

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTIN DE AREQUIPA**

**ESCUELA DE POSGRADO**

**UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE  
PROCESOS**



**“ESTUDIO DE LOS PARÁMETROS OPERATIVOS EN EL PROCESO DE  
SOLDADURA GTAW EN LA FABRICACIÓN DE ACCESORIOS DE ACERO  
INOXIDABLE 304 PARA LA INDUSTRIA ALIMENTARIA”**

**TESIS PRESENTADO POR EL MAESTRO  
JORGE TRINIDAD ESQUIVIAS LLERENA**

**PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE  
DOCTOR EN INGENIERÍA DE PROCESOS**

**ASESOR:  
DR. ING. ELIAS DAVID ESQUICHA LARICO**

**AREQUIPA - PERÚ  
2021**

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios en primer lugar por haberme guiado en todo momento el camino de la luz, hacia la culminación de este trabajo de investigación.

A mis colegas Ingenieros, Doctores y amigos, por sus oportunos consejos y conocimientos que han sido vitales para el logro de este objetivo.

Mi agradecimiento al Dr. Ing. Elías David Esquicha Larico por ser Asesor y por su apoyo profesional e incondicional en el desarrollo de la Tesis.

Mi agradecimiento también a la Universidad Nacional de San Agustín, mi Alma Mater, por permitirme estudiar, trabajar y así lograr el Grado Académico de Doctor.

A los distinguidos y honorables integrantes del Jurado Calificador Dr. Alejandro Silva Vela, Dr. Paúl Huanca Zúñiga, Dr. Vicente Vilca Amésquita, Dr. Elías Esquicha Larico (Asesor) y Dr. Pedro Mamani Calcina por sus observaciones, sugerencias y consejos que han permitido enriquecer la presente tesis.

A la Unidad de Posgrado de la Facultad de Ingeniería de Procesos de la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa por haberme permitido realizar los estudios del Doctorado en Ingeniería de Procesos con altos niveles de exigencia y docentes de primer nivel.

## **DEDICATORIA**

A la memoria de mis Padres, quienes desde el cielo guiaron mis pasos para conseguir y alcanzar este objetivo.

A mi esposa y mis hijas por su aliento y apoyo constante, quienes con su amor y cariño siempre motivaron en mí el deseo de superación.

## RESUMEN

Desde el punto de vista de la Ingeniería, es necesario e importante saber cuál es el comportamiento mecánico de una pieza soldada a través de los ensayos de laboratorio, luego de que se haya efectuado o realizado el proceso de soldadura GTAW como es en este caso mediante el electrodo de tungsteno y el material de aporte o varilla de similar composición química que el metal base y hacer el estudio correspondiente, en este caso se trata de un acero inoxidable 304 y también en qué condiciones de servicio se ha efectuado el proceso de soldadura.

La mayoría de los procesos de soldadura requieren de un buen tiempo de experimentación y aprendizaje para dominar y establecer los parámetros adecuados de soldadura como por ejemplo la intensidad de corriente para obtener un buen punto de fusión localizada y poder realizar una soldadura de calidad.

La fabricación de piezas por soldadura es muy importante para todo sector, ya sea industrial, hospitalario, industria alimentaria, etc., que opera mecanismos y procesos donde existan piezas mecánicas asociadas, que requieran de un acero inoxidable por las características de uso.

El motivo del presente estudio es darle la importancia de una buena fabricación de accesorios de acero inoxidable 304 para la industria alimentaria por medio de la soldadura, considerando los principales parámetros de operación y manejo en el proceso GTAW (Gas Tungsten Arc Welding). Para ello se prepararon probetas normalizadas planas de acero inoxidable austenítico con la Norma AWS D1.6, las cuales fueron soldadas con diferentes amperajes, voltaje y velocidad de avance, siguiendo el procedimiento adecuado para lograr una soldadura de calidad mediante el proceso TIG (Tungsten Inert Gas) llamado también GTAW. Posteriormente las probetas o muestras fueron sometidas a ensayos de tracción, dureza y análisis metalográfico, con la finalidad de evaluar sus propiedades mecánicas.

Específicamente el accesorio que tiene bastante demanda en toda industria y sobre todo en la industria alimentaria es el agitador de paletas o impulsor, que hay variedad de modelos y formas. Estos accesorios con el tiempo se desgastan y por lo tanto también se les puede someter a un reforzamiento mediante el proceso de soldadura.

**Palabras clave:** Soldadura, aceros inoxidables, ensayo mecánico

## ABSTRACT

From the point of view of Engineering, it is necessary and important to know what is the mechanical behavior of a welded part through laboratory tests, after the GTAW welding process has been carried out or carried out as it is in this case by means of the tungsten electrode and the contribution material or rod of similar chemical composition as the base metal and make the corresponding study, in this case it is a 304 stainless steel and also under what service conditions the welding process has been carried out.

Most welding processes require a good time of experimentation and learning to master and establish the appropriate welding parameters such as current intensity to obtain a good localized melting point and be able to perform quality welding.

The manufacture of welding parts is very important for any sector, whether industrial, hospital, food industry, etc., which operates mechanisms and processes where there are associated mechanical parts, which require stainless steel due to the characteristics of use.

The reason for this study is to give the importance of a good manufacture of 304 stainless steel accessories for the food industry through welding, considering the main parameters of operation and handling in the GTAW process (Gas Tungsten Arc Welding). For this, flat standard specimens of austenitic stainless steel were prepared with the AWS D1.6 Standard, which were welded with different amperages, voltage and feed speed, following the appropriate procedure to achieve quality welding through the TIG (Tungsten Inert Gas) process also called GTAW. Subsequently, the specimens or samples were subjected to tensile, hardness and metallographic analysis tests, in order to evaluate their mechanical properties.

Specifically the accessory that is quite in demand in any industry and especially in the food industry is the paddle agitator or impeller, which there is a variety of models and shapes. These accessories over time wear out and can therefore also be reinforced by the welding process.

**Keywords:** Welding, stainless steels, mechanical testing

## INDICE

AGRADECIMIENTOS.....	II
DEDICATORIA.....	III
RESUMEN.....	IV
ABSTRACT.....	V
INDICE DE CUADROS.....	IX
INDICE DE FIGURAS.....	X
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	XII
ANEXOS.....	XIII
ACRONIMOS.....	XIV
INTRODUCCIÓN.....	XV
1.- PROBLEMA A INVESTIGAR.....	XVI
2.- JUSTIFICACIÓN.....	XVI
3.- OBJETIVO GENERAL.....	XVI
3.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	XVII
4.- HIPÓTESIS.....	XVII
5.- VARIABLES.....	XVII
6.- ALCANCES Y LIMITACIONES.....	XVII
7.- ANTECEDENTES DE INVESTIGACIÓN.....	XVIII
CAPITULO I.....	1
MARCO TEÓRICO.....	1
1.1 LOS ACEROS INOXIDABLES.....	1
1.2 SOLDABILIDAD DE LOS ACEROS INOXIDABLES.....	1
1.3. CLASIFICACIÓN DE LOS ACEROS INOXIDABLES.....	4
1.3.1 Aceros inoxidables Martensíticos.....	4
1.3.2 Aceros Inoxidables Ferríticos:.....	5
1.3.3 Aceros Inoxidables Austeníticos:.....	6
1.3.4 Aceros Inoxidables Duplex (Austeno-Ferríticos):.....	7
1.3.5 Aceros endurecidos por precipitación (PH).....	7
1.3.6 Diagrama Hierro – Carbono.....	9
1.3.7 Diagrama Binario Fe-Cr.....	10
1.3.8 Diagrama (TTT): Temperatura – Tiempo – Transformación.....	11
1.4 PROCESOS DE SOLDADURA.....	11
1.4.1 Proceso SMAW.....	11
1.4.2 Proceso GMAW.....	12

1.4.3 Proceso GTAW .....	13
1.5 GAS DE PROTECCIÓN.....	14
1.6 CICLO TÉRMICO .....	15
CAPÍTULO II.....	16
METODOLOGÍA.....	16
2.1 SELECCIÓN DEL PROCESO DE SOLDADURA: Proceso GTAW .....	17
2.2 MÉTODOS.....	17
2.3 EQUIPOS .....	17
2.4 INSTRUMENTOS y MATERIAL:.....	18
2.5 SOFTWARE: .....	18
2.6 METODOLOGÍA EXPERIMENTAL.....	18
2.6.1 Caracterización del Acero Inoxidable .....	18
2.6.2 Parámetros de Operación de la Soldadura.....	20
2.6.3 Intensidad de la Corriente – Amperaje.....	21
2.6.4 Voltaje .....	21
2.6.5 Velocidad de Alimentación .....	21
CAPITULO III .....	22
DESARROLLO EXPERIMENTAL .....	22
3.1 LUGAR DE EJECUCIÓN .....	22
3.2 PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS .....	22
3.3 CONTROL Y VARIACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE OPERACIÓN .....	23
3.4 APLICACIÓN DEL PROCESO DE SOLDADURA .....	24
3.4.1. Especificación del Procedimiento de Soldadura (WPS) Aporte ER-308L ...	25
3.5 MECANIZADO DE LAS MUESTRAS SOLDADAS.....	28
3.6 ENSAYOS REALIZADOS A LAS MUESTRAS SOLDADAS .....	30
3.6.1 Ensayo de dureza.....	30
3.6.2 Ensayo de tracción.....	30
3.6.3 Ensayo metalográfico .....	31
3.6.3.1 Preparación de las probetas para la observación microscópica .....	31
3.6.3.2 Elección de la muestra: .....	32
3.6.3.3 Pulidoras Metalográficas.....	32
3.6.3.4 Ataque químico de las probetas para su examen microscópico.....	32
CAPITULO IV .....	35
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS .....	35
4.1 INTERPRETACIÓN DEL ENSAYO DE DUREZA .....	35

4.1.1	Diseño Experimental para Dureza.....	35
4.1.2	Análisis de Varianza.....	35
4.1.3	Diagrama de Pareto .....	36
4.2	INTERPRETACIÓN DEL ENSAYO DE TRACCIÓN .....	48
4.2.1	Análisis de varianza para el módulo de Young. ....	64
4.2.2	Tabla ANOVA para Módulo de Young por Grupo.....	64
4.2.3	Pruebas de Múltiple Rangos para Modulo de Young por Grupo .....	65
4.2.4	Análisis de Varianza para Resistencia a la Tensión .....	66
4.3	ANÁLISIS Y OBSERVACIÓN MICROSCÓPICA DE LA UNIÓN SOLDADA .	69
4.4	ANÁLISIS COMPUTACIONAL DE UN AGITADOR DE PALETAS .....	74
4.4.1	Descripción .....	75
4.4.2	Información de modelo.....	76
4.4.3	Propiedades de studio .....	77
4.4.5	Unidades .....	77
4.4.6	Propiedades de material.....	78
4.4.7	Cargas y sujeciones.....	79
4.4.8	Enmallado .....	79
4.4.9	Resultados del estudio .....	80
4.4.10	Conclusión .....	82
	CONCLUSIONES.....	83
	RECOMENDACIONES .....	85
	BIBLIOGRAFÍA .....	86
	ANEXOS .....	89



