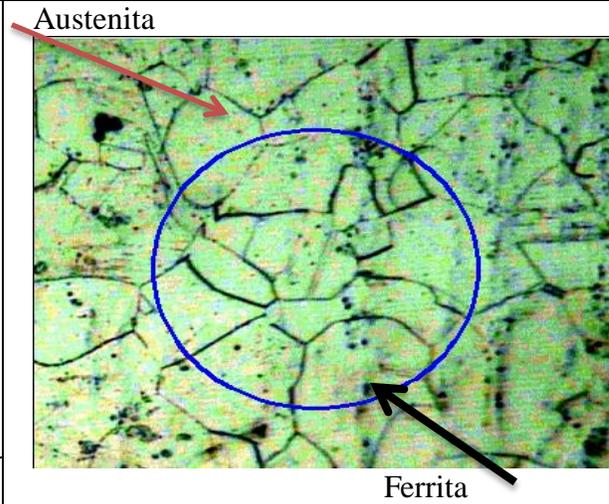
$$NA = 8 * 12.5 =$$

$$G = 3.321918 * \log NA - 2.954$$

$$G = 3.321918 * \log (100) - 2.954$$

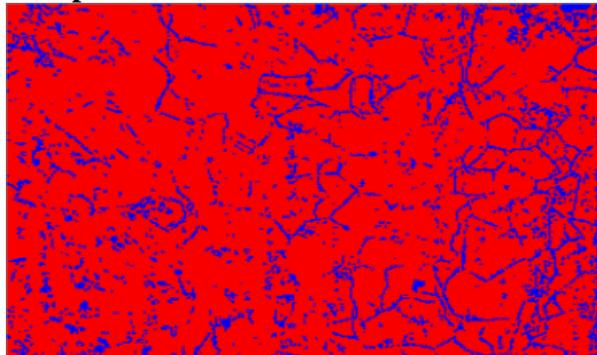
$$G = 3,68 \cong 4$$

Tamaño de grano ASTM	4
-----------------------------	---

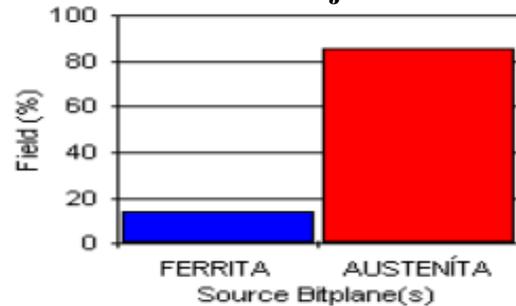


COMPONENTES:

Componentes microestructurales: 100X



Porcentajes:



S. Bitplane(s)	Field (%)
FERRITA	14,3
AUSTENITA	85,7

CÁLCULO DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN.

Interpretar resultados:

La microestructura del metal base soldada con electrodo AWS E309L-16 en acero inoxidable AISI 304 austenítico se determinan los componentes de la matriz es 85.7 % de austenita y 14.3 % ferrita. Tamaño de grano ASTM 4.

Observaciones:



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



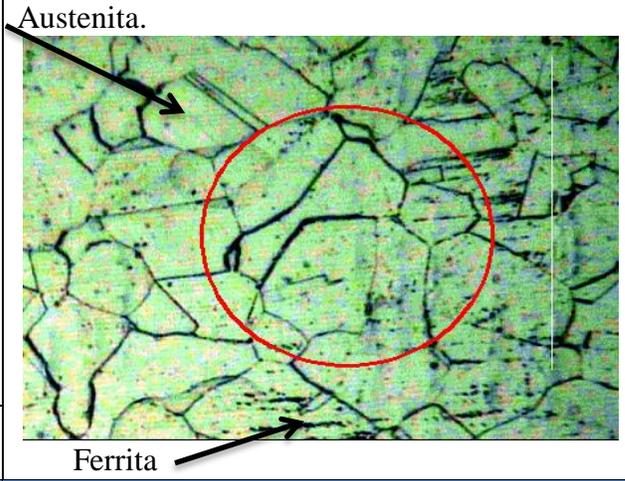
EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA: ZONA ZAT

DATOS INFORMATIVOS

Determinación de tamaño de grano		Microestructura: ZAT	
Amperaje.	100 [A]	Voltaje	70[v] cc
Norma aplicable		ASTM E3-0.1, ASTM E112-96	
Calculo por procedimiento planimétrico.		Magnificación. 200X	

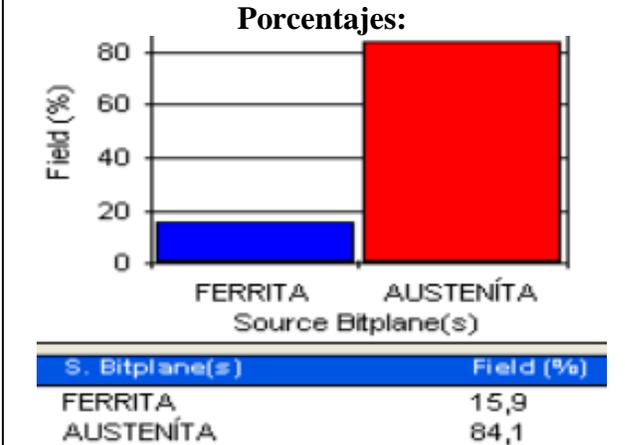
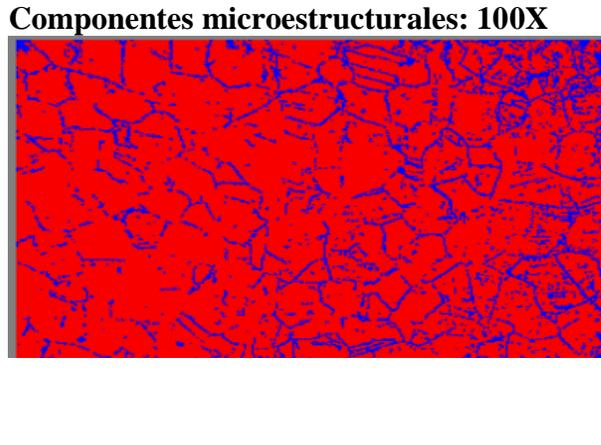
$$NA = f \left(Ni + \frac{Nint}{2} \right) = 8 \left(7 + \frac{14}{2} \right)$$

$f = 8$ por Jeffries (200X)
 $NA = 8 * 14 = 112$
 $G = 3.321918 * \log NA - 2.954$
 $G = 3.321918 * \log (112) - 2.954$
 $G = 3.85 \cong 4$



Tamaño de grano ASTM	4
-----------------------------	---

COMPONENTES:



CÁLCULO DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN.

Interpretar resultados:

La microestructura de la zona ZAT soldada con electrodo AWS E309L-16 en acero inoxidable AISI 304 austenítico se determinan los componentes de la matriz es 84,1 % de austenita y 15,9 % ferrita. Tamaño de grano ASTM 4

Observaciones:

4.2.4.- ENSAYO DE TRACCIÓN EN SOLDADURA DE ACERO INOXIDABLE AISI 304 AUSTENÍTICO CON ELECTRODO AWS E 316H-16.

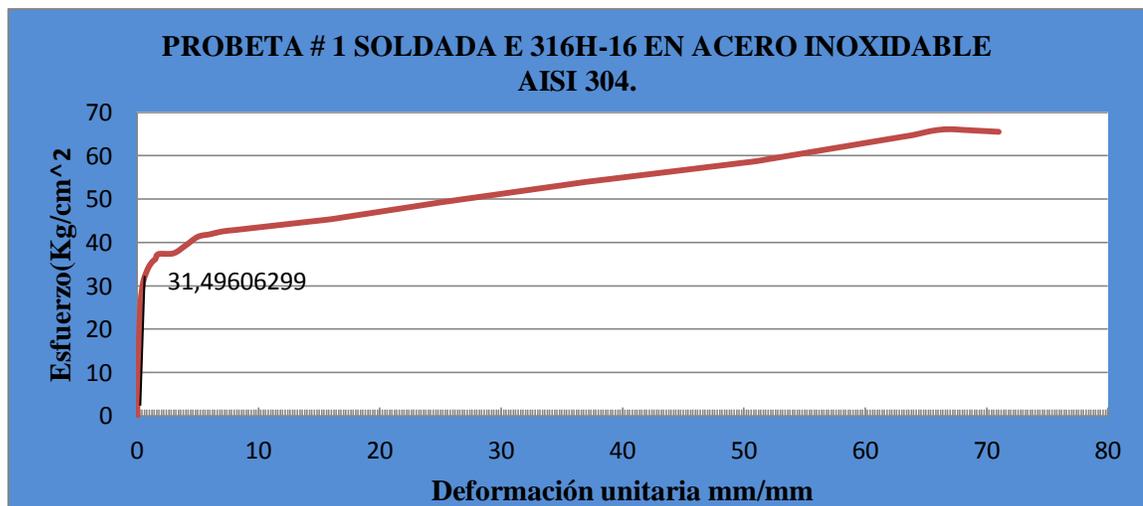
	<p>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO. FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA. CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA.</p>	
---	---	---

ENSAYO DE TRACCIÓN

DATOS INFORMATIVOS			
Probeta #	1	Proceso de soldado.	SMAW.
Amperaje.	100 [A]	Voltaje	70 [V] cc
Norma aplicable	ASTM E8, ASTM E111		
Centro de Estudio y Análisis	Laboratorio de ensayos de materiales de la (FICM)		
Instrumento.	Máquina Universal Tinius Olsen Capacidad 30 Tn		
Fecha de ejecución:	16/05/2013	Realizado por:	Willian Naula.
Método	Deformación controlada.		
Espesor de la probeta.	5 mm	Longitud calibrada	203.2 mm

RESULTADOS

GRÁFICO ESFUERZO DEFORMACIÓN.



RESULTADOS REGISTRADOS DE LOS ENSAYOS

Carga máxima.	12595,3 Kg	Deformación máxima	65,8 mm
Longitud inicial	203,2 mm	Longitud final	269 mm
Espesor inicial.	5 mm	Espesor final	2,92 mm

RESULTADOS CALCULADOS

Resistencia a la tracción (Sut)	648.34 MPa.	% De elongación.	32,38 %
Resistencia a la cedencia (Sy).	308.82 MPa.	% de reducción de área	52,48 %
Módulo de elasticidad.	203,23 GPa		

Observaciones:



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



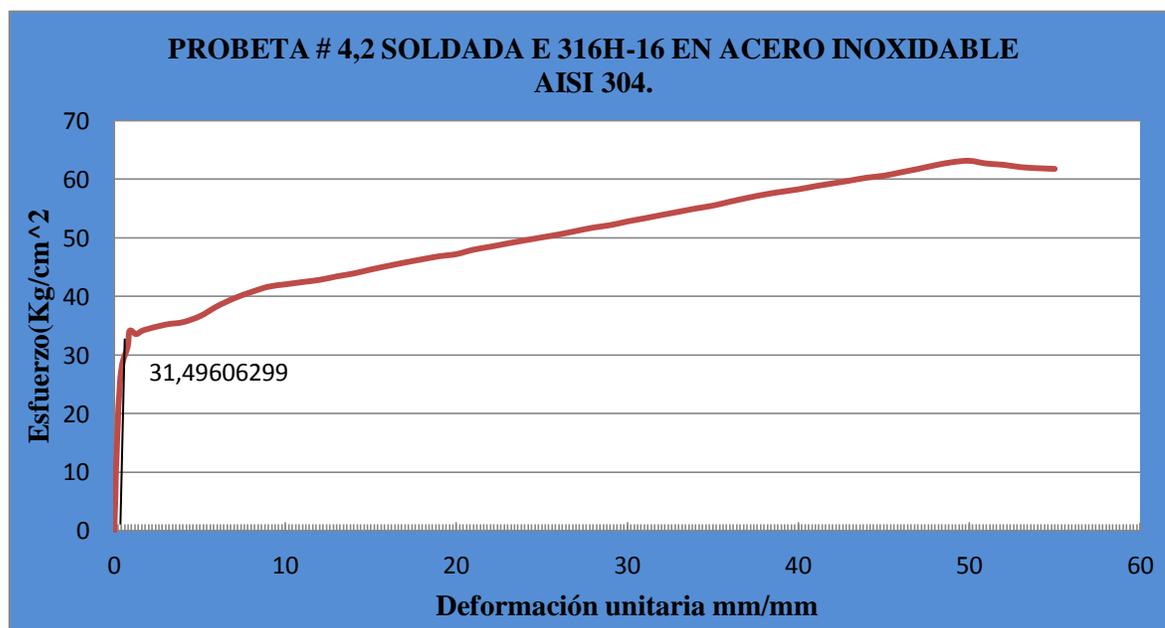
ENSAYO DE TRACCIÓN

DATOS INFORMATIVOS

Probeta #	2	Proceso de soldado.	SMAW.
Amperaje.	100 [A]	Voltaje	70 [V] cc
Norma aplicable	ASTM E8, ASTM E111		
Centro de Estudio y Análisis	Laboratorio de ensayos de materiales de la (FICM)		
Instrumento.	Máquina Universal Tinius Olsen Capacidad 30 Tn		
Fecha de ejecución:	16/05/2013	Realizado por:	Willian Naula
Método	Deformación controlada.		
Espesor de la probeta.	5 mm	Longitud calibrada	203.2 mm

RESULTADOS

GRÁFICO ESFUERZO DEFORMACIÓN.



RESULTADOS REGISTRADOS DE LOS ENSAYOS

Carga máxima.	12028,6 Kg	Deformación máxima	55,44mm
Longitud inicial	203,2 mm	Longitud final	258,6 mm
Espesor inicial.	5 mm	Espesor final	3,3 mm

RESULTADOS CALCULADOS

Resistencia a la tracción (Sut)	619,21 MPa.	% De elongación.	27,26 %
Resistencia a la cedencia (Sy).	308.82 MPa	% de reducción de área	44,56 %
Módulo de elasticidad.	209,92 GPa		

Observaciones:



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



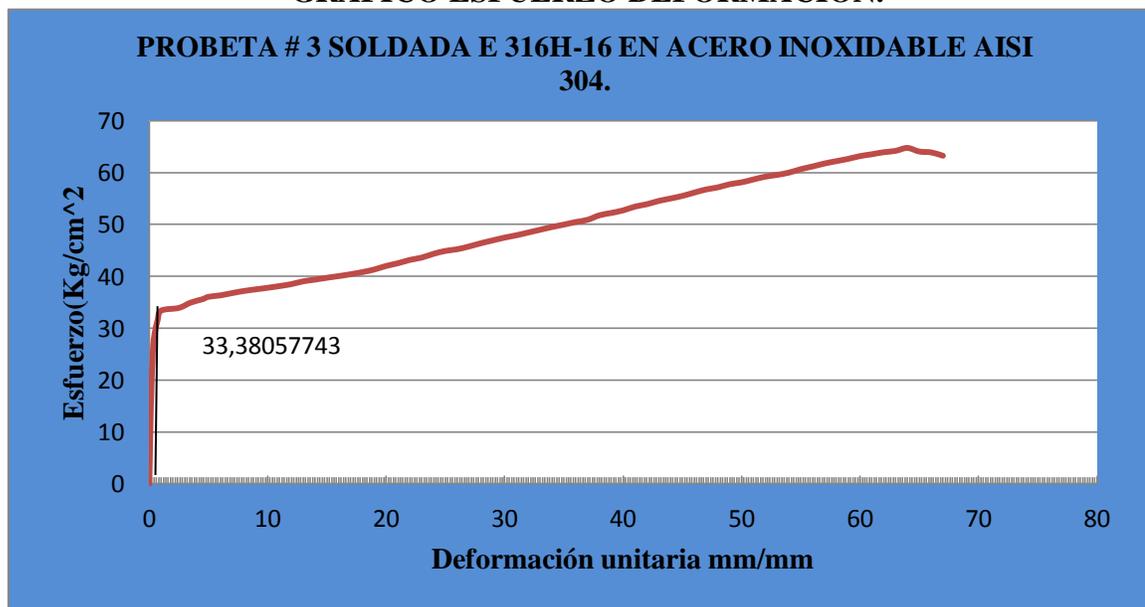
ENSAYO DE TRACCIÓN

DATOS INFORMATIVOS

Probeta #	3	Proceso de soldado.	SMAW.
Amperaje.	100 [A]	Voltaje	70 [V] cc
Norma aplicable	ASTM E8, ASTM E111		
Centro de Estudio y Análisis	Laboratorio de ensayos de materiales de la (FICM)		
Instrumento.	Máquina Universal Tinius Olsen Capacidad 30 Tn		
Fecha de ejecución:	16/05/2013	Realizado por:	Willian Naula.
Método	Deformación controlada.		
Espesor de la probeta.	5 mm	Longitud calibrada	203.2 mm

RESULTADOS

GRÁFICO ESFUERZO DEFORMACIÓN.



RESULTADOS REGISTRADOS DE LOS ENSAYOS

Carga máxima.	12336 Kg	Deformación máxima	59,8 mm
Longitud inicial	203,2 mm	Longitud final	263 mm
Espesor inicial.	5 mm	Espesor final	3,41mm

RESULTADOS CALCULADOS

Resistencia a la tracción (Sut)	635.00 MPa.	% De elongación.	29,42 %
Resistencia a la cedencia (Sy).	327.35 MPa.	% de reducción de área	42,71 %
Módulo de elasticidad.	161,51 GPa		

Observaciones:



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



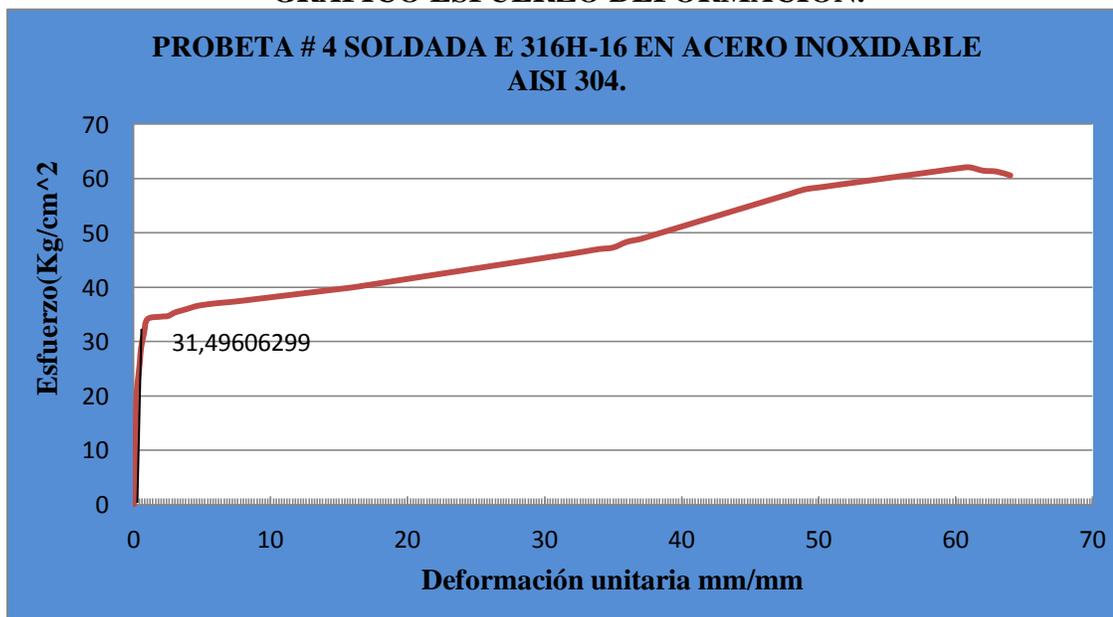
ENSAYO DE TRACCIÓN

DATOS INFORMATIVOS

Probeta #	4	Proceso de soldado.	SMAW.
Amperaje.	100 [A]	Voltaje	70 [V] cc
Norma aplicable	ASTM E8, ASTM E111		
Centro de Estudio y Análisis	Laboratorio de ensayos de materiales de la (FICM)		
Instrumento.	Máquina Universal Tinius Olsen Capacidad 30 Tn		
Fecha de ejecución:	16/05/2013	Realizado por:	Willian Naula.
Método	Deformación controlada.		
Espesor de la probeta.	5 mm	Longitud calibrada	203.2 mm

RESULTADOS

GRÁFICO ESFUERZO DEFORMACIÓN.



RESULTADOS REGISTRADOS DE LOS ENSAYOS

Carga máxima.	11825,1 Kg	Deformación máxima	54,8 mm
Longitud inicial	203,2 mm	Longitud final	258 mm
Espesor inicial.	5 mm	Espesor final	3,81mm

RESULTADOS CALCULADOS

Resistencia a la tracción (Sut)	608.72 MPa.	% De elongación.	26,96 %
Resistencia a la cedencia (Sy).	308.82 MPa.	% de reducción de área	34 %
Módulo de elasticidad.	191,79 GPa		

Observaciones:



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



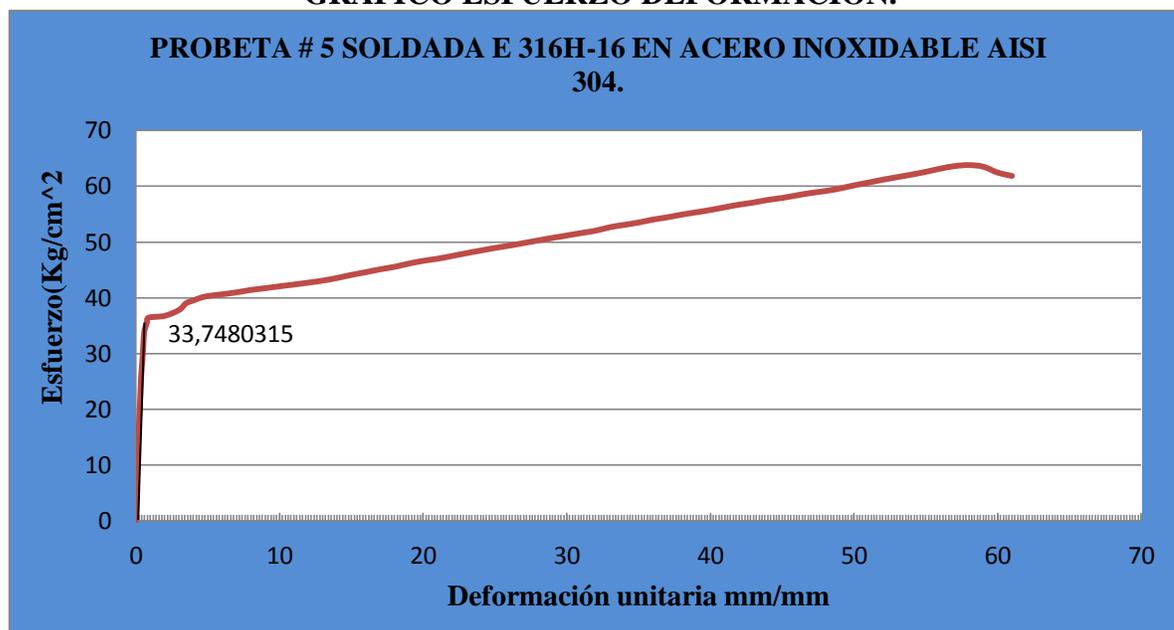
ENSAYO DE TRACCIÓN

DATOS INFORMATIVOS

Probeta #	5	Proceso de soldado.	SMAW.
Amperaje.	100 [A]	Voltaje	70 [V] cc
Norma aplicable	ASTM E8, ASTM E111		
Centro de Estudio y Análisis	Laboratorio de ensayos de materiales de la (FICM)		
Instrumento.	Máquina Universal Tinius Olsen Capacidad 30 Tn		
Fecha de ejecución:	16/05/2013	Realizado por:	Willian Naula.
Método	Deformación controlada.		
Espesor de la probeta.	5 mm	Longitud calibrada	203.2 mm

RESULTADOS

GRÁFICO ESFUERZO DEFORMACIÓN.



RESULTADOS REGISTRADOS DE LOS ENSAYOS

Carga máxima.	12154 Kg	Deformación máxima	56,8 mm
Longitud inicial	203,2 mm	Longitud final	260 mm
Espesor inicial.	5 mm	Espesor final	3,45mm

RESULTADOS CALCULADOS

Resistencia a la tracción (Sut)	625,68 MPa.	% De elongación.	27,95 %
Resistencia a la cedencia (Sy).	330,98MPa.	% de reducción de área	41,68 %
Módulo de elasticidad.	127,33 GPa		

Observaciones:

4.2.4.1.- ENSAYO DE DUREZA EN SOLDADURA DE ACERO INOXIDABLE AISI 304 AUSTENÍTICO CON ELECTRODO AWS E 316H-16.



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



ENSAYO DE DUREZA.

DATOS INFORMATIVOS

Proceso	SMAW	Amperaje	100[A]	Voltaje	70[v]	Electrodo	AWS E 309L-16
Realizado por:	Willian Naula.		Tipo de estudio.		De laboratorio.		
Ensayo numero	1		Fecha de ejecución		10/05/2013		
Solicitado por:	Willian Naula.		Número de mediciones		5		ASTM E-18
Revisado por:				Ing. Mg. Henry Vaca.			
Centro de Estudio y Análisis				Laboratorio de materiales de la (FICM)			

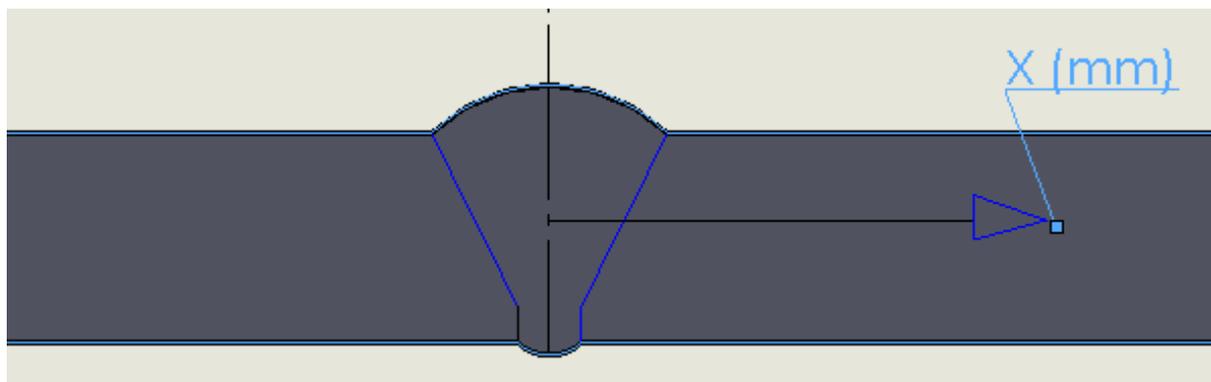
PARÁMETROS DE ENSAYOS DE DUREZA

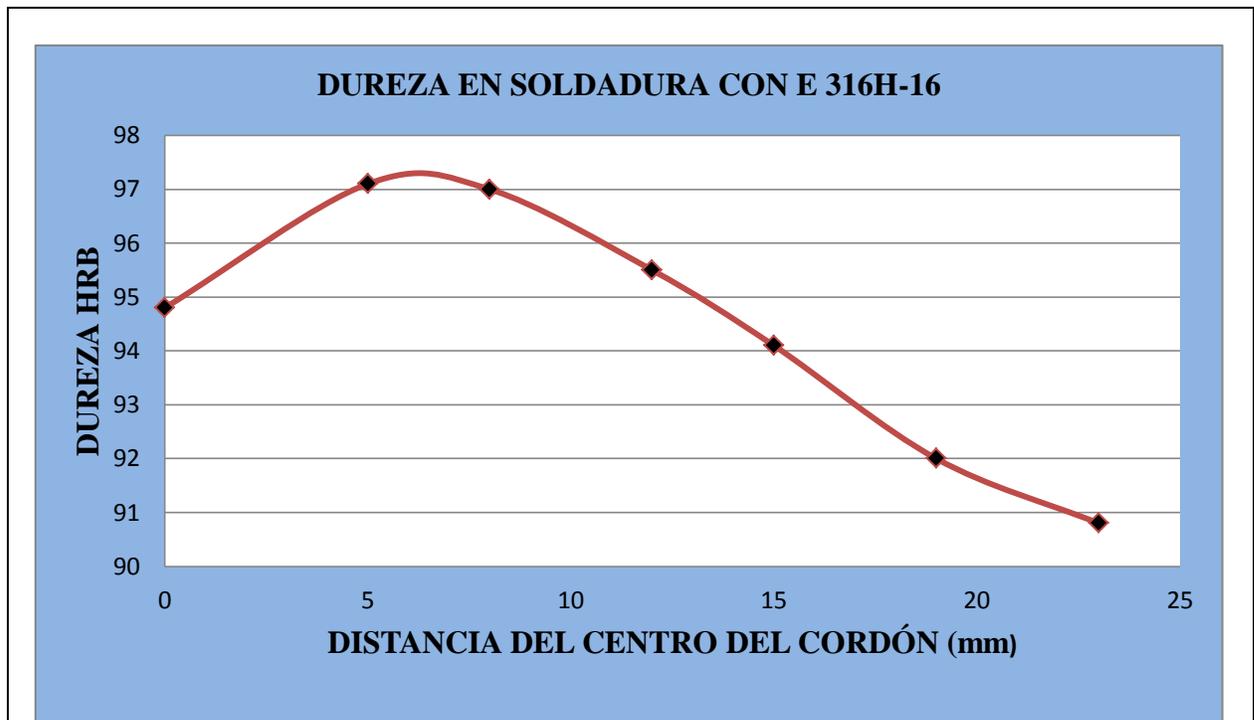
Descripción.

Método.	Rockwell (B)	Norma aplicable	ASTM E-18.0
Tipo de penetrador.	Identador 1/16 in. Esfera de acero.		
Carga aplicada	980 N/100Kgf	Tiempo de ensayo	7 min

RESULTADO.

Número	Distancias desde el centro(mm)	Dureza HRB
1	0	94,8
2	5	97,1
3	8	97
4	12	95,5
5	15	94,1
6	19	92
7	23	90,8





INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.

En una junta soldada la dureza máxima es de 97 HRB a 7 mm del centro del cordón y la dureza mínima es de 90,8 HRB a 23 mm del centro del cordón

OBSERVACIONES. Se incrementa la dureza cercana a la zona afectada por el calor en relación al cordón y el material base

4.2.4.2.- ENSAYO DE IMPACTO DE ACERO INOXIDABLE AISI 304 AUSTENÍTICO CON ELECTRODO AWS E 316H-16.



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



ENSAYO DE IMPACTO.

DATOS INFORMATIVOS

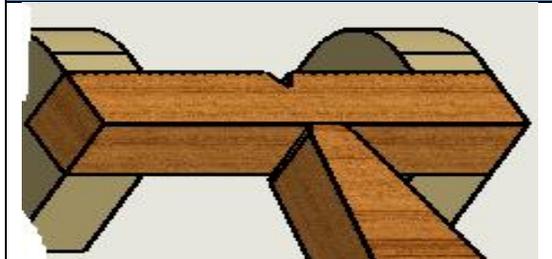
Temperatura.	22 °C T.A.	Proceso de soldado	SMAW
Amperaje	100 [A]	Voltaje	70 [V] cc
Centro de Estudio y Análisis		Laboratorio de materiales de la (FICM)	
Realizado por:		Willian Naula.	Tipo de estudio.
			De laboratorio.
Ensayos	5	Fecha de ejecución	10/02/2013
		Solicitado por:	Willian Naula.
Supervisado por:		Ing. Mg. Henry Vaca.	

PARÁMETROS DE ENSAYOS DE IMPACTO.

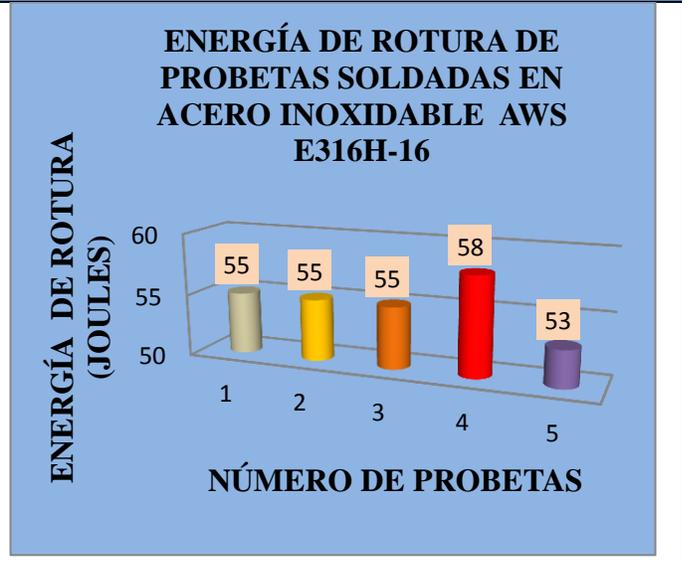
DESCRIPCIÓN.

Método.	Charpy.	Norma aplicable	ASTM. E-23
Temperatura.	22 °C	Tiempo de ensayo	1 min

RESULTADO.



N.- de probetas	Energía impacto(J)
1	55
2	55
3	55
4	58
5	53
Promedio.	55,2



INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.

Con un proceso de soldadura SMAW en acero inoxidable AISI 304 con electrodo AWS E 316HL-16 registra un promedio de 55,2 J. la energía máxima es 58 J y la energía mínima es 53 J.

OBSERVACIONES. En este ensayo la probeta sufre la rotura completa en la cual la probeta se parte en dos.

A.- Es la temperatura ambiente donde se realizó los ensayos.

4.2.4.3.- ENSAYO METALOGRAFICO DE LA SOLDADURA DE ACERO INOXIDABLE AISI 304 AUSTENÍTICO CON ELECTRODO AWS E 316H-16.



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



ENSAYO METALOGRAFICO.

DATOS INFORMATIVOS

Proceso	SMAW	Amperaje	100[A]	Voltaje	70[V]	Electrodo	AWS E316H-16
Realizado por:	Willian Naula.		Tipo de estudio.	De laboratorio.			
Ensayo N.	1		Fecha de ejecución	06/05/2013			
Solicitado por:	Willian Naula.		Norma aplicable	ASTM. E 3-01, ASTM E112-96			
Revisado por:					Ing. Mg. Henry Vaca.		
Centro de Estudio y Análisis					Laboratorio de materiales de la (FICM)		

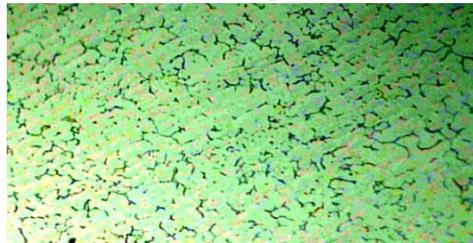
PARÁMETROS DE ENSAYOS DE METALOGRAFICO

Descripción.

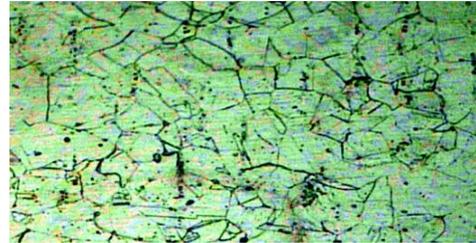
Acondicionamiento de superficie	Pulido mecánico.		
Temperatura durante el pulido	22 °C	Superficie preparada en:	50 min.
Ataque químico de la superficie con:	Aceros inoxidable (89) agua regia modificada glicerizada	Durante:	1.25 min

RESULTADO.

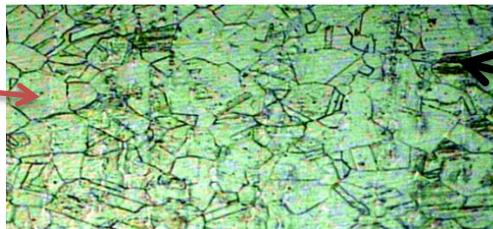
25 min. Aleación níquel cobre (reactivo)



Soldadura



Metal base.



AUSTENITA

FERRITA

Zona ZAT

Junta soldada con electrodo AWS. E 316H-16, 100X, (cordon) 25 min. Aleación níquel cobre.
 Junta soldada con electrodo AWS. E 316H-16, 100X, 1,25 min. Aceros inoxidable (89) agua regia modificada glicerizada en metal base y zona ZAT.



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



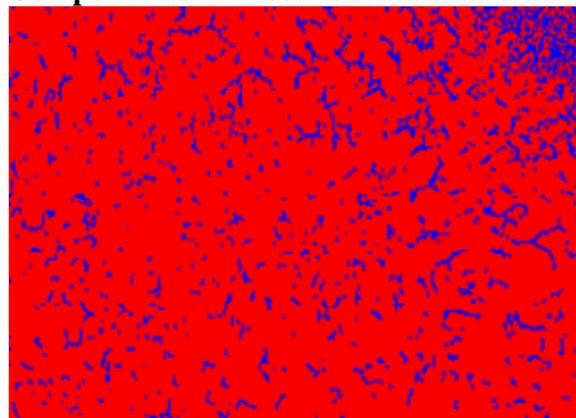
EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA: JUNTA SOLDADA

DATOS INFORMATIVOS

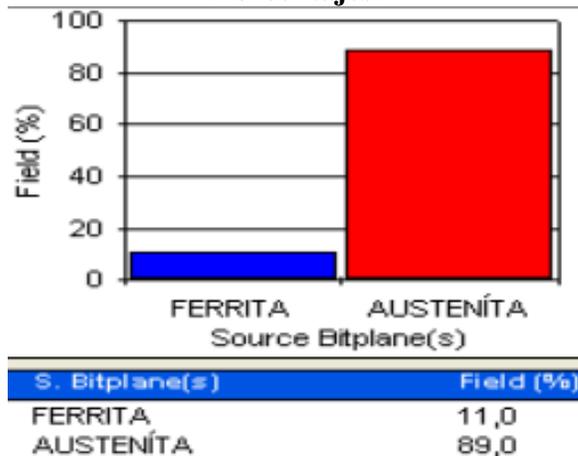
Determinación de tamaño de grano		Microestructura: Soldadura	
Amperaje.	100 [A]	Voltaje	70[v] cc
Norma aplicable		ASTM E3-0.1, ASTM E112-96	
Calculo por procedimiento planimétrico.		Magnificación. 200X	
$NA = f \left(Ni + \frac{Nint}{2} \right) = 8 \left(18 + \frac{5}{2} \right)$ <p><i>f=8 por Jeffries (200X)</i> $NA=8*20.5=164$ $G=3.321918*\log NA-2.954$ $G=3.321918*\log (164)-2.954$ $G=4.40 \cong 4$</p>			
Tamaño de grano ASTM	4		

COMPONENTES:

Componentes microestructurales: 100X



Porcentajes:



CÁLCULO DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN.

Interpretar resultados:

La microestructura de una junta soldada con electrodo AWS E316H-16 en acero inoxidable AISI 304 austenítico se determinan los componentes de la matriz es 89% de austenita y 11 % ferrita. Tamaño de grano ASTM 4.