**INDICE DE CUADROS**

Cuadro 1 Clasificación de los aceros inoxidables .....	4
Cuadro 2: Propiedades de los Aceros .....	8
Cuadro 3: Propiedades de los Aceros .....	9
Cuadro 4: Propiedades de los Aceros .....	25
Cuadro 5: Resultados del esfuerzo de tensión máxima .....	49
Cuadro 6: Probetas sometidas a la prueba de Tensión .....	50
Cuadro 7: Desplazamiento en función del tiempo.....	54
Cuadro 8: Esfuerzo de Tracción .....	55
Cuadro 9: Registro en función de la deformación.....	55
Cuadro 10: Dimensionamiento de Probetas después del ensayo de tracción .....	56
Cuadro 11: Resumen Estadístico para Módulo de Young.....	64
Cuadro 12: Tabla Anova para Módulo de Young .....	64
Cuadro 13: Prueba de Múltiples Rangos .....	65
Cuadro 14: Datos comparativos .....	65
Cuadro 15: Resumen Estadístico para Esfuerzo de Tracción Máximo .....	66
Cuadro 16: Tabla ANOVA para Esfuerzo de Tracción Maximo por Grupo .....	66
Cuadro 17: Media de Esfuerzo de Tracción máximo .....	67
Cuadro 18: Esfuerzo de Tracción por grupo .....	67

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Diagrama Hierro – Carbono.....	9
Figura 2: Diagrama Binario Fe-Cr.....	10
Figura 3: Diagrama (TTT):Temperatura-Tiempo-Transformación.....	11
Figura 4: Proceso SMAW.....	12
Figura 5: Proceso GMAW.....	13
Figura 6: Proceso GTAW.....	14
Figura 7: Ciclo Térmico y Diagrama Hierro-Carbono. Fuente: Seferian 1962.....	15
Figura 8: FLUJOGRAMA.....	16
Figura 9: Muestra metálica sumergida en ácido y potenciómetro-.....	19
Figura 10: Curva de Polarización de la muestra de Acero Inoxidable.....	20
Figura 11: Medición.....	22
Figura 12: Trazado.....	22
Figura 13: Corte con cizalla.....	22
Figura 14: Máquina de Soldar TIG.....	23
Figura 15: Variando el amperaje a 80 A.....	24
Figura 16: Preparando para Soldar.....	26
Figura 17: Aplicando la Soldadura TIG.....	26
Figura 18: Fijación de las planchas.....	27
Figura 19: Cámara Protectora de Gas.....	27
Figura 20: Soldadura de cupones o muestras con protección gaseosa Argón.....	27
Figura 21: Gel para decapado y limpieza de Acero Inoxidable.....	28
Figura 22: Medidas del cordón de soldadura y de la zona afectada por el calor y esmerilado.....	28
Figura 23: Representación esquemática de la probeta para ensayos de Tracción.....	29
Figura 24: Probetas de Ac. Inoxidable 304 para Ensayos de Tensión y Dureza.....	30
Figura 25: Ataque químico 1.....	33
Figura 26: Ataque químico 2.....	33
Figura 27: Limpieza y secado.....	34
Figura 28: Microscopio óptico.....	34
Figura 29: Diagrama de Pareto.....	36
Figura 30: Gráfica de Interacción para dureza.....	36
Figura 31: Superficie de Respuesta Estimada.....	37
Figura 32: Contornos de la Superficie Estimada.....	37
Figura 33: Máquina de Ensayo de Dureza (INDENTEC).....	39
Figura 34: Medición de dureza en las 3 zonas de cada probeta de Ac Inoxidable.....	39
Figura 35: Registro de pruebas de tensión.....	50
Figura 36: Diagrama de Tracción.....	51
Figura 37: Registro de las pruebas de tensión efectuada.....	52
Figura 38: Registro de la 8va. Prueba de tensión.....	53
Figura 39: Probeta del Metal Base sin soldadura.....	53

Figura 40: Probetas de Acero Inoxidable 304 antes del ensayo de tracción. ....	54
Figura 41: Probeta fracturada.....	57
Figura 42: Máquina de Tracción .....	56
Figura 43: Probeta sin soldadura después del Ensayo de Tracción.....	57
Figura 44: Probetas con soldadura después del Ensayo de Tracción .....	57
Figura 45: Probetas Fracturadas.....	59
Figura 46: Probetas resultantes.....	58
Figura 47: Probeta N°1 Esfuerzo - Deformación .....	59
Figura 48: Probeta N°2 Esfuerzo - Deformación .....	59
Figura 49: Probeta N°3 Esfuerzo- Deformación .....	60
Figura 50: Probeta N° 4 Esfuerzo - Deformación .....	60
Figura 51: Probeta N° 5 Esfuerzo - Deformación .....	61
Figura 52: Probeta N° 6 Esfuerzo - Deformación .....	61
Figura 53: Probeta N° 7 Esfuerzo - Deformación .....	62
Figura 54: Probeta N° 8 Esfuerzo - Deformación .....	62
Figura 55: Probeta N° 9 Esfuerzo - Deformación .....	63
Figura 56: Probeta N° 10 Esfuerzo - Deformación .....	63
Figura 57: Gráfico de medianas.....	66
Figura 58: Gráfico de medianas.....	67
Figura 59: Gráfico de medianas.....	68
Figura 60: Metal Base Acero 304 a 500x .....	69
Figura 61: Metal Base Acero 304 a 100x .....	69
Figura 62: Metal Base Acero 304 a 200x .....	70
Figura 63: Metal Base Acero304 a 1000x .....	70
Figura 64: Zona de Fusión Acero 304 (Granos Alargados) a 500x.....	71
Figura 65: Zona de Fusión Acero 304 (ZAC) a 50x con pp.....	71
Figura 66: Acero 304 Zona ZAC a 100x .....	72
Figura 67: Acero 304 Zona ZAC a 100x .....	72
Figura 68: Acero 304 Zona ZAC a 100x .....	73
Figura 69: Acero 304 Zona ZAC a 500x .....	73
Figura 70: Impulsor de 16 álabes o agitador de paletas de Ac. Inoxidable.....	78

**ÍNDICE DE GRÁFICOS**

Gráfico 1: Valores promedios de la Probeta 1.....	40
Gráfico 2: Valores promedios de la Probeta 2.....	41
Gráfico 3: Valores promedios de la Probeta 3.....	42
Gráfico 4: Toma de Durezas ( tres zonas) Probeta 1.....	43
Gráfico 5: Toma de Durezas (tres zonas) Probeta 2.....	44
Gráfico 6: Toma de Durezas (tres zonas) Probeta 3.....	45
Gráfico 7: Dureza en referencia al promedio – Probeta 1 .....	46
Gráfico 8: Dureza en referencia al promedio – Probeta 2 .....	47
Gráfico 9: Dureza en referencia al promedio – Probeta 3.....	48
Gráfico 10: Dimensionamiento después de tracción .....	58

**ANEXOS**

Anexo 1. FICHA TÉCNICA DE LA VARILLA DE APORTE .....	90
Anexo 2: VARILLA TIG ACERO INOXIDABLE 308L .....	91
Anexo 3: FICHA TÉCNICA DEL ACERO INOXIDABLE AUSTENÍTICO 304.....	93
Anexo 4: TABLA DE CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS, DUREZA ROCKWELL Y DUREZA BRINELL PARA LOS ACEROS .....	94
Anexo 5: NORMA ESTRUCTURAL DE SOLDADURA DE ACEROS INOXIDABLES AWS D1.6 .....	95
Anexo 6: AWS D1.6 NORMAS PARA PROBETAS PLANAS PARA ENSAYO DE TENSIÓN - SOLDADURA.....	98
Anexo 7: NORMA ASTM E8/E8M – 13 <sup>a</sup> . ESQUEMA Y DIMENSIONES ESTANDARIZADAS PARA LAS PROBETAS PLANAS.....	103

## ACRONIMOS

**ASTM:** (American Society for Testing and Materials)

Sociedad Americana de Pruebas de Materiales

**SAE:** Society of Automotive Engineers

Sociedad de Ingenieros de Automoción.

**GMAW:** (Gas Metal Arc Welding) .Soldadura a gas y Arco Metálico

**MIG:** Metal Inert Gas .. Soldadura de Arco con electrodeconsumable.

**MAG:** Metal Active Gas .Soldadura de arco con gas activo

**SMAW:** Shielded Metal Arc Welding .Soldadura por arco con electrodo Revestido..

**GTAW:** Gas Tungsten Arc Welding

**TIG:** Tungsten Inert Gas

**SAW:** Submerged Arc Welding..Soldadura por Arco Sumergido

**FCAW:** Flux Cored Arc Welding .Soldadura de Arco de Núcleo Fundente.

**AWS:** American Welding Society

**MB:** Metal Base

**ZF:** Zona Fundida

**ZAC:** Zona Afectada por el Calor..

## INTRODUCCIÓN

En el proceso de la soldadura de aceros inoxidable, existen varios métodos y técnicas para realizar una soldadura y muchas veces se utilizan los conocimientos empíricos adquiridos durante la experiencia, pero se requiere que sea una soldadura de calidad, independientemente del método o proceso a utilizar.

Con el presente trabajo de investigación se pretende determinar los principales aspectos para obtener una soldadura de calidad y se cumplan estándares tanto nacionales como internacionales.

El proceso de soldadura utiliza comúnmente hierro en la mayoría de los trabajos que se realiza como elemento principal y otros elementos constituyentes que conforman las aleaciones de acero. El producto es la unión de estas piezas metálicas con el uso de material de aporte que son electrodos revestidos o varillas de aporte como es en este caso.

Los aceros inoxidable austeníticos representan el mayor de los grupos generales de aceros inoxidable y son producidos en mayor proporción que otros grupos. Estos aceros tienen buena resistencia a la corrosión en la mayoría de ambientes de trabajo. Aunque los aceros inoxidable austeníticos en general, son considerados de buena soldabilidad, están sujetos a una serie de problemas si no son atendidas u observadas durante el proceso de soldadura.

## **1. PROBLEMA A INVESTIGAR**

La determinación de los parámetros de la soldadura como son el amperaje y voltaje básicamente y obtener una soldadura de calidad en placas o chapas delgadas es uno de los principales problemas en el proceso de unión por soldadura de los aceros inoxidable, en este caso por el proceso GTAW (Gas Tungsten Arc Welding), para luego hacer la medición y evaluación de sus propiedades mecánicas del material, es decir, la resistencia mecánica que pueda ofrecer el cordón de soldadura al momento de ser sometido a un esfuerzo o trabajo por medio de los ensayos de tracción, de dureza y la observación microscópica que a través de los cuales deben mantenerse las propiedades físicas y mecánicas del acero inoxidable. Actualmente la soldadura de aceros inoxidables también es muy requerida por su acabado, en muchos casos no requiere de un trabajo posterior de mecanizado.

## **2. JUSTIFICACIÓN**

El presente estudio justifica suficientemente desde el punto de vista técnico, económico y social.

Desde el punto de vista tecnológico se aplica la tecnología de la soldadura para la fabricación de piezas nuevas, accesorios, repuestos sistemas de tuberías en el sector industrial y alimentario, por la calidad de las uniones soldadas haciendo la variación o mejoramiento de alguno de los parámetros de soldadura. mediante el proceso GTAW (Gas Tungsten Arc Welding), conocido también en el sector industrial como soldadura TIG (Tungsten Inert Gas).

Desde el punto de vista económico genera un ahorro económico muy importante en aplicaciones industriales en general y también dirigido para producciones de pequeña y mediana empresa en el sector local y regional.

Desde el punto de vista social, tiene relevancia social, el reducir emisiones de humos y gases contaminantes por el uso de la tecnología de avanzada con este proceso.

## **3. OBJETIVO GENERAL**

Evaluar los parámetros de soldadura del acero inoxidable austenítico 304 mediante el proceso de soldadura GTAW y sus propiedades mecánicas.



### **3.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar los parámetros adecuados como la intensidad de corriente, el voltaje y la velocidad de avance del cordón de la soldadura mediante el proceso GTAW.
- Analizar las propiedades mecánicas de tracción, dureza, y microscopía de la unión soldada, de acuerdo a la norma específica AWS D1.6

### **4. HIPÓTESIS**

Es posible el control de los parámetros en el proceso de soldadura GTAW según especificaciones de la ficha técnica lo cual permitirá mantener la calidad de los productos terminados.

### **5. VARIABLES**

- Variables Independientes:
  - ✓ Amperaje
  - ✓ Voltaje
- Variable Dependiente:
  - ✓ Dureza

### **6. ALCANCES Y LIMITACIONES**

- El proceso de soldadura TIG permite soldar en toda posición y todos los metales.
- Es una soldadura con menos contaminación que otros procesos.
- Se requiere mayor habilidad por parte del soldador.
- Las velocidades de deposición son menores que aquellas obtenidas con otros procesos de soldadura por arco eléctrico.
- Riesgos laborales en los procesos de soldadura por fusión.

## 7. ANTECEDENTES DE INVESTIGACIÓN

Los procesos de soldadura cada vez van mejorando y también se van modernizando de acuerdo al avance de la tecnología. En las investigaciones que se realizan sobre la soldabilidad de los aceros, todavía es frecuente que se generen algunas fallas en cuanto a la calidad de las uniones soldadas o juntas soldadas, ya que durante este proceso ocurre que el material se fusiona a altas temperaturas, es decir, en la fusión del material sufre una transformación de su estado y luego pasa de una fase líquida a una fase sólida, ya que se solidifica a manera que disminuye la temperatura, a veces estos cambios de estado que sufre el material hace que su microestructura se modifique y que también va a depender de los tiempos de ejecución de la soldadura, estos cambios que se producen en la microestructura también generan un cambio en sus propiedades físicas, mecánicas y químicas, que pueden presentar mayor o menor dureza, fragilidad o algunos defectos del mismo proceso de soldadura y que justamente es motivo de investigación. Una de las características de los aceros inoxidable y uno de los motivos de la continua generalización de su empleo es, sin duda, su resistencia a la corrosión. Su resistencia a la corrosión depende de muchos factores, como sus condiciones intrínsecas (principalmente su composición química y estructural), el tipo de ambiente en el que se encuentran, el modo en el que se unen entre sí o con otros materiales, el proceso tecnológico al que están expuestos, etc. (Darío Yesid Peña Ballesteros. 2008).

Estudios recomiendan ciertas variables para la determinación de los parámetros óptimos en los procesos de unión por soldadura a través de los diversos procesos de soldadura en metales con ciertas características de uso específico, uno de ellos es el proceso GTAW (Gas Tungsten Arc Welding), motivo de investigación y de aplicación en el presente estudio, también existen estudios y recomendaciones para la realización del proceso como tal, por ejemplo en los aceros inoxidable se recomienda trabajar para placas con espesor de hasta 3.2mm, diámetros de electrodos de 2.4mm, corriente de soldadura de 70 a 95 A, (Cordero y Cordero), (Camargo, Suárez 2018) basaron su estudio en el comportamiento e influencia de variables como: la intensidad de corriente, velocidad de pasada y distancia de separación entre el electrodo y el metal base en la fuerza de arco, y obtuvieron que ésta aumenta a medida que se incrementa la intensidad de corriente y se disminuye la distancia entre el electrodo y el material base, al igual que el ancho del cordón de soldadura bajo estas mismas condiciones

aumenta y muestra un comportamiento lineal creciente, y la profundidad del cordón de soldadura aumenta a medida que se incrementa, tanto la intensidad de corriente como la distancia entre el electrodo y el metal base. Este proceso, en el que se usa un electrodo no consumible de tungsteno sólido para realizar la conducción de la corriente eléctrica, se utiliza un gas de protección inerte para facilitar la transmisión de la misma, que en este caso es el gas argón.

En la universidad autónoma de Nuevo León, facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica se realizó el trabajo de investigación que lleva por título “Estudio en Soldadura de Tuberías de Acero al Carbono”. Permitió visualizar el efecto del voltaje, amperaje y velocidad sobre la geometría de la soldadura y se constituye en un primer paso para profundizar en la comprensión de la dependencia fenomenológica entre las diversas variables de proceso. (Yescas Gonzales, 1998)

El soldeo TIG o proceso de soldadura GTAW se utiliza en las soldaduras que deben presentar un óptimo aspecto visual con un reducido número de mecanizaciones sucesivas a la soldadura; esto requiere una correcta preparación y limpieza de los bordes a soldar. Las varillas de material de aportación tienen que tener propiedades mecánicas similares a las del material que se suelda.

Asimismo, con el avance de la tecnología en nuestros días se van perfeccionando los procesos y métodos, tal es el caso de la soldadura por arco pulsado, es decir, en la soldadura TIG por impulsos o TIG con Arco Pulsado consiste en hacer variar periódicamente la intensidad de la corriente entre un valor de base y un valor pico. Esta modulación de corriente permite una regulación del ciclo térmico. En particular, es posible proceder solamente a la fusión de una pequeña parte de metal de base durante los tiempos de paso de corriente de pico, con solidificación, al menos parcial, durante los tiempos de intensidad de base. De esta manera, la cantidad de metal fundido es más pequeña, y el baño de fusión menos importante. En el proceso de arco pulsado o soldadura por impulsos lo dice la literatura e investigaciones, se adapta muy bien a los procesos de soldadura donde la temperatura de fusión del metal de aporte no sea a elevadas temperaturas como es el caso de la soldadura del aluminio por ejemplo, pero en el caso de los aceros se están haciendo estudios y pruebas en planchas de espesores delgados al respecto para poder definir el procedimiento y la tecnología adecuada.

# CAPITULO I

## MARCO TEÓRICO

### 1.1 LOS ACEROS INOXIDABLES

El acero inoxidable es una aleación de hierro y carbono que contiene por definición un mínimo de 18% de cromo y bajo contenido de carbono. Algunos tipos de acero inoxidable contienen además otros elementos aleantes. Los principales son el níquel y el molibdeno Si añadimos al acero otros componentes podemos mejorarlo. Veamos algunos.

- Manganeso: le aporta al acero dureza y resistencia al desgaste.
- Cromo: Aumenta su dureza, le da brillo y hace que el acero sea inoxidable.
- Níquel: evita la corrosión del acero, mejora la resistencia a la tracción y su tenacidad.

Los aceros inoxidables tienen gran valía en la industria por su amplio uso y propiedades, de allí que en este documento se haga una revisión de la soldabilidad de esta aleación. Se realizó investigación sobre las generalidades de los aceros inoxidables, pasando por un estudio de sus propiedades mecánicas, sus componentes aleantes, y dando un vistazo a los principales tipos de soldadura. (Mejía et al., 2006)

### 1.2 SOLDABILIDAD DE LOS ACEROS INOXIDABLES

Por soldabilidad se entiende la facilidad con que un material puede ser fabricado por soldadura incluyendo la habilidad de la unión soldada para soportar las tensiones y condiciones de servicio, así como la medida de la facilidad o dificultad del material de mantener sus propiedades generales tras la soldadura. (Mejía et al., 2006)

El análisis de la soldabilidad de los aceros inoxidables, implica una serie de pasos u operaciones en su proceso, como, por ejemplo, la cantidad mínima de carbono como elemento integrante en su composición química, lo cual tiene como consecuencia una adecuada selección de los materiales de aporte para realizar una buena soldadura.

El término “soldabilidad” se usa refiriéndose a la capacidad de un metal o combinación de metales para soldarse en condiciones de fabricación bajo un proceso específico y para lograr un correcto desempeño en el servicio previsto.

La soldabilidad es una propiedad complicada que no es muy fácil definir, donde la capacidad de evitar el agrietamiento en caliente durante el proceso de soldadura es uno de los aspectos más importantes (David & Woodhouse 1987).

También la elección de un adecuado procedimiento de soldadura para luego ser sometidos a ensayos mecánicos para determinar su resistencia y también análisis metalográficos y posteriormente otros tipos de ensayos para determinar una buena soldadura, es decir, obtener un cordón de soldadura totalmente sano.

Como se mencionó anteriormente, los aceros inoxidable corresponden a un tipo de aceros especiales y dentro de ellos están los aceros inoxidable austeníticos, por su bajo contenido de carbono y la presencia de Cromo y Níquel básicamente como elementos principales en su composición química, es decir son aleaciones complejas en las que intervienen un buen número de elementos químicos a diferencia de otros aceros.

Una de las condiciones básicas para lograr una buena soldadura se debe tener en cuenta que el metal de aporte y el metal base deben presentar unas propiedades lo más semejantes posible, desde el punto de vista mecánico.

Existen varios elementos en su constitución como aleación, como por ejemplo Cr, Ti y Nb se combinan con elementos intersticiales como C y N, cuya combinación da lugar a la formación de precipitados de carburos, que se localizan en los bordes de grano mayormente. La precipitación de estos carburos tiene lugar cuando el material que es el acero inoxidable permanece durante cierto tiempo en un rango de temperatura entre 500°C y 700°C como efecto del proceso de soldadura.