Observaciones:



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



EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA: METAL BASE

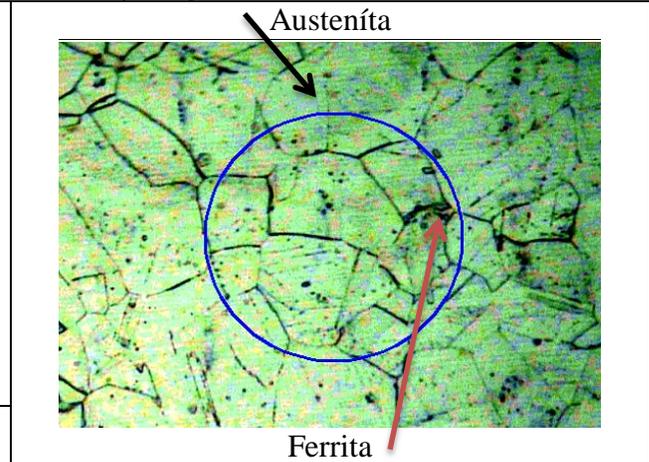
DATOS INFORMATIVOS

Determinación de tamaño de grano		Microestructura: Metal Base	
Amperaje.	100 [A]	Voltaje	70[v] cc
Norma aplicable		ASTM E3-0.1, ASTM E112-96	
Calculo por procedimiento planimétrico.		Magnificación. 200X	

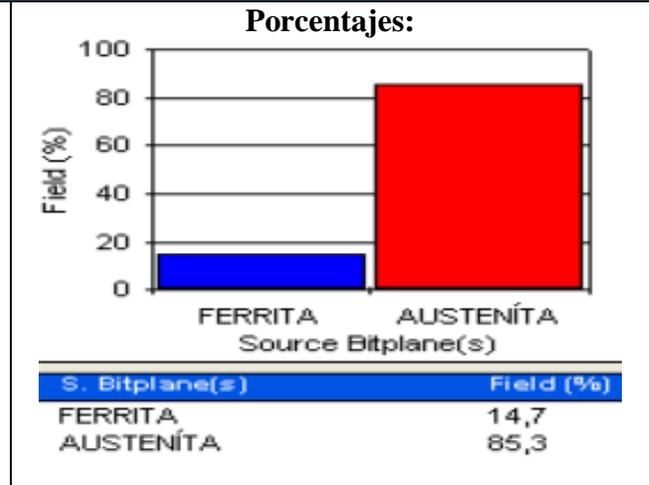
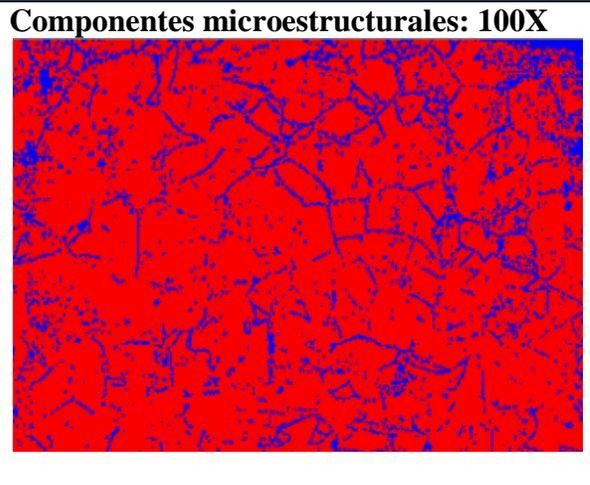
$$NA = f \left(Ni + \frac{Nint}{2} \right) = 8 \left(9 + \frac{13}{2} \right)$$

f = 8 por Jeffries (200X)
*NA = 8 * 15.5 = 124*
*G = 3.321918 * logNA - 2.954*
*G = 3.321918 * log (124) - 2.954*
G = 4

Tamaño de grano ASTM	4
-----------------------------	---



COMPONENTES:



CÁLCULO DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN.

Interpretar resultados:

La microestructura del metal base soldada con electrodo AWS E316H-16 en acero inoxidable AISI 304 austenítico se determinan los componentes de la matriz es 85.3 % de austenita y 14.7 % ferrita. Tamaño de grano ASTM 4.

Observaciones:



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



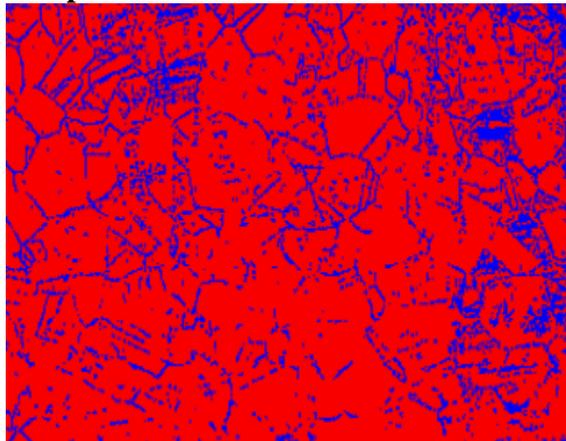
EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA: ZONA ZAT

DATOS INFORMATIVOS

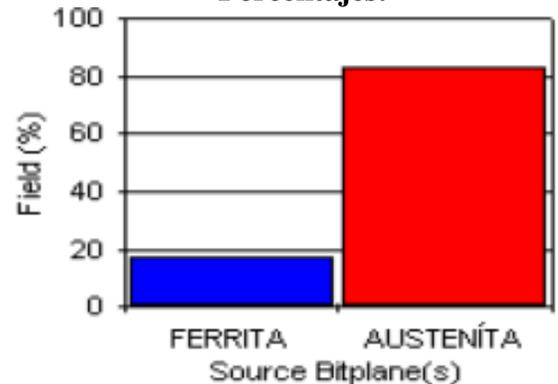
Determinación de tamaño de grano		Microestructura: ZAT	
Amperaje.	100 [A]	Voltaje	70[v] cc
Norma aplicable		ASTM E3-0.1, ASTM E112-96	
Calculo por procedimiento planimétrico.		Magnificación. 200X	
$NA = f \left(Ni + \frac{Nint}{2} \right) = 8 \left(7 + \frac{16}{2} \right)$ <p><i>f=8 por Jeffries (200X)</i> <i>NA=8*15=120</i> <i>G=3.321918*logNA-2.954</i> <i>G=3.321918*log (120)-2.954</i> <i>G=3.95 ≅ 4</i></p>			
Tamaño de grano ASTM	4		

COMPONENTES:

Componentes microestructurales: 100X



Porcentajes:



CÁLCULO DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN.

Interpretar resultados:

La microestructura de la zona ZAT soldada con electrodo AWS E316H-16 en acero inoxidable AISI 304 austenítico se determinan los componentes de la matriz es 82,9 % de austenita y 17,1 % ferrita. Tamaño de grano ASTM 4

Observaciones:

4.3.- INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.

4.3.1.-INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE TRACCIÓN.

Tabla 4. 1.- Datos obtenidos en los ensayos de tracción en acero inoxidable AISI 304 austenítico.

METAL BASE SIN SOLDADURA					
PROBETAS	Sut MPa	Sy MPa	% de elongación	% de reducción de área	Módulo elástico GPa.
Ensayo 1	684.92	308.82	48.62	44.00	208,87
Ensayo 2	670.79	319.70	45.17	43.00	206,85
Ensayo 3	671.48	331.37	43.20	42.80	206,96
Ensayo 4	673.74	308.82	46.16	43.80	209,93
Ensayo 5	678.05	328.82	46.65	43.06	207.51
PROMEDIO	675.79	319.51	45.96	43.33	208,02

FUENTE: Willian Naula.

Tabla 4. 2.- Datos obtenidos en los ensayos de tracción en Acero inoxidable AISI 304 austenítico en juntas soldadas con electrodo AWS E 308L-16.

SOLDADURA CON ELECTRODO AWS E 308L-16					
PROBETAS	Sut MPa	Sy MPa	% de elongación	% de reducción de área	Módulo elástico GPa.
Ensayo 1	632.45	308.82	29.49	33.81	198.16
Ensayo 2	623.33	334.61	28.44	44.04	208.60
Ensayo 3	615,97	308,82	28.93	41.66	152.22
Ensayo 4	653.44	302.84	30.41	44.39	198.79
Ensayo 5	633.33	335.88	29.42	38.96	198.67
PROMEDIO	631.70	318.19	29.34	40.57	191.29

Fuente: Willian Naula.

Tabla 4. 3.- Datos obtenidos en los ensayos de tracción en acero inoxidable AISI 304 austenítico en juntas soldadas con electrodo AWS E 309L-16.

SOLDADURA CON ELECTRODO AWS E 309L-16					
PROBETAS	Sut MPa	Sy MPa	% de elongación	% de reducción de área	Módulo elástico GPa.
Ensayo 1	614.50	308.82	28.93	40.08	137.05
Ensayo 2	609.99	334,61	28.69	41.28	196.22
Ensayo 3	616.07	308.82	28.69	47.97	209.12
Ensayo 4	620.88	308.82	28.4	39.33	120.26
Ensayo 5	613.72	308.82	28.93	41.63	190.31
PROMEDIO	615.03	313.98	28.73	42.06	170.59

FUENTE: Willian Naula.

Tabla 4. 4.- Datos obtenidos en los ensayos de tracción en acero inoxidable AISI 304 austenítico en juntas soldadas con electrodo AWS E 316H-16.

SOLDADURA CON ELECTRODO AWS E 316H-16					
PROBETAS	Sut MPa	Sy MPa	% de elongación	% de reducción de área	Módulo elástico GPa.
Ensayo 1	648.34	308.82	32.38	52.48	203.23
Ensayo 2	619,21	308.82	27.26	44.56	209.92
Ensayo 3	635.00	327.35	29.42	42.71	161.51
Ensayo 4	608.72	308.82	26.96	34.00	191.79
Ensayo 5	625,68	330.98	27.95	41.68	127.33
PROMEDIO	627.39	316.96	28.79	43.09	178.76

FUENTE: Willian Naula.

Los resultados adquiridos en los análisis, con variación de electrodos en procesos de soldadura de acero inoxidable AISI 304 austenítico, se compara con resultados ensayados en probetas sin ningún procedimiento de soldadura.

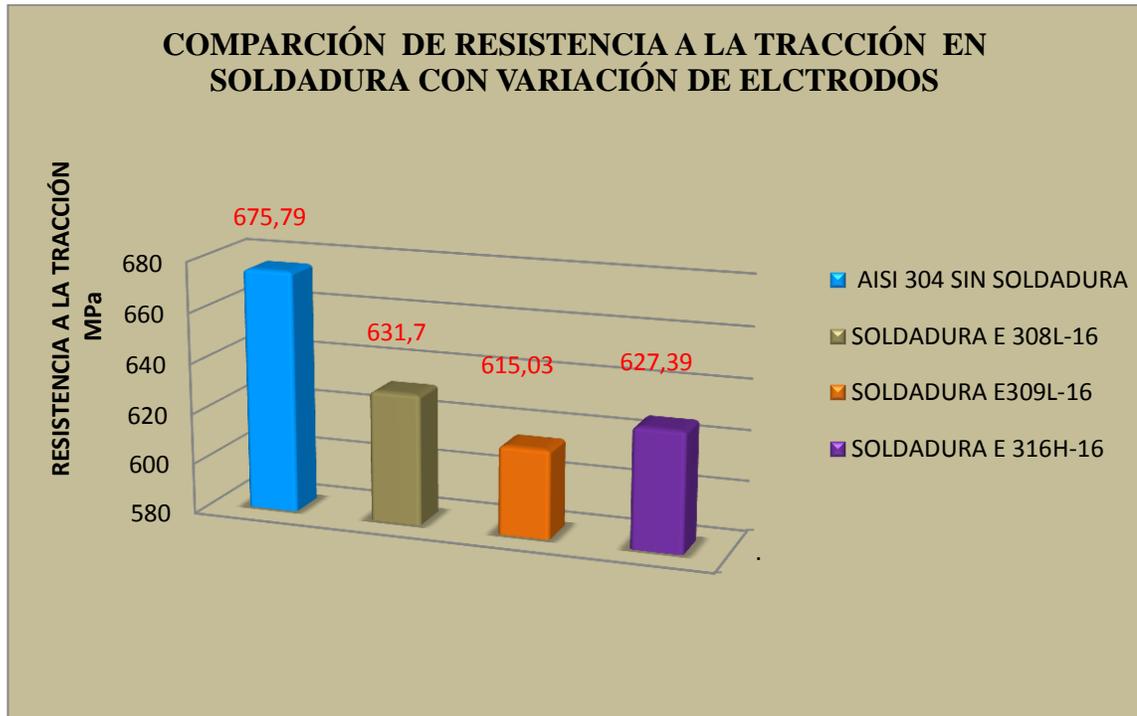


Figura 4. 1.- Comparación de resistencia a la tracción (Stt), en un proceso de soldadura SMAW con variación de electrodos

(FUENTE: Willian Naula).

Se observa en la figura 4.1 los valores obtenidos, en los ensayos de tracción en juntas soldadas con variación de electrodos, en acero inoxidable AISI 304 austenítico. Los valores promedios en cada tipo de electrodo ensayado, en soldadura con electrodo AWS E 308L-16 es el que mayor resistencia a la tracción presenta en una junta soldada es de 631.7 MPa el valor intermedio de resistencia a la tracción se encuentra en el proceso de soldado con electrodo AWS E 316H-16 un promedio de 627.39 MPa y la menor resistencia a la tracción es 615.03 MPa con electrodo AWS E 309L-16, se relaciona

como dato de comparación con probetas sin soldadura en la cual se obtiene un valor de resistencia a la tracción de 675.79 MPa.

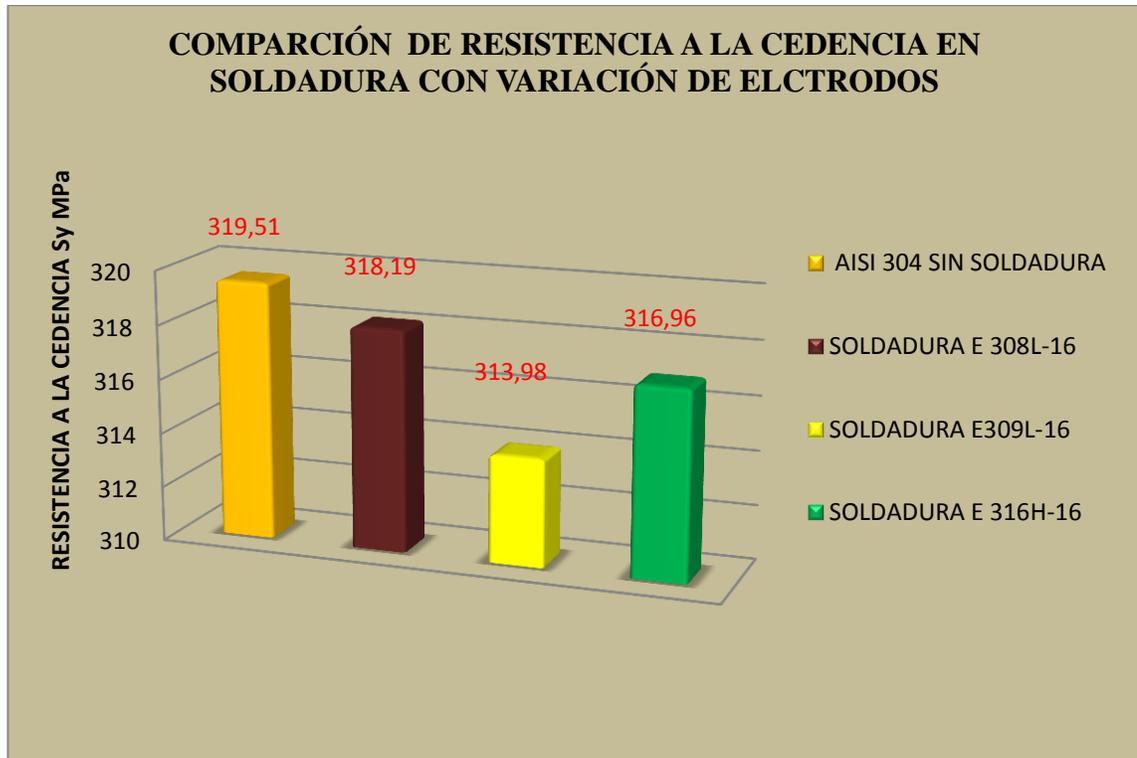


Figura 4. 2.- Comparación de resistencia a la cedencia (S_y), en un proceso de soldadura SMAW con variación de electrodos

(FUENTE: Willian Naula).

En la figura 4.2 Se observan los valores obtenidos, de resistencia a la cedencia en juntas soldadas con variación de electrodos, en acero inoxidable AISI 304 austenítico. Los valores, en soldadura con electrodo AWS E 308L-16 es el que mayor resistencia a la cedencia presenta en una junta soldada es 318.19 MPa el valor intermedio de cedencia se encuentra en el proceso de soldado con electrodo AWS E 316H-16 un promedio de 316.96 MPa y el menor valor a la resistencia de cedencia es 313.98 MPa con electrodo AWS E 309L-16, se relaciona como dato de comparación con probetas sin soldadura en la cual se obtiene un valor de resistencia a la cedencia de 319.51 MPa.

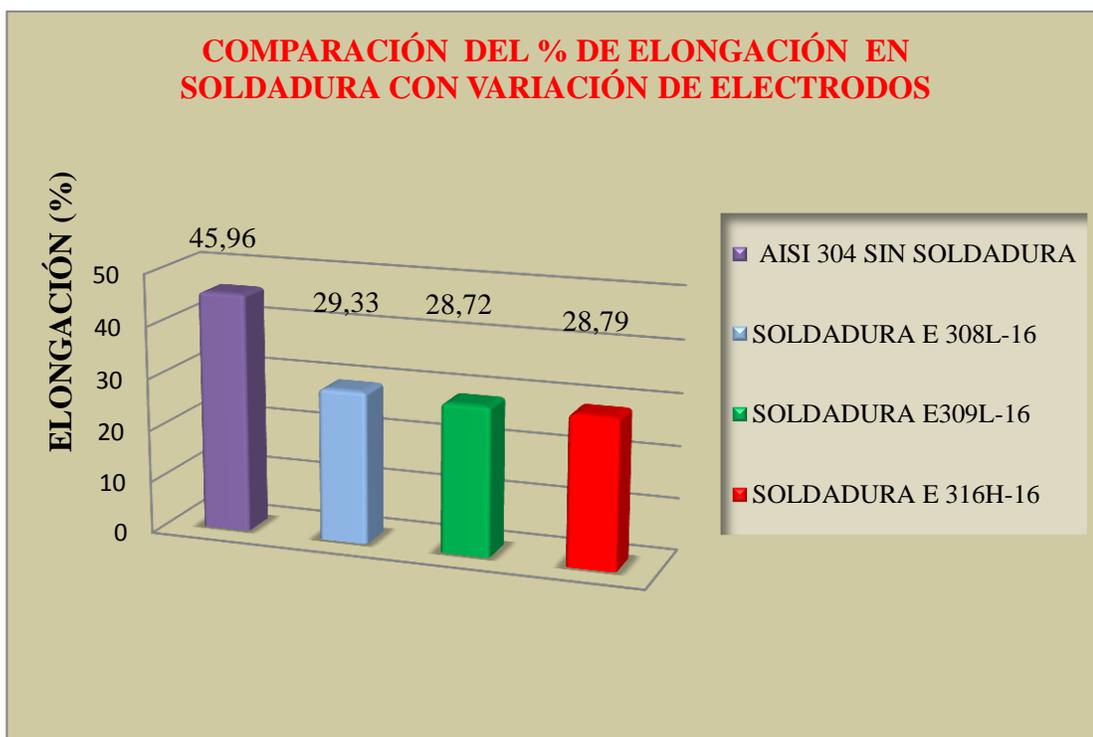


Figura 4. 3.- Comparación del % de elongación, en un proceso de soldadura SMAW con variación de electrodos

(FUENTE: Willian Naula).

En la figura 4.3 Se observan los valores obtenidos, del porcentaje de elongación en juntas soldadas con variación de electrodos, en acero inoxidable AISI 304 austenítico. Los valores, en soldadura descienden considerablemente un 37% en relación a los ensayos realizados en probetas sin soldadura que tienen un promedio de 45,96%, el proceso realizado con electrodo AWS E 308L-16 es el que mayor elongación presenta en una junta soldada de 29,33% , el valor intermedio se encuentra en el proceso de soldado con electrodo AWS E 316H-16 un porcentaje del 28,79% y el mínimo valor obtenido en juntas soldadas es con electrodo AWS E 309L-16, obteniendo un promedio de 28,72% de elongación, es decir en juntas soldadas el material pierde la capacidad de elasticidad.

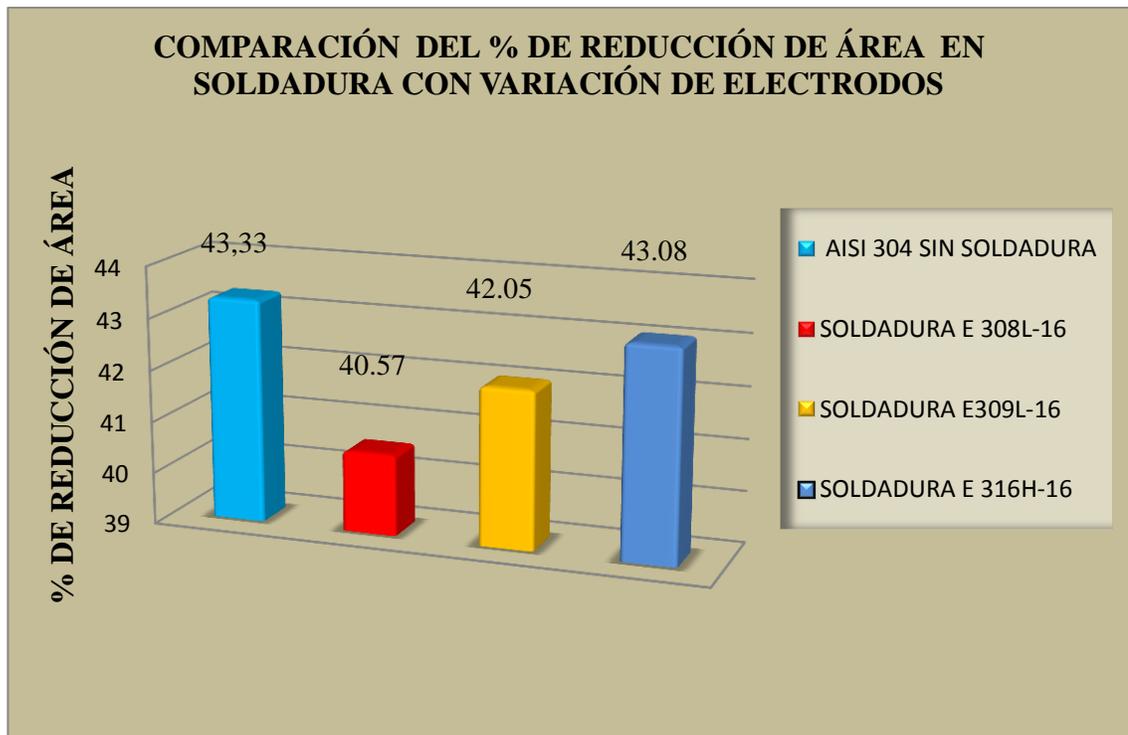


Figura 4. 4.- Comparación del % de reducción de área, en un proceso de soldadura SMAW con variación de electrodos

(FUENTE: Willian Naula).

En la figura 4.4 Se observan los valores obtenidos, del porcentaje de reducción de área en juntas soldadas con variación de electrodos, en acero inoxidable AISI 304 austenítico. Los valores, en soldadura mantienen un rango similar, en relación a los ensayos realizados en probetas sin soldadura que tienen un promedio de 43,33%, el proceso realizado con electrodo AWS E 316H-16 es el que mayor reducción área presenta en una junta soldada de 43,08% , el valor intermedio se encuentra en el proceso de soldado con electrodo AWS E 309L-16 un porcentaje del 42,05% y el mínimo valor obtenido en juntas soldadas es con electrodo AWS E 308L-16, obteniendo un promedio de 40,57% de reducción de área.

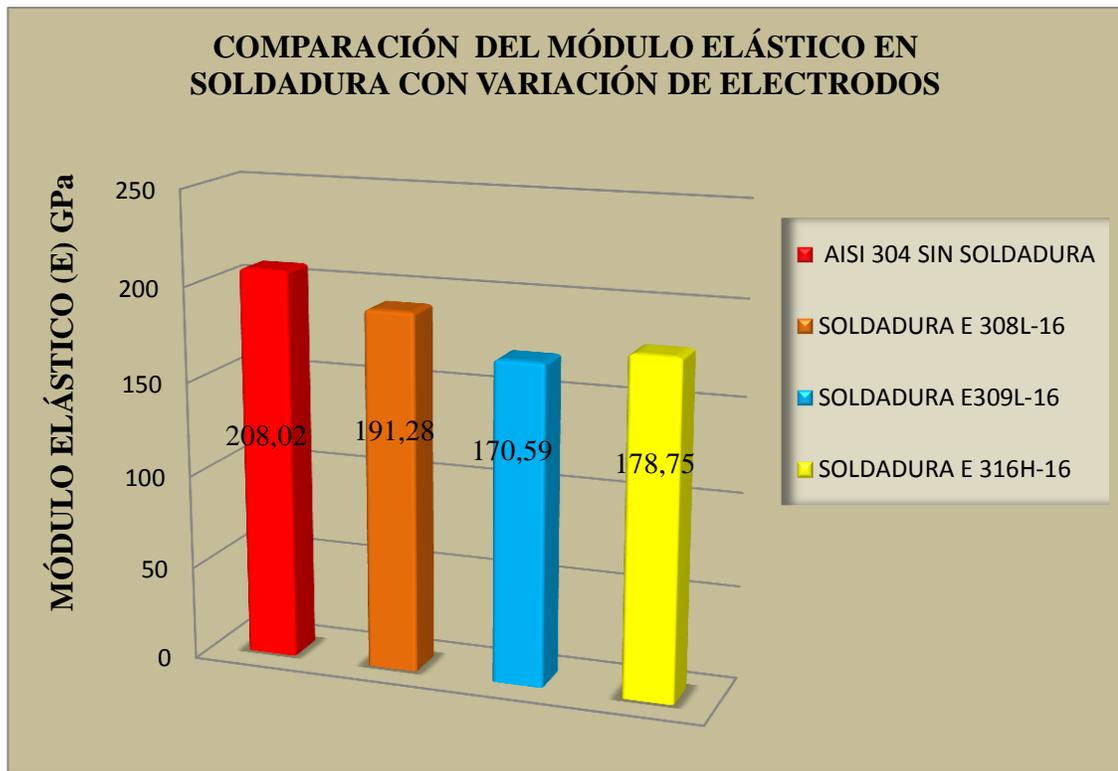


Figura 4. 5.- Comparación del módulo elástico, en un proceso de soldadura SMAW con variación de electrodos
(FUENTE: Willian Naula).

En la figura 4.5 Se observan los valores obtenidos, del módulo de elasticidad de la soldadura con variación de electrodos, en acero inoxidable AISI 304 austenítico. Los valores en soldadura, varían su promedio entre sí, en relación a los ensayos realizados en probetas sin soldadura que tienen un promedio de 208,02 GPa, el proceso realizado con electrodo AWS E 308L-16 es el que mayor módulo elástico presenta en una junta soldada de 191,28 GPa , el valor intermedio se encuentra en el proceso de soldado con electrodo AWS E 316H-16 es de 178.7 5GPa y el mínimo valor obtenido en juntas soldadas es con electrodo AWS E 309L-16, obteniendo el 170,59 GPa en módulo elástico

4.3.2.-INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE DUREZA.

Se efectuó la toma de medidas desde el centro del cordón como punto de origen donde se determinó la máxima dureza a 5 mm de del centro es decir aproximadamente en la zona afectada por el calor

Tabla 4. 5.- Datos obtenidos en los ensayos dureza en acero inoxidable AISI 304 austenítico en juntas soldadas con variación de electrodos.

SOLDADURA CON VARIACIÓN DE ELECTRODOS AWS			
PROBETAS	Dureza HRB		
	(5mm)	(8mm)	(12 mm)
	HRB	HRB	HRB
Metal base sin soldadura	88,0		
Soldadura con electrodo AWS E308L-16	98,0	96,0	91,1
Soldadura con electrodo AWS E309L-16	98,4	98,0	94,0
Soldadura con electrodo AWS E316H-16	97,1	97,0	95,5

FUENTE: Willian Naula

Los ensayos de dureza realizados en juntas soldadas en acero inoxidable AISI 304 austeníticos incrementan la dureza considerablemente en relación al material base.

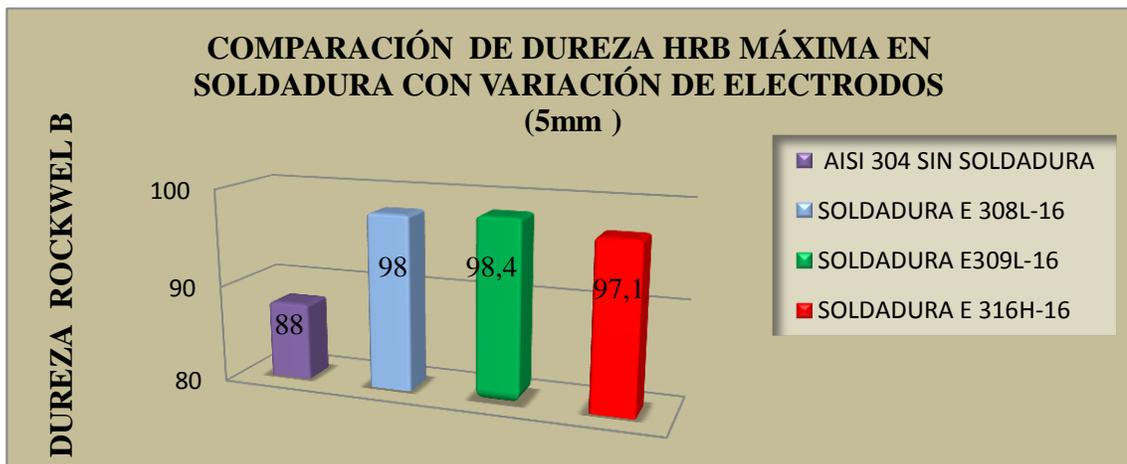


Figura 4. 6.- Comparación de dureza Rockwell b (HRB), en un proceso de soldadura SMAW. A 5 mm del centro del cordón con variación de electrodos

(FUENTE: Willian Naula).

En la figura 4.6 observamos los valores de dureza máximas obtenidas en elementos soldados, a la distancia de (5mm) del centro de la soldadura, con variación de electrodos son valores elevados respecto al metal sin soldadura, el proceso realizado con electrodo AWS E308L-16 la dureza rockwell (b) es de 98 HRB, el valor mayor de dureza está en la soldadura con electrodo AWS E309L-16 esta dureza rockwell (b) es de 98.4HRB y el mínimo valor en juntas soldadas apreciamos con electrodo AWSE 316H-16 la dureza rockwell (b) es de 97.1HRB.

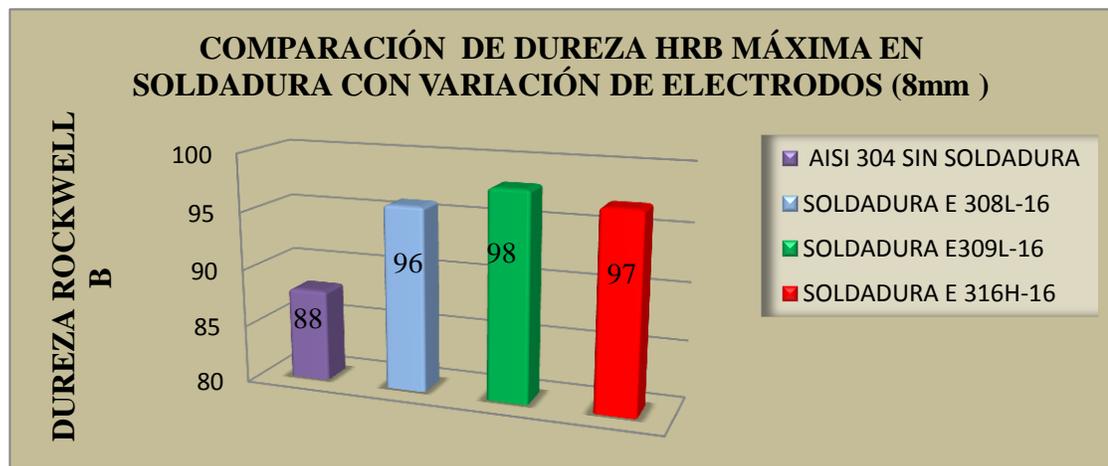


Figura 4. 7.- Comparación de dureza Rockwell b (HRB), en un proceso de soldadura SMAW. A 8 mm del centro del cordón con variación de electrodos
(FUENTE: Willian Naula).

En la figura 4.7 observamos los valores de dureza máximas obtenidas en elementos soldados, a la distancia de (8mm) del centro de la soldadura, con variación de electrodos son valores elevados respecto al metal sin soldadura, el proceso realizado con electrodo AWS E 308L-16 la dureza rockwell (b) es de 96 HRB, el valor mayor de dureza está en la soldadura con electrodo AWSE 309L-16 la dureza rockwell (b) es de 98 HRB y el mínimo valor en juntas soldadas apreciamos con electrodo AWS E 316H-16 esta dureza rockwell (b) es de 97 HRB.



Figura 4. 8.- Comparación de dureza Rockwell b (HRB), en un proceso de soldadura SMAW. A 12 mm del centro del cordón con variación de electrodos
(FUENTE: Willian Naula).

En la figura 4.8 observamos los valores de dureza obtenidas en elementos soldados, a la distancia de (12mm) del centro de la soldadura, con variación de electrodos son valores que se disminuyen a medida que se alejan de la zona soldada, el proceso realizado con electrodo AWS E 308L-16 la dureza rockwell(b) mínima es de 91,1 HRB, el valor mayor de dureza está en la soldadura con electrodo AWS E 316H-16 la dureza rockwell (b) es de 95,5 HRB y el valor medio en juntas soldadas apreciamos con electrodo AWS E 309L-16 esta dureza rockwell(b) es de 94 HRB.

4.3.3.-INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE IMPACTO.

Tabla 4. 6.- Datos obtenidos en los ensayos de impacto en acero inoxidable AISI 304

SOLDADURA CON VARIACIÓN DE ELECTRODOS AWS	
PROBETAS	PROMEDIO DE ENERGÍA DE IMPACTO (J)
Metal base sin soldadura	280,2
Soldadura con electrodo AWS E308L-16	63,0
Soldadura con electrodo AWS E309L-16	50,2
Soldadura con electrodo AWS E316H-16	55,2

FUENTE: Willian Naula

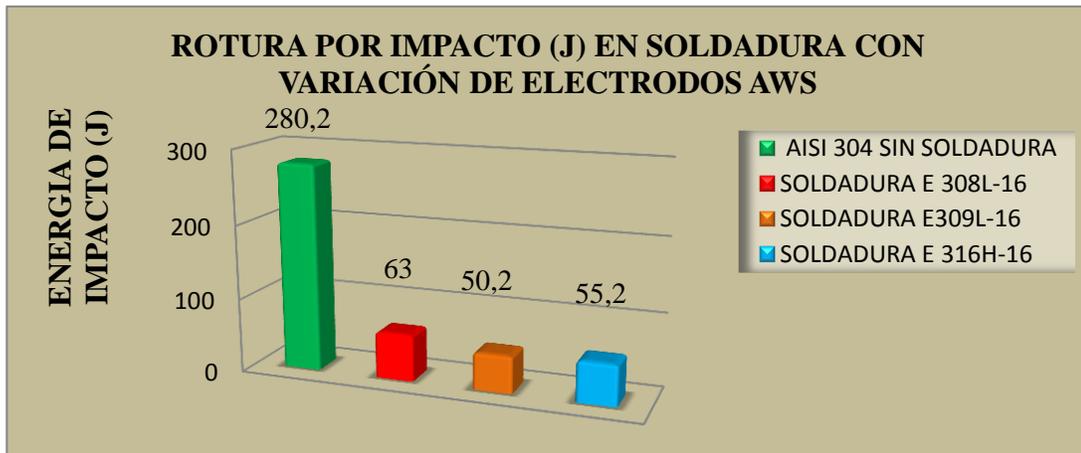


Figura 4. 9.- Comparación de energía de impacto, en un proceso de soldadura SMAW con variación de electrodos
(FUENTE: Willian Naula).

En la figura 4.9 observamos los valores generados en el impacto de rotura en elementos soldados, con variación de electrodos existe una disminución notable de energía, el proceso realizado con electrodo AWS E 308L-16 la energía de impacto de rotura promedio es de 63(J), el valor medio de impacto promedio es 55,2(J) se aprecia en la soldadura con electrodo AWS E 316H-16 y el valor mínimo en juntas soldadas apreciamos con electrodo AWS E 309L-16 es un valor de 50,2(J), es decir al realizar un proceso de soldado en un acero inoxidable AISI 304 austenítico pierde su resistencia al impacto.



Figura 4. 10.- Probetas de acero inoxidable AISI 304 sin aplicar proceso de soldado
(FUENTE: Willian Naula).

Como podemos ver en la figura 4.10 el metal base sin realizar ningún proceso de soldado absorbe mayor energía de impacto promedio de 280,2(J) donde la probeta no se divide en dos piezas conserva la ductilidad.

4.3.4.- INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS DE ENSAYO METALOGRAFICO.

Tabla 4. 7.- Tamaño de grano en juntas soldadas con variación de electrodos en acero inoxidable AISI 304 austenítico.

SOLDADURA CON VARIACIÓN DE ELECTRODOS AWS			
PROBETAS	TAMAÑO DE GRANO ASTM.		
	SOLDADURA	METAL BASE	ZAT
Soldadura con electrodo AWS E308L-16	5,04	4,17	4,13
Soldadura con electrodo AWS E309L-16	5,00	3,68	3,85
Soldadura con electrodo AWS E316H-16	4,40	4,00	3,95

FUENTE: Willian Naula

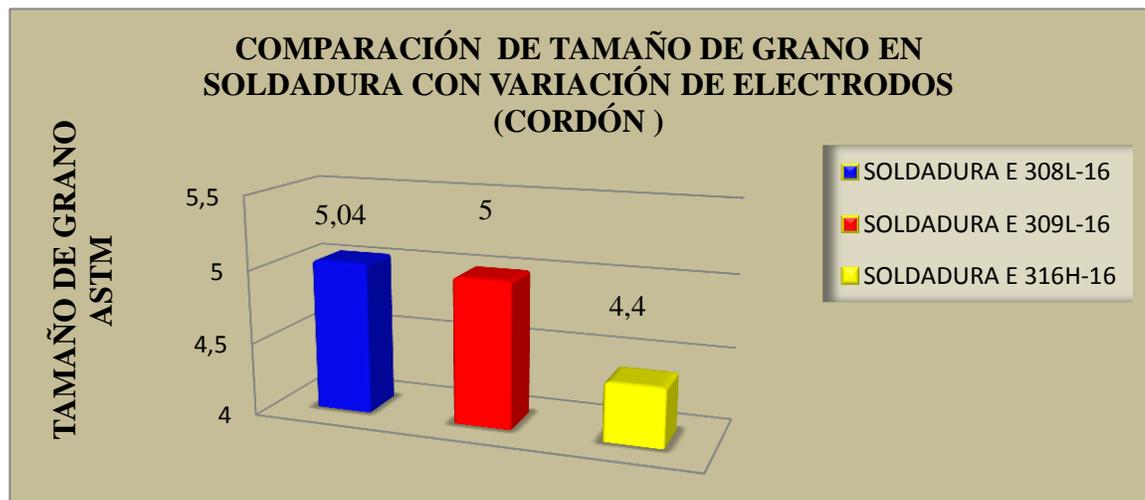


Figura 4. 11.- Comparación de tamaño de grano, en un proceso de soldadura SMAW con variación de electrodos, en depósito de soldadura

(FUENTE: Willian Naula).

En la figura 4.11 nos indican el tamaño de grano ASTM. En el depósito de soldadura (cordón) se incrementa el tamaño de grano por efectos de temperatura y elementos aléates una combinación del electrodo y del metal base, soldado con electrodo AWS E308L-16 presenta un valor máximo de 5.04. Por consiguiente el valor medio se localiza soldado con electrodo AWS E309L-16. Siendo un valor de 5, y el mínimo valor es 4.4 soldados con electrodo AWS E316H-16. En esta zona el incremento de tamaño grano es mayor en relación a la ZAT, la Metal base.