Es importante controlar la cantidad de carbono presente en el material de aporte; asimismo el fundente de que tipo es, la escoria o gas de protección, son parámetros o variables que se tienen que regular para hacer una buena soldadura y además se sabe que el carbono al reaccionar con el cromo por efecto de la temperatura va a formar los carburos de cromo lo cual disminuye la cantidad de este elemento de aleación, por lo tanto va a disminuir la resistencia a la corrosión de los aceros inoxidable; también se debe considerar la humedad que debe ser mínima debido a que se puede generar un defecto de soldadura que vendría a ser la formación de poros o zonas con porosidad en el cordón de soldadura, por lo que se debilitaría esa zona respecto al material base.

Otro de los factores que se tiene que tener en cuenta es el bajo punto de fusión de la soldadura en caliente, porque puede generar agrietamiento en los límites de grano como una forma de segregación, lo que lleva a una rotura intergranular cuando sean aplicados esfuerzos de tensión o de compresión y uno de los constituyentes perjudiciales viene a ser el azufre, porque forma sulfuros, cuyo efecto se hace mayor con la presencia de níquel y silicio; este es uno de los principales problemas que se presentan en los aceros inoxidable austeníticos.

Este fenómeno se puede reducir su efectividad con la presencia de pequeñas cantidades de ferrita en los bordes de grano y con ello se lograría una alta soldabilidad entre un 5% y 10% debido a que el aumento de la fase ferrítica en el acero aumenta la posibilidad de que se forme la fase sigma que vendría a ser otro inconveniente por las características que presenta esta fase intermetálica.

Sabido es que la fase sigma, es un intermetálico duro y frágil y que fragiliza toda la microestructura del acero (R. Ospina et. al 2007). La fase sigma se forma durante el enfriamiento en el rango de 870°C a 530°C y puede ser disuelta con calentamientos de 1100°C y su formación evitada por un enfriamiento rápido (A. Lázaro et. al 2012).

También se puede predecir el tipo de microestructura que se va a encontrar en el cordón de soldadura y es haciendo uso del diagrama de Shaeffler, el cual se puede considerar como una ayuda gráfica, muy utilizada por los soldadores el cual tiene una muy buena aplicación para determinar el porcentaje de ferrita en estas aleaciones de aceros inoxidable austeníticos, cuyos valores son expresados en términos de Ni equivalente (Ni-eq), es decir, la cantidad de austenizantes que serían necesarios para producir el mismo efecto del Níquel. Lo mismo se hace para los elementos ferrítizantes, que son expresados en términos de Cromo equivalente (Cr-eq). (A. Lázaro et. al 2012).

Las expresiones para calcular el Cr-eq y Ni-eq son:

$$\text{Cr-eq} = \% \text{Cr} + \% \text{Mo} + 1.5\% \text{Si} + 0.5\% \text{Nb}$$

$$\text{Ni-eq} = \% \text{Ni} + 30\% \text{C} + 0.5\% \text{Mn}$$

Debido al aumento de los trabajos con estructuras metálicas en el ámbito empresarial para el sector de la construcción, hospitalario y en la industria de los alimentos y en

general sectores para el desarrollo del País, son muy utilizados procedimientos y procesos de soldadura que han cobrado mucha importancia.

### 1.3. CLASIFICACIÓN DE LOS ACEROS INOXIDABLES

El acero inoxidable puede ser clasificado en cinco familias diferentes; cuatro de ellas corresponden a las particulares estructuras cristalinas formadas en la aleación: austenita, ferrita, martensita y dúplex (austenita más ferrita); mientras que la quinta son las aleaciones endurecidas por precipitación, que están basadas más en el tipo de tratamiento térmico usado que en la estructura cristalina.

Entre las normalizaciones más consideradas se encuentran las de AISI (Instituto Americano del Hierro y el Acero – American Iron and Steel Institute) y las de SAE (Sociedad de Ingenieros de Automoción – Society of Automotive Engineers). La clasificación ampliada de los Aceros Inoxidables se muestra en el Cuadro N°1

**Cuadro 1 Clasificación de los aceros inoxidables**

CLASE	CLASIFICACIÓN AISI- SAE	EJEMPLOS DE ESPEFICICACIÓN
<b>Martensíticos</b>	Serie 400	410, 420, 431
<b>Ferríticos</b>	Serie 400	409, 430, 434
<b>Austeníticos</b>	Serie 200 y 300	304, 321, 316
<b>Dúplex</b>	Serie 2200, 2300 2500	2205, 2304, 2507
<b>PH (Endurec.pp)</b>	Serie 500	630, 631, 632

#### 1.3.1 Aceros inoxidables Martensíticos

Son la primera rama de los aceros inoxidables, llamados simplemente al cromo y fueron los primeros desarrollados industrialmente, tienen un contenido de carbono relativamente alto.

Son aceros aleados de Hierro – Cromo que contienen entre 12 y 17% de Cromo y suficiente carbono de 0.6 a 1.0%C para crear la martensita a partir del temple, es decir pueden ser endurecidos por tratamiento térmico de temple, como se indica en el Cuadro N° 2

Se designan con la serie 400, y estos aceros tienen una mayor dureza, pero su resistencia a la corrosión es menor comparada con los ferríticos y austeníticos. Los tipos más comunes son el AISI 410, 420, 431. Poseen una elevada dureza (se puede incrementar por tratamiento térmico).

Se usan principalmente para chumaceras, moldes, cuchillería, instrumental médico, partes estructurales de aeronaves y componentes de turbinas y otras aplicaciones como rodamientos, bisturís, partes de válvulas, donde se requiere una excelente dureza y resistencia a la corrosión.

Se obtienen por medio de un tratamiento térmico denominado temple rápido que consiste en bajar las temperaturas bruscamente al fundido que da lugar al acero. Esta estructura cristalina tiene una elevada resistencia y una baja ductilidad. Estos aceros no contienen níquel y se someten a trabajos térmicos, es decir, estos aceros sufren modificaciones estructurales con la temperatura, por lo que suelen someterse a tratamientos térmicos de temple y revenido. Tras estos procesos alcanzan buenas propiedades mecánicas y tienen suficiente resistencia a la corrosión. Su uso más conocido es en la industria de la cuchillería

### **1.3.2 Aceros Inoxidables Ferríticos:**

Estos aceros inoxidables de la serie 400 AISI (American Iron & Steel Institute) mantienen una estructura ferrítica estable desde la temperatura ambiente hasta el punto de fusión, sus características son:

- Resistencia a la corrosión de moderada a buena, la cual se incrementa con el contenido de cromo y algunas aleaciones de molibdeno.
- Endurecidos moderadamente por trabajo en frío: no pueden ser endurecidos por tratamiento térmico., tal como e indica en el Cuadro N°2
- Son magnéticos.
- Su soldabilidad es pobre por lo que generalmente se eliminan las uniones por soldadura a calibres delgados.



- Usualmente se les aplica un tratamiento de recocido con lo que obtienen mayor suavidad, ductilidad y resistencia a la corrosión.
- Debido a su baja dureza, el uso se limita generalmente a procesos de formado en frío.

Los Ferríticos son esencialmente aleaciones con cromo. El contenido de cromo es usualmente de 10.5 a 30%, pero contenidos limitados de carbono del orden de 0.08%. Algunos grados pueden contener molibdeno, silicio, aluminio, titanio y niobio que promueven diferentes características. Son fácilmente deformables, por lo que se usan frecuentemente en partes decorativas de automóviles y cocinas domésticas. Su resistencia a la corrosión atmosférica es buena.

### **1.3.3 Aceros Inoxidables Austeníticos:**

Los aceros inoxidables austeníticos constituyen la familia con el mayor número de aleaciones disponibles, integra las series 200 y 300 AISI. Su popularidad se debe a su excelente formabilidad y superior resistencia a la corrosión. Sus características son las siguientes:

- Excelente resistencia a la corrosión
- Endurecidos por trabajo en frío y no por tratamiento térmico
- Excelente soldabilidad
- Excelente factor de higiene y limpieza
- Son no magnéticos
- No se endurecen por tratamiento térmico.
- Se pueden utilizar tanto a temperaturas criogénicas como a elevadas temperaturas.

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 desde 1.5 a 6% como es el caso del acero inoxidable 316. Los tipos más comunes son el AISI 304, 304L, 316, 316L, 310 y 317 que son considerados los “caballos de batalla” de la mayoría de las aplicaciones industriales por su buen desempeño mecánico, fabricabilidad, tenacidad y resistencia a la corrosión y temperatura.

Entre sus principales aplicaciones está en utensilios y equipo para uso doméstico, hospitalario, en la industria alimentaria como impulsores, rodetes, hélices, accesorios de tuberías y tanques para la industria cervecera, tanques y tuberías en la industria química, de panadería y de chocolatería, etc.

#### **1.3.4 Aceros Inoxidables Duplex (Austeno-Ferríticos):**

Son aquellos aceros que se pueden endurecer por tratamiento térmico sofisticados. Aunque su resistencia a la corrosión es mediana, se pueden obtener altas resistencias mecánicas, haciéndolas útiles para la industria aeronáutica y de misiles.

Son aleaciones cromo-níquel-molibdeno, sus características son las siguientes:

- Son magnéticos
- No pueden ser endurecidos por tratamientos térmicos
- Buena soldabilidad
- La estructura dúplex mejora la resistencia a la corrosión de fractura bajo tensión en ambientes con iones de cloruro.

Se utiliza mayormente en plantas con tratamiento de agua é intercambiadores de calor.

Los dúplex tienen un contenido de cromo de entre 18 y 26% y de níquel de 4.5 a 6.5%. La adición de elementos de nitrógeno, molibdeno, cobre, silicio y tungsteno imparten ciertas características de resistencia a la corrosión.

#### **1.3.5 Aceros endurecidos por precipitación (PH)**

Son aceros austeníticos y con un contenido de carbono muy bajo y se les aplica un precipitado con elementos como aluminio, titanio, niobio y cobre para obtener su condición.

Estas aleaciones se utilizan donde se requiere alta resistencia mecánica, moderada resistencia a la corrosión y facilidad de fabricación.

Su sistema de designación es diferente y se designa con las letras PH. Se caracteriza por su resistencia a altas temperaturas y se usa para aeronaves y vehículos espaciales.

Esta familia ofrece una alternativa a los aceros inoxidable austeníticos cuando se desea asociar elevadas características mecánicas y de maquinabilidad. Son aleaciones hierro-cromo-níquel que se caracterizan por la resistencia mecánica obtenida a partir del endurecimiento por tratamiento térmico de envejecimiento. Los aceros endurecibles por precipitación están patentados y frecuentemente se les designa con las siglas de la empresa productora. Las propiedades generales de los aceros inoxidable se muestran en el Cuadro N°2. que se muestra a continuación.