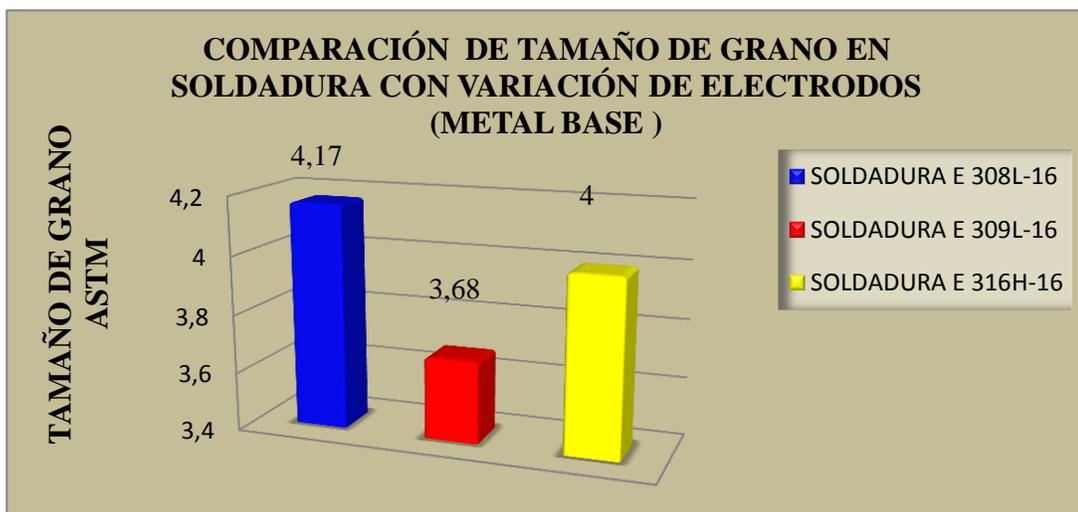


Figura 4. 12.- Comparación de tamaño de grano, en un proceso de soldadura SMAW con variación de electrodos, en metal base de la soldadura

(FUENTE: Willian Naula).

En la figura 4.12 nos indican el tamaño de grano ASTM. En el metal base de la soldadura, soldado con electrodo AWS E308L-16 presenta un valor máximo de 4.17. Por consiguiente el valor medio se localiza soldado con electrodo AWS E316H-16 siendo un valor de 4, y el mínimo valor es 3.68 soldados con electrodo AWS E309L-16. En esta zona tiene un mínimo de variación, entre si el tamaño de grano.

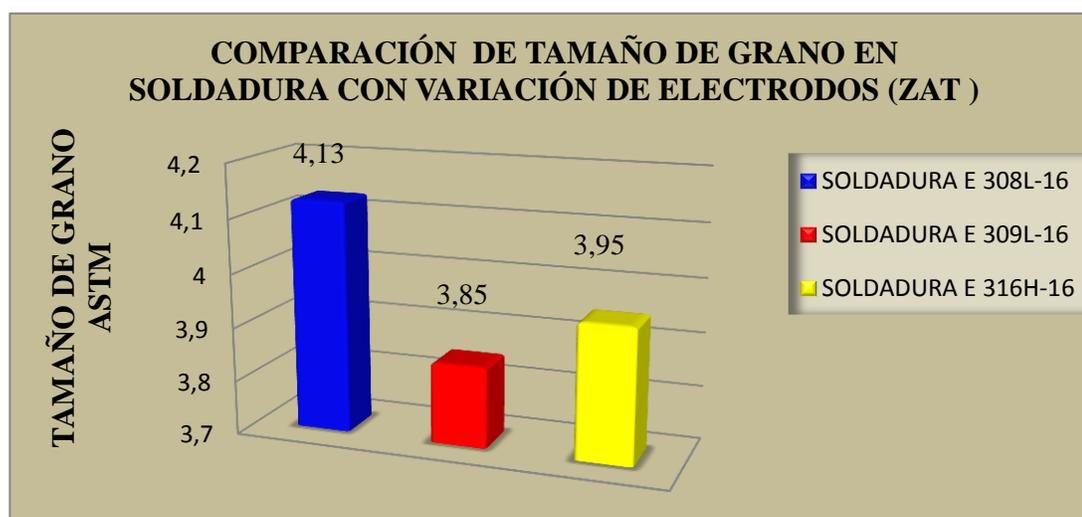


Figura 4. 13.- Comparación de tamaño de grano, en un proceso de soldadura SMAW con variación de electrodos, en la zona afectada por temperatura
(FUENTE: Willian Naula).

En la figura 4.13 nos indican el tamaño de grano ASTM. En la zona afectada por el calor, soldado con electrodo AWS E308L-16 presenta un valor máximo de 4.13. Por consiguiente el valor medio se localiza soldado con electrodo AWS E316H-16 siendo un valor de 3.95, y el mínimo valor es 3.85 soldados con electrodo AWS E309L-16. En esta zona baria un mínimo en relación entre si el tamaño de grano.

Tabla 4. 8.-Porcentaje de austenita en juntas soldadas con variación de electrodos en acero inoxidable AISI 304 austenítico.

SOLDADURA CON VARIACIÓN DE ELECTRODOS AWS		
PROBETAS	PORCENTAJE DE AUSTENITA (%)	
	METAL BASE	ZAT
Soldadura con electrodo AWS E308L-16	86,0	87,7
Soldadura con electrodo AWS E309L-16	85,7	84,1
Soldadura con electrodo AWS E316H-16	85,3	82,9

FUENTE: Willian Naula

Tabla 4. 9.- Porcentaje de ferrita en juntas soldadas con variación de electrodos en acero inoxidable AISI 304 austenítico.

SOLDADURA CON VARIACIÓN DE ELECTRODOS AWS		
PROBETAS	PORCENTAJE DE FERRITA (%)	
	METAL BASE	ZAT
Soldadura con electrodo AWS E308L-16	14,0	12,3
Soldadura con electrodo AWS E309L-16	14,3	15,9
Soldadura con electrodo AWS E316H-16	14,7	17,1

FUENTE: Willian Naula

Tabla 4. 10.- Porcentaje de Austenita y Ferrita en material de aporte (cordón) con variación de electrodos en acero inoxidable AISI 304 austenítico.

SOLDADURA CON VARIACIÓN DE ELECTRODOS AWS		
PROBETAS	PORCENTAJE DE AUSTENITA Y FERRITA EN EL CORDÓN (%)	
	AUSTENITA	FERRITA
Soldadura con electrodo AWS E308L-16	75,9	24,1
Soldadura con electrodo AWS E309L-16	87,7	19,3
Soldadura con electrodo AWS E316H-16	89,0	11,0

Fuente: Willian Naula

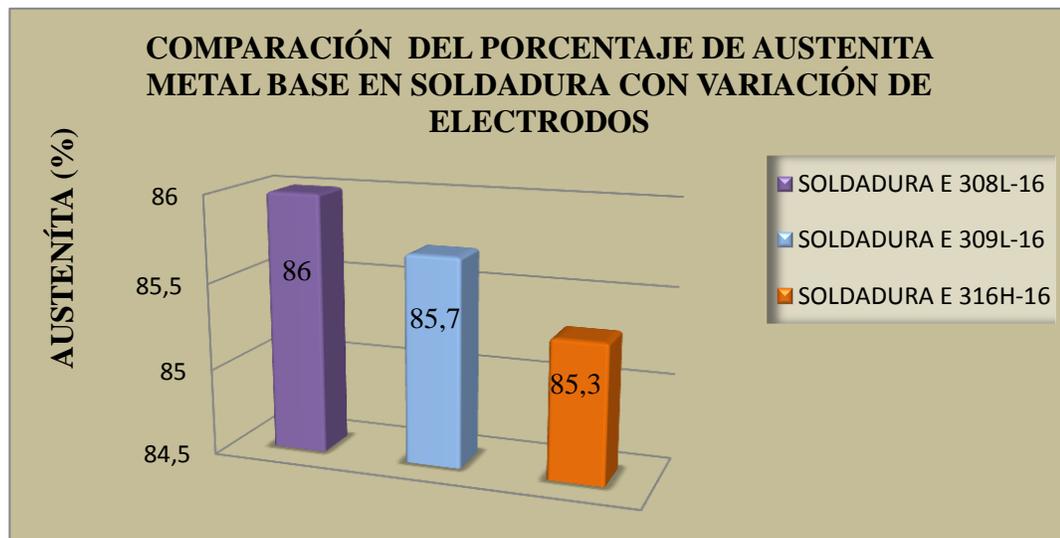


Figura 4. 14.- Porcentaje de austenita en metal base en soldadura

(FUENTE: Willian Naula).

En la figura 4.14 observamos el porcentaje de austenita en el metal base es el aleante mas dominante en este tipo de acero. Podemos apreciar con el proceso de soldado con electrodo AWS E308L-16 existe un porcentaje de austenita del 86% y el mínimo valor del porcentaje de austenita está en 85.3 % es con la aplicación del electrodo AWS E316H-16.

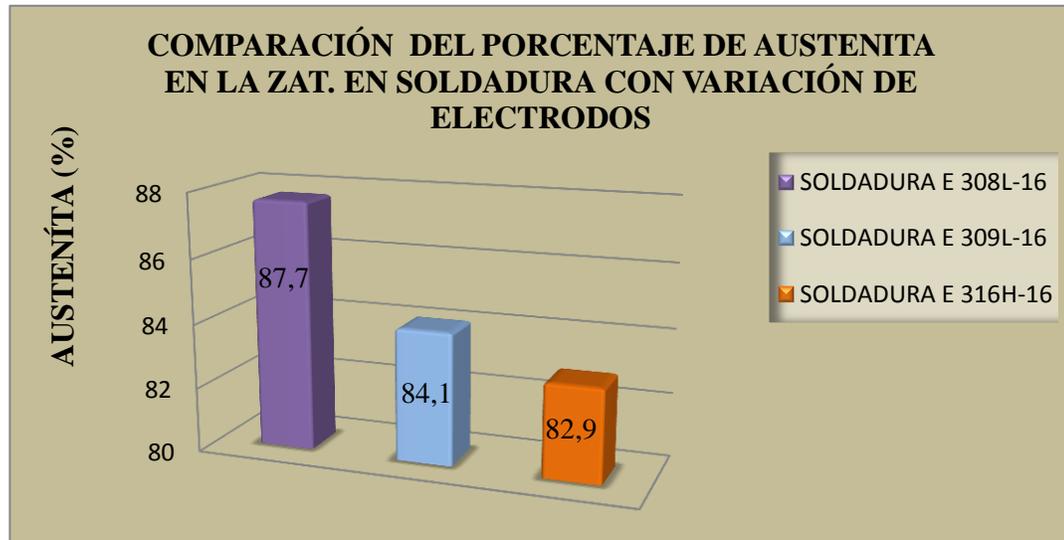


Figura 4. 15.- Porcentaje de austenita en la zona afectada por la temperatura, en un proceso de soldadura SMAW con variación de electrodos

(FUENTE: Willian Naula).

En la figura 4.15 observamos el porcentaje de austenita en la zona afectada por la temperatura, es el aleante más dominante en este tipo de acero. Podemos apreciar con el proceso de soldado con electrodo AWS E308L-16 existe un porcentaje de austenita del 87.7 % y el mínimo valor del porcentaje de austenita está en 82.9 % es con la aplicación del electrodo AWS E316H-16.

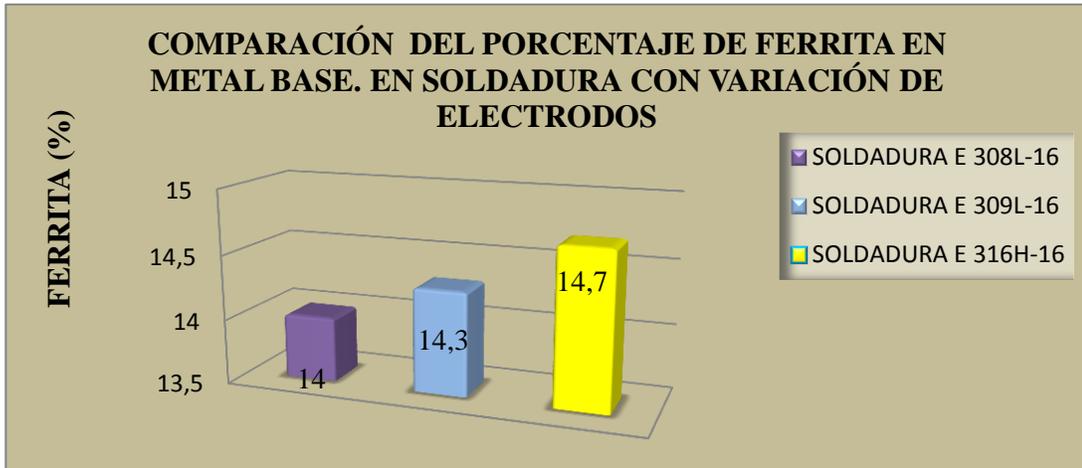


Figura 4. 16.- Porcentaje de ferrita en el metal base, en un proceso de soldadura SMAW con variación de electrodos

(FUENTE: Willian Naula).

En la figura 4.16 observamos el porcentaje de ferrita en el metal base, Es una solución sólida de carbono en hierro alfa. Podemos apreciar con el proceso de soldado con electrodo AWS E316H-16 existe un porcentaje de ferrita del 14.7 % y el mínimo valor del porcentaje de ferrita está en 14 % es con la aplicación del electrodo AWS E308L-16.

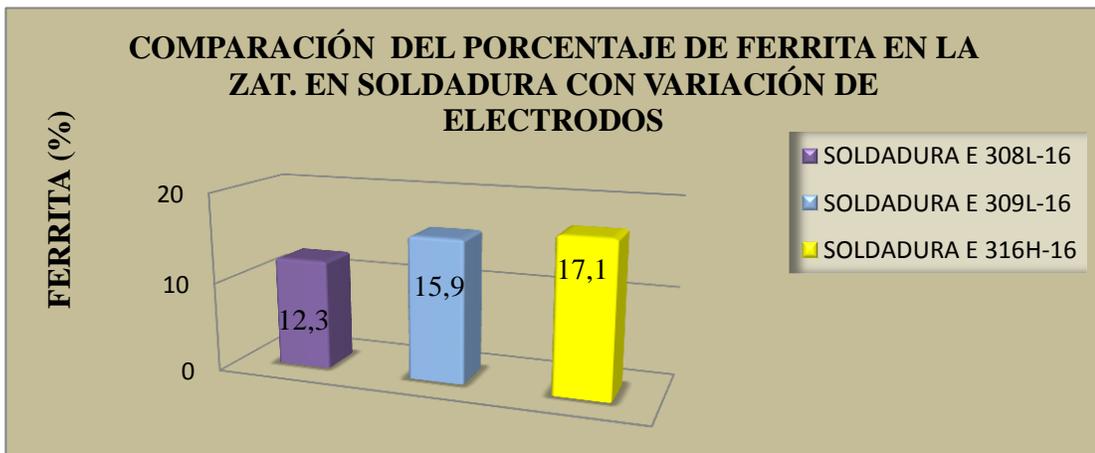


Figura 4. 17.- Porcentaje de ferrita en la zona afectada por la temperatura

FUENTE: Willian Naula.

En la figura 4.17 observamos el porcentaje de ferrita en la zona afectada por la temperatura. Es una solución sólida de carbono en hierro alfa. Podemos apreciar con el proceso de soldado con electrodo AWS E316H-16 existe un porcentaje alto de ferrita del 17.7 % y el mínimo valor del porcentaje de ferrita está en 12.3 % es con la aplicación del electrodo AWS E308L-16.

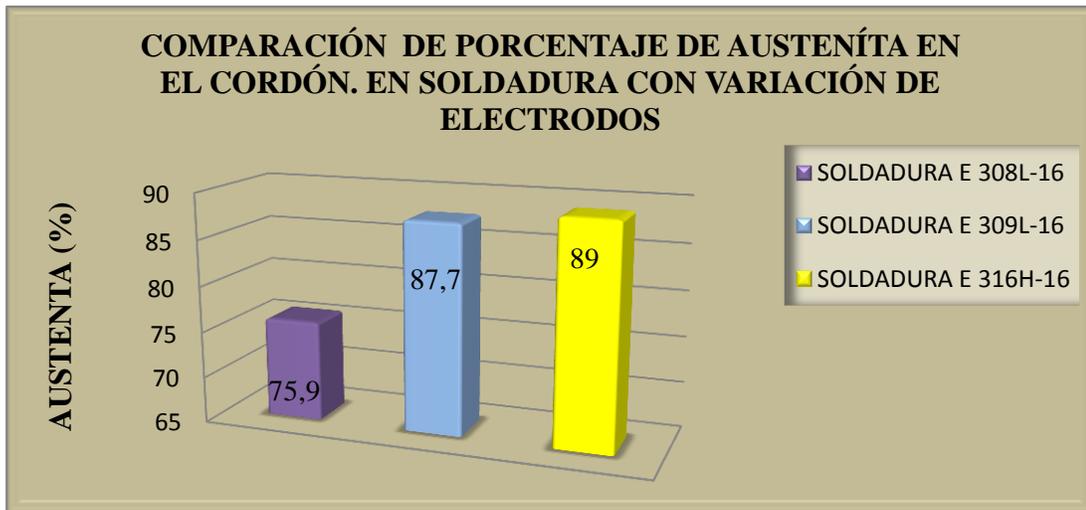


Figura 4. 18.- Porcentaje de austenita en el cordón,

Fuente: Willian Naula

En la figura 4.18 Observamos el porcentaje de austenita en el cordón de soldadura, es el aleante más dominante en este tipo de acero. Podemos apreciar con el proceso de soldado con electrodo AWS E316H-16 existe un porcentaje de austenita del 89 % y el mínimo valor del porcentaje de austenita está en 75.9 % es con la aplicación del electrodo AWS E308-16.

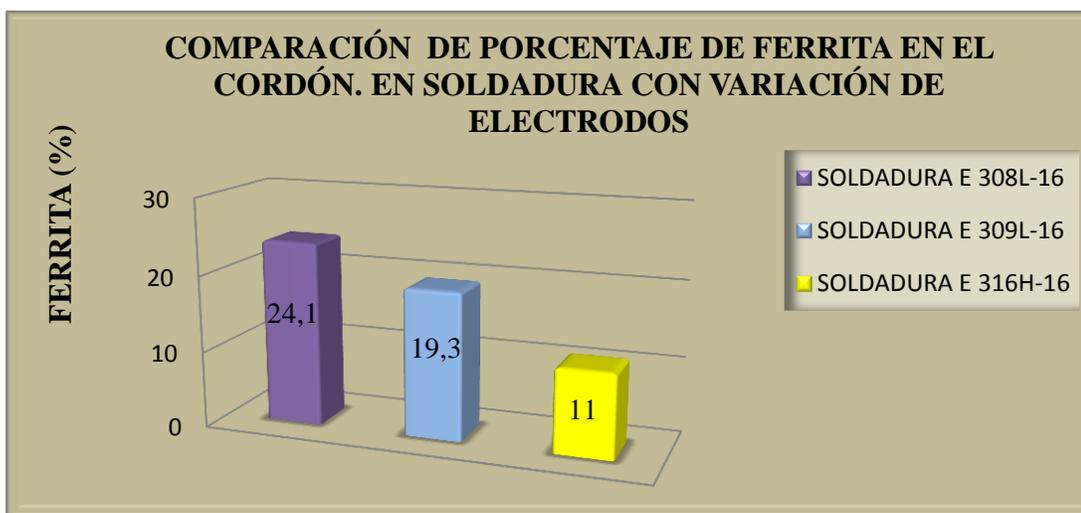


Figura 4. 19.- Porcentaje de ferrita en el cordón

FUENTE: Willian Naula.

En la figura 4.19 observamos el porcentaje de ferrita en el cordón de soldadura. Es una solución sólida de carbono en hierro alfa. Podemos apreciar con el proceso de soldado con electrodo AWS E308L-16 existe un porcentaje alto de ferrita del 24.1 % y el mínimo valor del porcentaje de ferrita está en 11 % es con la aplicación del electrodo AWS E316H-16.

4.4.- VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS.

Luego de haber ensayado y realizado las pruebas de tracción, dureza, impacto, metalográfico, en las probetas preparadas según normas, y lo extraído de las fuentes bibliográficas, se puede hacer una verificación de las hipótesis. En juntas soldadas en un acero inoxidable AISI 304 austenítico soldados con variación de electrodos: AWS E 308L-16, AWS E 309L-16, AWS E 316H-16.

Se comprueba la hipótesis estadísticamente teniendo la tabla que refleja los datos de los ensayos realizados en el estudio.

Tabla 4. 11.- Datos tomados de los ensayos de tracción en soldadura de acero inoxidable AISI 304 (datos observados).

SOLDADURA CON ELECTRODO AWS E 308L-16					
PROBETAS	Sut MPa	Sy MPa	% de elongación	% de reducción de área	Módulo elástico GPa.
Ensayo 1	632,45	308,82	29,49	33,81	198,16
Ensayo 2	623,33	334,61	28,44	44,04	208,6
Ensayo 3	615,97	308,82	28,93	41,66	152,22
Ensayo 4	653,44	302,84	30,41	44,39	198,79
Ensayo 5	633,33	335,88	29,42	38,96	198,67
SOLDADURA CON ELECTRODO AWS E 309L-16					
Ensayo 1	614,5	308,82	28,93	40,08	137,05
Ensayo 2	609,99	334,61	28,69	41,28	196,22
Ensayo 3	616,07	308,82	28,69	47,97	209,12
Ensayo 4	620,88	308,82	28,4	39,33	120,26
Ensayo 5	613,72	308,82	28,93	41,63	190,31
SOLDADURA CON ELECTRODO AWS E 316H-16					
Ensayo 1	648,34	308,82	32,38	52,48	203,23
Ensayo 2	619,21	308,82	27,26	44,56	209,92
Ensayo 3	635	327,35	29,42	42,71	161,51
Ensayo 4	608,72	308,82	26,96	34	191,79
Ensayo 5	625,68	330,98	27,95	41,68	127,33

FUENTE: Willian Naula

Tabla 4. 12 Datos tomados de los ensayos de dureza e impacto en soldadura de acero inoxidable AISI 304 (datos observados).

ENSAYOS DE DUREZA(RHB)			ENSAYO DE IMPACTO (J)		
E308	E309	E316	E308	E309	E316
95	96	94,8	60	46	55
98	98,8	97,1	67	53	55
96	98	97	58	52	55
91,1	94	95,5	73	53	58
89,1	92,2	94,1	57	47	53

FUENTE: Willian Naula

4.4.1.- FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS.

Ho (hipótesis nula): Con el análisis en variación de electrodos de un proceso de soldadura SMAW en acero inoxidable AISI 304 austenítico mejorará las propiedades mecánicas.

H1 (hipótesis alternativa): Con el análisis en variación de electrodos de un proceso de soldadura SMAW en acero inoxidable AISI 304 austenítico no mejorará las propiedades mecánicas.

Calcular la frecuencia esperada o teórica.

Tabla 4. 13.- Se determinan los totales de las frecuencias observadas y se obtiene la frecuencia esperada.

FRECUENCIA OBSERVADA			
	ELECTRODOS		
PROBETAS	Sut E308	Sut E309	total
1	198,16	208,87	407,030
2	208,6	206,85	415,450
3	152,22	206,96	359,180
4	198,79	209,93	408,720
5	198,67	207,51	406,180
total	956,44	1040,12	1996,56
FRECUENCIA ESPERADA			
1	194,99	212,04	
2	199,02	216,43	
3	172,06	187,12	
4	195,79	212,93	
5	194,58	211,60	

FUENTE: Willian Naula

Para realizar el cálculo de la frecuencia esperada se aplica la regla de tres.

Dónde:

O: Es la frecuencia observada.

E: Es la frecuencia esperada.

$$E = \frac{3158,52 \cdot 1246,95}{6233,68} = 631,81$$

Calculo del grado de libertad.

Para calcular el grado de libertad, hay que restar el número de filas a 1 y el número de columnas a, y finalmente multiplicando esta resta.

$$(2-1)(5-1) = 4$$

Calculo de Chi cuadrado.

Se utiliza la siguiente formula.
$$\chi^2 = \sum \frac{(fo-fe)^2}{fe}$$

Tabla 4. 14.- Cálculo de Chi

PROB Y ELCTR	O	E	(O-E)	(O-E)^2	(O-E)^2/E
PRO1 E308	632,45	631,81	0,64	0,41	0,0006
PRO1 E309	614,50	615,14	-0,64	0,41	0,0007
PRO2 E308	623,33	624,91	-1,58	2,48	0,0040
PRO2 E309	609,99	608,41	1,58	2,48	0,0041
PRO3 E308	615,97	624,26	-8,29	68,69	0,1100
PRO3 E309	616,07	607,78	8,29	68,69	0,1130
PRO4 E308	653,44	645,68	7,76	60,21	0,0933
PRO4 E309	620,88	628,64	-7,76	60,21	0,0958
PRO5 E308	633,33	631,86	1,47	2,15	0,0034
PRO5 E309	613,72	615,19	-1,47	2,15	0,0035
					$\chi^2 = 0,4283$

FUENTE: Willian Naula

Comparar con la tabla al nivel de significación fijado y el grado de libertad.

Es el último paso que nos queda es acudir a la tabla de distribución χ^2 de Pearson y ver el valor para $P = 0,05$ es decir, una probabilidad del 95% y un margen de error del 5%.

En este caso para $P = 0,05$ y con un grado de libertad de 4 y esto me da 9,488.

Tabla 4. 15.- Datos calculados del Chi cuadrado de los ensayos tracción, dureza, e Impacto.

JUNTAS	Sut	Sy	% de Elong	% de R. Área	M. elástico	Dureza	Impacto
E 308 VS E309L	0,428	1,254	0,048	1,327	1,259	0,026	0,718
E 308 VS E316H	2,057	1,656	0,384	5,151	0,447	0,159	0,770
E 309 VS E316H	0,884	2,271	0,294	2,417	1,436	0,058	0,323

FUENTE: Willian Naula

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

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

En este caso el valor de χ^2 calculado es menor que el valor teórico 9.488, es decir no se rechaza la hipótesis nula. Comprobamos que la hipótesis es aceptable

Podemos decir que el Análisis en variación de electrodos en un proceso de soldadura SMAW en acero inoxidable mejora las propiedades mecánicas.

Tabla 4. 16.- Distribución de χ^2 Pearson

Distribución χ^2 de Pearson con n grados de libertad.
 Se tabula $\chi_{n,\alpha}^2$, tal que $P(X \geq \chi_{n,\alpha}^2) = \alpha$, con $X \in \chi_n^2$.

n	α									
	0'995	0'990	0'975	0'950	0'900	0'100	0'050	0'025	0'010	0'005
1	0'0000	0'0002	0'0010	0'0039	0'0158	2'706	3'841	5'024	6'635	7'879
2	0'0100	0'0201	0'0506	0'1026	0'2107	4'605	5'991	7'378	9'210	10'597
3	0'0717	0'1148	0'2158	0'3518	0'5844	6'251	7'815	9'348	11'345	12'838
4	0'2070	0'2971	0'4844	0'7107	1'0636	7'779	9'488	11'143	13'277	14'860
5	0'4118	0'5543	0'8312	1'1455	1'6103	9'236	11'070	12'832	15'086	16'750
6	0'6757	0'8721	1'2373	1'6354	2'2041	10'645	12'592	14'449	16'812	18'548
7	0'9893	1'2390	1'6899	2'1673	2'8331	12'017	14'067	16'013	18'475	20'278
8	1'3444	1'6465	2'1797	2'7326	3'4895	13'362	15'507	17'535	20'090	21'955
9	1'7349	2'0879	2'7004	3'3251	4'1682	14'684	16'919	19'023	21'666	23'589
10	2'1558	2'5582	3'2470	3'9403	4'8652	15'987	18'307	20'483	23'209	25'188
11	2'6032	3'0535	3'8157	4'5748	5'5778	17'275	19'675	21'920	24'725	26'757
12	3'0738	3'5706	4'4038	5'2260	6'3038	18'549	21'026	23'337	26'217	28'300
13	3'5650	4'1069	5'0087	5'8919	7'0415	19'812	22'362	24'736	27'688	29'819
14	4'0747	4'6604	5'6287	6'5706	7'7895	21'064	23'685	26'119	29'141	31'319
15	4'6009	5'2294	6'2621	7'2609	8'5468	22'307	24'996	27'488	30'578	32'801
16	5'1422	5'8122	6'9077	7'9616	9'3122	23'542	26'296	28'845	32'000	34'267
17	5'6973	6'4077	7'5642	8'6718	10'085	24'769	27'587	30'191	33'409	35'718
18	6'2648	7'0149	8'2307	9'3904	10'865	25'989	28'869	31'526	34'805	37'156
19	6'8439	7'6327	8'9065	10'117	11'651	27'204	30'144	32'852	36'191	38'582
20	7'4338	8'2604	9'5908	10'851	12'443	28'412	31'410	34'170	37'566	39'997
21	8'0336	8'8972	10'283	11'591	13'240	29'615	32'671	35'479	38'932	41'401
22	8'6427	9'5425	10'982	12'338	14'042	30'813	33'924	36'781	40'289	42'796
23	9'2604	10'196	11'689	13'091	14'848	32'007	35'172	38'076	41'638	44'181
24	9'8862	10'856	12'401	13'848	15'659	33'196	36'415	39'364	42'980	45'558
25	10'520	11'524	13'120	14'611	16'473	34'382	37'652	40'646	44'314	46'928
26	11'160	12'198	13'844	15'379	17'292	35'563	38'885	41'923	45'642	48'290
27	11'808	12'879	14'573	16'151	18'114	36'741	40'113	43'195	46'963	49'645
28	12'461	13'565	15'308	16'928	18'939	37'916	41'337	44'461	48'278	50'994
29	13'121	14'256	16'047	17'708	19'768	39'087	42'557	45'722	49'588	52'335
30	13'787	14'954	16'791	18'493	20'599	40'256	43'773	46'979	50'892	53'672

FUENTE: www.dm.uba.ar/materias/estadistica

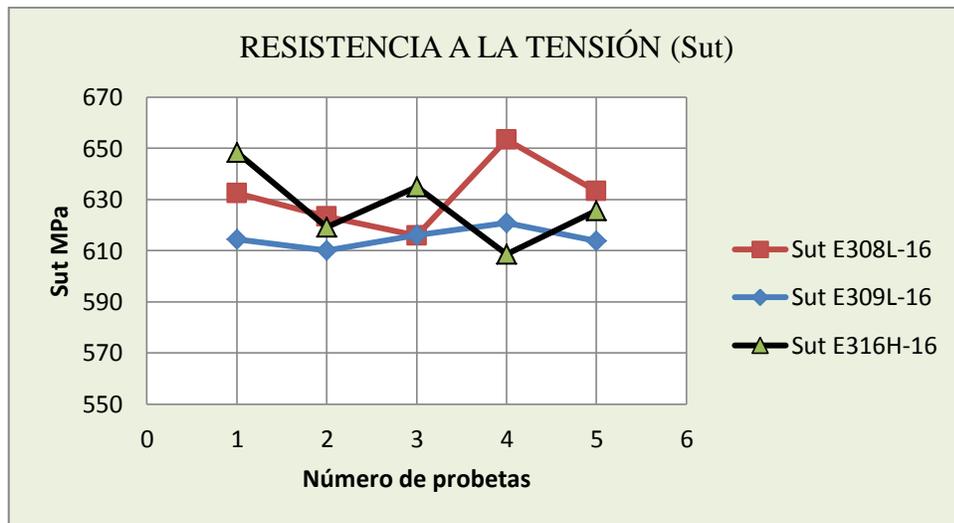


Figura 4. 20.-Relación de la resistencia a la tensión

FUENTE: Willian Naula.

La resistencia de tracción (Sut) en juntas soldadas es una parte muy importante para para elementos de máquinas. El que mayor tracción soporta en un elemento soldado es con electrodo AWS E 308L-16 como se puede observar en la figura 4.20, este electrodo se caracteriza por tener un menor porcentaje de carbono.

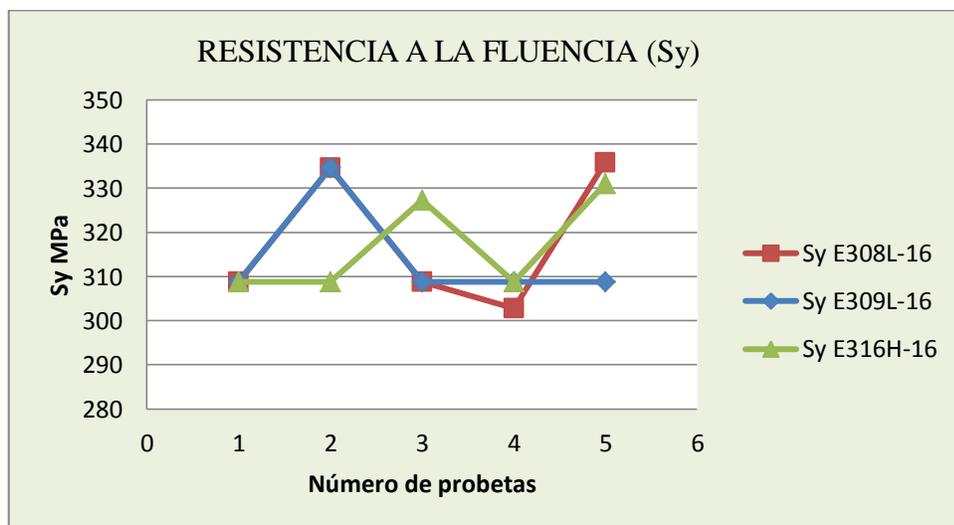


Figura 4. 21.-Relación de la resistencia a la fluencia

Fuente: Willian Naula.

De igual forma la resistencia a la cedencia (S_y) toma un valor considerable en juntas soldadas. La que mayor resistencia a la cedencia presenta es en soldadura con electrodo AWS E 308L-16 como se puede observar en la figura 4.21.

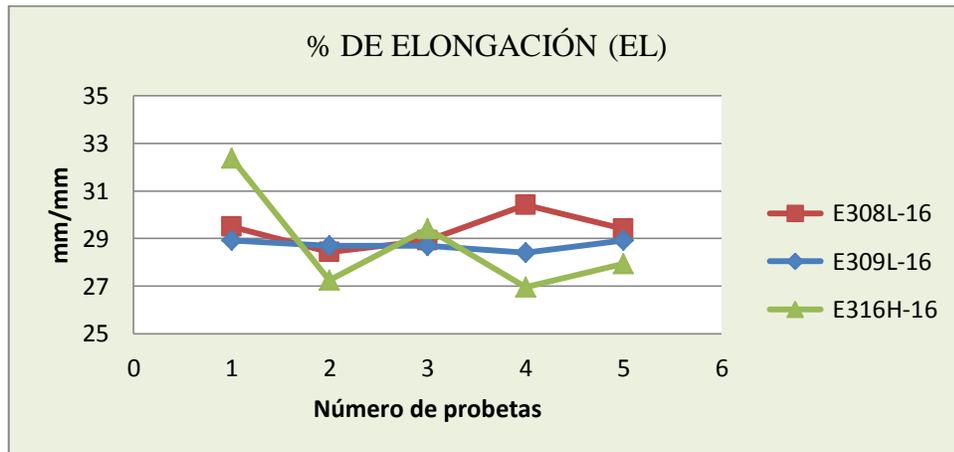


Figura 4. 22.- Relación de la elongación

Fuente: Willian Naula.

El porcentaje de elongación en juntas soldadas. Los valores, en soldadura descienden considerablemente, el proceso realizado con electrodo AWS E 308L-16 es el que mayor elongación presenta en una junta soldada, como se muestra en la figura 4.22.

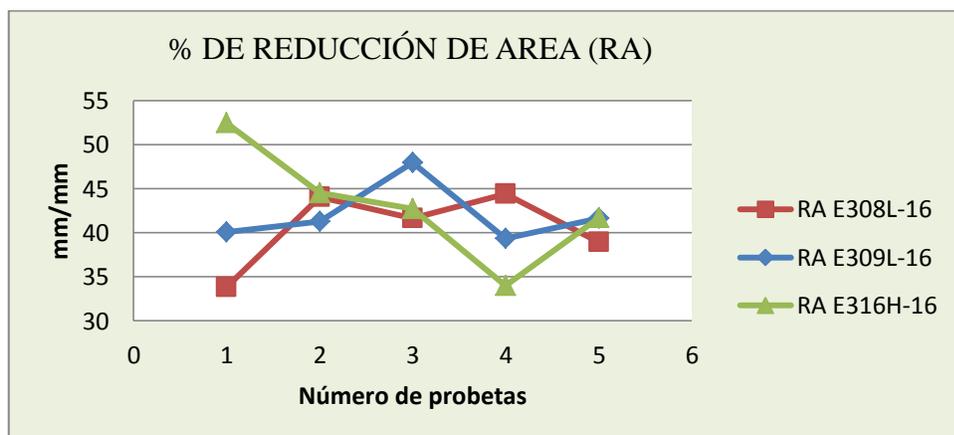


Figura 4. 23.- Relación del porcentaje de reducción de área

Fuente: Willian Naula

El porcentaje de reducción de área en juntas soldadas es muy importante ya que el material demuestra resistencia a un esfuerzo, el porcentaje de reducción de área sucede a menor cantidad de carbono, existe menor reducción de área y en cuanto se incrementa el carbono la reducción de área se incrementa, el mínimo valor obtenido es con electrodo AWS E 308L-16. Como se muestra en la figura 4.23.

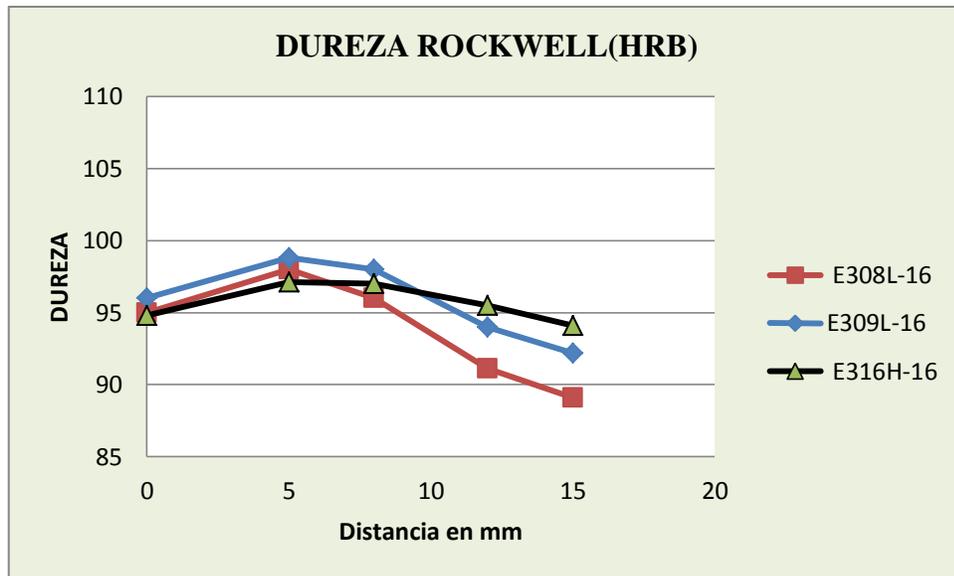


Figura 4. 24.- Relación de dureza en juntas soldadas

Fuente: Willian Naula

Los valores de dureza máximas obtenidas en elementos soldados, se presentan a la distancia de (5mm) del centro de la soldadura, los mínimos valores a la distancia de (8mm) del centro de la soldadura y de (12mm) del origen descienden paulatinamente acercando hacia la dureza del metal base.