**Cuadro 2: Propiedades de los Aceros**

PROPIEDADES GENERALES DE LOS ACEROS INOXIDABLES					
Tipo	Resistencia a la corrosión	Dureza	Magnéticos	Endurecidos por tt (temple)	Soldabilidad
MARTENSÍTICOS	Baja	Alta	Si	Si	Pobre
FERRÍTICOS	Buena	Media baja	Si	No	Limitada
AUSTENÍTICOS	Excelente	Alta*	No**	No	Excelente

Fuente: Manual del Soldador : Germán Hernández Riesco

\* Adquieren mayor dureza al ser trabajados en frío.

\*\* Adquieren cierto magnetismo al ser trabajados en frío.

TT: Tratamiento térmico

Los aceros inoxidable austeníticos son aquellos que no endurecen por tratamiento térmico, pero sí por trabajo en frío. Son muy dúctiles y presentan muy buena soldabilidad.

Su composición química en (%) se muestra en el siguiente cuadro.

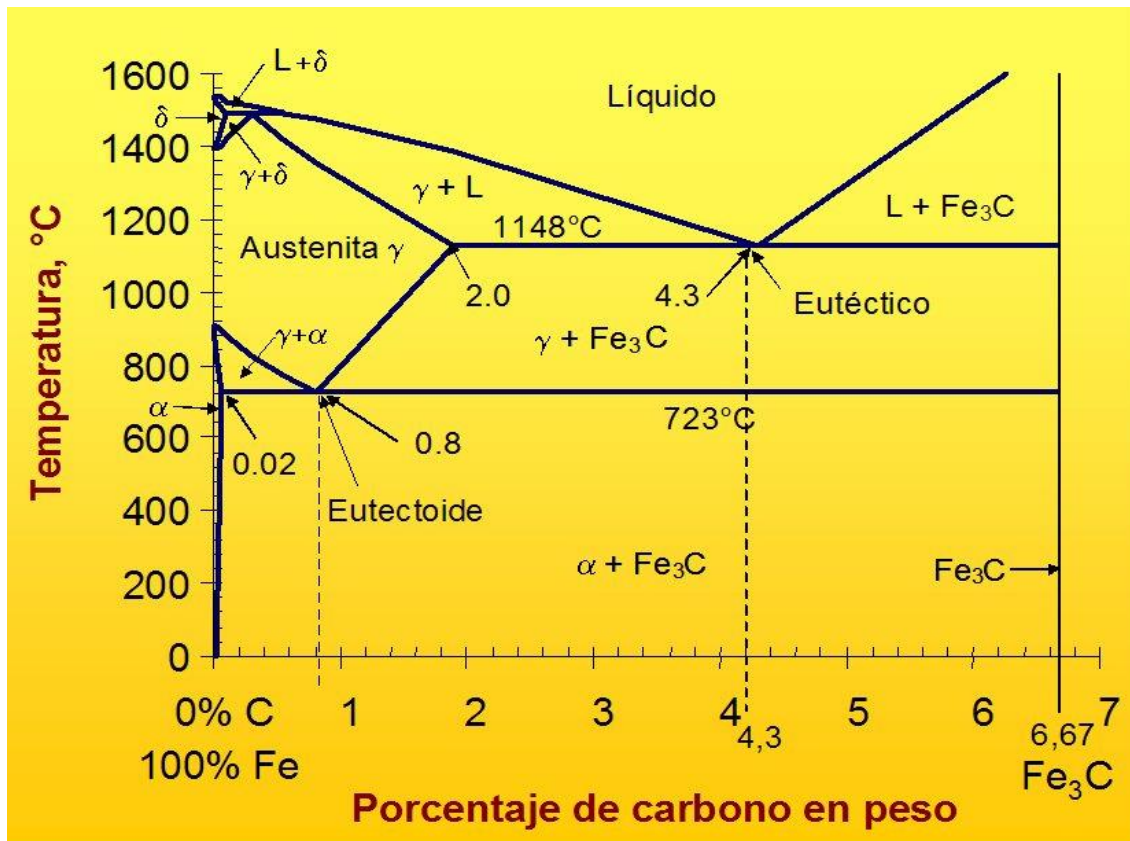
#### Composición química (%) del A cero Inoxidable Austentico 304

Carbono C máx	Manganeso (Mn) max:	Fosforo (P) máx:	Azufre (S) máx	Silicio (Si) máx	Cromo (Cr) máx.	Níquel (Ni) máx.	Moolibdeno (mo)	Otros
0.08	2.00	0.04	0.03	0.75	18.0 a 20.0	8.0 a 11.0	0	0

Fuente: AWS (American Welding Society)

### Cuadro 3: Propiedades de los Aceros

#### 1.3.6 Diagrama Hierro – Carbono



**Figura 1: Diagrama Hierro – Carbono.**

Las aleaciones de hierro que tienen desde pequeñas cantidades, alrededor del 0.03 %, a un 1.2% de carbono, con cantidades de un 0.25 a 0.7% de Mn y/o Si y pequeñas cantidades no superiores a 0.050% de S y P, reciben el nombre de aceros al carbono o aceros ordinarios de construcción. Cuando en su composición aparecen otros elementos de aleación, reciben el nombre de aceros aleados.

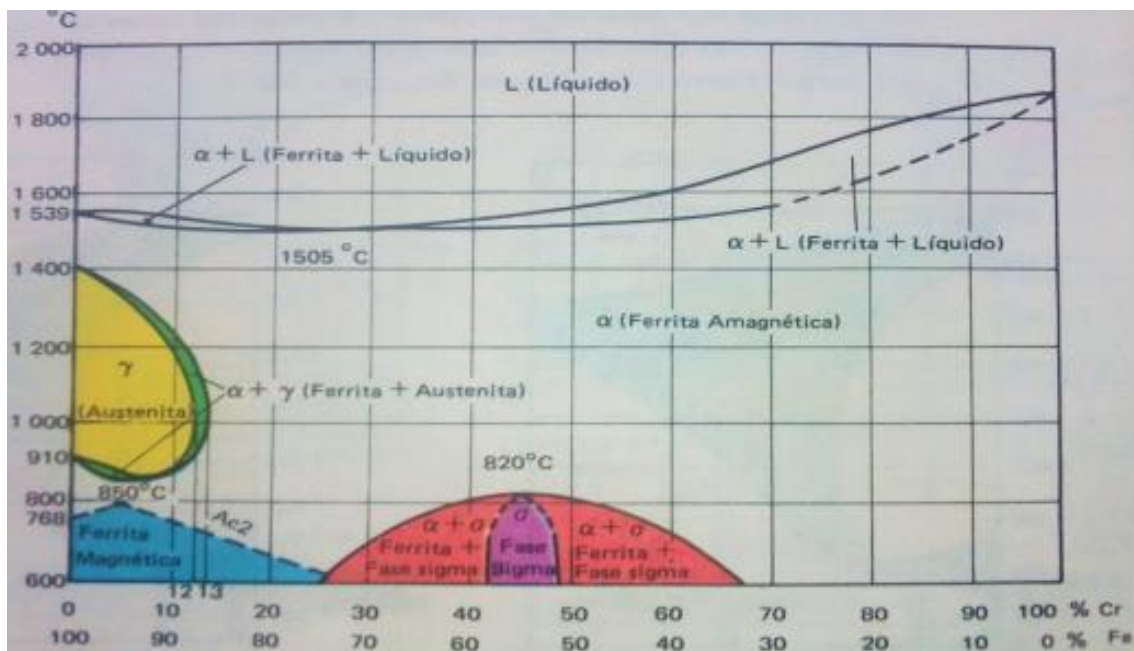
El diagrama de equilibrio se representa hasta un contenido del 6.67% de C, correspondiente a la composición del carburo de hierro que recibe el nombre de cementita. En el diagrama de equilibrio se observan las siguientes fases sólidas: ferrita d, austenita (g), ferrita a, y cementita (Fe<sub>3</sub>C).

De las reacciones que tienen lugar en el diagrama, la más importante es la reacción eutectoide en la que la austenita produce un desdoblamiento a ferrita y cementita, formando el nuevo constituyente denominado perlita.

### 1.3.7 Diagrama Binario Fe-Cr

Del análisis del diagrama Cr-Fe se deduce lo siguiente: a) Las aleaciones hierro-cromo, con menos de 12% de cromo, transforman su estructura ferrítica a austenítica (fase gamma,  $\gamma$ ) durante el calentamiento. Por enfriamiento rápido hasta la temperatura ambiente, se consigue transformar la Austenita en Martensita (aceros inoxidables martensíticos). b) Las aleaciones de hierro con contenidos de cromo entre 12 y 13% forman a elevadas temperaturas estructuras bifásicas ( $\alpha$  y  $\gamma$ ) que, enfriadas rápidamente a temperatura ambiente, presentarán una estructura formada por Ferrita y Martensita (aceros ferríticos-martensíticos). c) En las aleaciones hierro – cromo con contenidos de este último de 25 a 42% y de 48 a 65% a temperaturas comprendidas entre 600 y 900°C, aparece una fase intermetálica llamada fase sigma ( $\sigma$ ) que coexisten con la ferrita.

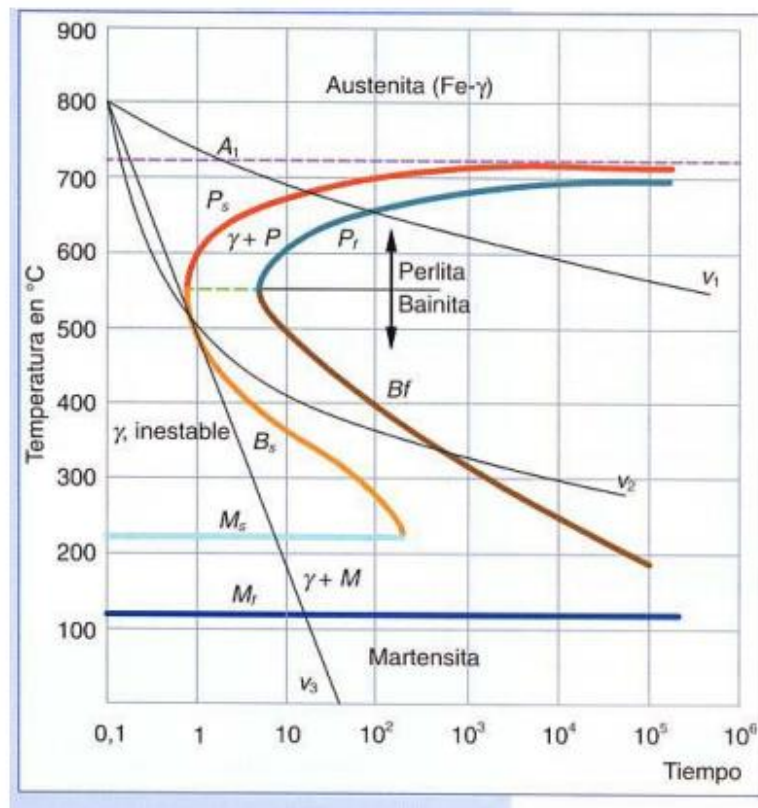
Esta fase es muy dura, frágil y se puede disolver en la ferrita calentando por encima de los 900°C.



**Figura 2: Diagrama Binario Fe-Cr.**

Fuente: Inchaurre Zabala Adrián. Aceros Inoxidables y Aceros resistentes al calor

### 1.3.8 Diagrama (TTT): Temperatura – Tiempo – Transformación



**Figura 3: Diagrama (TTT):Temperatura-Tiempo-Transformación**

La velocidad a la cual se enfría la soldadura puede tener un significativo efecto sobre la estructura metalúrgica y las propiedades mecánicas de la ZAC.

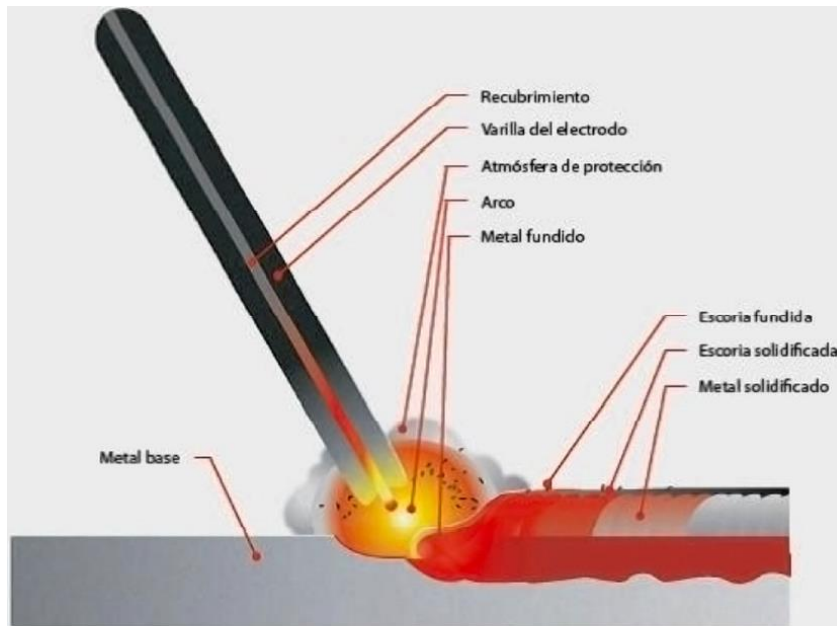
## 1.4 PROCESOS DE SOLDADURA

En cuanto a los procesos de soldadura se puede indicar lo siguiente:

### 1.4.1 Proceso SMAW (shielded metal arc welding)

Llamado también soldadura de arco metálico con electrodo revestido, soldadura con electrodo, stick electrode welding y manual welding. Este método es el más conocido, usual, práctico para unir metales, el equipo es de bajo costo y tiene una gran capacidad para soldar la mayoría de los metales.

Los elementos que se utilizan: Fuente de poder, porta electrodo, porta masa o pinza masa, cables, conectores, electrodo.



Fuente: Lincoln Electric

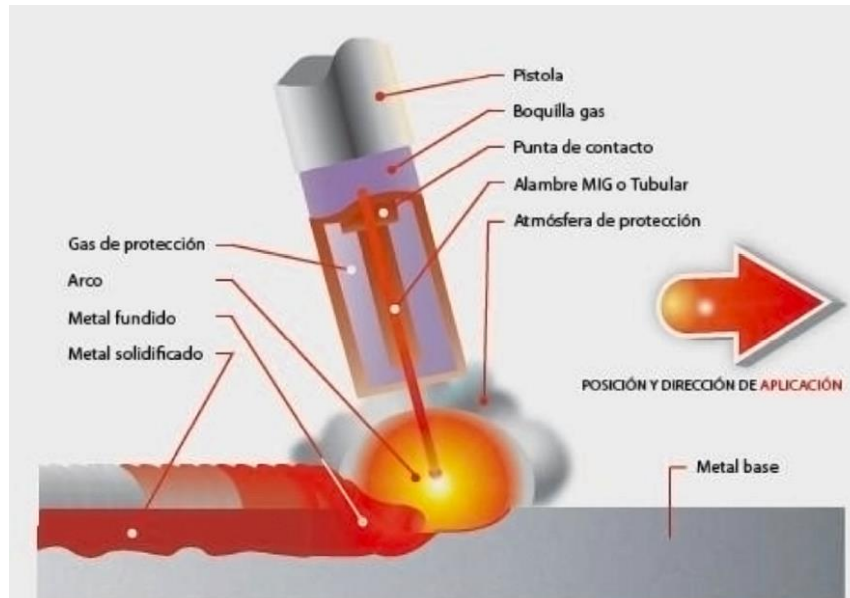
#### **Figura 4: Proceso SMAW**

En el proceso se crea un circuito eléctrico comenzando en la fuente de poder, el electrodo, el arco, el material y vuelve a la fuente de poder. Los electrones recorren el espacio que se forma entre el electrodo y la pieza a soldar produciendo un arco que genera el calor suficiente para fundir tanto el electrodo como el material base (se pueden alcanzar temperaturas de  $3300\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), el material fundido que procede del electrodo se deposita en la junta a soldar y se solidifica formando una unión de materiales. Es usado comúnmente en mantenimiento y reparaciones de maquinaria industrial, en la industria minera, petrolera y construcción. Los componentes del revestimiento del electrodo determinan las propiedades físicas, químicas y mecánicas de la soldadura, la penetración, la velocidad de enfriamiento de la junta soldada y la estabilidad del arco.

#### **1.4.2 Proceso GMAW**

Denominado por la AWS (GMAW) como Gas Metal Arc Welding, también llamado Metal Inert Gas (MIG) Soldadura de arco metálico con gas inerte o soldadura con alimentación de alambre. Los elementos que se utilizan son: Una fuente con voltaje constante, un alimentador de alambre, una pistola para soldar, el alambre (soldadura), porta masa, cilindros para gas, flujómetro y manómetros. Funciona con el arco eléctrico que se forma entre el alambre (la soldadura), el cual sale por la pistola para soldar y viene del equipo alimentador de forma continua y el metal base (la pieza que se va a soldar), el

alambre se calienta hasta fundirse depositándose en forma de charco protegido del oxígeno por un gas de procedencia externa.



Fuente: Lincoln Electric

**Figura 5: Proceso GMAW**

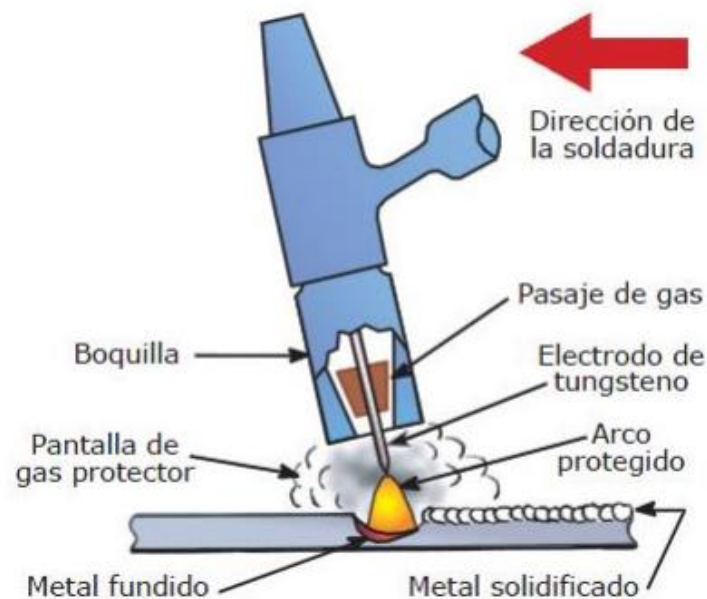
- **Corto Circuito:** Se obtiene con voltajes y amperajes bajos, se suele usar con diámetros pequeños de alambres, se produce un charco de soldadura pequeño por lo que se solidifica rápido, con este se puede soldar piezas delgadas ya que tiene un bajo aporte de calor.
- **Globular:** Se obtiene con voltajes y amperajes altos, los alambres son de diámetro más grande que los utilizados en el de corto circuito, en este se produce media penetración y deposición, las aplicaciones son limitadas por producir muchas salpicaduras.

### 1.4.3 Proceso GTAW

Gas Tungsten Arc Welding (GTAW) nombre designado por la AWS, también llamado TIG (Tungsten Inert Gas), Soldadura de arco con electrodo de tungsteno y gas inerte, soldadura Heliarc, en Europa se le denomina WIG (Wolfram Inert Gas). Los elementos más importantes que se utilizan son: El equipo como fuente de poder, electrodo de Tungsteno, pistola para soldar, Flujómetro, porta masa, cilindro de gas y el material de



aporte si es necesario. El proceso comienza cuando el electrodo de tungsteno crea un arco eléctrico de bajo voltaje y alto amperaje con el material base formando un charco de soldadura, el cual es protegido de los contaminantes atmosféricos por un gas inerte sumándose al proceso cuando sea necesario un metal de aporte en forma de alambre o varilla aplicándose junto con el arco formado, no se genera salpicaduras durante el trabajo y se produce poco humo.



**Figura 6: Proceso GTAW**

### 1.5 GAS DE PROTECCIÓN

Para el presente estudio se ha utilizado el gas inerte argón para proteger el arco de la cantidad de gases dañinos que se encuentran en la atmósfera. Este gas argón es más económico en relación al otro gas inerte que es el helio y que también se usa en la soldadura mediante el proceso GTAW. Otra de las ventajas que presenta el gas argón es su peso, es más pesado que el helio y por lo tanto proporciona una mejor protección a la soldadura de los agentes contaminantes externos.

En general, el gas argón genera un arco que opera de una manera más uniforme y silenciosa, se maneja con mayor facilidad y es menos penetrante que un arco acompañado de helio, el menor costo unitario hace que sea el preferido desde el punto de vista económico.

Se puede decir que el gas de protección que más se usa en la soldadura es el argón.