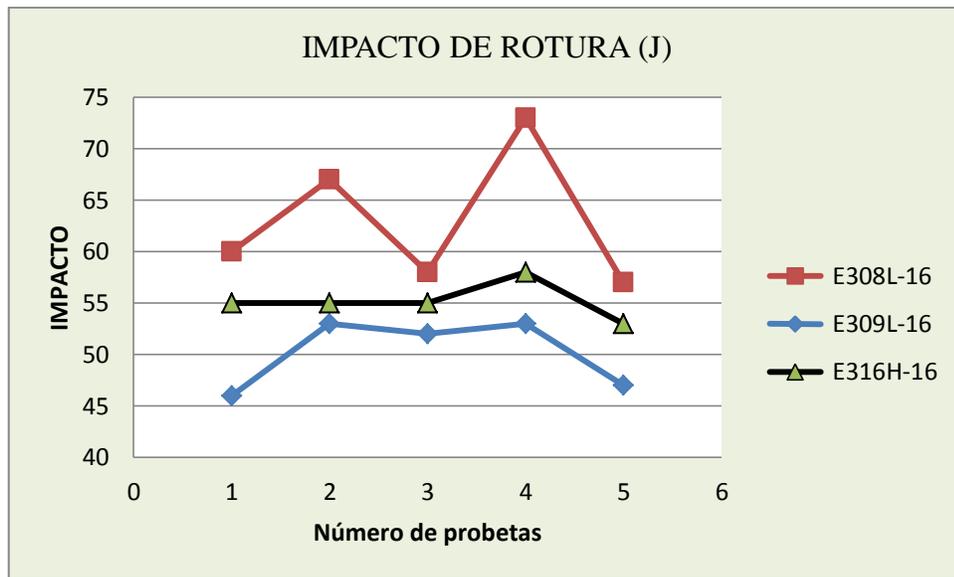


Figura 4. 25.- Relación de dureza en juntas soldadas

Fuente: Willian Naula

Los valores generados en el impacto de rotura en elementos soldados, la energía de impacto de rotura incrementa con la disminución de carbono en una junta soldada como se puede apreciar en la figura 4.25.

El tamaño de grano ASTM se incrementa a medida que se disminuye el porcentaje de carbono en el electrodo. El tamaño de grano en el metal depositado se incrementa con electrodo AWS E308L-16 los menores tamaños de granos es cuando el porcentaje de carbono se incrementa en una junta soldada.

El contenido de austenita en el Metal Base y en la ZAT. Incrementa cuando el porcentaje de carbono es menor, esto nos permite entender que se incrementa la resistencia a la tracción, cedencia y elongación. Es blanda, dúctil, tenaz y no magnética.

El contenido de ferrita en el Metal Base y en la ZAT. Disminuye cuando el porcentaje de carbono es menor en electrodos, es la fase más blanda y dúctil de los aceros

El contenido de austenita en el cordón se disminuye a medida que el porcentaje de carbono en el electrodo, es menor, es decir se disminuye la resistencia a la tracción, cedencia y elongación.

El contenido de ferrita en el cordón de soldadura se incrementa cuando el porcentaje de carbono es menor en el electrodo.

En todo este análisis de las probetas se considera como las mejores condiciones en propiedades mecánicas, con el electrodo AWS E 308L-16 por tener un menor porcentaje de carbono, la resistencia a la tracción y la cedencia se mantienen en los valores muy aproximados con los del material base sin proceso de soldadura, en este tipo de electrodos es muy importante por tener un mayor porcentaje de elongación en juntas soldadas, al tener el menor porcentaje de reducción de área, el módulo elástico es inferior a la del metal sin soldadura, es decir en la junta soldada tiende a ser más elástica. La resistencia al impacto es mayor cuando el porcentaje de carbono es menor en una junta soldada. El tamaño de grano aumenta esto nos ayuda a ser la junta soldada mejorado. la dureza incrementa en el material base y en la soldadura se disminuye esto ayuda a ser el cordón de soldadura más dúctil.

Con este tipo de electrodo mejora considerablemente las propiedades mecánicas en las juntas soldadas, evitando la rotura en cordones de soldadura y material base por tener el porcentaje de carbono de 0.04% y ayuda mucho a la elasticidad de juntas soldadas.

CAPÍTULO V.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

5.1.- CONCLUSIONES.

Una vez terminado todos los ensayos en el análisis de variación de electrodos en un proceso de soldadura **SMAW** en acero inoxidable AISI 304 austenítico se puede concluir los aspectos más relevantes.

- En un proceso de soldadura SMAW con variación de electrodos se determina el mejor comportamiento de las propiedades, al soldar con electrodo AWS E308L-16, posee un núcleo solido de tipo austenítico.
- Se puede decir que dentro de las aplicaciones de soldadura, está orientado al desarrollo y aplicación, ajustándose a las normas establecidas para asegurar la calidad del producto a realizar
- En una junta soldada se aprecia, tres tipos de microestructuras, la primera podemos determinar en el cordón que está compuesta de un 75,9 % de austenita y 24.1% de ferrita, la segunda microestructura se encuentra en la ZAT que tiene un 87,7% de austenita y un 12,3% de ferrita, la tercera se observa en el metal base de la junta soldada con un valor de 86% de austenita y un 14% de ferrita, esto se detalla de la junta soldada con electrodo E 308L-16

- La transformación en la microestructura afecta el tamaño de grano en una junta soldada, al aumentar el tamaño de grano en una junta es muy importante ya que ayuda a tener mayor elasticidad, en elementos soldados.
- En un proceso de soldadura, se incrementa la dureza en la zona afectada por el calor (ZAC) dando esto como resultado que el elemento, puede fallar en un momento, se disminuye la dureza en el centro del cordón es decir no existe riesgo alguno de romperse en la soldadura.
- El ensayo Rockwell es uno de los más utilizados, porque no constituye una gran pérdida de material, este tipo de ensayo es fácil de llevar a cabo, porque no implica mayores cálculos matemáticos y el resultado de cada ensayo se obtiene de la directa lectura del dial.
- La resistencias a la tracción varían de acuerdo al grado de carbono, que contenga el electrodo a mayor cantidad de carbono menor es la resistencia a la tracción en una junta soldada, a menor porcentaje de carbono será mayor la resistencia a la tracción.
- Para determinar el comportamiento de cada una de las probetas soldadas, se hace aplicando una carga axial constante controlada, normalmente en forma de tensión, en una probeta basada en normas.
- Los ensayos de impacto nos da una idea muy clara de cómo afecta el calor, al realizar un proceso de soldado en un elemento, ya que el elemento pierde su ductilidad y se incrementa la fragilidad.
- Las probetas realizadas el proceso de soldado al aplicar el ensayo Charpy se rompen completamente en la muesca, lo que no sucede con probetas sin ser aplicado el proceso de soldadura, estas probetas toman una deformación considerable y absorbe gran cantidad de energía de impacto.

- En un elemento soldado la tenacidad se disminuye, ya que este fenómeno se puede apreciar en el ensayo de tracción con mayor claridad, cuando la probeta alcanza su deformación máxima y se rompe, al final el elemento tiene una longitud deformada

5.2.-RECOMENDACIONES:

- Antes de llevar a cabo el proceso de soldadura por el proceso SMAW. Se recomienda realizar un chequeo del estado en que se encuentran los electrodos para evitar problemas al soldar, que obliguen a retirar el cordón realizado y tener que volver a hacer.
- Al realizar el proceso de soldado debe tener muy en cuenta el equipo de protección personal (EPP) para evitar lesiones, quemaduras, atrapamientos de las manos.
- Se debe utilizar gafas transparentes al momento de realizar la soldadura, porque la escoria del cordón al enfriarse, se desprende con mayor facilidad en diferentes direcciones la cual puede ocasionar lesiones muy graves en la vista.
- Al trabajar con este tipo de acero inoxidable es muy importante la limpieza superficial de las piezas para evitar inclusiones en el cordón de soldadura que afecte la calidad del mismo.
- Para realizar los cortes de las probetas debe utilizarse sierras sin que se hayan utilizados en otros tipos de metal y acero para evitar la contaminación en la superficie.
- Para realizar el pulido de las juntas soldadas también debe utilizarse, piedras de amolar que no haya sido ocupadas con otro tipo de aceros, para evitar incrustaciones de partículas extrañas en el acero inoxidable.

- Evitar hacer con puntas de aceros al momento de señalar o rayar, ya que estas dejan partículas impregnadas la cual ocasionan, principios de oxidación en el acero inoxidable. Para este tipo de ensayos es recomendable generar un rayador con punta de tungsteno muy afilada.
- Para desprender la escoria en la junta soldada, se debe utilizar herramientas adecuadas como: cepillos de alambre del mismo acero, cinceles de acero inoxidable, y en especial gratas circulares, para realizar una mejor limpieza en el cordón de soldadura.
- Para realizar el maquinado de las probetas se debe tomar muy en cuenta la velocidad de corte y avance, para evitar el recalentamiento y con esto no se alteren las propiedades en las juntas soldadas.
- Al montar las probetas en la máquina universal para el ensayo de tracción, utilizar guantes de cuero para evitar cortes en la piel, golpes al ser martillado las mordazas para la fijación de la probeta.
- Retirar la carga que se encuentre aplicada, en la presa antes de montar la probeta ya que esta ayudara a no tener valores erróneos, en los ensayos de tracción y la toma de datos será más eficaz, para tener una mejor gráfica del esfuerzo deformación.
- Una vez que se vea la probeta una pronunciada reducción de la sección, en cualquier parte de la probeta y continua reduciendo a medida que aumenta la carga hasta su rotura, debe retirar el deformimetro para evitar daños en el equipo.
- Para realizar el ensayo de impacto debe tener mucho cuidado, en fijar el péndulo para evitar lesiones severas en las extremidades, ponerse en una posición muy adecuada para elevar la masa, la cual puede ocasionar una lesión en la columna.

- Colocar el dial en el punto adecuado (encerar) antes de montar la probeta y dejar caer el péndulo para comprobar su funcionamiento de la máquina.
- Montar la probeta con la muesca al contrario de la carga de impacto, y dejar que el péndulo se estabilice por su propio peso, para una mejor toma de datos generados en el ensayo.
- Para comenzar otro ensayo nunca forzar las oscilaciones del péndulo para frenarlo, dejar que se amortigüen libremente las oscilaciones y esto evita la descalibración de la máquina y se aprovecha al máximo el tiempo.
- Retirar a todas las personas que se encuentren a su entorno, ya que el péndulo tiene una masa muy elevada, y las probetas al ser impactadas se dispersa con gran velocidad, donde un impacto en una persona de cualquiera de estos dos elementos mencionados causaría graves daños.
- Se debe tener especial cuidado en que la mediciones de dureza muestren resultados dentro de los límites permitidos, de no ser así se realizar el ensayo con otra escala u otro método de medición de dureza.
- Cada vez que se realice cambio de indentador la primera lectura obtenida no será tomada en cuenta, esto para permitir el asentamiento del porta indentador.
- En el ensayo de dureza se realizarán entre 5 y 10 indentaciones según ASTM E-384 por probeta, teniendo en cuenta que la separación del borde de la probeta y de una huella al borde de la otra debe ser mayor a 2,5 veces el diámetro de la huella.
- Para el ensayo metalográfico las probetas deben estar bien planas y pulidas, pues una inclinación hace notar zonas claras y zonas oscuras, además un pulido

inadecuado muestra rayaduras que vistas al microscopio se amplifican sin dejar ver claramente la microestructura.

- Antes de realizar el ataque se debe limpiar y desengrasar con alcohol y algodón la cara de la probeta y luego se debe secar con aire.
- Transcurrido el tiempo de ataque se debe tomar la probeta y lavar con agua o alcohol e inmediatamente se debe secar con aire. En el caso que se le lave con agua es conveniente enjuagar rápidamente la probeta con alcohol y luego secarla con aire, esto previene la formación de manchas de óxidos.
- La muestra se debe manipular en todo momento con pinzas por dos razones fundamentales: para no tener inconvenientes con el reactivo y para no tocar la muestra con las manos ya que esto se revestirá de grasa la superficie de la misma.

CAPÍTULO VI

6.- PROPUESTA.

6.1.- DATOS INFORMATIVOS.

Todos los parámetros analizados anteriormente en el análisis de variación de electrodos en un proceso de soldadura **SMAW** en acero inoxidable AISI 304 austenítico, es importante tomar en cuenta, que todo los electrodos tienen una función específica en el campo de la industria metalmeccánica, en nuestro estudio podemos enmarcar el tipo de electrodo que nos brinda la mejor característica en una junta soldada de un acero austenítico, siendo así el tipo de electrodo más ideal, por sus características el AWS E 308L-16. En este proceso se obtiene la variación de las propiedades mecánicas, poco significativas de la resistencia a la tracción, cedencia, reducción de área y el módulo de elasticidad y dureza.

El siguiente estudio se busca un enfoque en el área de materiales con el fin de que encuentren intereses en juntas soldadas en acero inoxidable austeníticos, estudiantes y personas que se involucren en el estudio de soldadura. Hacer llegar al lector la gran importancia que tiene el campo de la soldadura en la industria, como se verá en esta obra, siguiendo que esta rama de la industria sea mucho más productiva, rápida y precisa. Se intenta reflejar la gran importancia de la mecánica en la industria de nuestros días para llamar la atención de aquellos jóvenes con inquietudes técnicas y animarles a decidir su futuro a esta rama de la industria que absorbe mucha mano de obra en todos sus niveles, desde lo más básico a los más técnicos, y si es de su interés estoy seguro que le apasionara.

Debido a que se ha determinado un tipo de electrodo adecuado para obtener una relación de propiedades mecánicas en las juntas soldadas en acero inoxidable austenítico, para un material y electrodo específico, constituyéndose además una fuente de información y un punto de apoyo para para realizar estudios a futuro en aceros inoxidables de otra serie.

Las pruebas para la toma de datos se los realizaron en los laboratorios de materiales de ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, Campus Huachi, Cantón Ambato, Provincia del Tungurahua; los equipos disponibles en el laboratorio para ensayar las probetas de la presente investigación se detallan: la máquina universal de 30 Ton. Para el ensayo de tracción, los bancos de lijas, pulidora de paño, microscopio para el análisis metalográfico, durómetro para ensayar la dureza de las juntas, péndulo para ensayo de impacto de rotura. Son equipos de mucha importancia para realizar dicha investigación.

6.2.- ANTECEDENTES DE LA PROPUESTA.

El estudio en la soldadura de acero inoxidables austeníticos, existen investigaciones relacionadas en comparación del tipo de proceso, pero no se encuentran el análisis de variación de electrodos en un proceso de soldadura SMAW en acero inoxidable AISI 304 austenítico. En la variación de electrodos se puede determinar el porcentaje del carbono, que contiene cada tipo de electrodo y la soldabilidad que contengan cada uno de ellos.

Una vez culminado los ensayos se ha podido concluir que el electrodo AWS E308L-16 presenta una mejor compatibilidad, en las propiedades mecánicas de las juntas soldadas, esto se puede apreciar mediante las pruebas realizadas en probetas basadas en normas.

6.3.- JUSTIFICACIÓN.

El proceso de soldadura SMAW en juntas soldadas de acero inoxidable austenítico AISI 304, con electrodo AWS E 308L-16 presenta una mejor compatibilidad, en las

propiedades mecánicas de las juntas soldadas, la cual podemos aplicar una soldadura con mayor garantía en elementos de máquinas, ahorrando tiempo, economía en industrias de producción.

En la selección de electrodos inoxidables, se debe considerar que se requiere un porcentaje de Ferrita balanceado para garantizar una adecuada resistencia al agrietamiento, al impacto y a la corrosión de acuerdo a las condiciones de servicio a las cuales estará expuesta la pieza soldada.

Los electrodos de aceros inoxidables que contienen níquel son indispensables en la construcción y reparación de equipos para la industria de procesos. Este tipo de electrodos se usan por sus excelentes propiedades tales como: resistencia a la corrosión, dureza a baja temperatura y buenas propiedades a alta temperatura.

Facilitar un medio de alcance para análisis de las juntas soldadas en acero inoxidable austenítico. Se pondrá más interés para los estudiantes de Ingeniería Técnica para futuros estudios con un material y electrodo diferente al realizado en la presente investigación.

6.4.- OBJETIVOS.

6.4.1.- OBJETIVOS GENERALES.

Establecer un procedimiento para realizar ensayos destructivos en juntas soldadas de Acero inoxidable AISI 304 empleando electrodo AWS E308L-16.

6.4.2.- OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Evaluar la resistencia a la tracción, dureza, impacto en juntas soldadas de acero inoxidable AISI 304 con electrodo AWS E308L-16.

- Determinar la microestructura en juntas soldadas de acero inoxidable AISI 304 con electrodo AWS E 308L-16.
- Realizar los procedimientos de las propiedades mecánicas, tracción, dureza,
- impacto y análisis metalográfico.

6.4.3.- PROCEDIMIENTO.

Para realizar un procedimiento de ensayos destructivos en propiedades mecánicas en Acero inoxidable AISI 304 empleando electrodo AWS E308L-16, tendrá la siguiente secuencia.

1.- Cálculos matemáticos para ensayos de tracción.

- a).- Cálculo de esfuerzo ingenieril máximo a la fractura.
- b).- Cálculo de esfuerzo verdadero máximo a la fractura.
- c).- Cálculo de resistencia a la cedencia.
- d).- Cálculo de porcentaje de elongación o ductilidad.
- e).- Cálculo de porcentaje de reducción de área.
- f).- Cálculo del módulo elástico.

1.1.- Metodología del ensayo de tracción

a).- Adquisición del material.

El material para el proceso se encuentra en el mercado industrial a un costo elevado.

b).- Preparación de juntas a ser soldadas.

Se realizara en juntas a tope con ranura se puede aplicar amoladora o una máquina herramienta, el material donde se va a soldar, en los extremos se realiza un bisel, con un ángulo de 30 grados en cada extremo según normas AWS D 1, 6.

c).- Equipos de protección personal (EPP).

Es muy indispensable el uso ya que evita lesiones en el proceso.

d).- Proceso de soldado.

Se utilizara electrodo de acero inoxidable AWS E308L-16.

e).- Proceso de ensayo de tracción.

Se utiliza una prensa de capacidad de 30 Toneladas, un deformiméetro y la probeta preparada.

f).- Evaluación de resultados.

Se procede a toma de medidas de las probetas sufridas cambios después del ensayo.

2.- Análisis de dureza.

a).- Preparación de la probeta de la junta soldada.

Una vez terminado el proceso debe ser enfriado a temperatura ambiente, rectificar la cara y la raíz de la soldadura, mediante una máquina herramienta.

b).- Calibración del durómetro.

Antes de realizar el ensayo debe ser calibrado el durómetro, mediante un patrón para evitar la adquisición de datos erróneos.

c).- Realización del ensayo de dureza.

Para realizar este ensayo la separación entre borde de la otra debe ser mayor a 2,5 veces el diámetro del indentador.

d).- Apreciación de resultados.

3.- Ensayos de impacto.

a).- Preparación de la probeta.

Se realiza el maquinado para que las caras estén paralelas entre si y poder realizar la muesca para una mejor toma de datos.

b).- Encerado del péndulo.

c).- Realización el ensayo de impacto.

d).- Apreciación de resultados

4.- Análisis metalográfico.

a).- determinación del tamaño de grano.

Se determina el tamaño de grano en el cordón de soldadura, ZAT y en metal base

b).- determinación del porcentaje de los componentes microestructurales.

Se determina los componentes microestructurales en el cordón de la junta, metal base y en la zona afectada por el calor.

c).- Preparación de las probetas.

d).- Pulido de la superficie.

e).- Aplicación del reactivo.

f).- Apreciación de resultados metalográficos.

6.5.- ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD.

El presente análisis se puede determinar que es factible realizar ya que podemos conseguir con facilidad en el mercado nacional, la materia prima y materiales adecuados para estos tipos de estudios, existe una amplia información bibliográfica y proyectos relacionados con soldadura, basados en normas internacionales, se puede conseguir en nuestro medio personal calificado en soldadura con mayor facilidad, ya que nuestro país está entre los países petroleros donde se utiliza la mano de obra técnica en soldadura.

La Universidad Técnica de Ambato nos presta una gran parte de servicios técnicos, para los análisis de los materiales en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, podemos disponer de herramientas y equipos muy importantes para realizar la siguiente propuesta la cual podemos describir: soldadoras para el proceso SMAW, amoladoras, la máquina universal de 30 Ton. Para ensayo de tracción, equipos muy complementarios para realizar ensayos metalográficos, microscopio, pulidora, bancos de lijas, reactivos químicos los más necesarios, la máquina de péndulo para el ensayo de impacto, el durómetro con sus aditamentos completos. Se encuentran disponibles para iniciar una investigación. La parte más fundamental para el presente trabajo, es el

recurso humano técnico, Tutor, Autor, ayudantes de laboratorio de materiales ayudaron al encaminamiento de la presente propuesta.

6.6.- FUNDAMENTACIÓN.

De acuerdo a la fundamentación adquirida en el capítulo II y basadas en normas ASTM. Se procede a los cálculos, donde se encuentran formulas, recomendaciones para determinar los resultados de los ensayos de resistencia a la tracción, dureza, impacto de rotura, metalográfico en juntas soldadas.

Los cálculos realizados para los ensayos de juntas soldadas, en acero inoxidable austenítico AISI 304 con electrodo AWS E 308L-16 se enfocan en el siguiente orden para una mejor interpretación de los resultados.

6.6.1.- CÁLCULOS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN.

Resistencia a la tracción se ensaya basándose en la norma ASTM E 8-00 (ANEXO B1).

Tabla 6. 1.- Datos iniciales de una probeta basados en normas ASTM. Material base y tipo de electrodo para. Ensayo de Tracción.

DATOS DE LA JUNTA SOLDADA EN ACERO INOXIDABLE AUSTENÍTICO 304.	
PROBETA.	4
TIPO DE ELECTRODO.	AWS E 308L-16.
ACERO.	AISI 304.
ANCHO INICIAL (W_0).	38.1 mm
ESPESOR INICIAL (T_0).	5 mm
LONGITUD INICIAL CALIBRADA.	203.2 mm

FUENTE: Willian Naula

Tabla 6. 2.- Resultados adquiridos del Ensayo de Tracción.

RESULTADO OBTENIDOS EN ENSAYOS DE TRACCIÓN			
Carga máxima (Pmax.).	12693.5 Kg	Deformación máxima.	61.8 mm
Longitud inicial (L_0).	203,2 mm	Longitud final (L_f).	265 mm
Espesor inicial (e_0).	5 mm	Espesor final (e_f).	3.3 mm
Ancho inicial (W_0)	38.1 mm	Ancho final (W_f)	32.1 mm

FUENTE: Willian Naula.

6.6.1.1.- CÁLCULO DE ESFUERZO INGENIERIL MÁXIMO A LA FRACTURA.

Área inicial.

$$A_o = bxh$$

$$A_o = 5 \times 38.1$$

$$A_o = 190.5 \text{ mm}^2$$

Área final.

$$A_f = bxh$$

$$A_f = 3.3 \times 32.1$$

$$A_f = 105.93 \text{ mm}^2$$

Esfuerzo máximo.

$$\sigma = \frac{P}{A_o}$$

$$\sigma = \frac{12693,5 \text{ Kg}}{190.5 \text{ mm}^2}$$

$$\sigma = 66.63 \text{ Kg/mm}^2$$

El esfuerzo ingenieril (s). Se obtiene de los datos carga P, deformación ΔL . Se obtiene dividiendo la carga P, en cada momento, entre el área original.

Deformación ingenieril (e). Se obtiene dividiendo la elongación ΔL , en cada instante entre la longitud de calibrada L_0

La curva de esfuerzo-deformación ingenieril no presenta una indicación precisa de los esfuerzos y deformaciones verdaderos del material por que se basan en las dimensiones, área y longitud original de la probeta.

6.6.1.2.- CÁLCULO DE ESFUERZO VERDADERO MÁXIMO A LA FRACTURA.

Longitud instantánea.

Área instantánea.

Esfuerzo verdadero máximo.

$$L_{inst} = \frac{A_0 L_0}{A_{inst}}$$

$$A_{inst} = \frac{A_0 L_0}{L_{inst}}$$

$$\sigma = \frac{P}{A_{inst}}$$

$$L_{inst} = \frac{190.5 * 203,2}{158.51}$$

$$A_{inst} = \frac{190.5 * 203,2}{244.2}$$

$$\sigma = \frac{12693,5 \text{ Kg}}{158.51 \text{ mm}^2}$$

$$\sigma = 80.08 \text{ Kg/mm}^2$$

$$L_{inst} = 244.2 \text{ mm}$$

$$A_{inst} = 158.51 \text{ mm}^2$$

Los valores reemplazados en las formulas son tomadas de la carga máxima del ensayo.

Las dimensiones cambian constantemente en el curso del ensayo y el esfuerzo verdadero en un momento es mucho mayor que el presentado por la curva ingenieril, la curva del esfuerzo verdadero es la más importante en las operaciones de formado o de manufactura por que describe las necesidades de la carga real del material.

El esfuerzo verdadero (σ). Se define como la carga P, dividida entre el área real o instantánea.

La deformación verdadera (ϵ). Se define con la longitud calibrada L, en cada momento dividiendo entre la longitud original L_0 , esta división multiplicada por el (ln).

6.6.1.3.- CÁLCULO DE LA RESISTENCIA A LA CEDENCIA.

El esfuerzo de cedencia o de fluencia es donde termina la porción lineal en este caso se determina el esfuerzo, realizando un desplazamiento del origen de la curva una cantidad específica de deformación que normalmente es de 0.001 o 0.002 mm (0.1 o 0.2 en X) %. Se traza entonces una línea recta paralela a la porción lineal de la curva. El esfuerzo de cedencia se obtiene en la intersección de la línea desplazada con la curva.

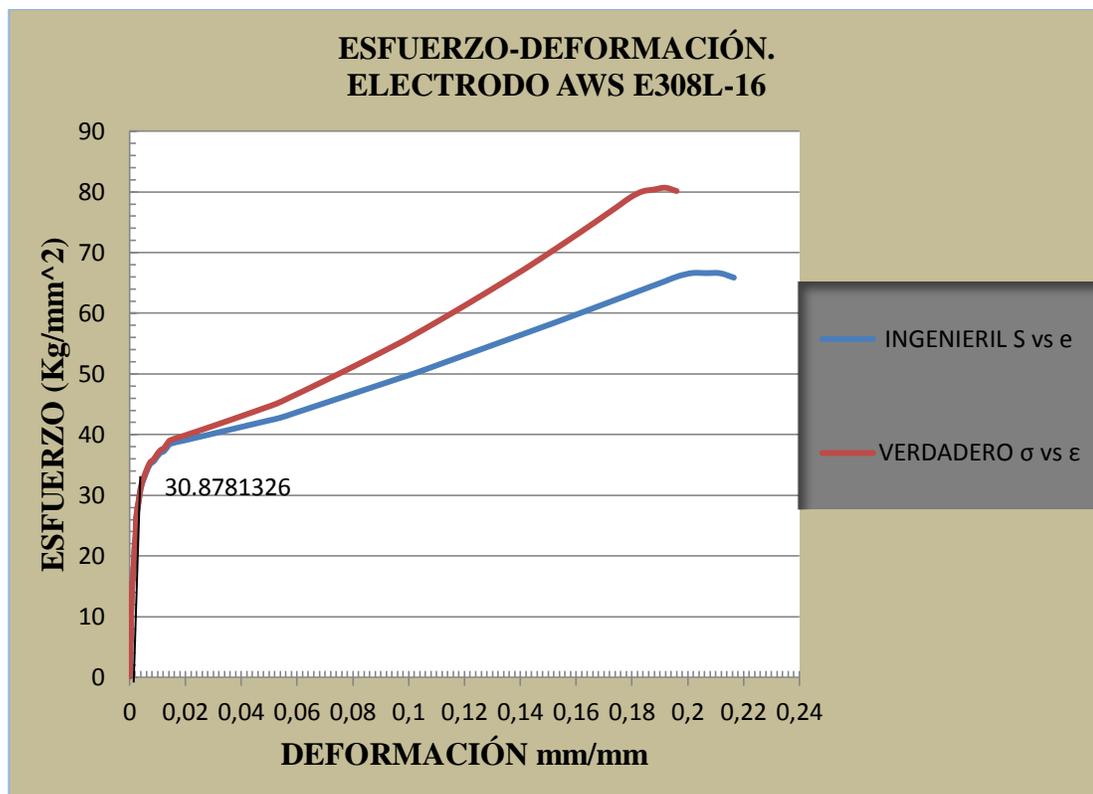


Figura 6. 1.- Proceso para encontrar resistencia a la cedencia al 0.2%, desplazando del origen en la probeta 2.4 en junta soldada en acero inoxidable AISI 304 con electrodo AWS E308L-16.

(FUENTE: Willian Naula).

En la Figura 6.1 se observa que la resistencia a la cedencia (S_y) en junta soldada en acero inoxidable. Se encuentra en un intervalo de 30.87 Kg/mm².

6.6.1.4.- CÁLCULO DEL PORCENTAJE DE ELONGACIÓN O DUCTILIDAD.

$$\%EL = \left(\frac{L_f - L_0}{L_0} \right) * 100$$

$$\%EL = \left(\frac{265 - 203.2}{203.2} \right) * 100$$

$$EL = 30.41\%$$

6.6.1.5.- CÁLCULO DEL PORCENTAJE DE REDUCCIÓN DE ÁREA.

$$\%RA = \left(\frac{A_0 - L_f}{A_0} \right) * 100$$

$$\%RA = \left(\frac{(38.1 * 5) - (32.1 * 3.3)}{(38.1 * 5)} \right) * 100$$

$$\%RA = \left(\frac{84.57}{190.5} \right) * 100$$

$$RA = 44.39\%$$

6.6.1.6.- CÁLCULO DEL MÓDULO ELÁSTICO O DE YOUNG.

El módulo de Young se calculó basándose en la norma ASTM E111:10 (ANEXO B2).

El valor de módulo de elasticidad de juntas soldadas en acero inoxidable austenítico, soldado con electrodo AWS E308L-16 los valores de módulo elástico obtenidos por los

métodos estadísticos de regresión lineal y de los cuadrados mínimos, presentando en la tabla, según recomendaciones de la ASTM E 111-10.

El módulo de elasticidad o también conocido como el módulo de Young, es aquel que nos ayuda a calcular los cambios dimensionales en una construcción para poder distinguir entre el esfuerzo y la deformación.

Y = tensión axial aplicada, y

X = deformación correspondiente.

En términos de la Pi carga medida y de medición original transversal A_0 área y longitud calibrada L_0 .

K = número de X, Y

El módulo de Young,

$$E = \frac{(\sum(XY) - K\bar{X}\bar{Y})}{(\sum X^2 - K\bar{X}^2)}$$

$$\bar{Y} = \frac{\sum Y}{K} = \text{media de los valores de Y}$$

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{K} = \text{media de los valores de X}$$

$$E = \frac{\left(\frac{\Delta p}{A_0}\right)}{\left(\frac{\Delta c}{L_0}\right)}$$

Δp = incremento de fuerza.

A_0 = área de sección transversal original.

Δc = incremento de extensión.

L_0 = longitud de referencia inicial.

6.6.2.- CÁLCULOS DEL ENSAYO DUREZA.

Este método se logra definir por medio de la norma ASTM E 18:00 (ANEXO B3)

Datos:

Método dureza Rockwell B

Identador esfera de acero diámetro 1.58mm

Carga aplicada (F): 980 N = 100 Kg.

Tabla 6. 3.- Resultados adquiridos en el ensayo de dureza para las juntas soldada de acero inoxidable austenítico AISI 304 soldada con electrodo AWS E-308L-16.

Di (mm)	Dureza HRB
1.58	95.0
1.58	98.0
1.58	96.0
1.58	91.1
1.58	89.1
1.58	88.9
1.58	88.0

FUENTE: Willian Naula.

Al igual que en el ensayo Brinell la dureza se determina en función del grado de penetración de la pieza a ensayar a causa de la acción del penetrador bajo una carga estática dada.

Además el ensayo Rockwell no requiere la utilización de formula alguna para la determinación de la dureza. Esta se obtiene directamente del dial indicador de la máquina ya que la misma está dada por el incremento de profundidad de penetración debido a la acción del penetrador, el cual puede ser una bolilla de acero o un cono de diamante.

Medición de dureza en soldaduras.

Las partes soldadas suelen requerir la medición de dureza en la zona afecta por el calor para decidir si es necesario un tratamiento térmico posterior o no. Por ejemplo, si la dureza de la zona afectada térmicamente (ZAT) es muy alta, esto se debe a que se ha formado una cantidad excesiva de martensita y pueden aparecer grietas. La zona ZAT puede ser muy delgada (menos de 3mm de ancho)

6.6.3.- ENSAYO DE IMPACTO.

6.6.3.1.- DETERMINACIÓN DE LOS VALORES DEL ENSAYO DE IMPACTO.

El análisis de impacto se facilita con la ayuda de la norma ASTM E-23 para Muesca de pruebas de impacto de los materiales metálicos (ANEXO B4).

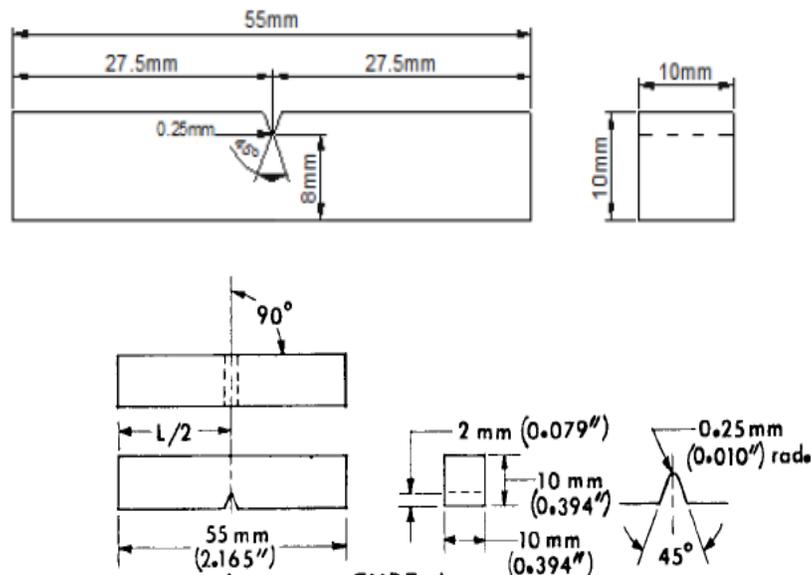


Figura 6. 2.- Probeta tipo A para ensayo de impacto
(Fuente: tomadas de la norma ASTM E23)

Tabla 6. 4.- Valores adquiridos en los ensayo de impacto para las juntas soldadas de acero inoxidable austenítico AISI 304 soldada con electrodo AWS E-308L-16

PROBETAS.	ENERGÍA IMPACTO(J)
10,1	60
10,2	67
10,3	58
10,4	73
10,5	57
PROMEDIO	63

FUENTE: Willian Naula.

De acuerdo con esta tabla generada podemos decir que al momento de la toma de datos se pudo recolectar varias probetas con diferente energía de rotura.

Con los siguientes datos obtenidos de los ensayos en la tabla 6.5, nos indicará la energía absorbida por la probeta.

6.6.4.- CÁLCULOS DEL ENSAYO METALOGRAFICO.

6.6.4.1.- DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE GRANO.

Se determina mediante la norma ASTM E-112:96 utilizando el método planimétrico. (ANEXO B5).

En el procedimiento planimétrico inscribir un círculo o rectángulo de la zona conocida (normalmente 5.000 mm² para simplificar los cálculos). Los granos contados a una magnificación de 200X para una mejor apreciación.

- El tamaño de grano en el cordón de la junta soldada en acero inoxidable austenítico AISI 304 con electrodo AWS E 308L-16.

Granos internos. Ni=24

Granos interceptados. Nint=16

$$NA = f \left(Ni + \frac{Nint}{2} \right) = 8 \left(24 + \frac{16}{2} \right)$$

f =8 por Jeffries (200X)

$$NA=8*32=256$$

$$G=3.321918*\log NA-2.954$$

$$G=3.321918*\log (256)-2.954$$

$$G=5.04 \cong 5.$$

Tamaño de grano ASTM = 5.

- El tamaño de grano en el metal base de la junta soldada en acero inoxidable austenítico AISI 304 con electrodo AWS E 308L-16.

Granos internos. Ni=12

Granos interceptados. Nint=11

$$NA = f \left(Ni + \frac{Nint}{2} \right) = 8 \left(12 + \frac{11}{2} \right)$$

f =8 por Jeffries (200X)

$$NA=8*17.5=140$$

$$G = 4.17$$

$$G=3.321918*\log NA-2.954$$

Tamaño de grano ASTM = 4.17

$$G=3.321918*\log (140)-2.954$$

- El tamaño de grano en la Zona Afectada por la Temperatura de la junta soldada en acero inoxidable austenítico AISI 304 con electrodo AWS E 308L-16.

Granos internos. Ni=10

Granos interceptados. Nint=14

$$NA = f \left(Ni + \frac{Nint}{2} \right) = 8 \left(10 + \frac{14}{2} \right)$$

f =8 por Jeffries (200X)

$$NA=8*17=136$$

$$G=3.321918*\log NA-2.954$$

$$G=3.321918*\log (136)-2.954$$

$$G=4.13$$

Tamaño de grano ASTM = 4.13

6.6.4.2.- DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE LOS COMPONENTES MICROESTRUCTURALES EN JUNTAS SOLDADAS EN UN ACERO INOXIDABLE AUSTENÍTICO.

CORDÓN.

Componentes microestructurales en el cordón de la junta soldada en acero inoxidable austenítico AISI 304 con electrodo AWS E 308L-16.

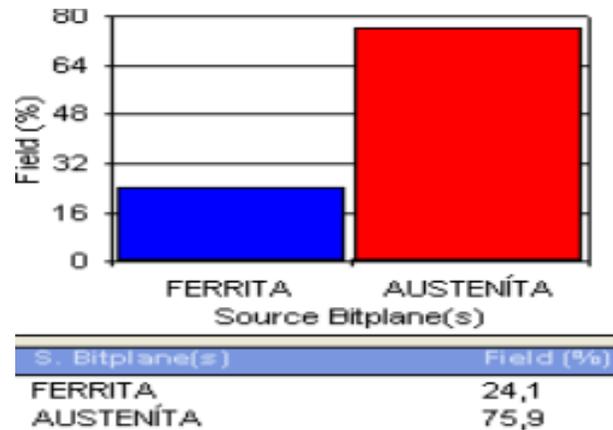


Figura 6.3.- Componentes microestructurales en el cordón de soldadura en acero inoxidable austenítico AISI 304 con electrodo AWS E-308L-16.

FUENTE: Willian Naula

Apreciamos en la figura 6.3 Los componentes de la microestructura en el cordón realizado con electrodo AWS E308L-16 en acero inoxidable AISI 304 austenítico se determinan los componentes de la matriz es 75,9% de austenita y 24,1 % ferrita.

METAL BASE.

Componentes microestructurales en el metal base de la junta soldada en acero inoxidable austenítico AISI 304 con electrodo AWS E 308L-16.

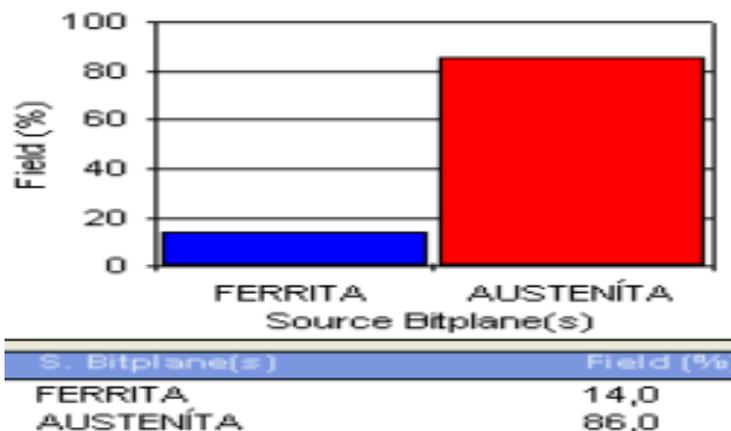


Figura 6.4.- Componentes microestructurales en el metal base de soldadura en acero inoxidable austenítico AISI 304 con electrodo AWS E-308L-16.

FUENTE: Willian Naula.

En la figura 6.4 observamos, los componentes de la microestructura del metal base soldada con electrodo AWS E308L-16 en acero inoxidable AISI 304 austenítico se determinan los componentes de la matriz es 86 % de austenita y 14 % ferrita.

ZONA ZAT.

Componentes microestructurales en la zona afectada por la temperatura de la junta soldada en acero inoxidable austenítico AISI 304 con electrodo AWS E 308L-16.

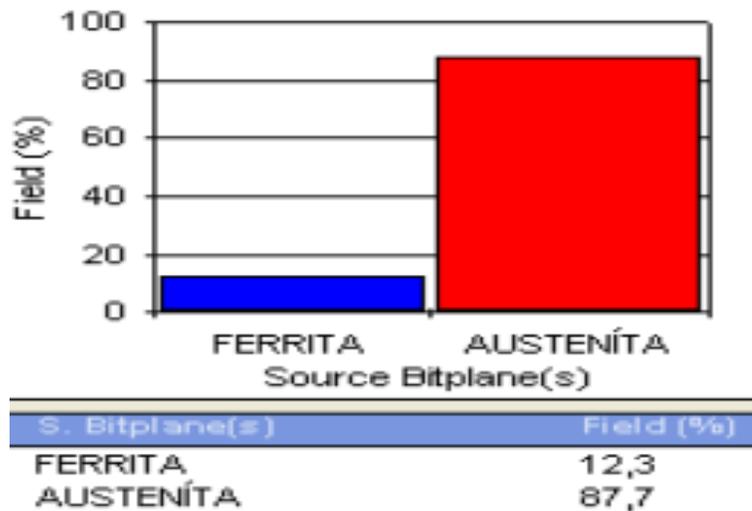


Figura 6. 5.- Componentes microestructurales de la zona afectada por la temperatura de soldadura en acero inoxidable austenítico AISI 304 con electrodo AWS E-308L-16.

Fuente: Willian Naula.

En la figura 6.5 observamos los componentes de la microestructura de la zona afectada por la temperatura, soldada con electrodo AWS E308L-16 en acero inoxidable AISI 304 austenítico se determinan los componentes de la matriz es 87,7 % de austenita y 12,3 % ferrita.

6.7.- METODOLOGÍA.

6.7.1.- ENSAYO DE TRACCIÓN.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO. FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA. CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA. Método para desarrollar el ensayo de tracción en junta soldada con electrodo AWS E-308L-16 en un proceso de soldadura SMAW.		
Código. PR-ET-01	Fecha: 24/06/2013	Revisión. 00
Elaborado por: Willian Naula.	Revisado por: Ing. Mg. Henry Vaca.	Aprobado por: Ing. Mg. Henry Vaca.
1.- OBJETIVO. Determinar aspectos importantes de las propiedades mecánicas en juntas soldadas en acero inoxidable austenítico AISI 304 con electrodo 308L-16, con un proceso de soldadura SMAW.		
2.- ALCANCE. Este método proporciona información para desarrollar el ensayo de Tracción en probetas de juntas soldadas de acero inoxidable austenítico AISI 304 con electrodo AWS E-308L-16 en un proceso de soldadura SMAW.		
3.- DOCUMENTACIÓN DE REFERENCIA. Para este tipo de análisis las normas usadas comprende: ASME sección 9, requerimientos generales de soldadura pruebas mecánicas. AWS B4.0:2007, Métodos para Ensayos Mecánicos de Soldadura. ASTM E 8:00, Ensayo de Tracción. E 111:10, Determinación de Módulo de Young respectivamente.		

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

Método para desarrollar el ensayo de tracción en junta soldada con electrodo
AWS E-308L-16 en un proceso de soldadura SMAW.

Código. PR-ET-01	Fecha: 24/06/2013	Revisión. 00
Elaborado por: Willian Naula.	Revisado por: Ing. Mg. Henry Vaca.	Aprobado por: Ing. Mg. Henry Vaca.

4.- GENERALIZACIÓN.

Ensayos mecánicos: Determina la resistencia y elasticidad de los material cuando se somete a diferentes esfuerzos (tracción, flexión,...)

El ensayo de tracción sirve para medir la capacidad de las Propiedades Mecánicas que soporta un material en diferentes condiciones, es la resistencia a la Tracción (Sut), resistencia a la cedencia (Sy), porcentaje de reducción de área (RA), porcentaje de elongación (%El), y Módulo de Young (E). En esta ocasión determinar las propiedades mecánicas en junta soldada en un acero inoxidable austenitico AISI 304 con electrodo AWS E-308L-16 con un proceso de soldadura SMAW.

5.- PROCEDIMIENTO.

Para el proceso del ensayo de tracción de las probetas en juntas soldadas con electrodos AWS E308L-16 con un proceso de soldadura SMAW.

La secuencia es la siguiente:

Adquisición de material.

Preparación de la junta a ser soldada.

Proceso de soldado.

Retirar el exceso del cordón de la junta hasta el espesor del metal base.

Maquinar la probeta según indicación de la norma.

Proceso del ensayo de tracción.

Evaluación de resultados.

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

Método para desarrollar el ensayo de tracción en junta soldada con electrodo
AWS E-308L-16 en un proceso de soldadura SMAW.

Código. PR-ET-01	Fecha: 24/06/2013	Revisión. 00
Elaborado por: Willian Naula.	Revisado por: Ing. Mg. Henry Vaca.	Aprobado por: Ing. Mg. Henry Vaca.

5.1.- ADQUISICIÓN DEL MATERIAL.

Muestras de acero inoxidable austenítico 304 sin proceso de soldado.



Figura 6. 6.- Placas de acero inoxidable austenítico AISI 304

FUENTE: Willian Naula

5.1.1.- PREPARACIÓN DE LA JUNTA A SER SOLDADA.

De acuerdo al espesor del material se procede a preparar el tipo de junta, se acude a las normas recomendadas para el proceso de soldado AWS D-1.6 (ANEXO B6)

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

Método para desarrollar el ensayo de tracción en junta soldada con electrodo
AWS E-308L-16 en un proceso de soldadura SMAW.

Código. PR-ET-01	Fecha: 24/06/2013	Revisión. 00
Elaborado por: Willian Naula.	Revisado por: Ing. Mg. Henry Vaca.	Aprobado por: Ing. Mg. Henry Vaca.

A tope



Figura 6. 7.- Separación adecuada de la junta a ser soldada.

FUENTE: Willian Naula

5.1.2.- EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL DEL SOLDADOR (EPP).

Para evitar quemaduras en las extremidades del soldador la norma AWS Z-49. recomienda (ANEXO B7)



Figura 6. 8.- Elementos de protección personal muy importantes

FUENTE: Willian Naula

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

Método para desarrollar el ensayo de tracción en junta soldada con electrodo
AWS E-308L-16 en un proceso de soldadura SMAW.

Código. PR-ET-01	Fecha: 24/06/2013	Revisión. 00
Elaborado por: Willian Naula.	Revisado por: Ing. Mg. Henry Vaca.	Aprobado por: Ing. Mg. Henry Vaca.

5.1.3.- PROCESO DE SOLDADO DE LAS PROBETAS.

Para el proceso de soldado se utiliza electrodo AWS E 308L-16.



Figura 6. 9.-Electrodo AWS E308L-16 (ANEXO A2).

FUENTE: Willian Naula

Soldado de probetas con ranura a escuadra según indica WPS (ANEXO A3)



Figura 6. 10.- Proceso de soldado de las probetas

FUENTE: Willian Naula

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

Método para desarrollar el ensayo de tracción en junta soldada con electrodo
AWS E-308L-16 en un proceso de soldadura SMAW.

Código. PR-ET-01	Fecha: 24/06/2013	Revisión. 00
Elaborado por: Willian Naula.	Revisado por: Ing. Mg. Henry Vaca.	Aprobado por: Ing. Mg. Henry Vaca.

Las probetas deben ser enfriadas a temperatura ambiente recomendable donde no existan corrientes de vientos bruscas.



Figura 6. 11.- Probetas aplicados un proceso de soldadura SMAW.

FUENTE: Willian Naula

Pulir la cara y la raíz de la soldadura hasta obtener a medida del material base.



Figura 6. 12.- Proceso de amolado de la cara y raíz de soldadura.

FUENTE: Willian Naula

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

Método para desarrollar el ensayo de tracción en junta soldada con electrodo
AWS E-308L-16 en un proceso de soldadura SMAW.

Código. PR-ET-01	Fecha: 24/06/2013	Revisión. 00
Elaborado por: Willian Naula.	Revisado por: Ing. Mg. Henry Vaca.	Aprobado por: Ing. Mg. Henry Vaca.

Probetas preparadas para realizar los cortes y luego para ser maquinadas de acuerdo a las normas.



Figura 6. 13.- Probetas pintadas para realizar el trazado para realizar el corte.

FUENTE: Willian Naula

Probetas preparadas para realizar los cortes y luego para ser maquinadas de acuerdo a las normas.



Figura 6. 14.- Probetas preparadas para ser maquinadas.

FUENTE: Willian Naula

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

Método para desarrollar el ensayo de tracción en junta soldada con electrodo
AWS E-308L-16 en un proceso de soldadura SMAW.

Código. PR-ET-01	Fecha: 24/06/2013	Revisión. 00
Elaborado por: Willian Naula.	Revisado por: Ing. Mg. Henry Vaca.	Aprobado por: Ing. Mg. Henry Vaca.

Maquinado de probetas utilizando una fresadora a revoluciones bajas para evitar el calentamiento y evitar las alteraciones de los componentes a ser analizados.



Figura 6. 15.- Maquinado de probetas según especificaciones ASTM E8.

FUENTE: Willian Naula

Probetas maquinadas listas para someter a la máquina universal para tracción.



Figura 6. 16.- Probetas para tracción según especificaciones ASTM E8.

FUENTE: Willian Naula

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

Método para desarrollar el ensayo de tracción en junta soldada con electrodo
AWS E-308L-16 en un proceso de soldadura SMAW.

Código. PR-ET-01	Fecha: 24/06/2013	Revisión. 00
Elaborado por: Willian Naula.	Revisado por: Ing. Mg. Henry Vaca.	Aprobado por: Ing. Mg. Henry Vaca.

5.1.4.- PROCESO DE ENSAYOS DE TRACCIÓN.

Con las probetas maquinadas correctamente según especificaciones de la norma procedemos a ensayar en la máquina universal de 30 toneladas.



Figura 6. 17 .- Máquina universal 30 Tn.

FUENTE: Willian Naula

Cuñas y alzas para sujeción de la probeta para el montaje en la máquina universal.



Figura 6. 18.- Elementos de sujeción de la prensa.

FUENTE: Willian Naula

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

Método para desarrollar el ensayo de tracción en junta soldada con electrodo
AWS E-308L-16 en un proceso de soldadura SMAW.

Código. PR-ET-01	Fecha: 24/06/2013	Revisión. 00
Elaborado por: Willian Naula.	Revisado por: Ing. Mg. Henry Vaca.	Aprobado por: Ing. Mg. Henry Vaca.

Instrumento muy importante para la medición de la deformación en el ensayo de tracción.



Figura 6. 19.- Deformímetro para longitud 203.2 mm.

FUENTE: Willian Naula

Monitor para la visualización de datos arrojados en cargas aplicadas a medida que se deforma la probeta.



Figura 6. 20 .- Panel de adquisición de datos de la máquina.

FUENTE: Willian Naula

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

Método para desarrollar el ensayo de tracción en junta soldada con electrodo
AWS E-308L-16 en un proceso de soldadura SMAW.

Código. PR-ET-01	Fecha: 24/06/2013	Revisión. 00
Elaborado por: Willian Naula.	Revisado por: Ing. Mg. Henry Vaca.	Aprobado por: Ing. Mg. Henry Vaca.

Montaje de la probeta en la máquina universal aplicando la precarga para realizar el ensayo.



Figura 6. 21.- Montaje de la probeta.

FUENTE: Willian Naula

Anclaje del deformímetro en la probeta para adquisición de datos de deformación.



Figura 6. 22.- Acople del deformímetro para el ensayo.

FUENTE: Willian Naula

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

Método para desarrollar el ensayo de tracción en junta soldada con electrodo
AWS E-308L-16 en un proceso de soldadura SMAW.

Código. PR-ET-01	Fecha: 24/06/2013	Revisión. 00
Elaborado por: Willian Naula.	Revisado por: Ing. Mg. Henry Vaca.	Aprobado por: Ing. Mg. Henry Vaca.

Aplicación de la carga para la toma de datos a medida que se deforma la probeta.



Figura 6. 23 .- Carga aplicada en la probeta.

FUENTE: Willian Naula

Probeta ejerciendo tensión en la junta soldada y se le ve la deformación constante.

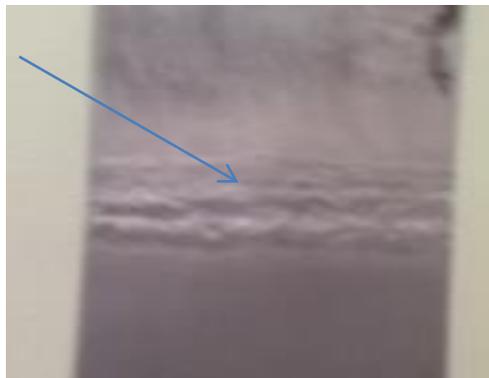


Figura 6. 24 .- Deformación de la probeta en la junta.

FUENTE: Willian Naula

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

Método para desarrollar el ensayo de tracción en junta soldada con electrodo
AWS E-308L-16 en un proceso de soldadura SMAW.

Código. PR-ET-01	Fecha: 24/06/2013	Revisión. 00
Elaborado por: Willian Naula.	Revisado por: Ing. Mg. Henry Vaca.	Aprobado por: Ing. Mg. Henry Vaca.

Probeta fracturada en la zona de la soldadura con aplicación de la carga.



Figura 6. 25.- Rotura en la probeta.

FUENTE: Willian Naula

Retirar la probeta deformada de la Máquina Universal.



Figura 6. 26.- Deformación de la probeta en la junta.

FUENTE: Willian Naula

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

Método para desarrollar el ensayo de tracción en junta soldada con electrodo
AWS E-308L-16 en un proceso de soldadura SMAW.

Código. PR-ET-01	Fecha: 24/06/2013	Revisión. 00
Elaborado por: Willian Naula.	Revisado por: Ing. Mg. Henry Vaca.	Aprobado por: Ing. Mg. Henry Vaca.

5.1.5.- EVALUACION DE RESULTADOS.

Probetas después de sufrir los ensayos a tracción mecánica.



Figura 6. 27.- Resultados de probetas ensayadas.

FUENTE: Willian Naula

Una vez terminado el ensayo en las juntas soldadas se procede a la toma de medidas de la probeta sufriendo cambios en su geometría para análisis de resultados.



Figura 6. 28.- Probeta ensayada para toma de datos.

FUENTE: Willian Naula

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

Método para desarrollar el ensayo de tracción en junta soldada con electrodo
 AWS E-308L-16 en un proceso de soldadura SMAW.

Código. PR-ET-01	Fecha: 24/06/2013	Revisión. 00
Elaborado por: Willian Naula.	Revisado por: Ing. Mg. Henry Vaca.	Aprobado por: Ing. Mg. Henry Vaca.

Una vez finalizado el ensayo de tracción arroja los resultados más importantes para este análisis en soldadura.

Tabla 6. 5.- Producto de los ensayos de tracción de las probetas de acero inoxidable austenítico AISI 304 soldadas con electrodo AWS E308L-16 en un proceso SMAW.

SOLDADURA CON ELECTRODO AWS E 308L-16					
PROBETAS	Sut MPa	Sy MPa	% de elongación	% de reducción de área	Módulo elástico GPa.
Ensayo 1	632,45	308,82	29,49	33,81	198,16
Ensayo 2	623,33	334,61	28,44	44,04	208,6
Ensayo 3	615,97	308,82	28,93	41,66	152,22
Ensayo 4	653,44	302,84	30,41	44,39	198,79
Ensayo 5	633,33	335,88	29,42	38,96	198,67
PROMEDIO	631,70	318,19	29,34	40,57	191,29

FUENTE: Willian Naula

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

Método para desarrollar el ensayo de tracción en junta soldada con electrodo
 AWS E-308L-16 en un proceso de soldadura SMAW.

Código. PR-ET-01	Fecha: 24/06/2013	Revisión. 00
Elaborado por: Willian Naula.	Revisado por: Ing. Mg. Henry Vaca.	Aprobado por: Ing. Mg. Henry Vaca.

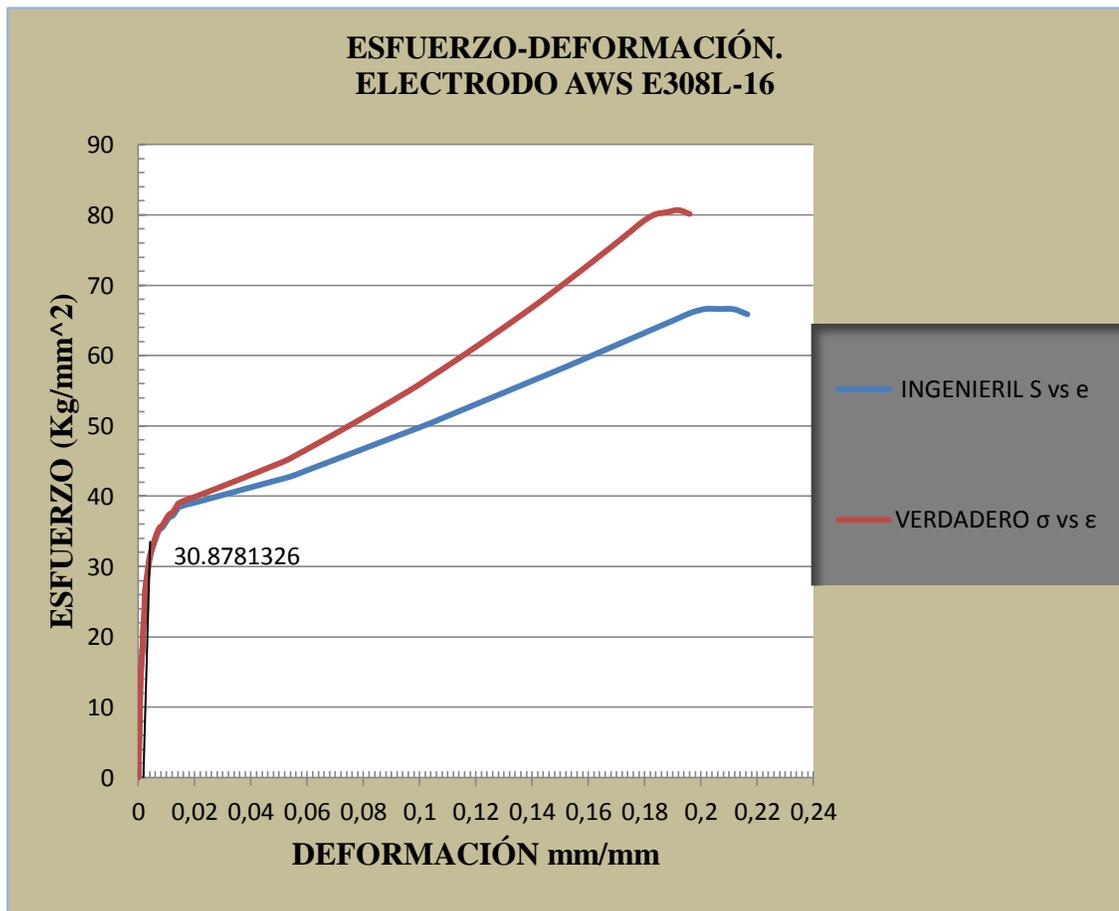


Figura 6. 29.-Gráfico Esfuerzo-Deformación verdadera e ingenieril.

Fuente: Willian Naula

6.7.2.- ENSAYO DE DUREZA.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO. FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA. CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA. Método para desarrollar el ensayo de dureza en junta soldada con electrodo AWS E-308L-16 en un proceso de soldadura SMAW.		
Código. PR-ED-01	Fecha: 03/07/2013	Revisión. 00
Elaborado por: Willian Naula.	Revisado por: Ing. Mg. Henry Vaca.	Aprobado por: Ing. Mg. Henry Vaca.
<p>1.- OBJETIVO. Determinar el ensayo de dureza en juntas soldadas en acero inoxidable austenítico AISI 304 con electrodo 308L-16, con un proceso de soldadura SMAW.</p> <p>2.- ALCANCE. Este método proporciona información para desarrollar el ensayo de dureza en probetas de juntas soldadas de acero inoxidable austenítico AISI 304 con electrodo AWS E-308L-16 en un proceso de soldadura SMAW.</p> <p>3.- DOCUMENTACIÓN DE REFERENCIA. Para este tipo de análisis la fuente más importante se basa en la norma: ASTM E 18-00. Ensayo de dureza Rockwell B de superficies.</p> <p>4.- GENERALIZACIÓN. La dureza es una condición de la superficie del material, no representa ninguna propiedad de la materia y está relacionada con las propiedades elásticas y plásticas del material. Si bien, es un término que nos da idea de solidez o firmeza, no existe una definición única acerca la dureza y se la suele definir arbitrariamente en relación al método particular que se utiliza para la determinación de su valor</p>		

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

Método para desarrollar el ensayo de dureza en junta soldada con electrodo
AWS E-308L-16 en un proceso de soldadura SMAW.

Código. PR-ED-01	Fecha: 03/07/2013	Revisión. 00
Elaborado por: Willian Naula.	Revisado por: Ing. Mg. Henry Vaca.	Aprobado por: Ing. Mg. Henry Vaca.

5.- PROCEDIMIENTO.

Para el proceso de dureza de las probetas en juntas soldadas con electrodos AWS E308L-16 con un proceso de soldadura SMAW.

La secuencia es la siguiente:

- Preparación de la probeta.
- Calibración del durómetro.
- Realización del ensayo de dureza.
- Apreciación de resultados.

5.1.- PREPARACIÓN DE LA PROBETA DE LA JUNTA SOLDADA.

Se realiza la soldadura de la probeta según el WPS (Anexo A.4), con electrodo AWS E308L-16.



Figura 6. 30.- Probeta soldada para ensayo de dureza.

FUENTE: Willian Naula

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

Método para desarrollar el ensayo de dureza en junta soldada con electrodo
AWS E-308L-16 en un proceso de soldadura SMAW.

Código. PR-ED-01	Fecha: 03/07/2013	Revisión. 00
Elaborado por: Willian Naula.	Revisado por: Ing. Mg. Henry Vaca.	Aprobado por: Ing. Mg. Henry Vaca.

A la probeta se realiza todos los procesos de mecanizado para obtener una uniformidad en la superficie a ser ensayada.



Figura 6. 31 .- Probeta pulida para mejorar la superficie a ensayar la dureza.

FUENTE: Willian Naula

5.2.- CALIBRACIÓN DEL DURÓMETRO.

Se ha realizado una calibración con el patrón estándar, para evitar obtener valores erróneos, fijar muy bien el indentador, adecuado para el ensayo requerido.



Figura 6. 32.- Durómetro para realizar el ensayo.

FUENTE: Willian Naula

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

Método para desarrollar el ensayo de dureza en junta soldada con electrodo
AWS E-308L-16 en un proceso de soldadura SMAW.

Código. PR-ED-01	Fecha: 03/07/2013	Revisión. 00
Elaborado por: Willian Naula.	Revisado por: Ing. Mg. Henry Vaca.	Aprobado por: Ing. Mg. Henry Vaca.

5.3.- REALIZACIÓN DEL ENSAYO DE DUREZA.

La probeta se debe acoplar muy bien a la base del durómetro, para obtener la dureza rockwell de la superficie se presiona contra la probeta un indentador con una carga previa, luego se aplica la carga principal para sostener la carga total durante algún tiempo.

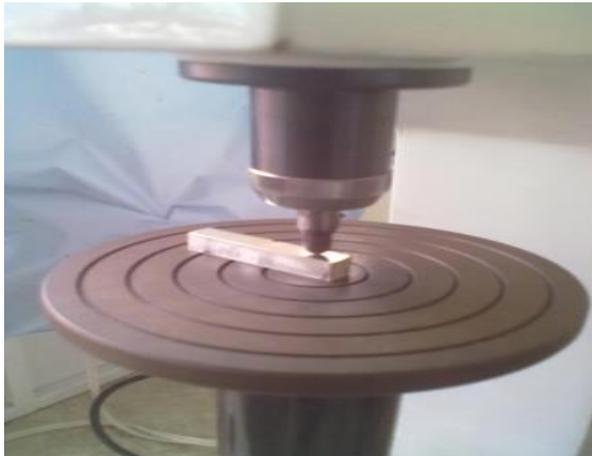


Figura 6. 33.- Proceso de ensayo dureza de la probeta.

FUENTE: Willian Naula

Aplicando la carga requerida de 980 N para el ensayo de dureza **Rockwell B** en el visor del durómetro se aprecia el valor de la dureza del metal sin necesidad de acudir a tablas o cálculos algunos.

Podemos apreciar una tabla comparativa de dureza en el (**ANEXO A.5**) que nos ayuda a interpretar de mejor forma los resultados obtenidos y según catálogos de dureza de aceros.

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

Método para desarrollar el ensayo de dureza en junta soldada con electrodo
AWS E-308L-16 en un proceso de soldadura SMAW.

Código. PR-ED-01	Fecha: 03/07/2013	Revisión. 00
Elaborado por: Willian Naula.	Revisado por: Ing. Mg. Henry Vaca.	Aprobado por: Ing. Mg. Henry Vaca.

Se realizarán entre 5-10 indentaciones por probeta según normas ASTM E-384 estándares de dureza de materiales vickers, teniendo en cuenta que la separación del borde de la probeta y de una huella al borde de la otra debe ser mayor a 2,5 veces el diámetro de la huella es decir debe tener una separación entre huella una longitud de 4mm.

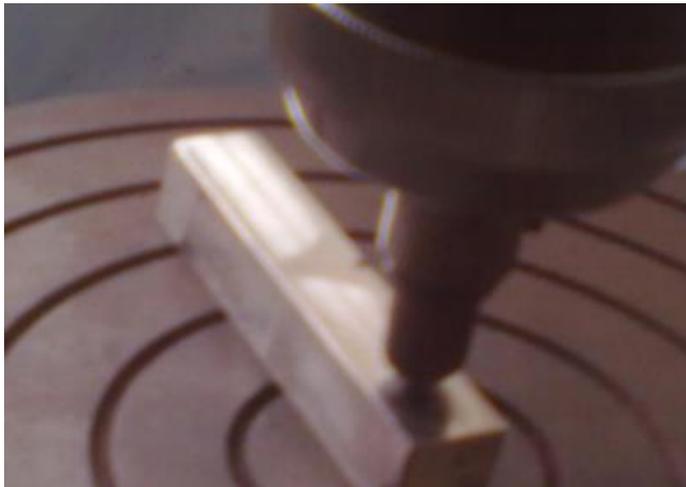


Figura 6. 34.- Ensayo de dureza a partir del centro del cordón de la soldadura.

FUENTE: Willian Naula

5.4.- APRECIACIÓN DE RESULTADOS.

Tomado los datos del ensayo de dureza se analiza que a medida que se aleja del centro del cordón la dureza se disminuye constantemente, la dureza más elevada se caracteriza en la zona afectada por el calor que se encuentra a 5mm del centro del cordón.

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

Método para desarrollar el ensayo de dureza en junta soldada con electrodo
 AWS E-308L-16 en un proceso de soldadura SMAW.

Código. PR-ED-01	Fecha: 03/07/2013	Revisión. 00
Elaborado por: Willian Naula.	Revisado por: Ing. Mg. Henry Vaca.	Aprobado por: Ing. Mg. Henry Vaca.

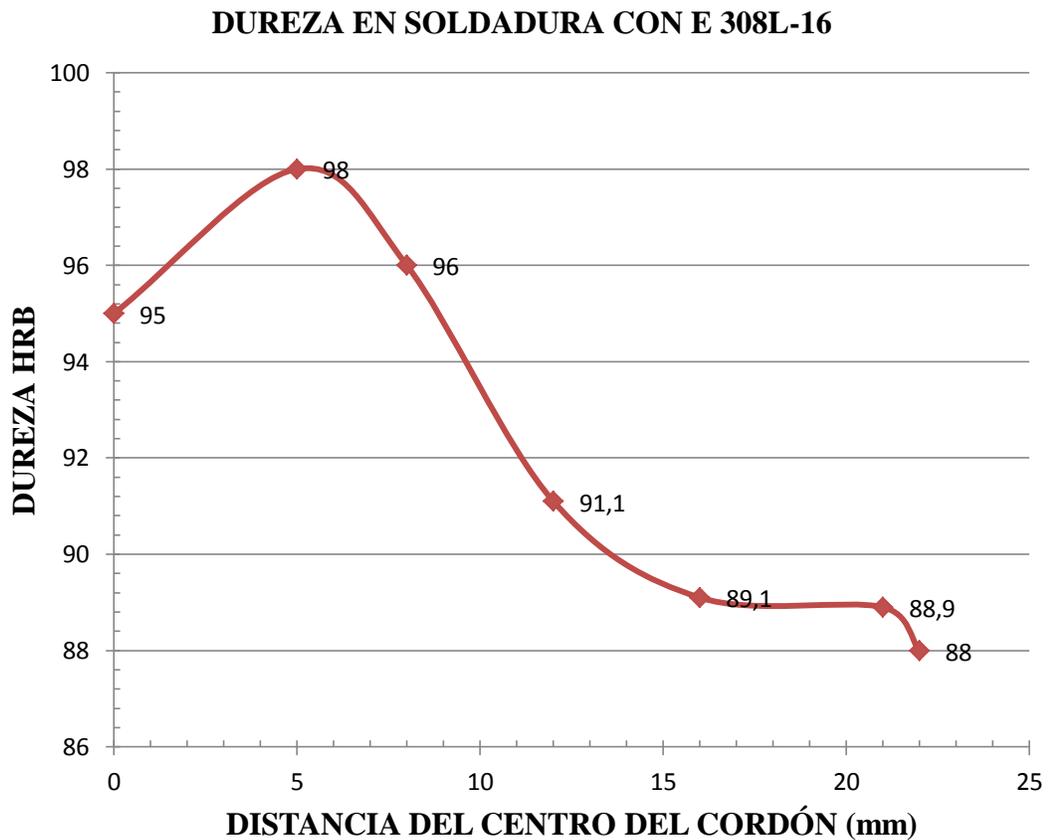


Figura 6. 35 .- Curva de dureza.

FUENTE: Willian Naula

6.7.3.-ENSAYO DE IMPACTO.

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

Método para desarrollar el ensayo de impacto en junta soldada con electrodo
AWS E-308L-16 en un proceso de soldadura SMAW.

Código. PR-EI-01	Fecha: 03/07/2013	Revisión. 00
Elaborado por: Willian Naula.	Revisado por: Ing. Mg. Henry Vaca.	Aprobado por: Ing. Mg. Henry Vaca.

1.- OBJETIVO.

Determinar el ensayo de impacto en juntas soldadas en acero inoxidable austenítico AISI 304 con electrodo 308L-16, con un proceso de soldadura SMAW.

2.- ALCANCE.

Este método proporciona información para desarrollar el ensayo de impacto en probetas de juntas soldadas de acero inoxidable austenítico AISI 304 con electrodo AWS E-308L-16 en un proceso de soldadura SMAW.

3.- DOCUMENTACIÓN DE REFERENCIA.

Para este tipo de análisis la fuente más importante se basa en la norma:
ASTM E-23. Métodos de prueba estándar para muesca de pruebas de impacto.

4.- GENERALIZACIÓN.

En este ensayo se mide la resistencia al impacto en juntas soldadas de acero inoxidable austenítico AISI 304, se determina si la rotura es dúctil o frágil.

frágil.- sin deformación plástica aparente, ni reducción de la sección transversal de la pieza

dúctil.- deformación plástica y reducción de la sección transversal de la pieza

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

Método para desarrollar el ensayo de impacto en junta soldada con electrodo
AWS E-308L-16 en un proceso de soldadura SMAW.

Código. PR-EI-01	Fecha: 03/07/2013	Revisión. 00
Elaborado por: Willian Naula.	Revisado por: Ing. Mg. Henry Vaca.	Aprobado por: Ing. Mg. Henry Vaca.

5.- PROCEDIMIENTO.

Para el proceso de ensayo impacto de las probetas en juntas soldadas con electrodos AWS E308L-16 con un proceso de soldadura SMAW.

La secuencia es la siguiente:

- Preparación de la probeta.
- Calibración del péndulo Charpy.
- Realización del ensayo de impacto.
- Apreciación de resultados.

5.1.- PREPARACIÓN DE LA PROBETA.

Se realiza la soldadura de la probeta según el WPS (Anexo A.4), con electrodo AWS E308L-16



Figura 6. 36.- Probeta soldada para ensayo de impacto.

FUENTE: Willian Naula

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

Método para desarrollar el ensayo de impacto en junta soldada con electrodo
AWS E-308L-16 en un proceso de soldadura SMAW.

Código. PR-EI-01	Fecha: 03/07/2013	Revisión. 00
Elaborado por: Willian Naula.	Revisado por: Ing. Mg. Henry Vaca.	Aprobado por: Ing. Mg. Henry Vaca.

Rectificado de las superficies soldadas para una geometría requerida por la norma



Figura 6.37.- Probetas rectificadas para ensayo de impacto.

FUENTE: Willian Naula

Maquinado de probetas respetando las condiciones de la norma ASTM E 23, probeta tipo A soldado con electrodo AWS E 308L-16 (**ANEXO B.4**)



Figura 6. 38.- Probeta listas para realizar el ensayo de impacto.

FUENTE: Willian Naula

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

Método para desarrollar el ensayo de impacto en junta soldada con electrodo
AWS E-308L-16 en un proceso de soldadura SMAW.

Código. PR-EI-01	Fecha: 03/07/2013	Revisión. 00
Elaborado por: Willian Naula.	Revisado por: Ing. Mg. Henry Vaca.	Aprobado por: Ing. Mg. Henry Vaca.

5.2.-CALIBRACIÓN DEL PÉNDULO.

Para realizar este proceso debe tener mucho cuidado con las partes móviles del péndulo, ya que este se eleva a la altura indicada para su función



Figura 6. 39.- Enserado del brazo del péndulo, activado el seguro.

FUENTE: Willian Naula.

Para apreciar la lectura del ensayo debe enserar el dial antes de proceder el ensayo.



Figura 6. 40.- Enserado el dial para un correcto ensayo.

FUENTE: Willian Naula

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

Método para desarrollar el ensayo de impacto en junta soldada con electrodo
AWS E-308L-16 en un proceso de soldadura SMAW.

Código. PR-EI-01	Fecha: 03/07/2013	Revisión. 00
Elaborado por: Willian Naula.	Revisado por: Ing. Mg. Henry Vaca.	Aprobado por: Ing. Mg. Henry Vaca.

5.3.- REALIZACIÓN DEL ENSAYO DE IMPACTO.

La probeta debe estar muy bien adecuada en la base del péndulo Charpy, para que el impacto sea de mayor eficiencia y obtener datos acertados.



Figura 6. 41 .- Montaje de la probeta en la base.
FUENTE: Willian Naula

Retirar el seguro del péndulo con mucho cuidado para ejecutar el impacto.



Figura 6. 42 .- Apartar el seguro del martillo.
FUENTE: Willian Naula

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

Método para desarrollar el ensayo de impacto en junta soldada con electrodo
AWS E-308L-16 en un proceso de soldadura SMAW.

Código. PR-EI-01	Fecha: 03/07/2013	Revisión. 00
Elaborado por: Willian Naula.	Revisado por: Ing. Mg. Henry Vaca.	Aprobado por: Ing. Mg. Henry Vaca.

Al impactar el martillo en la probeta genera la rotura, la misma que da como resultado la probeta completamente rota es decir frágil



Figura 6. 43.- Probeta después del impacto.

FUENTE: Willian Naula

5.4.- APRECIACIÓN DE RESULTADOS.

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

Método para desarrollar el ensayo de impacto en junta soldada con electrodo
 AWS E-308L-16 en un proceso de soldadura SMAW.

Código. PR-EI-01	Fecha: 03/07/2013	Revisión. 00
Elaborado por: Willian Naula.	Revisado por: Ing. Mg. Henry Vaca.	Aprobado por: Ing. Mg. Henry Vaca.

Tabla 6. 6.- Valores de ensayo de impacto soldada con electrodo AWS E-308L-16

PROBETAS.	ENERGÍA IMPACTO(J)
10,1	60
10,2	67
10,3	58
10,4	73
10,5	57
PROMEDIO	63

Fuente: Willian Naula

Tabulación de datos adquiridos en el ensayo.

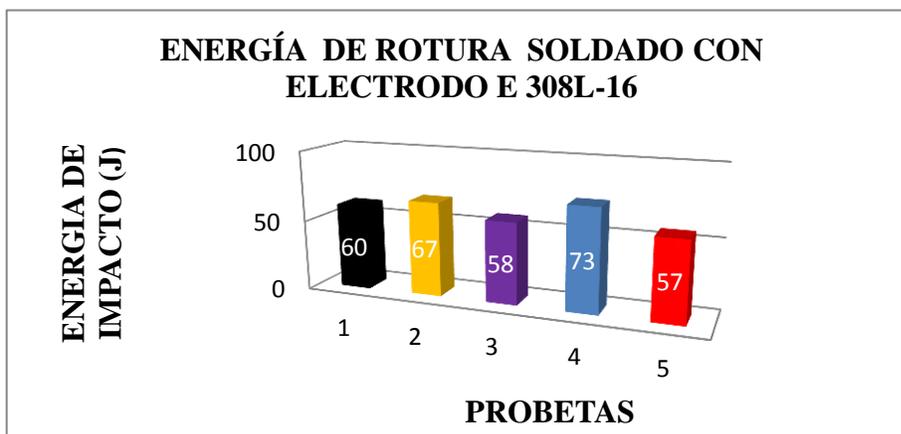


Figura 6. 44 .- Valores de probetas ensayadas.

FUENTE: Willian Naula

6.7.4.- ENSAYO METALOGRAFICO.

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

Método para desarrollar el ensayo metalográfico en junta soldada con electrodo
AWS E-308L-16 en un proceso de soldadura SMAW.

Código. PR-EM-01	Fecha: 04/07/2013	Revisión. 00
Elaborado por: Willian Naula.	Revisado por: Ing. Mg. Henry Vaca.	Aprobado por: Ing. Mg. Henry Vaca.

1.- OBJETIVO.

Determinar el análisis metalográfico en juntas soldadas en acero inoxidable austenítico AISI 304 con electrodo 308L-16, con un proceso de soldadura SMAW.

2.- ALCANCE.

Este método proporciona información para desarrollar el ensayo metalográfico en probetas de juntas soldadas de acero inoxidable austenítico AISI 304 con electrodo AWS E-308L-16 en un proceso de soldadura SMAW.

3.- DOCUMENTACIÓN DE REFERENCIA.

Para este tipo de análisis la fuente más importante se basa en la norma:

ASTM E-3-01. Preparación de muestras metalográficas, ASTM E 112-96. Determinación del tamaño de grano.

4.- GENERALIZACIÓN.

El examen metalográfico de los materiales y aleaciones por vía microscópica es una de las armas principales que posee el metalurgista, ya sea en investigación científica como en el control de la calidad de los materiales, en la determinación del tamaño de grano y los componentes de la microestructura en una junta soldada de acero inoxidable austenítico.

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

Método para desarrollar el ensayo metalográfico en junta soldada con electrodo
AWS E-308L-16 en un proceso de soldadura SMAW.

Código. PR-EM-01	Fecha: 04/07/2013	Revisión. 00
Elaborado por: Willian Naula.	Revisado por: Ing. Mg. Henry Vaca.	Aprobado por: Ing. Mg. Henry Vaca.

5.- PROCEDIMIENTO.

Para el proceso de análisis metalográfico de las probetas en juntas soldadas con electrodos AWS E308L-16 con un proceso de soldadura SMAW.

La secuencia es la siguiente:

- Preparación de la probeta.
- Pulido de superficie de la probeta.
- Aplicación del reactivo adecuado.
- Apreciación de resultados metalográficos

5.1 PREPARACIÓN DE LA PROBETA.

Se realiza la soldadura de la probeta según el WPS (Anexo A.3), con electrodo AWS E308L-16.