## 1.6 CICLO TÉRMICO

Al aplicar el ciclo térmico de la soldadura a una estructura metálica se forman dos zonas claramente diferenciadas o definidas, es decir, la del metal fundido o del cordón de soldadura con o sin presencia de metal de aporte y la zona afectada por el calor (ZAC), por lo tanto esta zona está afectada estructuralmente sin haber llegado a la fusión.

Como consecuencia se puede deducir que estas dos zonas ya no presentan la misma estructura original del material base y por lo tanto puede considerarse a este cambio estructural un efecto de riesgo del ciclo térmico de soldadura.

Esto se puede controlar parcialmente modificando el ciclo térmico de la soldadura actuando directamente sobre las variables del proceso de soldadura, dando una mejora en la ductilidad con calentamiento/enfriamiento controlado (Seferian 1962). En la Fig. 7 se ilustra la relación entre las temperaturas pico mostrando en las diversas regiones de la zona de soldadura y el diagrama de equilibrio hierro-carbono. Como se puede observar dependiendo de la ubicación del punto dentro o colindante a la soldadura y que pueden producirse diversas estructuras metalúrgicas.

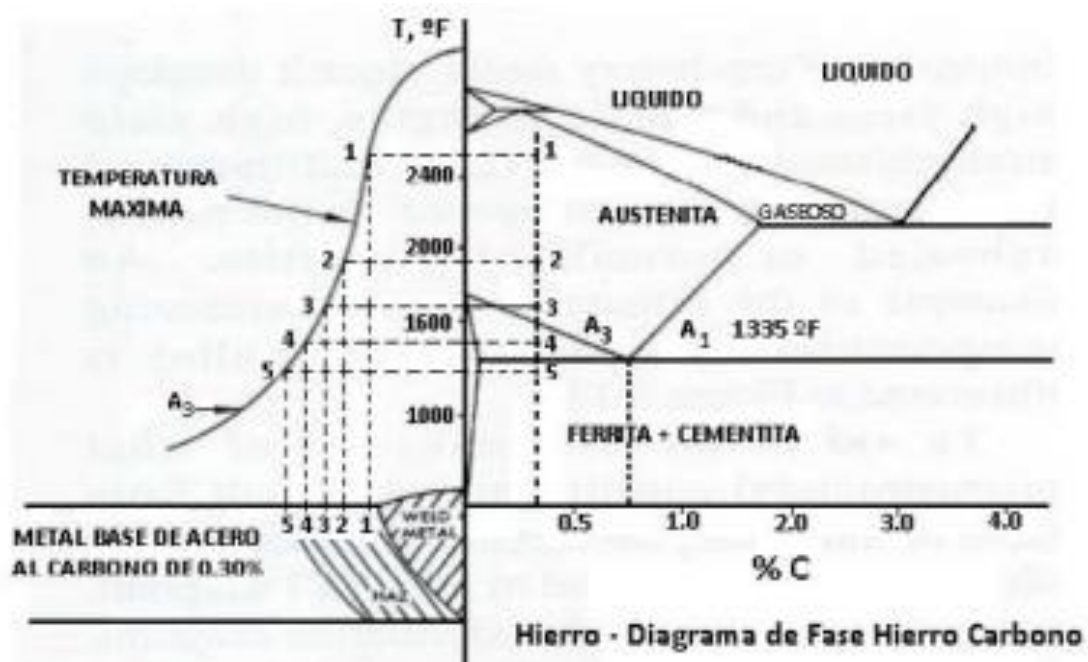


Figura 7: Ciclo Térmico y Diagrama Hierro-Carbono. Fuente: Seferian 1962.

## CAPÍTULO II

### METODOLOGÍA

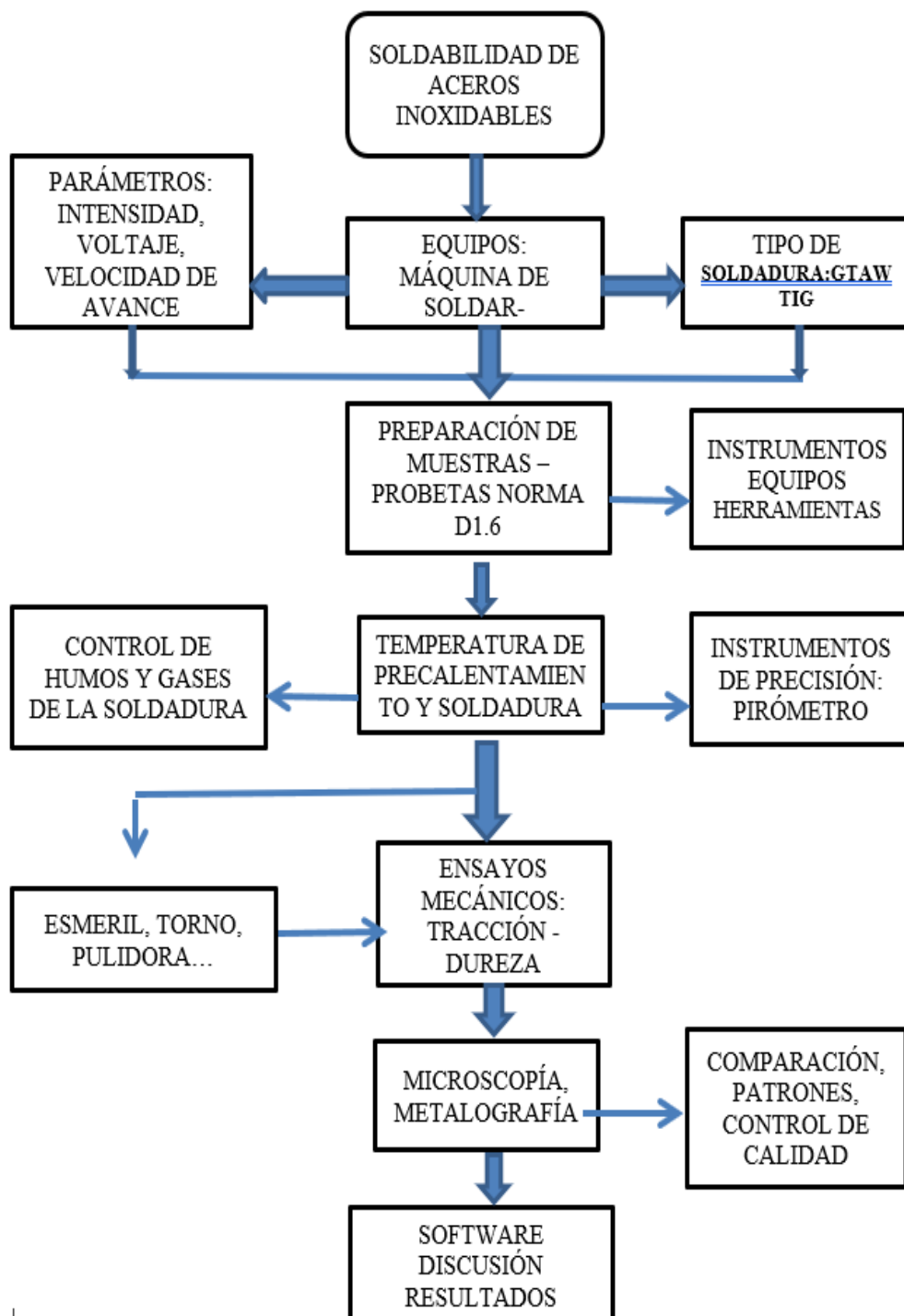


Figura 8: FLUJOGRAMA

## **2.1 SELECCIÓN DEL PROCESO DE SOLDADURA: Proceso GTAW**

El proceso de soldadura TIG (tungsten inert gas), identificado por la AWS como Gas Tungsten Arc Welding-GTAW, es un proceso de soldadura por arco eléctrico, que se establece entre un electrodo de tungsteno y la pieza a soldar, bajo la protección del gas inerte argón que evita el contacto del aire con el baño de fusión y con el electrodo, que se encuentran a alta temperatura.

El electrodo de tungsteno está sujeto a una torcha que le transmite la corriente eléctrica e inyecta el gas de protección argón y es alimentada por una fuente de poder que puede ser de corriente continua o alterna. El metal de aporte, cuando es necesario, se agrega directamente de acuerdo a la Norma AWS D1.6, Norma estructural de soldadura de aceros inoxidable.

## **2.2 MÉTODOS**

### **Experimental**

Preparación de muestras/probetas Norma AWS D1.6

- Material Base: Plancha de Acero Inoxidable 304 -ASTM E8  
Especificaciones en Anexos
- Material de Aporte : Varilla de aporte ER-308L  
Especificaciones en Anexos
- Cordón de Soldadura : Proceso GTAW (TIG)
- Prueba de Ensayos Mecánicos: Tracción
- Ensayos Metalográficos: Microscopio Óptico
- Ensayo de Dureza: Durómetro

## **2.3 EQUIPOS**

- Máquina de Soldar  
Marca: CADDY TA34 AC/DC ESAB  
Modelo: TIG 2200i AC/DC
- Torno: Convenio HUNGARO
- Microscopio Óptico

Marca: ZEISS – 2019 50x á 1000x (Alemán)

Modelo: ZEN Module. Software ZEN Core v2.7

- Dinamómetro-Máquina de Tracción

Marca: INSTRON

Modelo: EMIC 23-100 Capacidad 100KN

Software Blue Hill con toma de datos sistema electrónico.

Computador táctil de la máquina de ensayos universales.

- Durómetro

Marca: INDENTEC

Escala HRB con una carga de 100K

## **2.4 INSTRUMENTOS y MATERIAL:**

- Hojas de Sierra SANDVIK
- Plancha de Acero Inoxidable 304
- Arco de Sierra standard
- Tornillo de Banco de 10” de Acero Estructural
- Esmeril de pedestal y portátil  
Marca Total Industrial – Modelo Súper Select 750W
- Pulidora : Mesas pulidoras de lija y paño  
Modelo: PG – 2B Metallographic Sample Polisher
- Pirómetro digital.
- Durómetro digital, entre otros

## **2.5 SOFTWARE:**

- AutoCAD, SolidWorks. Centurion Statigraphics.