Figura 6. 45.- Probeta soldada para análisis metalográfico.

FUENTE: Willian Naula

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

Método para desarrollar el ensayo metalográfico en junta soldada con electrodo
AWS E-308L-16 en un proceso de soldadura SMAW.

Código. PR-EM-01	Fecha: 04/07/2013	Revisión. 00
Elaborado por: Willian Naula.	Revisado por: Ing. Mg. Henry Vaca.	Aprobado por: Ing. Mg. Henry Vaca.

La probeta para realizar el ensayo metalográfica debe tener la superficie totalmente plana y un pulido muy fino. Para el desbaste del cordón de la soldadura se utiliza la amoladora sin ejercer mucha presión, finalmente se le da un acabado con el disco llamada grata, para luego dar un afinado en el banco de lijas.



Figura 6. 46.- Pulido de la superficie con una grata circular.

FUENTE: Willian Naula.

5.2.- PULIDO DE LA SUPERFICIE DE LA PROBETA

Las probetas se les da un acabado muy fino, en la superficie para aplicar el reactivo, para esto se emplea diferentes números de lijas utilizando el banco para lijado, la primera pasada se le considera desbaste de la superficie la cual se utiliza una lija de 60, 80 granos por pulgada cuadrada, considerando como el segundo proceso de lijado se utiliza las lijas número 100, 120, y la última pasada es recomendable utilizar una lija muy fina para evitar rayones en la superficie es recomendable usar la lija 240, 400, 600

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

Método para desarrollar el ensayo metalográfico en junta soldada con electrodo
AWS E-308L-16 en un proceso de soldadura SMAW.

Código. PR-EM-01	Fecha: 04/07/2013	Revisión. 00
Elaborado por: Willian Naula.	Revisado por: Ing. Mg. Henry Vaca.	Aprobado por: Ing. Mg. Henry Vaca.



Figura 6. 47.- Lijas para desbaste y lijado medio de la superficie.

FUENTE: Willian Naula

Para mejorar la superficie donde se va a aplicar el reactivo se procede con las lijas mucho más finas, donde la superficie debe ser uniforme, el sentido de lijado debe tener una sola dirección.



Figura 6. 48.- Lijas para refinado de la superficie.

FUENTE: Willian Naula

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

Método para desarrollar el ensayo metalográfico en junta soldada con electrodo
AWS E-308L-16 en un proceso de soldadura SMAW.

Código. PR-EM-01	Fecha: 04/07/2013	Revisión. 00
Elaborado por: Willian Naula.	Revisado por: Ing. Mg. Henry Vaca.	Aprobado por: Ing. Mg. Henry Vaca.

Por último se realizó el pulido empleando una pulidora de disco de paño, la cual gira a una revolución de 170 rpm. Es la parte de mucha importancia para obtener una probeta brillante y totalmente libre de rayas, para este efecto se utiliza un abrasivo y como refrigerante y para evitar la alteración de la temperatura, alúmina de 0.05 micras de tamaño promedio en suspensión de agua.

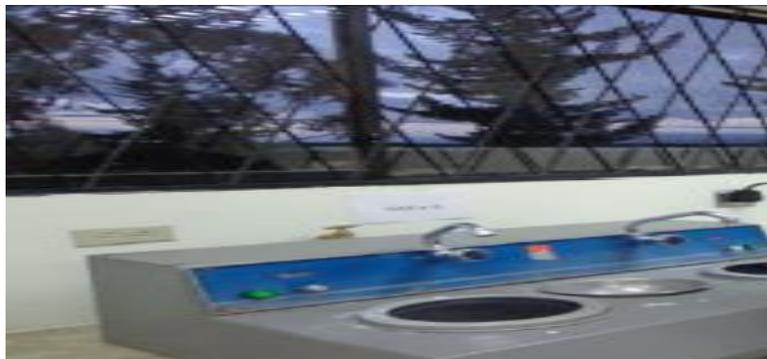


Figura 6. 49.- Pulidora de disco.

FUENTE: Willian Naula

5.3.- APLICACIÓN DEL REACTIVO ADECUADO.

Una vez preparada la probeta con un pulido muy fino se procede a aplicar el reactivo químico, para determinar las propiedades microestructurales de la junta soldada por medio de un sistema microscópico metalográfico.

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

Método para desarrollar el ensayo metalográfico en junta soldada con electrodo
AWS E-308L-16 en un proceso de soldadura SMAW.

Código. PR-EM-01	Fecha: 04/07/2013	Revisión. 00
Elaborado por: Willian Naula.	Revisado por: Ing. Mg. Henry Vaca.	Aprobado por: Ing. Mg. Henry Vaca.



Figura 6. 50.- probetas preparadas para la aplicación de reactivo.

FUENTE: Willian Naula.

Para la junta soldada en acero inoxidable con electrodo 308L-16 se utiliza un reactivo apropiado como: (Aceros inoxidables (89) agua regia modificada glicerizada) con un tiempo de reacción de 1.25 min.



Figura 6.51.- Aplicación de reactivo (Aceros inoxidables (89) agua regia modificada glicerizada).

FUENTE: Willian Naula

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

Método para desarrollar el ensayo metalográfico en junta soldada con electrodo
AWS E-308L-16 en un proceso de soldadura SMAW.

Código. PR-EM-01	Fecha: 04/07/2013	Revisión. 00
Elaborado por: Willian Naula.	Revisado por: Ing. Mg. Henry Vaca.	Aprobado por: Ing. Mg. Henry Vaca.

ya transcurrido 1.25 min se le limpia la superficie atacada con alcohol industrial y algodón, luego dar un baño con abundante agua, se ubica el ventilador para un secado rapido, preferiblemente con aire caliente para evitar oxidaciones en la superficie atacada.



Figura 6. 52.- Probetas para analizar la microestructura.

FUENTE: Willian Naula

5.4.- APRECIACIÓN DE RESULTADOS METALOGRAFICOS.

Con la ayuda de un microscopio y el enlace a un monitor se puede analizar la microestructura de una junta soldada con electrodo AWS E308L-16

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

Método para desarrollar el ensayo metalográfico en junta soldada con electrodo
 AWS E-308L-16 en un proceso de soldadura SMAW.

Código. PR-EM-01	Fecha: 04/07/2013	Revisión. 00
Elaborado por: Willian Naula.	Revisado por: Ing. Mg. Henry Vaca.	Aprobado por: Ing. Mg. Henry Vaca.



Figura 6. 53.- Equipos indispensables para el análisis metalográfico.

FUENTE: Willian Naula.

Se debe evaluar el porcentaje de composición de la junta soldada y el tamaño de grano según norma ASTM E 112-96

Tabla 6. 7.- Resultados obtenidos en el proceso metalográfico en juntas soldadas con electrodo E308L-16

Partes de la junta soldada	tamaño de grano ASTM	Componentes %	
		FERRITA	AUSTENITA
CORDÓN.	5	24.1	75.9
MB	4	14.0	86.0
ZAT	4	12.3	87.7

FUENTE: Willian Naula

6.8.- ADMINISTRACIÓN.

Tabla 6. 8.- Análisis económico de la propuesta.

MATERIALES.					
ITEM	DETALLE	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
1	Acero inoxidable AISI 304	15	Kg	\$ 7.75	\$ 116.25
2	Electrodos AWS E 308L-16	1	Kg	\$ 20.00	\$ 20.00
3	Vidrio transparente.	1	u	\$ 0.50	\$ 0.50
4	Vidrio negro # 12.	1	u	\$ 1.00	\$ 1.00
5	Cepillo de alambre inox.	1	u	\$ 5.00	\$ 5.00
6	Marco de sierra.	1	u	\$ 5.00	\$ 5.00
7	Reactivo (89) agua regia modificada glicerizada.	1	Frasco 100ml	\$ 25.00	\$ 25.00
8	Soldado de la placas	3	u	\$ 40.00	\$ 120.00
9	Maquinado de probetas	20	u	\$ 30.00	\$ 600.00
10	Inserto sandvik para fresado	2	u	\$ 20.00	\$ 40.00
11	Hoja de sierra sanflex	2	u	\$ 2.00	\$ 4.00
12	Guantes de cuero	1	Par	\$ 5.00	\$ 5.00
13	Gafas transparentes	1	u	\$ 2.00	\$ 2.00
14	Protectores auditivos.	1	u	\$ 1.00	\$ 1.00
15	Disco circular de corte e 1/16	6	u	\$ 3.75	\$ 22.50
16	Disco de amolar	1	u	\$ 4.75	\$ 4.75
17	Lija circular (grata)	1	u	\$ 5.00	\$ 5.00
18	Mascarilla para fosa nasal	2	u	\$ 0.50	\$ 1.00
19	Lijas # 80	2	Pliegos	\$ 0.75	\$ 1.50
20	Lijas # 120	2	Pliegos	\$ 0.50	\$ 1.00
21	Lijas # 240	2	pliegos	\$ 0.50	\$ 1.00
22	Lijas # 600	2	Pliegos	\$ 0.50	\$ 1.00
COSTO TOTAL EN MATERIALES					\$ 982.50
RECURSO HUMANO.					
23	Autor	1	u	\$ 400.00	\$ 300.00
24	Derechos de autor	1	u	\$ 250.00	\$ 250.00
25	Maquinista.	1	u	\$ 80.00	\$ 80.00
26	Soldador	1	u	\$ 50.00	\$ 50.00
COSTO TOTAL DE RECURSO HUMANO					680.00
VARIOS.					
27	internet	1	u	\$ 40.00	\$ 40.00
28	Material de oficina	1	u	\$ 200.00	\$ 200.00
29	transporte	1	u	\$ 50.00	\$ 50.00
30	Impresiones y empastado	1	u	\$ 200.00	\$ 200.00
COSTO TOTAL VARIOS					\$ 490.00
TOTAL DE LOS RECURSOS PARA REALIZAR ESTE TIPO DE ESTUDIO.					\$ 2152.50

Fuente: Willian Naula.

6.9.- PREVISIÓN DE LA EVALUACIÓN.

Una vez concluido el análisis en juntas soldadas de acero inoxidable austenítico AISI 304 se determina que la mejor característica que presenta en sus propiedades mecánicas en una soldadura, es con el electrodo AWS E 308L-16 en un proceso de soldadura SMAW.

Este tipo de estudio da un realce muy importante en el departamento de materiales, ya que se puede analizar con mayor facilidad las propiedades mecánicas en una soldadura con electrodo AWS E 308L-16, esta nos permite mejorar con claridad un proceso de soldadura SMAW, en partes de elementos de máquinas evitando pérdida de tiempos al ser construidos, se puede recuperar un partes de máquinas al realizar una soldadura adecuada con este tipo de electrodo ya que nos ayuda por tener un nivel bajo de carbono y una resistencia alta a la corrosión, el costo es relativamente bajo en relación a otros de la misma especie.

Cabe resaltar los ensayos realizado completamente fueron empezados y terminados en los laboratorios de la facultad de ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

Este análisis puede servir como un apoyo para posteriores análisis en soldadura de aceros inoxidables.

7.- BIBLIOGRAFÍA.

BIOGRAFÍA.

- [1].- Horwitz Henry, P. (2003). *Mnual de soldadura aplicaciones y prácticas* . México: Alfaomega .
- [2].- Mott, R. L. (2009). *Resistencia de materiales*. México: Pearson educación.
- [3].- Reed, R. E. (1979). *Principios de metalurgia fisica* . México: Continental S.A.
- [4].- Smith, W. F. (2006). *Fundamentacion de la ciencia e ingenieria de materiales*. España: Mc Graw-Hill.
- [5].- Vladimiro, P. C. (2010). *soldadura eléctrica manual* . México: Limusa.
- [6].- Galvery, W. (2007). *Guia de soldadura para el técnico profesional*. México: Limusa.
- [7].- Nisbett, R. G. (2008). *Diseño en ingeniería Mecánica de Shygley*. México : McGraw-Hill.

INTERNET

- [8].- Acerind, a. c. (2012). *Soldadura de los Aceros Inoxidables*. Obtenido de www.cientificosaficionados.com/libros/solinox1.pdf
- [9].- Andalucia, I. (2010, Enero 06). *revista digital para profesional de enseñanza* . Andalucia. Obtenido de <http://www2.fe.ccoo.es/andalucia/docu/p5sd6731.pdf>
- [10].- Arias, G. (2008). *Ensayo de dureza*.
- [11].- Bejarano, E. M. (2012). *Guia de laboratorio*. Obtenido de www.udistrital.edu.co:8080/documents/.../ENSAYO+DE+IMPACTO.pdf.

- [12].- Benedetto, & Letona. (2011, Noviembre 5). *Estudio de ensayos*. Obtenido de [http:// estudiodensayo.files.wordpress.com/2008/11/aceros-inoxidable.pdf](http://estudiodensayo.files.wordpress.com/2008/11/aceros-inoxidable.pdf)
- [13].- Calero, O. (2012). *Calero Rodríguez, Oswaldo Leonardo (2012) Ensayos destructivos y no destructivos y su efecto sobre la calidad de las tolvas para volquetas producidas por I.M.E.S.C.O. Ambato: uta.*
- [14].- Calle. (2000). *Ensayo dinámico a flexión de probetas ranuradas. Ensayo Charpy*. Obtenido de <http://www.utp.edu.co/~gcalles/Impacto.pdf>
- [15].- Catarina. (2005). *Pruebas de propiedades mecánicas y de torneado al acero inoxidable 304*. Obtenido de http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lim/avila_h_re/capitulo4.pdf
- [16].- Indura. (2008, Mayo 4). *Manual de soldadura. Electrodo comunes, especiales y gases para corte y soldadura*. Obtenido de <http://www.indura.net+manual+de+aceros+inoxidables+indura>
- [17].- Industrial, L. (2012, Enero). *Manual de limpieza en aceros inoxidables* Obtenido de <http://www.empresaslary.com/sitio/pasta-decapante-para-limpieza-de-acero-inoxidable>
- [18].- Infra. (2009). *Manual de electrodos para soldar*. Obtenido de http://www.electrodosinfra.com.mx/pdf/manual_general/manual_general.pdf
- [19].- Ingeniería, R. d. (2004). *Estudio de la soldabilidad y corrosión del Acero Inoxidable*. CHILE.
- [20].- Instron. (2009). *Ensayo de impacto*. Obtenido de www.instron.com.es/wa/glossary/Impact-Test.aspx
- [21].- Laufgang. (2008, Enero 13). *Ensayos de dureza*. Obtenido de <http://190.105.160.51/material presentaciones apunte dureza pdf>
- [22].- Lázaro. (2012, Abril 9). *Propiedades y soldabilidad de los aceros inoxidables*. Obtenido de <http://www.osalan.euskadi.netSoldador.pdf>.

- [23].- Masabanda. (2009, Mayo 1). *Elaboración de un manual para prácticas de la materia teórica de los procesos de soldadura*. Obtenido de <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1492/1/CD-2174.pdf>
- [24].- Metalforming. (2008, Febrero 04). *La soldadura de acero para herramientas la manera correcta*. México, México.
- [25].- Mitutuyo. (2011, Junio 19). *medidores de contorno y dureza*. Obtenido de [http://es.scribd.com/doc/58211985/medidores de contornos y dureza](http://es.scribd.com/doc/58211985/medidores-de-contornos-y-dureza)
- [26].- Salazar, M. (2009, Julio 28). *Soldabilidad*.
- [27].- Sumiteccr. (2004, marzo 2). *Aplicaciones de los aceros inoxidables* Obtenido de <http://www.sumiteccr.com/Aplicaciones/Articulos/pdfs/AISI%20304.pdf>
- [28].- Sumiteccr. (2012, Agosto 1). *Acero inoxidable AISI 304 soluciones solidas y duraderas*. Obtenido de www.sumiteccr.com/Aplicaciones/Articulos/pdfs/AISI%20304.pdf
- [29].- Tituaña, C. F. (2007, Octubre 3). *soldadura indirecta en tuberías de cobre para instalaciones de agua potable*. Obtenido de <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1544/1/CD-0991.pdf>
- [30].- Weecks, J. W. (2007, Junio 5). *Técnicas y prácticas de soldadura*. Obtenido de <http://books.google.com.ec/books?id=JE2RK4QupuoC&pg>
- [31].- Yenisey. (2011). *Influencia de los parámetros de soldadura en la microestructura*. Obtenido de http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/123456789/1036/chavez_megar_yenisey_soldadura_microestructura_GTAW.pdf

BIBLIOTECA VIRTUAL

- [32].- Calero, R. O. (2012) *Ensayos destructivos y no destructivos y su efecto sobre la calidad de las tolvas para volquetas producidas por I.M.E.S.C.O.* <http://repo.uta.edu.ec/handle/123456789/2097>

[33].- Arcos, O. G. (2011) *Ensayo de tintas penetrantes fluorescentes y su incidencia en el control de calidad de las juntas soldadas en aceros al carbono* <http://repo.uta.edu.ec/handle/123456789/1367>

[34].- Cortés, R., Villanueva, J., Ponce, E., Rojas, M. (2004) *Estudio de la soldabilidad y corrosión del acero inoxidable AISI 904l con los agentes utilizados en la lixiviación del cobre* Revista Facultad de Ingeniería, U.T.A. (Chile)

[35].- Millano, V., Sánchez, M., Oladis, T., Linares, D. (2006) *Revista Técnica ensayos metalográficos*. De la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia Venezuela.

[36].- Piñero, J. (1990). *Tecnología y cálculo de la soldadura*. Clasificación: UTA-BG/621.79P661.

[37].- Pérez, I. (1990). *Fuentes de alimentación y equipos para soldadura eléctrica por fusión*. Clasificación: UTA-BG/621.791.03P438.

[38].- Gilzmanenko, D. (1990). *Soldadura y corte a gas*. Clasificación: UTA-BG/621.79G561.

[39].- Guzhñay, F. (2012) *Estudio del comportamiento del acero A36 mediante ensayos de tracción para determinar fallas en elementos estructurales, mediante la norma ASTM E-8*". <http://repo.uta.edu.ec/handle/>

ANEXOS

ANEXO A.1

TYPE	DESCRIPTION	TYPICAL COMPOSITION %	FORM	TYPICAL MECHANICAL PROPERTIES					WELD- ABILITY	RELATIVE COST
				Annealed at Room Temperature						
				Tensile	Yield (0.2% Offset)	Elongation (% in 2")	Hardness			
Austenitic (Hardenable by cold working only)										
304 (S30400)	Low-carbon modification of type 302 for restriction of carbide precipitation during welding. Chemical and food processing equipment; brewing equipment; cryogenic vessels; gutters; downspouts; flashings.	18-20 Cr, 8-10.50 Ni, 0.08 C, 2.0 Mn, 1.0 Si, 0.045 P, 0.030 S	sheets plates	84,000 82,000	42,000 35,000	55 60	80 Rb 149 Bhn	A	100 100	
304L (S30403)	Extra-low-carbon modification of type 304 for further restriction of carbide precipitation during welding. Coal hopper linings; tanks for liquid fertilizer and tomato paste.	18-20 Cr, 8-12 Ni, 0.03 C, 2.0 Mn, 1.0 Si, 0.045 P, 0.030 S	sheets plates	81,000 79,000	39,000 33,000	55 60	79 Rb 143 Bhn	A	111 109	
316 (S31600)	Higher corrosion resistance than types 302 and 304; high creep strength. Chemical and pulp handling equipment; photographic equipment; brandy vats; fertilizer parts; ketchup cooking kettles; yeast tubs.	16-18 Cr, 10-14 Ni, 0.08 C, 2.0 Mn, 1.0 Si, 0.045 P, 0.030 S, 2.0-3.0 Mo	sheets plates	84,000 82,000	42,000 36,000	50 55	79 Rb 149 Bhn	A	148 140	
316L (S31603)	Extra-low-carbon modification of type 316. Welded construction where intergranular carbide precipitation must be avoided. Type 316 application requiring extensive welding.	16-18 Cr, 10-14 Ni, 0.03 C, 2.0 Mn, 1.0 Si, 0.045 P, 0.030 S, 2.0-3.0 Mo	sheets plates	81,000 81,000	42,000 34,000	50 55	79 Rb 146 Bhn	A	159 149	
321 (S32100)	Stabilized for weldments subject to severe corrosive conditions, and for service from 800 to 1600 F. Aircraft exhaust manifolds; boiler shells; process equipment; expansion joints; cabin heaters; fire walls; flexible couplings; pressure vessels.	17-19 Cr, 9-12 Ni, 0.08 C, 2.0 Mn, 1.0 Si, 0.045 P, 0.030 S (Ti, 5 X C min)	sheets plates	90,000 85,000	35,000 30,000	45 55	80 Rb 160 Bhn	A	130 128	

(FUENTE: catálogo aceros inoxidables)

ANEXO A.2

CONARCO 308L

rutilo - básico

DESCRIPCION / APLICACION

Electrodo de revestimiento rutilo-básico con un nivel extra bajo de C. Muy buen desprendimiento de escoria y muy buena conformación de cordón.

Soldaduras de aceros inoxidable austeníticos del tipo 18-8 de bajo y extra bajo tenor carbono (series L y ELC) así como los AISI 304L y 308L, DIN X2 Cr Ni 18 9, ASTM A182 Gr F 304L, A351 Gr CF3, CF3A y similares. Indicado para la soldadura de aceros inoxidable ferríticos del tipo AISI 430 entre si o con aceros de las series AISI 2XX y 3XX. Unión de inoxidable 18-8 de carbono normal, a menos que la resistencia levemente menor del metal aportado sea un impedimento.

CARACTERISTICAS OPERATIVAS

CC (+) CA OCV (65 V)

POSICION DE SOLDADURA



CLASIFICACION

AWS A5.4 E308L-16

EQUIVALENTE

COMPOSICION QUIMICA TIPICA DEL METAL DEPOSITADO

C 0,02 %
Mn 0,81 %
Si 0,62 %
Cr 19,13 %
Ni 9,54 %

PROPIEDADES MECANICAS DEL METAL DEPOSITADO

(VALORESTIPICOS)

R > 560 MPa

Al > 42 %

CONARCO 308H

rutilo - básico

DESCRIPCION / APLICACION

Electrodo de revestimiento rutilo-básico. de excelente soldabilidad. Aleado al Cr-Ni con tenor de C comprendido entre 0,04 - 0,08 %.

Indicado para soldaduras de aceros inoxidable austeníticos del tipo 18 Cr-8Ni con tenor de C comprendido entre 0,04 - 0,08 %. Otras aplicaciones similares al CONARCO 308L.

CARACTERISTICAS OPERATIVAS

CC (+) CA OCV (65 V)

POSICION DE SOLDADURA



CLASIFICACION

AWS A5.4 E308H-16

EQUIVALENTE

COMPOSICION QUIMICA TIPICA DEL METAL DEPOSITADO

C 0,053 %
Mn 0,80 %
Si 0,63 %
Cr 18,42 %
Ni 9,82 %

PROPIEDADES MECANICAS DEL METAL DEPOSITADO

(VALORESTIPICOS)

R > 600 MPa

Al > 45 %

(FUENTE: catálogo de electrodos características y aplicaciones. CONARCO)

ANEXO A.3

WPS Especificación del 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 DE TRACCIÓN Y ANÁLISIS METALOGRAFICO.							
Institución		TESIS.			Identificación N°:		WPS T-1
Proceso(s) de soldadura:			SMAW		Soporte de PQR N°:		PQR T-1.
Tipo:	Manual	X	Automático:		Simiautomático:		Máquina.
Revisión:	00	Fecha:	07/02/2013	Revizado por:		Ing. Mg. Henry Vaca O.	
DISEÑO DE UNIÓN.				POSICIÓN.			
Tipo de unión:		A TOPE			Ranura:		1 G
Tipo de soldadura:		Ranura a escuadra.			Plancha:		X
Avertura de raiz:		X	2.5mm		CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS:		
Longitud de la cara de raiz:		N/A			Modo detransferencia		GMAW
Ángulo de ranura:		90°	Radio J/U		Cortocircuito		
Soporte:		SI	NO	X	Globular		
Material de aporte:		AWS E308L-16			Spray		
Limpieza de raiz:		SI	X	NO	Metodo:		Esmeril.
METAL BASE.				CORRIENTE PROCESO SMAW.			
DATOS:		MB1	MB2	AC:		DCEP:	100 A
Grupo:		I	I	PULSO:			
Especificación:		AISI 304	AISI 304	TÉCNICA			
Grado:		N/A	N/A	Aportacion:		Recta:	Oscilante:
Espesor:		5mm	5mm	Pase:		Simple:	Múltiple:
Diametro:		N/A	N/A	Limpieza en pases:		SI	X
METAL DE APORTE				PRECALENTAMIENTO			
Especificaciones AWS:		A5.4		Temperatura de precalentamiento:		N/A	
clasificaciones AWS:		E 308L-16		Temperatura de interpase:		N/A	
Marca:		Conarco.		POSCALENTAMIENTO.			
Tamaño de electrodo:		3.2mm		Temperatura:		N/A	
				Tiempo:		N/A	
PROTECCIÓN.							
Composición:		N/A		Fuente de revestimiento:		N/A	Fundente:
Velocidad de flujo:		N/A		Gas:		N/A	Rutilico-básico.
PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA.							
Pase:	Proceso:	Progresión	Metales de aporte.		Corriente.		V. de avance
			Clase.	Diametro.	Tipo y polaridad	Amp.	
1	SMAW	Plano.	E 308L-16	3.2 mm	DCEP	100	0.05 m/min
2	SMAW	Plano.	E 308L-16	3.2 mm	DCEP	100	0.05 m/min
3	SMAW	Plano.	E 308L-16	3.2 mm	DCEP	100	0.05 m/min
DETALLE DE LA JUNTA Y SECUENCIA DE LA SOLDADURA.							
Elaborado por:		Egrd. Willian Naula.			Fecha:		07/02/2013
Aprobado por:		Ing. Mg. Henry Vaca			Institución.		UTA.

ANEXO A.4

WPS Especificación del procedimiento de soldadura probetas de dureza e impacto.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO. FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA. CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA.										
WPS ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA PROBETAS DE IMPACTO Y DUREZA										
Institución		TESIS.			Identificación N°:		WPS D-1			
Proceso(s) de soldadura:			SMAW		Soporte de PQR N°:		PQR D-1.			
Tipo:	Manual	X	Automático:		Simiautomático:		Máquina.			
Revisión:	00	Fecha:	07/02/2013	Revizado por:		Ing. Mg. Henry Vaca O.				
DISEÑO DE UNIÓN.					POSICIÓN.					
Tipo de unión:		A TOPE			Ranura:		1 G	Filete:		
Tipo de soldadura:		Ranura a escuadra.			Plancha:		X	Tubería:		
Avertura de raiz:		X	3.2mm		CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS:					
Longitud de la cara de raiz:		X	3.2mm		Modo detransferencia			GMAW		
Ángulo de ranura:		60°		Radio J/U		Cortocircuito				
Soporte:		SI	NO		X	Globular				
Material de aporte:			AWS E308L-16			Spray				
Limpieza de raiz:		SI	X	NO	Metodo:		Esmeril.			
METAL BASE.					CORRIENTE PROCESO SMAW.					
DATOS:		MB1	MB2		AC:		DCEP: 100 A			
					PULSO:		DCEN:			
Grupo:		I	I		TÉCNICA					
Especificación:		AISI 304	AISI 304		Aportacion:		Recta:		Oscilante: X	
Grado:		N/A	N/A		Pase:		Simple:		Múltiple: X	
Espesor:		10mm	10mm		Limpieza en pases:		SI	X	NO	Grata.
Diametro:		N/A	N/A		PRECALENTAMIENTO					
Especificaciones AWS:			A5.4			Temperatura de precalentamiento:		N/A		
clasificaciones AWS:			E 308L-16			Temperatura de interpase:		N/A		
Marca:			Conarco.			POSCALENTAMIENTO.				
Tamaño de electrodo:			3.2mm			Temperatura:		N/A		
						Tiempo:		N/A		
PROTECCIÓN.										
Composición:		N/A			Fuente de revestimiento:		N/A		Fundente:	
Velocidad de flujo:		N/A			Gas:		N/A		Rutilico-básico.	
PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA.										
Pase:	Proceso:	Progresión	Metales de aporte.		Corriente.		V. de avance			
			Clase.	Diametro.	Tipo y polaridad	Amp.				
1	SMAW	Plano.	E 308L-16	3.2 mm	DCEP		100	0.05 m/min		
2	SMAW	Plano.	E 308L-16	3.2 mm	DCEP		100	0.05 m/min		
3	SMAW	Plano.	E 308L-16	3.2 mm	DCEP		100	0.05 m/min		
DETALLE DE LA JUNTA Y SECUENCIA DE LA SOLDADURA.										
Elaborado por:		Egrd. Willian Naula.			Fecha:		07/02/2013			
Aprobado por:		Ing. Mg. Henry Vaca			Institución:		UTA.			

ANEXO A.5

Tabla comparativa de dureza de los Aceros.

DUREZA

TABLA COMPARATIVA DE DUREZA

Brinell	Vickers	Rockwell		Resistencia a la tracción x 1000 psi	Brinell	Vickers	Rockwell		Resistencia a la tracción x 1000 psi
		C	B				C	B	
898				440	223	223	20	97	110
857				420	217	217	18	96	107
817				401	212	212	17	96	104
780	1150	70		384	207	207	16	95	101
745	1050	68		368	202	202	15	94	99
712	960	66		352	197	197	13	93	97
682	885	64		337	192	192	12	92	95
653	820	62		324	187	187	10	91	93
627	765	60		311	183	183	9	90	91
601	717	58		298	179	179	8	89	89
578	675	57		287	174	174	7	88	87
555	633	55	120	276	170	170	6	87	85
534	598	53	119	266	166	166	4	86	83
514	567	52	119	256	163	163	3	85	82
495	540	50	117	247	159	159	2	84	80
477	515	49	117	238	156	156	1	83	78
461	494	47	116	229	153	153		82	76
444	472	46	115	220	149	149		81	75
429	454	45	115	212	146	146		80	74
415	437	44	114	204	143	143		79	72
401	420	42	113	196	140	140		78	71
388	404	41	112	189	137	137		77	70
375	389	40	112	182	134	134		76	68
363	375	38	110	176	131	131		74	66
352	363	37	110	170	128	128		73	65
341	350	36	109	165	126	126		72	64
331	339	35	109	160	124	124		71	63
321	327	34	108	155	121	121		70	62
311	316	33	108	150	118	118		69	61
302	305	32	107	146	116	116		68	60
293	296	31	106	142	114	114		67	59
285	287	30	105	138	112	112		66	58
277	279	29	104	134	109	109		65	56
269	270	28	104	131	107	107		64	56
262	263	26	103	128	105	105		62	54
255	256	25	102	125	103	103		61	53
248	248	24	102	122	101	101		60	52
241	241	23	100	119	99	99		59	51
235	235	22	99	116	97	97		57	50
229	229	21	98	113	95	95		56	49

(FUENTE: Manual de aceros inoxidables sistema de electrodos INDURA)

ANEXO B1

Parte muy importante de la norma ASTM E 8-00 para el ensay de tracción.



Designation: E 8 – 00

American Association State
Highway and Transportation Officials Standard
AASHTO No.: T88

Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials¹

This standard is issued under the fixed designation E 8; 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 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—A complete metric companion to Test Methods E 8 has been developed—; therefore, no metric equivalents are shown in these test methods. Committee E28 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—Gage lengths in these test methods are required to be 4D for most round specimens. Test specimens made from powder metallurgy (PM) 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 557.

NOTE 4—Room temperature shall be considered to be 50 to 100°F 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/A 356M 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 557 Test Methods of Tension Testing Wrought and Cast Aluminum- and Magnesium-Alloy Products⁴

¹ These test methods are under the jurisdiction of ASTM Committee E-28 on Mechanical Testing and are the direct responsibility of Subcommittee E28.04 on Uniaxial Testing.

Current edition approved Jan. 10, 1999. Published April 2000. Originally published as E 8 – 24 T. Last previous edition E 8 – 99.

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.

E 4 Practices for Force Verification of Testing Machines⁵

E 6 Terminology Relating to Methods of Mechanical Testing⁵

E 8M Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials [Metric]⁵

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}]—the minimum stress recorded during discontinuous yielding, ignoring transient effects.

3.1.3 *upper yield strength, UYS* [FL^{-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 slope reaches zero, the material has 0 % YPE.

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.

4. Significance and Use

4.1 Tension tests provide information on the strength and ductility of materials under uniaxial tensile stresses. This information may be useful in comparisons of materials, alloy development, quality control, and design under certain circumstances.

4.2 The results of tension tests of specimens machined to standardized dimensions from selected portions of a part or material may not totally represent the strength and ductility properties of the entire end product or its in-service behavior in different environments.

4.3 These test methods are considered satisfactory for acceptance testing of commercial shipments. The test methods have been used extensively in the trade for this purpose.

5. Apparatus

5.1 *Testing Machines*—Machines used for tension testing shall conform to the requirements of Practices E 4. The forces used in determining tensile strength and yield strength shall be within the verified force application range of the testing machine as defined in Practices E 4.

5.2 *Gripping Devices*:

5.2.1 *General*—Various types of gripping devices may be used to transmit the measured force applied by the testing machine to the test specimens. To ensure axial tensile stress within the gage length, the axis of the test specimen should coincide with the center line of the heads of the testing machine. Any departure from this requirement may introduce bending stresses that are not included in the usual stress computation (force divided by cross-sectional area).

NOTE 5—The effect of this eccentric force application may be illustrated by calculating the bending moment and stress thus added. For a standard 1/2-in. diameter specimen, the stress increase is 1.5 percentage points for each 0.001 in. of eccentricity. This error increases to 2.24 percentage points/0.001 in. for a 0.350-in. diameter specimen and to 3.17 percentage points/0.001 in. for a 0.250-in. diameter specimen.

NOTE 6—Alignment methods are given in Practice E 1012.

5.2.2 *Wedge Grips*—Testing machines usually are equipped with wedge grips. These wedge grips generally furnish a satisfactory means of gripping long specimens of ductile metal and flat plate test specimens such as those shown in Fig. 1. If, however, for any reason, one grip of a pair advances farther than the other as the grips tighten, an undesirable bending stress may be introduced. When liners are used behind the wedges, they must be of the same thickness and their faces must be flat and parallel. For best results, the wedges should be supported over their entire lengths by the heads of the testing machine. This requires that liners of several thicknesses be available to cover the range of specimen thickness. For proper gripping, it is desirable that the entire length of the serrated face of each wedge be in contact with the specimen. Proper alignment of wedge grips and liners is illustrated in Fig. 2. For short specimens and for specimens of many materials it is generally necessary to use machined test specimens and to use a special means of gripping to ensure that the specimens, when under load, shall be as nearly as possible in uniformly distributed pure axial tension (see 5.2.3, 5.2.4, and 5.2.5).

5.2.3 *Grips for Threaded and Shouldered Specimens and Brittle Materials*—A schematic diagram of a gripping device

for threaded-end specimens is shown in Fig. 3, while Fig. 4 shows a device for gripping specimens with shouldered ends. Both of these gripping devices should be attached to the heads of the testing machine through properly lubricated spherical-seated bearings. The distance between spherical bearings should be as great as feasible.

5.2.4 *Grips for Sheet Materials*—The self-adjusting grips shown in Fig. 5 have proven satisfactory for testing sheet materials that cannot be tested satisfactorily in the usual type of wedge grips.

5.2.5 *Grips for Wire*—Grips of either the wedge or snubbing types as shown in Fig. 5 and Fig. 6 or flat wedge grips may be used.

5.3 *Dimension-Measuring Devices*—Micrometers and other devices used for measuring linear dimensions shall be accurate and precise to at least one half the smallest unit to which the individual dimension is required to be measured.

5.4 *Extensometers*—Extensometers used in tension testing shall conform to the requirements of Practice E 83 for the classifications specified by the procedure section of this test method. Extensometers shall be used and verified to include the strains corresponding to the yield strength and elongation at fracture (if determined).

5.4.1 Extensometers with gage lengths equal to or shorter than the nominal gage length of the specimen (dimension shown as “G-Gage Length” in the accompanying figures) may be used to determine the yield behavior. For specimens without a reduced section (for example, full cross sectional area specimens of wire, rod, or bar), the extensometer gage length for the determination of yield behavior shall not exceed 80 % of the distance between grips. For measuring elongation at fracture with an appropriate extensometer, the gage length of the extensometer shall be equal to the nominal gage length required for the specimen being tested.

6. Test Specimens

6.1 *General*:

6.1.1 *Specimen Size*—Test specimens shall be either substantially full size or machined, as prescribed in the product specifications for the material being tested.

6.1.2 *Location*—Unless otherwise specified, the axis of the test specimen shall be located within the parent material as follows:

6.1.2.1 At the center for products 1 1/2 in. or less in thickness, diameter, or distance between flats.

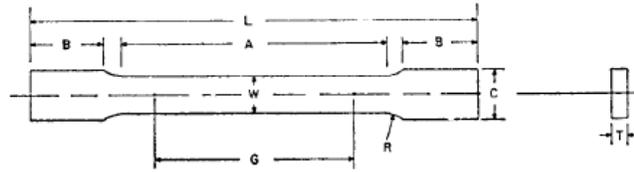
6.1.2.2 Midway from the center to the surface for products over 1 1/2 in. in thickness, diameter, or distance between flats.

6.1.3 *Specimen Machining*—Improperly prepared test specimens often are the reason for unsatisfactory and incorrect test results. It is important, therefore, that care be exercised in the preparation of specimens, particularly in the machining, to maximize precision and minimize bias in test results.

6.1.3.1 The reduced sections of prepared specimens should be free of cold work, notches, chatter marks, grooves, gouges, burrs, rough surfaces or edges, overheating, or any other condition which can deleteriously affect the properties to be measured.

NOTE 7—Punching or blanking of the reduced section may produce

E 8



	Dimensions		
	Standard Specimens		Subsize Specimen
	Plate-Type, 1½-in. Wide	Sheet-Type, ½-in. Wide	¼-in. Wide
	in.	in.	in.
G—Gage length (Note 1 and Note 2)	8.00 ± 0.01	2.000 ± 0.005	1.000 ± 0.003
W—Width (Note 3 and Note 4)	1½ + ¼, - ¼	0.500 ± 0.010	0.250 ± 0.005
T—Thickness (Note 5)		thickness of material	
R—Radius of fillet, min (Note 6)	1	½	¼
L—Over-all length, min (Note 2 and Note 7)	18	8	4
A—Length of reduced section, min	9	2¼	1¼
B—Length of grip section, min (Note 8)	3	2	1¼
C—Width of grip section, approximate (Note 4 and Note 9)	2	¾	¾

NOTE 1—For the 1½-in. wide specimen, punch marks for measuring elongation after fracture shall be made on the flat or on the edge of the specimen and within the reduced section. Either a set of nine or more punch marks 1 in. apart, or one or more pairs of punch marks 8 in. apart may be used.

NOTE 2—When elongation measurements of 1½-in. wide specimens are not required, a minimum length of reduced section (A) of 2¼ in. may be used with all other dimensions similar to those of the plate-type specimen.

NOTE 3—For the three sizes of specimens, the ends of the reduced section shall not differ in width by more than 0.004, 0.002 or 0.001 in., respectively. Also, there may be a gradual decrease in width from the ends to the center, but the width at each end shall not be more than 0.015, 0.005, or 0.003 in., respectively, larger than the width at the center.

NOTE 4—For each of the three sizes of specimens, narrower widths (W and C) may be used when necessary. In such cases the width of the reduced section should be as large as the width of the material being tested permits; however, unless stated specifically, the requirements for elongation in a product specification shall not apply when these narrower specimens are used.

NOTE 5—The dimension T is the thickness of the test specimen as provided for in the applicable material specifications. Minimum thickness of 1½-in. wide specimens shall be 3/16 in. Maximum thickness of ½-in. and ¼-in. wide specimens shall be 3/4 in. and 1/4 in., respectively.

NOTE 5—The dimension T is the thickness of the test specimen as provided for in the applicable material specifications. Minimum thickness of 1½-in. wide specimens shall be 3/16 in. Maximum thickness of ½-in. and ¼-in. wide specimens shall be 3/4 in. and 1/4 in., respectively.

NOTE 6—For the 1½-in. wide specimen, a ½-in. minimum radius at the ends of the reduced section is permitted for steel specimens under 100 000 psi in tensile strength when a profile cutter is used to machine the reduced section.

NOTE 7—To aid in obtaining axial force application during testing of ¼-in. wide specimens, the over-all length should be as large as the material will permit, up to 8.00 in.

NOTE 8—It is desirable, if possible, to make the length of the grip section large enough to allow the specimen to extend into the grips a distance equal to two thirds or more of the length of the grips. If the thickness of ½-in. wide specimens is over 3/8 in., longer grips and correspondingly longer grip sections of the specimen may be necessary to prevent failure in the grip section.

NOTE 9—For the three sizes of specimens, the ends of the specimen shall be symmetrical in width with the center line of the reduced section within 0.10, 0.05 and 0.005 in., respectively. However, for referee testing and when required by product specifications, the ends of the ½-in. wide specimen shall be symmetrical within 0.01 in.

NOTE 10—For each specimen type, the radii of all fillets shall be equal to each other within a tolerance of 0.05 in., and the centers of curvature of the two fillets at a particular end shall be located across from each other (on a line perpendicular to the centerline) within a tolerance of 0.10 in.

NOTE 11—Specimens with sides parallel throughout their length are permitted, except for referee testing, provided: (a) the above tolerances are used; (b) an adequate number of marks are provided for determination of elongation; and (c) when yield strength is determined, a suitable extensometer is used. If the fracture occurs at a distance of less than 2W from the edge of the gripping device, the tensile properties determined may not be representative of the material. In acceptance testing, if the properties meet the minimum requirements specified, no further testing is required, but if they are less than the minimum requirements, discard the test and retest.

FIG. 1 Rectangular Tension Test Specimens

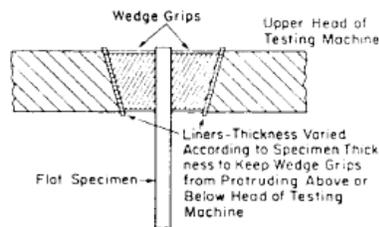


FIG. 2 Wedge Grips with Liners for Flat Specimens

significant cold work or shear burrs, or both, along the edges which should be removed by machining.

6.1.3.2 Within the reduced section of rectangular specimens, edges or corners should not be ground or abraded in a manner which could cause the actual cross-sectional area of the specimen to be significantly different from the calculated area.

6.1.3.3 For brittle materials, large radius fillets at the ends of the gage length should be used.

6.1.3.4 The cross-sectional area of the specimen should be smallest at the center of the reduced section to ensure fracture within the gage length. For this reason, a small taper is permitted in the reduced section of each of the specimens

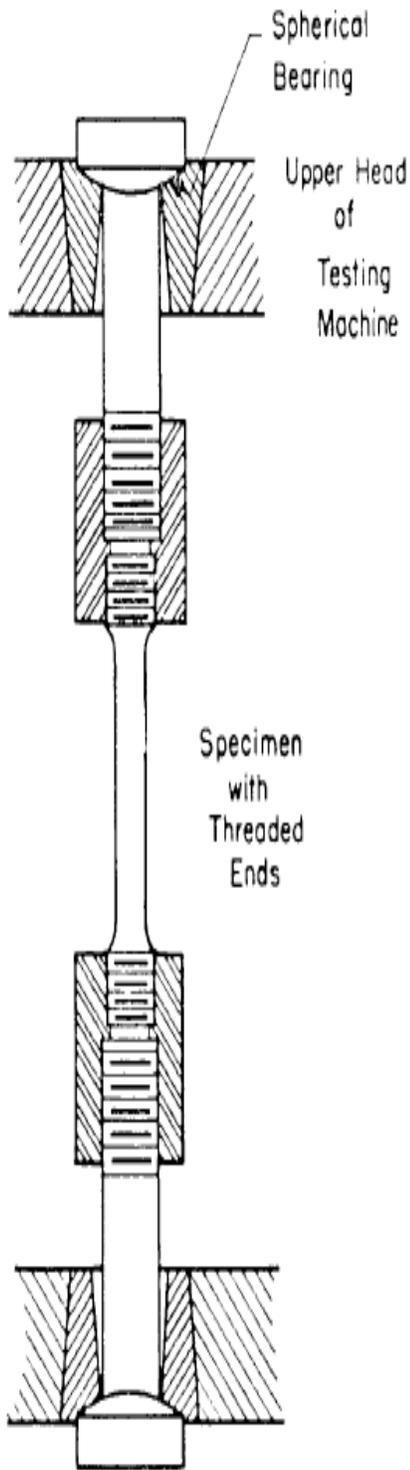


FIG. 3 Gripping Device for Threaded-End Specimens

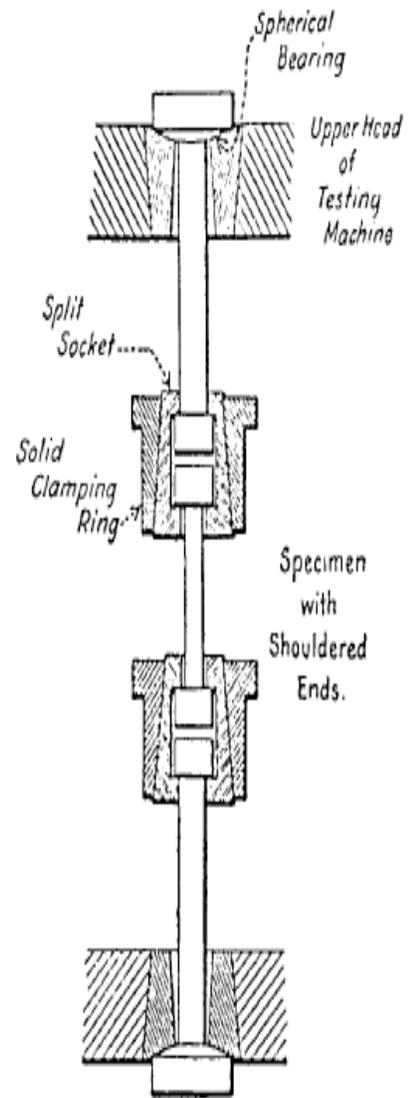


FIG. 4 Gripping Device for Shouldered-End Specimens

ANEXO B2.

Parte muy importante de la norma ASTM E 111-10 para el cálculo del módulo de elasticidad o de **Young**



Designation: E111

Standard Test Method for Young's Modulus, Tangent Modulus, and Chord Modulus¹

This standard is issued under the fixed designation E111; 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 This test method² covers the determination of Young's modulus, tangent modulus, and chord modulus of structural materials. This test method is limited to materials in which and to temperatures and stresses at which creep is negligible compared to the strain produced immediately upon loading and to elastic behavior.

1.2 Because of experimental problems associated with the establishment of the origin of the stress-strain curve described in 8.1, the determination of the initial tangent modulus (that is, the slope of the stress-strain curve at the origin) and the secant modulus are outside the scope of this test method.

1.3 The values stated in SI units are to be regarded as standard. No other units of measurement are included in this standard.

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 requirements prior to use.*

[E21 Test Methods for Elevated Temperature Tension Tests of Metallic Materials](#)

[E83 Practice for Verification and Classification of Extensometer Systems](#)

[E231 Method for Static Determination of Young's Modulus of Metals at Low and Elevated Temperatures⁴](#)

[E1012 Practice for Verification of Test Frame and Specimen Alignment Under Tensile and Compressive Axial Force Application](#)

2.2 *General Considerations*—While certain portions of the standards and practices listed are applicable and should be referred to, the precision required in this test method is higher than that required in general testing.

3. Terminology

3.1 Definitions:

3.1.1 *accuracy*—the degree of agreement between an accepted standard value of Young's modulus (the average of many observations made according to this method, preferably by many observers) and the value determined.

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:³

E4 Practices for Force Verification of Testing Machines

E6 Terminology Relating to Methods of Mechanical Testing

E8 Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials

E9 Test Methods of Compression Testing of Metallic Materials at Room Temperature

¹This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee E28 on Mechanical Testing and is the direct responsibility of Subcommittee E28.04 on Uniaxial Testing.

Current edition approved Sept. 15, 2010. Published January 2011. Originally approved in 1955. Last previous edition approved in 2004 as E111 – 04. DOI: 10.1520/E0111-04R10

²This test method is a revision of E111 – 61 (1978), “Young’s Modulus at Room Temperature” and includes appropriate requirements of E231 – 69 (1975), “Static Determination of Young’s Modulus of Metals at Low and Elevated Temperatures” to permit the eventual withdrawal of the latter method. Method E231 is under the jurisdiction of ASTM-ASME Joint Committee on Effect of Temperature on the Property of Metals.

³For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, www.astm.org, or contact ASTM Customer Service at service@astm.org. For *Annual Book of ASTM Standards* volume information, refer to the standard’s Document Summary page on the ASTM website.

3.1.1.1 Increased accuracy is associated with decreased bias relative to the accepted standard value; two methods with equal bias relative to the accepted standard value have equal accuracy even if one method is more precise than the other. See also *bias* and *precision*.

3.1.1.2 The accepted standard value is the value of Young’s modulus for the statistical universe being sampled using this method. When an accepted standard value is not available, accuracy cannot be established.

3.1.2 *bias, statistical*—a constant or systematic error in test results.

3.1.2.1 Bias can exist between the accepted standard value and a test result obtained from this test method, or between two test results obtained from this test method, for example, between operators or between laboratories.

3.1.3 *precision*—the degree of mutual agreement among individual measurements made under prescribed like conditions.

⁴Withdrawn. Last approved version of this historical standard is referenced on www.astm.org.

can be used to determine the modulus, before straining the specimen into the plastic range to determine yield and tensile strengths.

8.6 Temperature Control—The average temperature over the specimen gage length shall not deviate from the indicated nominal test temperature by more than $\pm 2^\circ\text{C}$. In elevated-temperature tests, indicated temperature variations along the gage length of the specimen shall not exceed the following limits: up to and including $900 \pm 1.5^\circ\text{C}$, above $900 \pm 3.0^\circ\text{C}$. (See 6.5.) The test must be performed with the same setup and under similar conditions as those of the instrumented test described in 6.5.

NOTE 9—The terms “indicated nominal temperature” or “indicated temperature” mean the temperature that is indicated by the temperature-measuring device using good pyrometric practice.⁵

NOTE 10—It is recognized that actual temperatures may vary more than the indicated temperatures. The use of “indicated temperatures” for the limits of permissible variation in temperature are not to be construed as minimizing the importance of good practice and precise temperature control. All laboratories are obligated to keep the variation of indicated temperature from the actual temperature as small as is practical. Temperature changes during the test, within the allowable limits, can cause significant strain errors due to differences in thermal expansion of the test specimen and extensometer parts. Temperature changes should be minimized while making strain measurements.

8.7 In low-temperature testing in which the bath is cooled with dry ice or in which a refrigeration system is used, the temperature of the medium around the specimen shall be maintained at temperatures within 1.5°C of the specified temperature. Bath temperatures or the temperature of circulating air from a refrigeration system may be done with a

ment, between two points on the line as far apart as possible, by use of the following equation:

$$E = \left(\frac{\Delta_p}{A_o} \right) / \left(\frac{\Delta_c}{L_o} \right) \quad (1)$$

where:

- Δ_p = force increment,
- A_o = original cross-sectional area,
- Δ_c = extension increment, and
- L_o = original gage length.

The precision of the value obtained for Young’s modulus will depend upon the precision of each of the values used in the calculation. It is suggested that the report include an estimate of the precision of the reported value of Young’s modulus based on the summation of the precisions of the respective values. When the modulus determination is made at strains in excess of 0.25 %, corrections shall be made for changes in cross-sectional area and gage length by substituting the instantaneous cross section and instantaneous gage length for the original values.

9.2 If the load-versus-extension data are obtained in numerical form, the errors introduced by plotting the data and fitting graphically a straight line to the experimental points are reduced by determining Young’s modulus as the slope of the straight line fitted to the appropriate data by the method of least squares. This method also permits statistical study of the data and therefore an evaluation of the variability of the modulus within the stress range employed. The equation for Young’s modulus fitted by the method of least squares (all data pairs

copper-constantan thermocouple or a suitable thermometer. If the specimen is submerged in a bath at the boiling point of the bath, sufficient soaking time (see **Note 6**) must be allowed to provide equilibrium conditions. Specimens tested in boiling liquids must meet the temperature control requirements specified in **8.6**.

8.7.1 Caution—The boiling point of a commercial liquid gas may not be the same as the published temperature for the pure liquid gas.

8.8 Temperature Measurement—The method of temperature measurement must be sufficiently sensitive and reliable to ensure that the temperature of the specimen is within the limits specified in **8.6** and **8.7**. Thermocouples in conjunction with potentiometers or millivolt meters are generally used to measure temperatures. A discussion of temperature measurement and the use of thermocouples is given in Test Methods **E21**.

9. Interpretation of Data

9.1 If a plot of load-versus-extension (force versus elongation) is obtained by means of an autographic recorder, the value for Young's modulus is obtained by determining the slope of the line for forces less than the force corresponding to the proportional limit. Choice of the lower force point depends on the limitations set forth in **8.1**. Young's modulus is calculated from the force increment and corresponding extension incre-

having equal weight) is:

$$\text{Young's modulus, } E = (\Sigma(XY) - K\bar{X}\bar{Y}) / (\Sigma X^2 - K\bar{X}^2) \quad (2)$$

where:

Y = applied axial stress, and

X = corresponding strain.

In terms of the measured load P_i and measured original cross-sectional area A_o and gage length L_o ,

$$X = \frac{\Delta_c}{L_o}$$

$$Y = \frac{\Delta_p}{A_o}$$

$$\bar{Y} = \frac{\Sigma Y}{K} = \text{average of } Y \text{ values}$$

$$\bar{X} = \frac{\Sigma X}{K} = \text{average of } X \text{ value}$$

K = number of X, Y data pairs and Σ = sum from 1 to K .

The coefficient of determination, r^2 , indicates the goodness of fit achieved in a single test. This coefficient is defined as follows:

$$r^2 = \left(\left[\Sigma XY - \frac{\Sigma X \Sigma Y}{K} \right]^2 \right) / \left(\left[\Sigma X^2 - \frac{(\Sigma X)^2}{K} \right] \left[\Sigma Y^2 - \frac{(\Sigma Y)^2}{K} \right] \right) \quad (3)$$

Values of r^2 close to 1.00 are desirable (see **Table 1**).

NOTE 11—Many programmable calculators have built-in programs for calculating the slopes of straight lines fitted to a number of data pairs and

³ For further information on temperature control and measurement, see *Panel Discussion on Pyrometric Practices, ASTM STP 178, 1955*.

ANEXO B3

Parte muy importante de la norma ASTM E 18-00 para el ensayo de dureza, es superficie de la junta soldada.



Standard Test Methods for Rockwell Hardness and Rockwell Superficial Hardness of Metallic Materials^{1,2}

This standard is issued under the fixed designation E 18; 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 cover the determination of the Rockwell hardness and the Rockwell superficial hardness of metallic materials, including test methods for the verification of machines for Rockwell hardness testing (Part B) and the calibration of standardized hardness test blocks (Part C).

1.2 Values stated in inch-pound units are to be regarded as the standard. SI units are provided for information only.

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. (See Note 5.)*

NOTE 1—The National Institute of Standards and Technology (NIST) maintains the national Rockwell hardness standards for the United States. In June 1998, NIST released new Rockwell C scale (HRC) test blocks as Standard Reference Materials (SRMs). The blocks were calibrated using NIST's primary reference standardizing machine. The major benefit of the NIST standards is that their HRC levels are in line with the other industrialized countries around the world. The NIST HRC levels establish the hardness of materials slightly harder than the historical standards used in the United States for the past 75 years. The revision of E 18 requires that all performance verifications of Rockwell hardness indenters and hardness machines must be made using test blocks calibrated traceable to the Rockwell standards maintained by NIST. This can be accomplished through the use of commercial test blocks calibrated traceable to the NIST standards or by directly using the NIST SRMs. This requirement will apply only to the Rockwell scale(s) for which NIST supplies primary reference test blocks

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

A 370 Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products³

- B 19 Specification for Cartridge Brass Sheet, Strip, Plate, Bar, and Disks (Blanks)⁴
- B 36/B36 M Specification for Brass Plate, Sheet, Strip, and Rolled Bar⁴
- B 96 Specification for Copper-Silicon Alloy Plate, Sheet, Strip, and Rolled Bar for General Purposes and Pressure Vessels⁴
- B 97 Specification for Copper-Silicon Alloy Plate, Sheet, Strip, and Rolled Bar for General Purposes⁵
- B 103/B 103 M Specification for Phosphor Bronze Plate, Sheet, Strip, and Rolled Bar⁴
- B 121/B 121 M Specification for Leaded Brass Plate, Sheet, Strip, and Rolled Bar⁴
- B 122/B 122 M Specification for Copper-Nickel-Tin Alloy, Copper-Nickel-Zinc Alloy (Nickel Silver), and Copper-Nickel Alloy Plate, Sheet, Strip, and Rolled Bar⁴
- B 130 Specification for Commercial Bronze Strip for Bullet Jackets⁴
- B 134 Specification for Brass Wire⁴
- B 152 Specification for Copper Sheet, Strip, Plate, and Rolled Bar⁴
- B 291 Specification for Copper-Zinc-Manganese Alloy (Manganese Brass) Sheet and Strip⁴
- B 370 Specification for Copper Sheet and Strip for Building Construction⁴
- E 4 Practices for Force Verification of Testing Machines⁶
- E 29 Practice for Using Significant Digits in Test Data to Determine Conformance with Specifications⁷
- E 140 Hardness Conversion Tables for Metals⁶

3. Terminology

3.1 Definitions:

3.1.1 *calibration*—determination of the values of the significant parameters by comparison with values indicated by a reference instrument or by a set of reference standards.

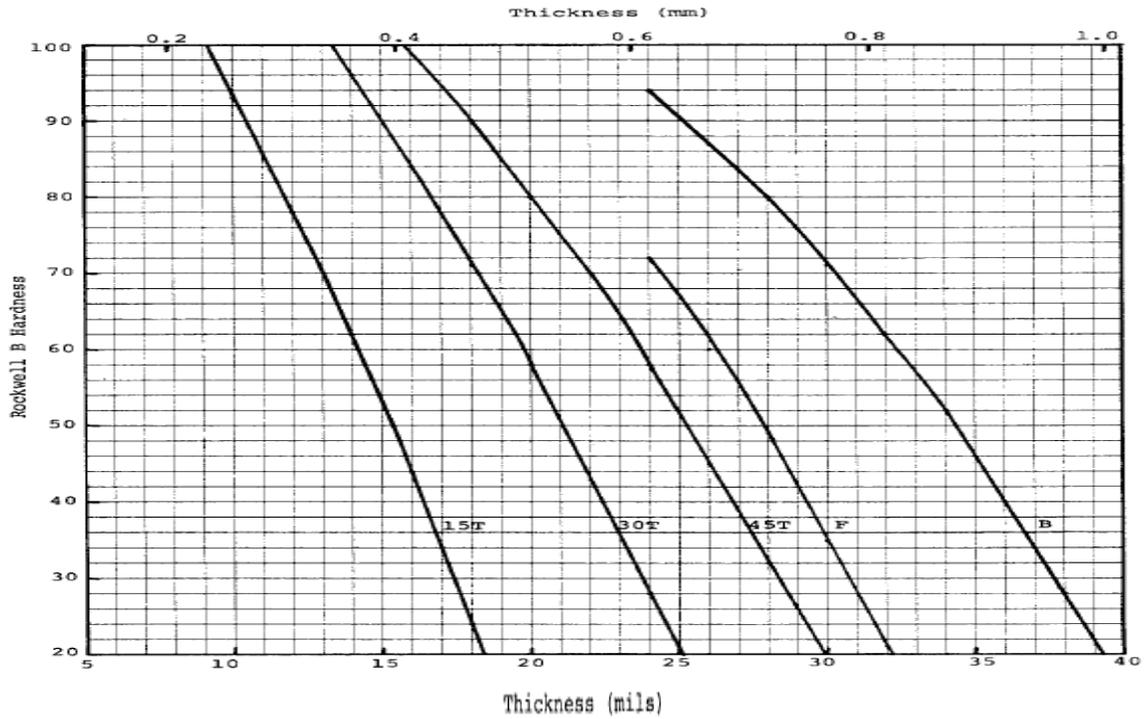
3.1.2 *Rockwell hardness number, HR*—a number derived from the net increase in the depth of indentation as the force on

TABLE 10 A Minimum Thickness Guide for Selection of Scales Using the 1/16 in. (1.588 mm) Diameter Ball Indenter (see Fig. 6)

NOTE 1—For any given thickness, the indicated Rockwell hardness is the minimum value acceptable for testing. For a given hardness, material of any greater thickness than that corresponding to that hardness can be tested on the indicated scale.

Minimum Thickness		Rockwell Superficial Scale					
		15T		30T		45T	
in.	mm	Hardness Reading	Approximate Hardness B-Scale ^A	Hardness Reading	Approximate Hardness B-Scale ^A	Hardness Reading	Approximate Hardness B-Scale ^A
0.010	0.25	91	93	...	...	...	...
0.012	0.30	86	78	...	...	...	...
0.014	0.36	81	62	80	96	...	...
0.016	0.41	75	44	72	84	71	99
0.018	0.46	68	24	64	71	62	90
0.020	0.51	...	...	55	58	53	80
0.022	0.56	...	...	45	43	43	70
0.024	0.61	...	...	34	28	31	58
0.026	0.66	...	...	...	...	18	45
0.028	0.71	...	...	...	...	4	32
0.030	0.76	...	...	...	...	...	...

^AThese approximate hardness numbers are for use in selecting a suitable scale, and should not be used as hardness conversions. If necessary to convert test readings to another scale refer to Hardness Conversion Tables E 140 (Relationship Between Brinell Hardness, Vickers Hardness, Rockwell Hardness, Rockwell Superficial Hardness and Knoop Hardness).



NOTE 1—Locate a point corresponding to the thickness-hardness combination to be tested. Only scales falling to the left of this point may be used to test this combination.

FIG. 6 Thickness Limits for Rockwell Hardness Testing Using the 1/16-in. (1.588-mm) Diameter Ball Indenter

TABLE 16 Hardness Ranges Used in Verification by Standardized Test Block Method^A

Rockwell Scale	Hardness Ranges
C	{ 20 to 30
	{ 35 to 55
	{ 59 to 65
B	{ 40 to 59
	{ 60 to 79
	{ 80 to 100
30N	{ 40 to 50
	{ 55 to 73
	{ 75 to 80
30T	{ 43 to 56
	{ 57 to 70 incl
	{ over 70 to 82

^AFor scales not listed, use equivalent hardness ranges as those shown; for example, 20 HRC to 30 HRC corresponds to 69.4 HR 15N to 75.0 HR 15N.

TABLE 17 Allowable Deviation in Hardness Readings for Verified Diamond Indenters

For Hardness Readings in Range of:	Allowable Deviation, Rockwell Units
C 63	±0.5
C 25	±1.0
30N 80	±0.5
30N 45	±1.0

(a) (a) For the purpose of verifying the size and the hardness of the indenter, it is considered sufficient to test a sample selected at random from a batch. The ball(s) verified for hardness shall be discarded.

(b) (b) The ball shall be polished and free from surface defects.

(c) (c) The user shall either measure the balls to ensure that they meet the following requirements, or he shall obtain balls from a supplier who can certify that the following conditions are met. The diameter, when measured at not less than three positions, shall not differ from the nominal diameter by more than the tolerance given in Table 18. The hardness shall not be less than 746 HV 10. Mean diagonals of Vickers impressions corresponding to this hardness level are given in Table 19.

13.1.3 *Verification of the Measuring Device:*

13.1.3.1 The depth-measuring device shall be verified over not less than three intervals, including the intervals corresponding to the lowest and highest hardnesses for which the scales are normally used by making known incremental movements of the indenter.

13.1.3.2 The instrument used to verify the depth measuring device shall have an accuracy of 0.0002 mm.

TABLE 19 Maximum Mean Diagonal of Vickers Hardness Indentation on Rockwell Hardness Balls

Ball Diameters		Maximum Mean Diagonal of Indentation on the Ball Made with Vickers Indenter Under 10-kgf (98-N) Load, mm
in.	mm	
1/16	1.588	0.141
1/8	3.175	0.144
1/4	6.350	0.145
1/2	12.700	0.147

13.1.3.3 The depth-measuring device shall correctly indicate within ±0.5 of Rockwell unit, over each interval. This corresponds to ±0.001 mm for regular Rockwell ranges and ±0.0005 mm on Rockwell superficial ranges.

13.2 *Indirect Verification*—Indirect verification may be carried out by means of standardized blocks calibrated in accordance with Part C.

13.2.1 *Procedure:*

13.2.1.1 For indirect verification of a testing machine, the following procedures shall be applied: The testing machine shall be verified using standardized test blocks in the low, middle, and high hardness ranges for each scale to be used. Commonly used hardness scales and hardness ranges are given in Table 16. The testing machine shall not be adjusted between tests made on the three test blocks. The verification is incom-

plete unless the requirements of 13.5 are met.

13.2.1.2 In accordance with Part A of this test method, make five indentations on each standardized block, distributed uniformly over the block's surface and report the hardness values to within 0.2 of a Rockwell unit. Before making these indentations, at least two indentations shall be made to ensure that the machine is working freely and that the standardized block, the indenter, and the anvil are seating correctly. The results of these preliminary indentations shall be ignored.

13.2.1.3 For each standardized test block, let R_1, R_2, \dots, R_5 be the hardness readings of the 5 indentations arranged in increasing order of magnitude.

13.2.2 *Repeatability:*

13.2.2.1 The repeatability of the testing machine under the particular verification conditions is determined by the following quantity:

$$R_5 - R_1 \tag{1}$$

13.2.2.2 The repeatability of the testing machine verified is considered satisfactory if it satisfies the conditions given in Table 20.

13.2.3 *Error:*

13.2.3.1 The error of the testing machine under the particular verification conditions is expressed by the following quan-

TABLE 18 Tolerances for Rockwell Hardness Ball Indenters

Diameter of Ball		Tolerance ^A	
in.	mm	in.	mm
1/16	1.588	±0.0001	±0.0025
1/8	3.175	±0.0001	±0.0025
1/4	6.350	±0.0001	±0.0025
1/2	12.700	±0.0001	±0.0025

^AFor balls in the range of diameters specified, these tolerances and the permissible variation in the diameter of any one ball, as specified in 19.1.3, are met by Grade 24 steel balls of the Anti-Friction Bearing Manufacturers' Association (ABMA).

lar verification conditions is expressed by the following quantity:

$$\bar{R} - R \tag{2}$$

where:

$$\bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_5}{5}, \text{ and}$$

R = stated hardness of the standardized test block used.

13.2.3.2 The mean hardness value for the five tests shall not differ from the mean corresponding to the hardness of the

 **E 18**

TABLE 20 Repeatability of Machines

Range of Standardized Hardness Test Blocks	The Repeatability ^A of the Machine Shall Be Not Greater Than:
<i>Rockwell C Scale:</i>	
25 to 30	2.0
35 to 55	1.5
59 to 65	1.0
<i>Rockwell B Scale:</i>	
40 to 59	2.5
60 to 79	2.0
80 to 100	2.0
<i>Rockwell 30N Scale:</i>	
40 to 50	2.0
55 to 73	1.5
75 to 80	1.0
<i>Rockwell 30T Scale:</i>	
43 to 56	2.5
57 to 70, incl	2.0
Over 70 to 82	2.0

^A The repeatability of machines on Rockwell or Rockwell superficial hardness scales other than those given in Table 20 shall be the equivalent converted difference in hardness for those scales, except for the 15N and 15T scales. In the case of the 15N and 15T scales, the repeatability shall be no greater than 1.0 for all ranges.

Example—At C 60, typical readings of a series of indentations might range from 59 to 60, 59.5 to 60.5, 60 to 61, etc. Thus, converted A-scale values corresponding to C 59 to 60 (see Table II of Hardness Conversion Tables E 140) would be A 80.7 to 81.2 and the repeatability for the A-scale would be 0.5.

TABLE 21 Tolerance Values for Standardized Test Blocks

Nominal Hardness of Standardized Test Block	Tolerance Values of the Test Block Shall Not Be Greater Than
<i>C Scale^A</i>	
60 and Greater	±0.5
Below 60	±1.0
<i>A Scale</i>	
80 and Greater	±0.5
Below 80 to 60.5, incl	±1.0
<i>15N Scale</i>	
90 and Greater	±0.7
Below 90 to 69.4, incl	±1.0
<i>30N Scale</i>	
77.5 and Greater	±0.7
Below 77.5 to 41.5, incl	±1.0
<i>45N Scale</i>	
66.5 and Greater	±0.7
Below 66.5 to 19.6, incl	±1.0
<i>B Scale^B</i>	
45 and Greater	±1.0
Below 45 to 1.5, incl	±1.5
<i>F Scale</i>	
99.6 to 57.0, incl	±1.0
<i>15T Scale</i>	
75.3 and Greater	±1.0
Below 75.3 to 60.5, incl	±1.5
<i>30T Scale</i>	
46.2 and Greater	±1.0
Below 46.2 to 15.0, incl	±1.5
<i>45T Scale</i>	
17.6 and Greater	±1.0
Below 17.6 to 1.0, incl	±1.5

ANEXO B4

Parte muy importante de la norma ASTM E- 23 para realizar el ensayo de impacto, en juntas soldadas.



Designation: E 23 – 00

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 $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($-320\text{ }^{\circ}\text{F}$, $77\text{ }^{\circ}\text{K}$).

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 applica-*

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

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.

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.

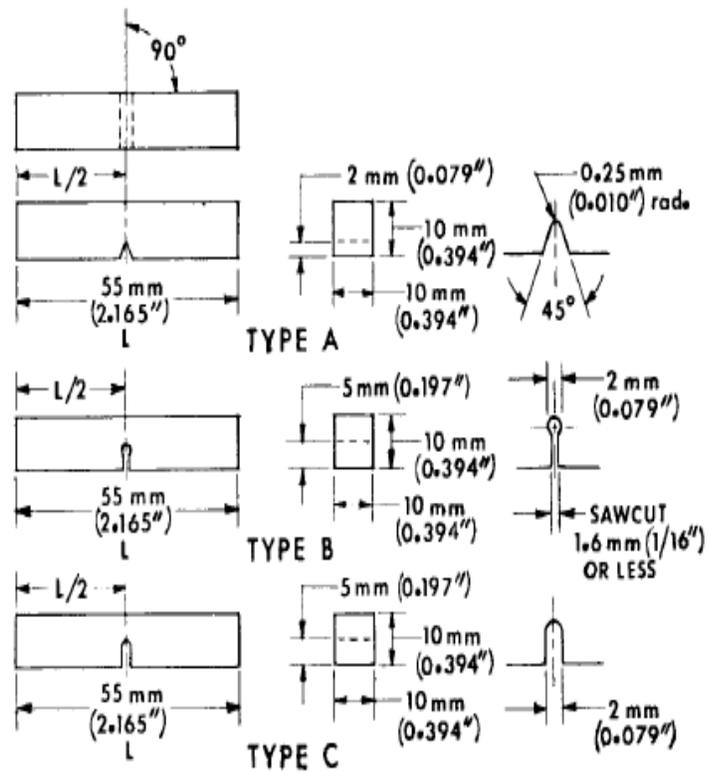
7.1.6 Sub-size and supplementary specimen recommendations are given in Annex A3.

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	$90 \pm 2^\circ$
Adjacent sides shall be at	$90^\circ \pm 10 \text{ min}$
Cross-section dimensions	$\pm 0.075 \text{ mm } (\pm 0.003 \text{ in.})$
Length of specimen (L)	$+0, -2.5 \text{ mm } (+0, -0.100 \text{ in.})$
Centering of notch (L/2)	$\pm 1 \text{ mm } (\pm 0.039 \text{ in.})$
Angle of notch	$\pm 1^\circ$
Radius of notch	$\pm 0.025 \text{ mm } (\pm 0.001 \text{ in.})$
Notch depth:	
Type A specimen	$\pm 0.025 \text{ mm } (\pm 0.001 \text{ in.})$
Types B and C specimen	$\pm 0.075 \text{ mm } (\pm 0.003 \text{ in.})$
Finish requirements	$2 \mu\text{m } (63 \mu\text{in.})$ on notched surface and opposite face; $4 \mu\text{m } (125 \mu\text{in.})$ on other two surfaces

FIG. 1 Charpy (Simple-Beam) Impact Test Specimens, Types A, B, and C

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).

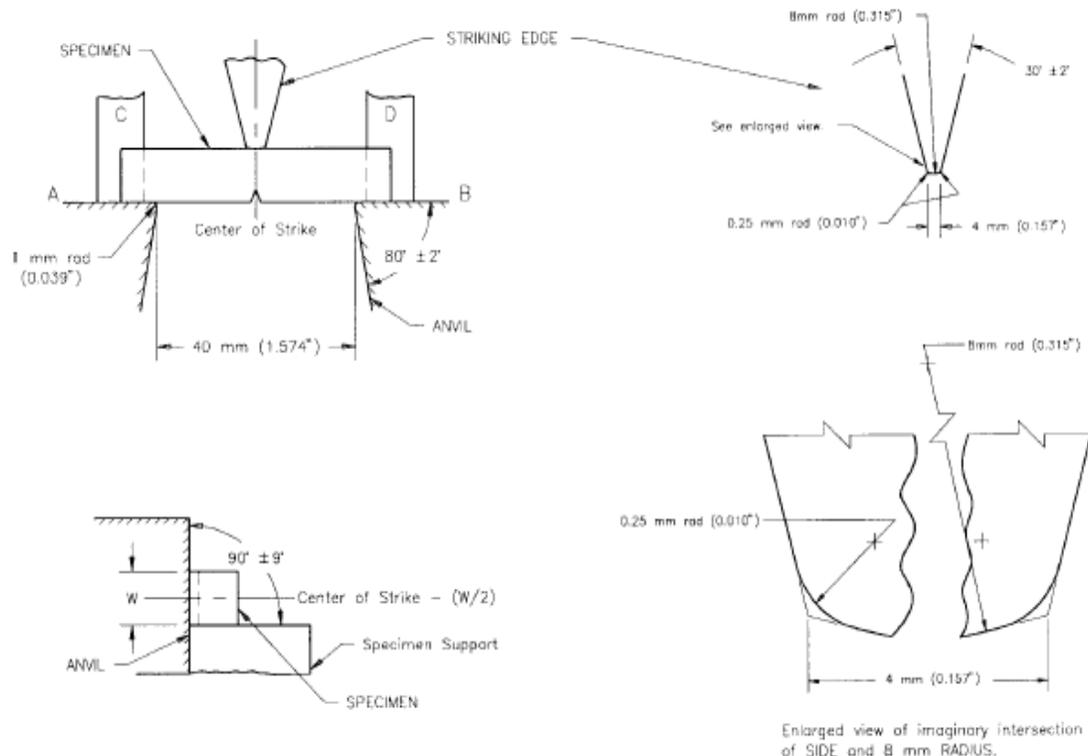
A1.10.2 The supports and striker shall be of the forms and dimensions shown in Fig. A1.2. Other dimensions of the pendulum and supports should be such as to minimize interference between the pendulum and broken specimens.

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 Tup

ANEXO B5.

Parte muy importante de la norma ASTM E- 112-96 para determinar tamaño promedio del grano, en juntas soldadas.



Designation: E 112 – 96^{ε3}

Standard Test Methods for Determining Average Grain Size¹

This standard is issued under the fixed designation E 112; 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.

^{ε1} NOTE—Equations A1.4, A1.5 and A1.6 were editorially revised in April 2000.

^{ε2} NOTE—New numbers were assigned to the adjuncts in February 2003.

^{ε3} NOTE—Footnotes 4, 5 and 9 were editorially corrected and footnote 8 was editorially removed in May 2004.

INTRODUCTION

These test methods of determination of average grain size in metallic materials are primarily measuring procedures and, because of their purely geometric basis, are independent of the metal or alloy concerned. In fact, the basic procedures may also be used for the estimation of average grain, crystal, or cell size in nonmetallic materials. The comparison method may be used if the structure of the material approaches the appearance of one of the standard comparison charts. The intercept and planimetric methods are always applicable for determining average grain size. However, the comparison charts cannot be used for measurement of individual grains.]

1. Scope

1.1 These test methods cover the measurement of average grain size and include the comparison procedure, the planimetric (or Jeffries) procedure, and the intercept procedures. These test methods may also be applied to nonmetallic materials with structures having appearances similar to those of the metallic structures shown in the comparison charts. These test methods apply chiefly to single phase grain structures but they can be applied to determine the average size of a particular type of grain structure in a multiphase or multiconstituent specimen.

1.2 These test methods are used to determine the average grain size of specimens with a unimodal distribution of grain areas, diameters, or intercept lengths. These distributions are approximately log normal. These test methods do not cover methods to characterize the nature of these distributions. Characterization of grain size in specimens with duplex grain size distributions is described in Test Methods E 1181. Measurement of individual, very coarse grains in a fine grained matrix is described in Test Methods E 930.

1.3 These test methods deal only with determination of planar grain size, that is, characterization of the two-dimensional grain sections revealed by the sectioning plane. Determination of spatial grain size, that is, measurement of the

size of the three-dimensional grains in the specimen volume, is beyond the scope of these test methods.

1.4 These test methods describe techniques performed manually using either a standard series of graded chart images for the comparison method or simple templates for the manual counting methods. Utilization of semi-automatic digitizing tablets or automatic image analyzers to measure grain size is described in Test Methods E 1382.

1.5 These test methods deal only with the recommended test methods and nothing in them should be construed as defining or establishing limits of acceptability or fitness of purpose of the materials tested.

1.6 The measured values are stated in SI units, which are regarded as standard. Equivalent inch-pound values, when listed, are in parentheses and may be approximate.

1.7 *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.*

size of the specimen, as viewed at the magnification, M , instead of at the basic magnification, M_b (75X or 100X), to yield the true ASTM grain-size number. Thus, for a magnification of 25X, the true ASTM grain-size number is four numbers lower than that of the corresponding photomicrograph at 100X ($Q = -4$). Likewise, for 400X, the true ASTM grain-size number is four numbers higher ($Q = +4$) than that of the corresponding photomicrograph at 100X. Similarly, for 300X, the true ASTM grain-size number is four numbers higher than that of the corresponding photomicrograph at 75X.

10.8 The small number of grains per field at the coarse end of the chart series, that is, size 00, and the very small size of the grains at the fine end make accurate comparison ratings difficult. When the specimen grain size falls at either end of the chart range, a more meaningful comparison can be made by changing the magnification so that the grain size lies closer to the center of the range.

10.9 The use of transparencies⁵ or prints of the standards, with the standard and the unknown placed adjacent to each other, is to be preferred to the use of wall chart comparison with the projected image on the microscope screen.

10.10 No particular significance should be attached to the fact that different observers often obtain slightly different results, provided the different results fall within the confidence limits reasonably expected with the procedure used.

10.11 There is a possibility when an operator makes repeated checks on the same specimen using the comparison method that they will be prejudiced by their first estimate. This disadvantage can be overcome, when necessary, by changes in magnification, through bellows extension, or objective or eyepiece replacement between estimates (1).⁶

10.12 Make the estimation of macroscopically-determined grain sizes (extremely coarse) by direct comparison, at a magnification of 1X, of the properly prepared specimen, or of a photograph of a representative field of the specimen, with photographs of the standard grain series shown in Plate I (for untwinned material) and Plates II and III (for twinned material). Since the photographs of the standard grain size series were made at 75 and 100 diameters magnification, grain sizes estimated in this way do not fall in the standard ASTM grain-size series and hence, preferably, should be expressed either as diameter of the average grain or as one of the macro-grain size numbers listed in Table 3. For the smaller macroscopic grain sizes, it may be preferable to use a higher magnification and the correction factor given in Note 3, particularly if it is desirable to retain this method of reporting.

NOTE 3—If the grain size is reported in ASTM macro-grain size numbers, it is convenient to use the relationship:

⁵ Transparencies of the various grain sizes in Plate I are available from ASTM Headquarters. Order Adjunct: ADJE112TS for the set. Transparencies of individual grain size groupings are available on request. Order Adjunct: ADJE011205T (Grain Size 00), ADJE11206T (Grain Size 0), ADJE11207T (Grain Size 0.5), ADJE11208T (Grain Size 1.0), ADJE11209T (Grain Size 1.5), ADJE11210T (Grain Size 2.0), ADJE11211T (Grain Size 2.5), ADJE11212T (Grain Sizes 3.0, 3.5, and 4.0), ADJE11213T (Grain Sizes 4.5, 5.0, and 5.5), ADJE11214T (Grain Sizes 6.0, 6.5, and 7.0), ADJE11215T (Grain Sizes 7.5, 8.0, and 8.5), and ADJE11216T (Grain Sizes 9.0, 9.5, and 10.0). Charts illustrating grain size numbers 00 to 10 are on 8½ by 11 in. (215.9 by 279.4 mm) film. Transparencies for Plates II, III, and IV are not available.

$$\begin{aligned} Q_m &= 2 \log_2 M \\ &= 6.64 \log_{10} M \end{aligned} \quad (3)$$

where Q_m is a correction factor that is added to the apparent grain size of the specimen, when viewed at the magnification M , instead of at 1X, to yield the true ASTM macro-grain size number. Thus, for a magnification of 2X, the true ASTM macro-grain size number is two numbers higher ($Q = +2$), and for 4X, the true ASTM macro-grain size number is four numbers higher ($Q = +4$) than that of the corresponding photograph.

10.13 The comparison procedure shall be applicable for estimating the austenite grain size in ferritic steel after a McQuaid-Ehn test (see Annex A3, A3.2), or after the austenite grains have been revealed by any other means (see Annex A3, A3.3). Make the grain-size measurement by comparing the microscopic image, at magnification of 100X, with the standard grain size chart in Plate IV, for grains developed in a McQuaid-Ehn test (see Annex A3); for the measurement of austenite grains developed by other means (see Annex A3), measure by comparing the microscopic image with the plate having the most nearly comparable structure observed in Plates I, II, or IV.

10.14 The so-called “Shepherd Fracture Grain Size Method” of judging grain size from the appearance of the fracture of hardened steel (2), involves comparison of the specimen under investigation with a set of standard fractures.⁷ It has been found that the arbitrarily numbered fracture grain size series agree well with the correspondingly numbered ASTM grain sizes presented in Table 4. This coincidence makes the fracture grain sizes interchangeable with the austenitic grain sizes determined microscopically. The sizes observed microscopically shall be considered the primary standard, since they can be determined with measuring instruments.

11. Planimetric (or Jeffries’) (3) Procedure

11.1 In the planimetric procedure inscribe a circle or rectangle of known area (usually 5000 mm² to simplify the calculations) on a micrograph or on the ground-glass screen of the metallograph. Select a magnification which will give at least 50 grains in the field to be counted. When the image is focused properly, count the number of grains within this area. The sum of all the grains included completely within the known area plus one half the number of grains intersected by the circumference of the area gives the number of equivalent whole grains, measured at the magnification used, within the area. If this number is multiplied by the Jeffries’ multiplier, f , in the second column of Table 5 opposite the appropriate magnification, the product will be the number of grains per square millimetre N_A . Count a minimum of three fields to ensure a reasonable average. The number of grains per square millimetre at 1X, $N_{A,1}$, is calculated from:

$$N_A = f \left(N_{\text{Inside}} + \frac{N_{\text{Intercepted}}}{2} \right) \quad (4)$$

where f is the Jeffries’ multiplier (see Table 5), N_{Inside} is the number of grains completely inside the test circle and N

TABLE 4 Grain Size Relationships Computed for Uniform, Randomly Oriented, Equiaxed Grains

Grain Size No. <i>G</i>	\bar{N}_A Grains/Unit Area		\bar{A} Average Grain Area		\bar{d} Average Diameter		\bar{r} Mean Intercept		\bar{N}_L No./mm
	No./in. ² at 100X	No./mm ² at 1X	mm ²	μm ²	mm	μm	mm	μm	
00	0.25	3.88	0.2581	258064	0.5080	508.0	0.4525	452.5	2.21
0	0.50	7.75	0.1290	129032	0.3592	359.2	0.3200	320.0	3.12
0.5	0.71	10.96	0.0912	91239	0.3021	302.1	0.2691	269.1	3.72
1.0	1.00	15.50	0.0645	64516	0.2540	254.0	0.2263	226.3	4.42
1.5	1.41	21.92	0.0456	45620	0.2136	213.6	0.1903	190.3	5.26
2.0	2.00	31.00	0.0323	32258	0.1796	179.6	0.1600	160.0	6.25
2.5	2.83	43.84	0.0228	22810	0.1510	151.0	0.1345	134.5	7.43
3.0	4.00	62.00	0.0161	16129	0.1270	127.0	0.1131	113.1	8.84
3.5	5.66	87.68	0.0114	11405	0.1068	106.8	0.0951	95.1	10.51
4.0	8.00	124.00	0.00806	8065	0.0898	89.8	0.0800	80.0	12.50
4.5	11.31	175.36	0.00570	5703	0.0755	75.5	0.0673	67.3	14.87
5.0	16.00	248.00	0.00403	4032	0.0635	63.5	0.0566	56.6	17.68
5.5	22.63	350.73	0.00285	2851	0.0534	53.4	0.0476	47.6	21.02
6.0	32.00	496.00	0.00202	2016	0.0449	44.9	0.0400	40.0	25.00
6.5	45.25	701.45	0.00143	1426	0.0378	37.8	0.0336	33.6	29.73
7.0	64.00	992.00	0.00101	1008	0.0318	31.8	0.0283	28.3	35.36
7.5	90.51	1402.9	0.00071	713	0.0267	26.7	0.0238	23.8	42.04
8.0	128.00	1984.0	0.00050	504	0.0225	22.5	0.0200	20.0	50.00
8.5	181.02	2805.8	0.00036	356	0.0189	18.9	0.0168	16.8	59.46
9.0	256.00	3968.0	0.00025	252	0.0159	15.9	0.0141	14.1	70.71
9.5	362.04	5611.6	0.00018	178	0.0133	13.3	0.0119	11.9	84.09
10.0	512.00	7936.0	0.00013	126	0.0112	11.2	0.0100	10.0	100.0
10.5	724.08	11223.2	0.000089	89.1	0.0094	9.4	0.0084	8.4	118.9
11.0	1024.00	15872.0	0.000063	63.0	0.0079	7.9	0.0071	7.1	141.4
11.5	1448.15	22446.4	0.000045	44.6	0.0067	6.7	0.0060	5.9	168.2
12.0	2048.00	31744.1	0.000032	31.5	0.0056	5.6	0.0050	5.0	200.0
12.5	2896.31	44892.9	0.000022	22.3	0.0047	4.7	0.0042	4.2	237.8
13.0	4096.00	63488.1	0.000016	15.8	0.0040	4.0	0.0035	3.5	282.8
13.5	5792.62	89785.8	0.000011	11.1	0.0033	3.3	0.0030	3.0	336.4
14.0	8192.00	126976.3	0.000008	7.9	0.0028	2.8	0.0025	2.5	400.0

TABLE 5 Relationship Between Magnification Used and Jeffries' Multiplier, *f*, for an Area of 5000 mm² (a Circle of 79.8-mm Diameter) (*f* = 0.0002 *M*²)

Magnification Used, <i>M</i>	Jeffries' Multiplier, <i>f</i> , to Obtain Grains/mm ²
1	0.0002
10	0.02
25	0.125
50	0.5
75 ^A	1.125
100	2.0
150	4.5
200	8.0
250	12.5
300	18.0
500	50.0
750	112.5
1000	200.0

^A At 75 diameters magnification, Jeffries' multiplier, *f*, becomes unity if the area used is 5625 mm² (a circle of 84.5-mm diameter).

Intercepted is the number of grains that intercept the test circle. The average grain area, \bar{A} , is the reciprocal of \bar{N}_A , that is, $1/\bar{N}_A$, while the mean grain diameter, \bar{d} , as listed on Plate III (see 10.2.3), is the square root of \bar{A} . This grain diameter has no physical significance because it represents the side of a square grain of area \bar{A} , and grain cross sections are not square.

11.2 To obtain an accurate count of the number of grains completely within the test circle and the number of grains intersecting the circle, it is necessary to mark off the grains on the template, for example, with a grease pencil or felt tip pen. The precision of the planimetric method is a function of the number of grains counted (see Section 19). The number of grains within the test circle, however, should not exceed about 100 as counting becomes tedious and inaccurate. Experience suggests that a magnification that produces about 50 grains

within the test circle is about optimum as to counting accuracy per field. Because of the need to mark off the grains to obtain an accurate count, the planimetric method is less efficient than the intercept method (see Section 12).

11.3 Fields should be chosen at random, without bias, as described in 5.2. Do not attempt to choose fields that appear to be typical. Choose the fields blindly and select them from different locations on the plane of polish.

11.4 By original definition, a microscopically-determined grain size of No. 1 has 1.000 grains/in.² at 100X, hence 15.500 grains/mm² at 1X. For areas other than the standard circle, determine the actual number of grains per square millimetre, N_A , and find the nearest size from Table 4. The ASTM grain size number, *G*, can be calculated from N_A (number of grains per mm² at 1X) using (Eq 1) in Table 6.

TABLE 6 Grain Size Equations Relating Measured Parameters to the Microscopically Determined ASTM Grain Size, *G*

NOTE 1—Determine the ASTM Grain Size, *G*, using the following equations:

NOTE 2—The second and third equations are for single phase grain structures.

NOTE 3—To convert micrometres to millimetres, divide by 1000.

NOTE 4—A calculated *G* value of -1 corresponds to ASTM *G* = 00.

Equation	Units
$G = (3.321928 \log_{10} \bar{N}_A) - 2.954$	N_A in mm ⁻²
$G = (6.643856 \log_{10} \bar{N}_L) - 3.288$	\bar{N}_L in mm ⁻¹
$G = (6.643856 \log_{10} P_L) - 3.288$	P_L in mm ⁻¹
$G = (-6.643856 \log_{10} \bar{r}) - 3.288$	\bar{r} in mm

ANEXO B6.

Parte muy importante de la norma AWS D1-6 para de código de soldadura en acero inoxidable, en juntas soldadas.

STD-AWS D1.6-ENGL 1999 ■ 0784265 0511111 24T ■

AWS D1.6:1999

Structural Welding Code—Stainless Steel

1. General Provisions

1.1 Scope

This code covers welding requirements applicable to stainless steel weldments subject to design stress. It shall be used in conjunction with any complementary code or specification for the design or construction of stainless steel weldments.

1.2 Base Metal

The base metals to be welded under this code are stainless steel with the following limits:

- I) Carbon (C) equal to or less than 0.5%
- II) Chromium (Cr) equal to or greater than 10.5%
- III) Iron (Fe) exceeds any other single element.

Stainless steel base metals may include any of the following types:

- (1) Austenitic
- (2) Ferritic
- (3) Martensitic
- (4) Precipitation Hardening (austenitic, semi-austenitic and martensitic)
- (5) Duplex
- (6) Dissimilar (any combinations of the types above or with weldable carbon steels or low alloy steels).

The stainless steel types may be in any of the following forms:

- A. Cold rolled—sheet
- B. Hot rolled—sheet, plate
- C. Shapes
- D. Structural
- E. Tubular
- F. Clad materials & combinations
- G. Castings
- H. Forgings

Stainless steel types are generally listed by American Iron and Steel Institute (AISI) Numbers, Unified Numbering System (UNS), or by American Society of Testing and Materials (ASTM) Specifications for product form.

Newer proprietary steels may not be numbered and must be identified by chemical composition or other suitable means which clearly define the steel.

1.2.1 Specified Base Metal. The contract documents shall designate the specification and classification of base metal to be used. Normally, they will be selected in accordance with the specifications. When welding to this code is involved, the base metals, as defined in 1.2, should be used wherever possible. The designer shall specify application limits for temperature in the contract documents. The provisions of this code are not intended to apply to welding base metals thinner than 1/16 in. (2 mm) or 16 gage.

1.2.2 Base Metal Prequalification. Austenitic stainless steels whose filler metals normally produce a small amount of ferrite (see Table 3.2 for prequalified limits) shall be considered prequalified, provided they are

welded with filler metals in accordance with Table 3.3 and the WPSs used conform to all the applicable requirements of this code. All other stainless steels or combinations, and WPSs which are not prequalified, shall be qualified in conformance to this code.

1.2.3 Use of Unlisted Base Metals. When a stainless steel other than one of those listed in Table 3.2 is proposed for welded construction under this code, WPSs shall be established by qualification in accordance with the requirements of section 4, except as allowed in 1.2.3.1. The fabricator shall have the responsibility for establishing the WPS by qualification.

1.2.3.1 Unlisted base metals which have the same chemical composition and strength as a listed steel may be welded with a prequalified or qualified WPS for the listed steel.

1.2.4 Weldability. The Engineer may prescribe additional weldability testing of the unlisted steel. The responsibility for determining weldability is assigned to

Table 3.2
Prequalified Austenitic Stainless Steels (see 3.6.1)

Minimum Tensile Strength ksi (MPa)	Minimum Yield Strength ksi (MPa)	Base Metal Group ¹	Alloy Designation ¹	UNS Number	ASTM Specification				
					Plate, Sheet, Strip	Tubes	Plate, Sheet, Strip	Tubes	Bars, Shapes
70 (490)	25 (170)	A	304L	S30403	A167	A213	A240	A249	A276
70 (490)	25 (170)	A	316L	S31603	A167		A240	A249	A276
75 (520)	30 (200)	B	301	S30100	A167				
75 (520)	30 (200)	B	302	S30200	A167		A240		A276
75 (520)	30 (200)	B	304	S30400	A167	A213	A240	A249	A276
75 (520)	30 (200)	B	304H	S30409		A213	A240	A249	
75 (520)	30 (200)	B	308	S30880	A167				A276
75 (520)	30 (200)	B	309	S30900	A167				A276
75 (520)	30 (200)	B	309Cb	S30940	A167	A213	A240	A249	A276
75 (520)	30 (200)	B	309H	S30909			A240	A249	
75 (520)	30 (200)	B	309HCb	S30941		A213		A249	
75 (520)	30 (200)	B	309HCb	S30949			A240		
75 (520)	30 (200)	B	309S	S30908	A167	A213	A240		A276
75 (520)	30 (200)	B	316	S31600	A167	A213	A240	A249	A276
75 (520)	30 (200)	B	316Cb	S31640	A167		A240		A276
75 (520)	30 (200)	B	316H	S31609		A213	A240	A249	
75 (520)	30 (200)	B	316Ti	S31635	A167		A240		A276

See Notes on Page 59

Square-groove weld (1)
Butt joint (B)

Welding Process	Joint Designation	Base Metal Thickness T	Groove Preparation			Permitted Welding Positions	Weld Size (E)	Notes
			Root Opening	Tolerances				
				As Detailed (see 3.23.2)	As Fit-Up (see 5.4)			
SMAW GTAW FCAW GMAW	B-P1a	16 ga to 1/8	R = 0 to T/2	+T/2, -0	±T/2	All	3T/4	A, B, X
	B-P1c	1/8 to 1/4 max	R = T/2 min	+1/16, -0	±1/16	All	T/2	A, B, X

Square-groove weld (1)
Butt joint (B)

Welding Process	Joint Designation	Base Metal Thickness T	Groove Preparation			Permitted Welding Positions	Total Weld Size (E ₁ + E ₂)	Notes
			Root Opening	Tolerances				
				As Detailed (see 3.23.2)	As Fit-Up (see 5.4)			
SMAW GTAW FCAW GMAW	B-P1b	1/4 max	R = T/2	+T/4, -0	±T/4	All	T/4	A, X

Figure 3.4—Prequalified PJP Groove Welded Joints (see 3.23.1)

ANEXO B7.

Parte muy importante de la norma AWS Z-49 para seguridad en proceso de soldadura.

ANSI Z49.1:2012
An American National Standard

Approved by the
American National Standards Institute
March 9, 2012

Safety in
Welding, Cutting,
and Allied Processes

Supersedes ANSI Z49.1:2005

Prepared by the
Accredited Standards Committee Z49,
Safety in Welding and Cutting

Secretariat
American Welding Society

4. Protection of Personnel and the General Area

4.1 Protection of the General Area

4.1.1 Equipment. Welding equipment, machines, cable, and other apparatus shall be located so that it does not present a hazard to personnel. Good housekeeping shall be maintained.

4.1.2 Signs. Signs shall be posted designating welding areas, and indicating that eye protection and other applicable protective devices shall be worn.

4.1.3 Protective Screens. Workers or other persons adjacent to the welding areas shall be protected from the radiant energy and spatter of welding and cutting by noncombustible or flame-resistant screens or shields, or shall be required to wear eye and face protection, and protective clothing.

E4.1.1 For example, locations such as passageways, ladders, or stairways should be kept clear.

E4.1.2 Additional precautionary information should be posted when circumstances present additional hazards.

E4.1.3 Radiation-protective, semitransparent materials are permissible. Screens should permit circulation of air at floor level as well as above the screen. Refer to NFPA 701, *Standard Methods of Fire Tests for Flame Propagation Textiles and Films*, for information on ignition resistance criteria. For additional information on radiation protection, see 4.2.2. The intensity of arc radiant energy depends on many factors, including current, voltage, and the materials employed. Refer to 4.2.2.

ANSI Z49.1:2012

4.2.1 Type Selection

4.2.1.1 Arc Welding and Arc Cutting with Open Arcs. Helmets or hand shields with filter lenses and cover lenses shall be used by operators and nearby personnel when viewing the arc.

Protective spectacles with side shields, arc goggles, or other approved eye protection shall also be worn.

E4.2.1.1 Welding helmets with filter lenses are intended to protect users from arc rays and from weld sparks and spatter which impinge directly against the helmet. To protect the user from impact hazards when the welding helmet may be raised during use, spectacles with lateral protection or goggles should also be worn.

The spectacles or goggles may have either clear or filtered lenses, depending upon the amount of exposure to adjacent welding or cutting radiation (see Table 1). Others in the immediate welding area should wear similar eye protection. Welding helmets will not protect against the severe impact of fragmenting grinding wheels, abrasive discs, or explosive devices.

4.2.1.2 Oxyfuel Gas Welding and Cutting and Submerged Arc Welding. Welding goggles, or welding helmet or welding faceshield over spectacles or goggles shall be worn during all oxyfuel gas welding and cutting, and submerged arc welding operations.

E4.2.1.2 It is recommended that such eye protection offer lateral (side) coverage. (See Table 1.)

4.2.1.3 Resistance Welding and Brazing.

Operators of resistance welding or brazing equipment and their helpers shall wear welding goggles, or welding helmet or welding faceshield over spectacles or goggles for eye and face protection.

4.2.1.4 Large Area Viewing. For large area viewing, such as training, demonstrations, shows, and certain automatic welding operations, a large filter window or curtain shall be permitted to be used in lieu of eye and face protection. The radiation transmission of window or curtain material shall be equivalent to that in ANSI/ISEA Z87.1 for shade number appropriate to the welding or cutting operation.

Additionally, suitable arrangements shall be provided to prevent direct viewing of the arc without filter protection and to protect viewers from sparks and chipped slag.

4.2.2 Requirements for Eye and Face Protection

4.2.2.1 Filter Lenses. Filter lenses shall be in accordance with ANSI/ISEA Z87.1, and the shade shall be selected in accordance with AWS F2.2, *Lens Shade Selector*, or Table 1.

E4.2.2.1 See latest edition of AWS F2.2. Filter lenses should be free from any flaws which may distract, block, or otherwise impair vision.

Persons with special eye conditions should consult their physician for specific information on protective equipment.

ANSI Z49.1:2012

Table 1
Guide for Shade Numbers

(from AWS F2.2:2001(R2010), *Lens Shade Selector*)

Shade numbers are given as a guide only and may be varied to suit individual needs.

Process	Electrode Size in (mm)	Arc Current (Amperes)	Minimum Protective Shade	Suggested ^a Shade No. (Comfort)
Shielded Metal Arc Welding (SMAW)	Less than 3/32 (2.4)	Less than 60	7	—
	3/32–5/32 (2.4–4.0)	60–160	8	10
	5/32–1/4 (4.0–6.4)	160–250	10	12
	More than 1/4 (6.4)	250–550	11	14
Gas Metal Arc Welding (GMAW) and Flux Cored Arc Welding (FCAW)		Less than 60	7	—
		60–160	10	11
		160–250	10	12
		250–500	10	14
Gas Tungsten Arc Welding (GTAW)		Less than 50	8	10
		50–150	8	12
		150–500	10	14

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I.....	1
1.- EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	1
1.1.- TEMA DE INVESTIGACIÓN.....	1
1.2.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.	1
1.2.1.- CONTEXTUALIZACIÓN.	1
1.2.2.- ANÁLISIS CRÍTICO.	2
1.2.3.- PROGNOSIS.	2
1.2.4.- FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.	3
1.2.5.- PREGUNTAS DIRECTRICES.	3
1.2.6.- DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.	3
1.2.6.3.- DELIMITACIÓN DEL CONTENIDO.	4
1.3.- JUSTIFICACIÓN.	4
1.4.- OBJETIVOS.	6
1.4.1.- OBJETIVO GENERAL.....	6
1.4.2.- OBJETIVOS ESPECÍFICOS.	6
CAPÍTULO II	7
2.- MARCO TEÓRICO.	7
2.1.- ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS.	7
2.2.- FUNDAMENTACIÓN FILOSÓFICA.....	8
2.3.- FUNDAMENTACIÓN LEGAL.....	9
2.4.- FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.	10
2.4.1.- TIPOS DE JUNTAS DE SOLDADURA.	10
2.4.1.1- TIPOS DE JUNTAS.	11
2.4.1.2.-DISEÑO DE LAS JUNTAS.....	14

2.4.1.3.- PRINCIPIO DE ARCO ELÉCTRICO.	15
2.4.1.4.- CIRCUITO DE SOLDADURA POR ARCO ELÉCTRICO.....	16
2.4.1.5.- CLASES DE CORRIENTE ELÉCTRICA.....	17
2.4.1.6.- TIPOS DE SOLDADURAS.	18
2.4.1.7.- LAS DISCONTINUIDADES EN SOLDADURA.....	20
2.4.1.8.- DISCONTINUIDADES SUPERFICIALES.	20
2.4.1.13.- EVITAR ÓXIDOS SUPERFICIALES DE LA SOLDADURA.	22
2.4.1.14.- SELLAR LAS RENDIJAS EN LAS SOLDADURAS.	23
2.4.1.15.- CONTAMINACIÓN POR HIERRO.....	23
2.4.1.16.- OTROS DEFECTOS RELACIONADOS CON LA SOLDADURA.	23
2.4.1.17.- PREPARACIÓN PARA LA SOLDADURA.	24
2.4.1.18.- CORTE Y PREPARACIÓN DE LAS JUNTAS.....	24
2.4.1.19.- LIMPIEZA EN LA PREPARACIÓN DE LA SOLDADURA.....	25
2.4.1.20.- ÓXIDOS Y OTRAS CAPAS SUPERFICIALES.	26
2.4.1.20.- ACEROS INOXIDABLES AUSTENÍTICOS.	27
2.4.1.21.- ACEROS INOXIDABLES 304.....	28
2.4.1.22.- TRATAMIENTOS TÉRMICOS.....	28
2.4.1.23.- PROPIEDADES.	29
2.4.1.25.- ELECTRODOS.	30
2.4.1.30.- EFECTOS DE LOS COMPONENTES DE LOS ACEROS INOXIDABLES.....	34
2.4.2.- PROPIEDADES MECÁNICAS.....	35
2.4.2.1.- METALOGRAFÍA DE LOS ACEROS INOXIDABLES 304	35
2.4.2.4.- CAMBIOS MICROESTRUCTURALES EN LA ZONA AFECTADA POR EL CALOR.....	37

2.4.2.5. – ENSAYO DE DUREZA ROCKWELL.....	38
2.4.2.7. – DUREZA ROCKWELL	39
2.4.2.8. – DUREZA ROCKWELL SUPERFICIAL	39
2.4.2.9. – ROCKWELL Y ROCKWELL SUPERFICIAL	40
2.4.2.10.- ENSAYO DE TRACCIÓN.	41
2.4.2.11.- PARAMETROS DE LOS ENSAYOS DE TRACCIÓN.	42
2.4.2.12.- ENSAYO DE IMPACTO.....	44
2.4.2.14.- CONSIDERACIONES GENERALES.....	45
2.4.30.3.- CÁLCULO DE RELACIONES ENERGÉTICAS	46
2.5.- RED DE CATEGORÍAS FUNDAMENTALES.....	47
2.6.- HIPÓTESIS.	48
2.7.- SEÑALAMIENTO DE VARIABLES DE LA HIPÓTESIS.....	48
2.7.1 VARIABLE INDEPENDIENTE.....	48
2.7.2 VARIABLE DEPENDIENTE.....	48
2.7.3 TÉRMINO DE RELACIÓN.....	48
CAPÍTULO III.....	49
3.- METODOLOGÍA.....	49
3.1 ENFOQUE	49
3.2 MODALIDAD DE LA INVESTIGACIÓN.	49
3.3 NIVELES DE LA INVESTIGACIÓN.	50
3.4.- POBLACIÓN Y MUESTRA.....	51
3.5.- OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES.	52
3.6.-RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN.	54
3.7.-PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS.....	54
3.8 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.	54

CAPÍTULO IV	56
4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	56
4.1. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....	56
4.1.1. PROCESO DE OBTENCIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	56
4.2. PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS.....	59
4.2.1.- ANÁLISIS DEL ACERO INOXIDABLE AISI 304 AUSTENÍTICO DE FÁBRICA.	60
4.2.4.- ENSAYO DE TRACCIÓN EN SOLDADURA DE ACERO INOXIDABLE AISI 304 AUSTENÍTICO CON ELECTRODO AWS E 316H-16.	95
4.3.- INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	107
4.3.1.-INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE TRACCIÓN.	107
4.3.2.-INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE DUREZA.....	114
4.3.3.-INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE IMPACTO.	116
4.3.4.- INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS DE ENSAYO METALGRÁFICO.....	118
4.4.- VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS.....	125
4.4.1.- FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS.	127
CAPÍTULO V.	136
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	136
5.1.- CONCLUSIONES.....	136
5.2.-RECOMENDACIONES:.....	138
CAPÍTULO VI.....	142

6.- PROPUESTA.....	142
6.1.- DATOS INFORMATIVOS.....	142
6.2.- ANTECEDENTES DE LA PROPUESTA.....	143
6.3.- JUSTIFICACIÓN.....	143
6.4.- OBJETIVOS.....	144
6.4.1.- OBJETIVOS GENERALES.....	144
6.4.2.- OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	144
6.4.3.- PROCEDIMIENTO.....	145
6.5.- ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD.....	147
6.6.- FUNDAMENTACIÓN.....	148
6.6.1.- CÁLCULOS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN.....	148
6.6.2.- CÁLCULOS DEL ENSAYO DUREZA.....	154
6.6.3.- ENSAYO DE IMPACTO.....	155
6.6.4.- CÁLCULOS DEL ENSAYO METALOGRAFICO.....	156
6.6.4.1.- DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE GRANO.....	156
6.7.- METODOLOGÍA.....	161
6.7.1.- ENSAYO DE TRACCIÓN.....	161
6.7.2.- ENSAYO DE DUREZA.....	177
6.7.3.-ENSAYO DE IMPACTO.....	183
6.7.4.- ENSAYO METALOGRAFICO.....	190
6.8.- ADMINISTRACIÓN.....	198
6.9.- PREVISIÓN DE LA EVALUACIÓN.....	199
7.- BIBLIOGRAFÍA.....	200

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4. 1.- Datos obtenidos en los ensayos de tracción en acero inoxidable AISI 304 austenítico.	107
Tabla 4. 2.- Datos obtenidos en los ensayos de tracción en Acero inoxidable AISI 304 austenítico en juntas soldadas con electrodo AWS E 308L-16.....	107
Tabla 4. 3.- Datos obtenidos en los ensayos de tracción en acero inoxidable AISI 304 austenítico en juntas soldadas con electrodo AWS E 309L-16.....	108
Tabla 4. 4.- Datos obtenidos en los ensayos de tracción en acero inoxidable AISI 304 austenítico en juntas soldadas con electrodo AWS E 316H-16.	108
Tabla 4. 5.- Datos obtenidos en los ensayos dureza en acero inoxidable AISI 304 austenítico en juntas soldadas con variación de electrodos.	114
Tabla 4. 6.- Datos obtenidos en los ensayos de impacto en acero inoxidable AISI 304	116
Tabla 4. 7.- Tamaño de grano en juntas soldadas con variación de electrodos en acero inoxidable AISI 304 austenítico.....	118
Tabla 4. 8.-Porcentaje de austenita en juntas soldadas con variación de electrodos en acero inoxidable AISI 304 austenítico.	120
Tabla 4. 9.- Porcentaje de ferrita en juntas soldadas con variación de electrodos en acero inoxidable AISI 304 austenítico.....	121
Tabla 4. 10.- Porcentaje de Austenita y Ferrita en material de aporte (cordón) con variación de electrodos en acero inoxidable AISI 304 austenítico.	121
Tabla 4. 11.- Datos tomados de los ensayos de tracción en soldadura de acero inoxidable AISI 304 (datos observados).....	126
Tabla 4. 12 Datos tomados de los ensayos de dureza e impacto en soldadura de acero inoxidable AISI 304 (datos observados).....	126
Tabla 4. 13.- Se determinan los totales de las frecuencias observadas y se obtiene la frecuencia esperada.	127
Tabla 4. 14.- Cálculo de Chi	128
Tabla 4. 15.- Datos calculados del Chi cuadrado de los ensayos tracción, dureza, e Impacto.....	129
Tabla 4. 16.- Distribución de χ^2 Pearson	130

Tabla 6. 1.- Datos iniciales de una probeta basados en normas ASTM. Material base y tipo de electrodo para. Ensayo de Tracción.	148
Tabla 6. 2.- Resultados adquiridos del Ensayo de Tracción.	149
Tabla 6. 4.- Resultados adquiridos en el ensayo de dureza para las juntas soldada de acero inoxidable austenítico AISI 304 soldada con electrodo AWS E-308L-16.....	154
Tabla 6. 5.- Valores adquiridos en los ensayo de impacto para las juntas soldadas de acero inoxidable austenítico AISI 304 soldada con electrodo AWS E-308L-16	156
Tabla 6. 6.- Producto de los ensayos de tracción de las probetas de acero inoxidable austenítico AISI 304 soldadas con electrodo AWS E308L-16 en un proceso SMAW.	175
Tabla 6. 7.- Valores de ensayo de impacto soldada con electrodo AWS E-308L-16	189
Tabla 6. 8.- Resultados obtenidos en el proceso metalográfico en juntas soldadas con electrodo E308L-16.....	197
Tabla 6. 9.- Análisis económico de la propuesta.	198

ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 2. 1.- Uniones a tope	11
Figura 2. 2.- Unión a traslape.....	12
Figura 2. 3.- Unión en ángulo exterior.....	13
Figura 2. 4.- Unión a tope con bordes rectos	13
Figura 2. 5.- Unión a ranura.....	14
Figura 2. 6.- Diseño de juntas típico.	15
Figura 2. 7.- Esquema básico del arco eléctrico.....	16
Figura 2. 8.- Flujo eléctrico.....	17
Figura 2. 9.- Polaridad directa.....	18
Figura 2. 10.- Polaridad indirecta.....	18
Figura 2. 11.-Exceso de penetración.	20
Figura 2. 12.-Falta de penetración.....	21
Figura 2. 13.- Socavaduras o Mordeduras.	21
Figura 2. 14.- Metalografía de acero inoxidable tipo 304 -100x	36
Figura 2. 15.-Zona donde fue retirada las muestras	36

Figura 2. 16.- Micrografía, metal base AISI 904 l x200	37
Figura 2. 17.- Cambios Microestructurales.....	38
Figura 2. 18.- Secuencia de ensayos de dureza Rockwell.....	40
Figura 2. 19.- Parámetros de tensión.....	44
Figura 2. 20.- Esquema de trabajo del Péndulo Charpy.....	45
Figura 2. 21.- Esquema de ángulos del Péndulo Charpy	46
Figura 4. 1.- Comparación de resistencia a la tracción (Sut), en un proceso de soldadura SMAW con variación de electrodos	109
Figura 4. 2.- Comparación de resistencia a la cedencia (Sy), en un proceso de soldadura SMAW con variación de electrodos	110
Figura 4. 3.- Comparación del % de elongación, en un proceso de soldadura SMAW con variación de electrodos.....	111
Figura 4. 4.- Comparación del % de reducción de área, en un proceso de soldadura SMAW con variación de electrodos	112
Figura 4. 5.- Comparación del módulo elástico, en un proceso de soldadura SMAW con variación de electrodos.....	113
Figura 4. 6.- Comparación de dureza Rockwell b (HRB), en un proceso de soldadura SMAW. A 5 mm del centro del cordón con variación de electrodos	114
Figura 4. 7.- Comparación de dureza Rockwell b (HRB), en un proceso de soldadura SMAW. A 8 mm del centro del cordón con variación de electrodos	115
Figura 4. 8.- Comparación de dureza Rockwell b (HRB), en un proceso de soldadura SMAW. A 12 mm del centro del cordón con variación de electrodos	116
Figura 4. 9.- Comparación de energía de impacto, en un proceso de soldadura SMAW con variación de electrodos.....	117
Figura 4. 10.- Probetas de acero inoxidable AISI 304 sin aplicar proceso de soldado..	117
Figura 4. 11.- Comparación de tamaño de grano, en un proceso de soldadura SMAW con variación de electrodos, en depósito de soldadura	118
Figura 4. 12.- Comparación de tamaño de grano, en un proceso de soldadura SMAW con variación de electrodos, en metal base de la soldadura	119

Figura 4. 13.- Comparación de tamaño de grano, en un proceso de soldadura SMAW con variación de electrodos, en la zona afectada por temperatura	120
Figura 4. 14.- Porcentaje de austenita en metal base en soldadura	121
Figura 4. 15.- Porcentaje de austenita en la zona afectada por la temperatura, en un proceso de soldadura SMAW con variación de electrodos.....	122
Figura 4. 16.- Porcentaje de ferrita en el metal base, en un proceso de soldadura SMAW con variación de electrodos.....	123
Figura 4. 17.- Porcentaje de ferrita en la zona afectada por la temperatura.....	123
Figura 4. 18.- Porcentaje de austenita en el cordón,	124
Figura 4. 19.- Porcentaje de ferrita en el cordón.....	125
Figura 4. 20.-Relación de la resistencia a la tensión	131
Figura 4. 21.-Relación de la resistencia a la fluencia.....	131
Figura 4. 22.- Relación de la elongación.....	132
Figura 4. 23.- Relación del porcentaje de reducción de área	132
Figura 4. 24.- Relación de dureza en juntas soldadas	133
Figura 4. 25.- Relación de dureza en juntas soldadas	134
Figura 6. 1.- Proceso para encontrar resistencia a la cedencia al 0.2%, desplazando del origen en la probeta 2.4 en junta soldada en acero inoxidable AISI 304 con electrodo AWS E308L-16. (FUENTE: Willian Naula).....	151
Figura 6. 2.- Probeta tipo A para ensayo de impacto	155
Figura 6.3.- Componentes microestructurales en el cordón de soldadura en acero inoxidable austenítico AISI 304 con electrodo AWS E-308L-16.....	159
Figura 6.4.- Componentes microestructurales en el metal base de soldadura en acero inoxidable austenítico AISI 304 con electrodo AWS E-308L-16.....	159
Figura 6. 5.- Componentes microestructurales de la zona afectada por la temperatura de soldadura en acero inoxidable austenítico AISI 304 con electrodo AWS E-308L-16...	160
Figura 6. 6.- Placas de acero inoxidable austenítico AISI 304	163
Figura 6. 7.- Separación adecuada de la junta a ser soldada.	164
Figura 6. 8.- Elementos de protección personal muy importantes	164
Figura 6. 9.-Electrodo AWS E308L-16 (ANEXO A2).	165

Figura 6. 10.-	Proceso de soldado de las probetas	165
Figura 6. 11.-	Probetas aplicados un proceso de soldadura SMAW	166
Figura 6. 12.-	Proceso de amolado de la cara y raíz de soldadura.	166
Figura 6. 13.-	Probetas pintadas para realizar el trazado para realizar el corte.....	167
Figura 6. 14.-	Probetas preparadas para ser maquinadas.	167
Figura 6. 15.-	Maquinado de probetas según especificaciones ASTM E8.	168
Figura 6. 16.-	Probetas para tracción según especificaciones ASTM E8.	168
Figura 6. 17 .-	Máquina universal 30 Tn.....	169
Figura 6. 18.-	Elementos de sujeción de la prensa.....	169
Figura 6. 19.-	Deformímetro para longitud 203.2 mm.....	170
Figura 6. 20 .-	Panel de adquisición de datos de la máquina.	170
Figura 6. 21.-	Montaje de la probeta.	171
Figura 6. 22.-	Acople del deformímetro para el ensayo.....	171
Figura 6. 23 .-	Carga aplicada en la probeta.	172
Figura 6. 24 .-	Deformación de la probeta en la junta.....	172
Figura 6. 25.-	Rotura en la probeta.	173
Figura 6. 26.-	Deformación de la probeta en la junta.....	173
Figura 6. 27.-	Resultados de probetas ensayadas.....	174
Figura 6. 28.-	Probeta ensayada para toma de datos.	174
Figura 6. 29.-	Gráfico Esfuerzo-Deformación verdadera e ingenieril.	176
Figura 6. 30.-	Probeta soldada para ensayo de dureza.	178
Figura 6. 31 .-	Probeta pulida para mejorar la superficie a ensayar la dureza.	179
Figura 6. 32.-	Durómetro para realizar el ensayo.....	179
Figura 6. 33.-	Proceso de ensayo dureza de la probeta.	180
Figura 6. 34.-	Ensayo de dureza a partir del centro del cordón de la soldadura.	181
Figura 6. 35 .-	Curva de dureza.....	182
Figura 6. 36.-	Probeta soldada para ensayo de impacto.....	184
Figura 6.37.-	Probetas rectificadas para ensayo de impacto.	185
Figura 6. 38.-	Probeta listas para realizar el ensayo de impacto.....	185
Figura 6. 39.-	Enserado del brazo del péndulo, activado el seguro.	186
Figura 6. 40.-	Enserado el dial para un correcto ensayo.	186

Figura 6. 41 .- Montaje de la probeta en la base.	187
Figura 6. 42 .- Apartar el seguro del martillo.....	187
Figura 6. 43.- Probeta después del impacto.	188
Figura 6. 44 .- Valores de probetas ensayadas.	189
Figura 6. 45.- Probeta soldada para análisis metalográfico.	191
Figura 6. 46.- Pulido de la superficie con una grata circular.	192
Figura 6. 47.- Lijas para desbaste y lijado medio de la superficie.	193
Figura 6. 48.- Lijas para refinado de la superficie.	193
Figura 6. 49.- Pulidora de disco.	194
Figura 6. 50.- probetas preparadas para la aplicación de reactivo.	195
Figura 6.51.- Aplicación de reactivo (Aceros inoxidables (89) agua regia modificada glicerizada).....	195
Figura 6. 52.- Probetas para analizar la microestructura.....	196
Figura 6. 53.- Equipos indispensables para el análisis metalográfico.	197