## **2.6 METODOLOGÍA EXPERIMENTAL**

### **2.6.1 Caracterización del Acero Inoxidable**

La caracterización del acero Inoxidable se realizó en el laboratorio químico y de Corrosión de la Escuela Profesional de Ingeniería de Materiales de la Universidad

Nacional de San Agustín ya que mediante las curvas de polarización nos permite determinar si el metal es susceptible a la corrosión uniforme o al ataque localizado. El procedimiento a seguir fue el siguiente:

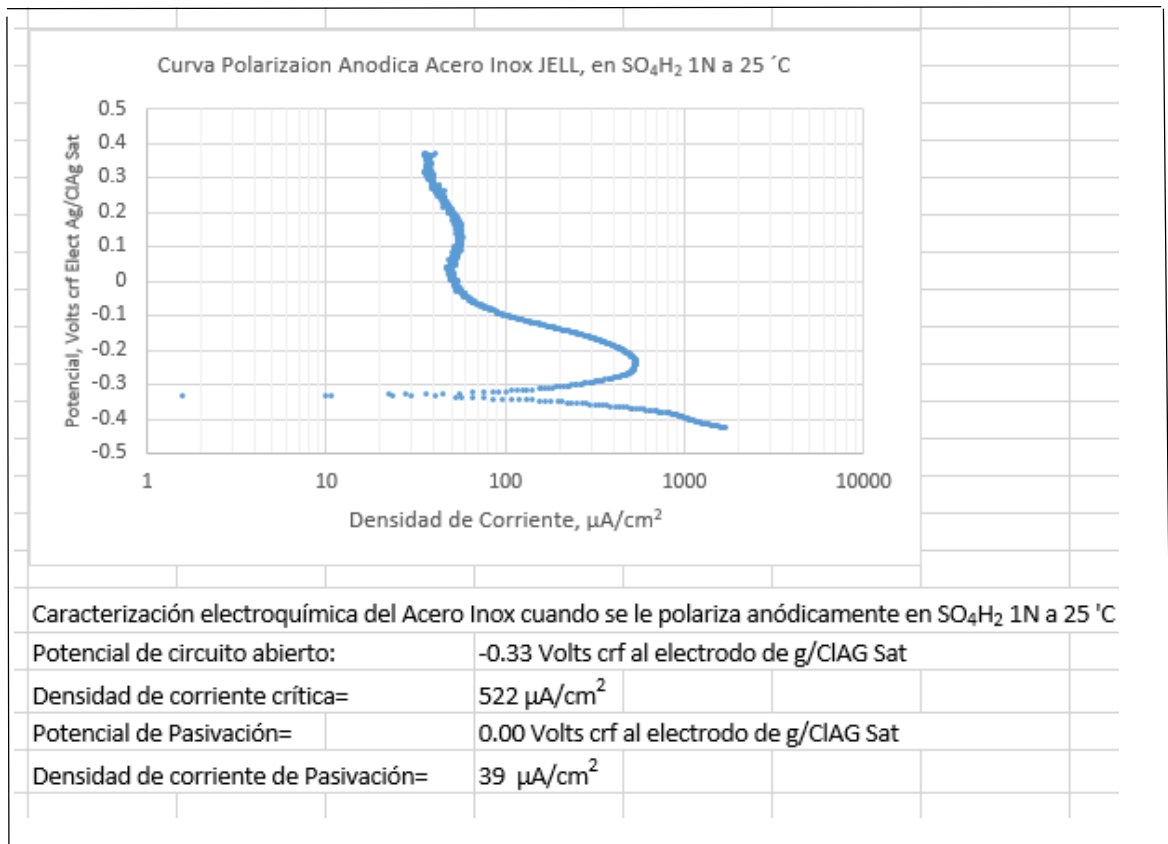
- Se preparó el espécimen o muestra aproximadamente de 1 cm<sup>2</sup> de área, previamente pulida y libre de grasas, pinturas, etc.,
- Se preparó en un depósito resina acrílica transparente y se sumergió la muestra metálica para tener contacto con el alambre de cobre.
- El alambre de cobre de aproximadamente 10cm de longitud x Ø2mm.(Pelado)
- Este alambre de cobre fue recubierto con un tubo de acrílico, para evitar el contacto (parecido al lapicero: mina-carga + protector).
- Se colocó la muestra en un vaso o depósito que contenía solución de Ác. Nítrico + Agua para pasivarlo, es decir, para formar la capa fina de óxido de cromo por un tiempo aproximado de 2 Hrs, y a 10 voltios, controlado por un potenciómetro.



**Figura 9: Muestra metálica sumergida en ácido y potenciómetro-**

- Se retiró la muestra y sumergió en otro vaso o depósito en solución de Acido

Sulfúrico, para determinar las curvas de polarización a través de un software específico para este tipo de pruebas: (Volta Master 4).



**Figura 10: Curva de Polarización de la muestra de Acero Inoxidable**

- En la interpretación de la curva de polarización se describe que ésta curva se aproxima hacia el potencial que está en el eje de las coordenadas, lo cual nos indica que es la curva característica correspondiente a un Acero Inoxidable Austenítico.

La protección anódica es un método que consiste en recubrir un metal con una fina capa de óxido para que no sea susceptible a la corrosión.

El acero inoxidable al entrar en contacto con el aire, es capaz de generar espontáneamente esta capa de óxido y se hace resistente a la corrosión.

### 2.6.2 Parámetros de Operación de la Soldadura

Los parámetros de soldadura, en muchos casos son dependientes del espesor del material. Entre ellos tenemos:

### **2.6.3 Intensidad de la Corriente – Amperaje**

Se utilizaron las probetas planas elaboradas de plancha de acero inoxidable 304 y se seleccionó el Amperaje en un rango de 70 a 90 Amperios para inicializar la raíz o el punteo en los extremos del cupón preparado, realizando el cordón de soldadura en forma continua y a una velocidad de avance también constante de principio a fin, garantizando un buen cordón de soldadura, a través de la máquina de soldar Marca Caddy TIG 2200i AC/DC ESAB, con electrodo de Tungsteno y la varilla o material de aporte ER-308L adecuado para soldar plancha de acero inoxidable 304 por las características y propiedades similares a las del material base de acuerdo a la bibliografía de consulta y con la asistencia del software estadístico CENTURION STATIGRAPHICS dando la validación a los resultados del proceso.

### **2.6.4 Voltaje**

Se suministra a través de la fuente de poder durante el proceso de soldadura, el cual influye sustancialmente en el ancho del cordón de soldadura, es decir, se podría tener un cordón más ancho cuando se incrementa el voltaje, en el estudio de investigación el voltaje fue una de las variables de mayor importancia logrando un buen avance del cordón de soldadura entre 21 y 24 voltios, también con la asistencia del software estadístico para la predicción de los resultados.

### **2.6.5 Velocidad de Alimentación**

La velocidad de alimentación en 2.5 mm/seg. Este parámetro puede influir directamente sobre la penetración y en cuanto a la polaridad: se aplicó Polaridad Directa (Electrodo negativo), ya que se obtiene una mayor penetración, por cuanto se genera mayor aporte térmico al metal base alrededor del 70% del calor total, lo cual es beneficioso para este tipo de soldadura.



## CAPITULO III

### DESARROLLO EXPERIMENTAL

#### 3.1 LUGAR DE EJECUCIÓN

Este estudio de investigación se realizó en las instalaciones de los nuevos Laboratorios de Soldadura y Conformado de Metales de la Universidad Nacional de San Agustín inaugurados recientemente en el distrito de Hunter como CENTRO EXPERIMENTAL UNSA, específicamente la etapa del proceso de soldadura GTAW. Las otras pruebas y ensayos mecánicos se realizaron en la Ciudad Universitaria, en el Edificio Antonio Raimondi en los Laboratorios de Ingeniería de Materiales e Ingeniería Metalúrgica.

#### 3.2 PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS

Se hizo el trazado respectivo sobre la plancha de acero inoxidable 304 de espesor 3mm, de acuerdo a la Norma AWS D1.6, para proceder al corte mediante una cizalla que es un procedimiento de corte en frío a través de una cuchilla y accionada a presión, también conocida como guillotina programada como se muestra a continuación.



**Figura 11: Medición**

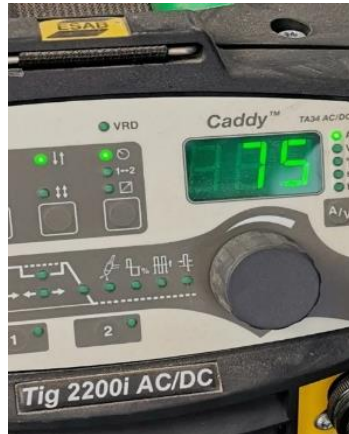
**Figura 12: Trazado**

**Figura 13: Corte con cizalla**

Se cortaron planchas de 200mm x 100mm mediante la guillotina programada, tal como se puede apreciar en las figuras. Estas planchas conformarán los cupones de prueba para efectuar la soldadura a tope mediante el proceso GTAW.

### 3.3 CONTROL Y VARIACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE OPERACIÓN

El proceso de soldadura GTAW para el presente estudio se realizó con la Máquina de soldar Marca Caddy Tig 2200i AC/DC ESAB, seleccionando la intensidad de corriente, como se muestra en la fig. N°14(a).



**Figura 14: Máquina de Soldar TIG**

En esta máquina de soldar se realizaron las variaciones en cuanto a los parámetros de soldadura en el proceso TIG/GTAW, especial para trabajar con electrodo de tungsteno y varilla de aporte ER-308L y precisamente se observa en la figura #10 en que la intensidad de corriente está en 70 amperios como parte del proceso del presente estudio de investigación y también en la Fig. #11 en el panel de la máquina de soldar muestra 80 amperios para la generación del cordón de soldadura en los cupones preparados de acuerdo a norma de la AWS.

El material base para las soldaduras fueron planchas de acero inoxidable calidad 304 de un solo espesor de 3mm en uniones soldadas a tope separadas por 1mm, con corriente continua directa utilizando Argón como el gas de protección y tomando como variables independientes a la intensidad de corriente, el voltaje para realizar el cordón de soldadura.



**Figura 15: Variando el amperaje a 80 A**

### **3.4 APLICACIÓN DEL PROCESO DE SOLDADURA**

Una vez cortadas las planchas se procedió al armado de los cupones para efectuar la soldadura correspondiente de acuerdo a la Norma AWS D1.6

Este material de acero inoxidable debe estar exento o libre de grasas, aceites para obtener una soldadura de calidad mediante un disolvente adecuado y al mismo tiempo evitar alguna impureza que pudiera provocar algún defecto en el cordón de soldadura.

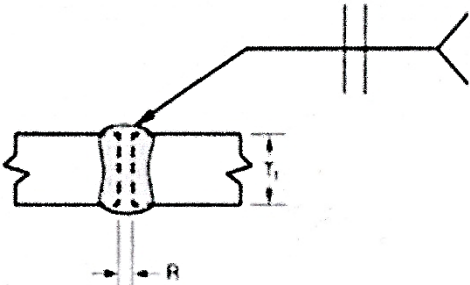
Para lograr una soldadura de calidad y una buena soldabilidad de las planchas de acero inoxidable se elaboró las Especificaciones de un Procedimiento de Soldadura (WPS), el cual es un formato especial donde figuran todos los parámetros relacionados con el proceso de soldadura, como es el tipo de junta, especificaciones del material, dimensiones, material de aporte, proceso de soldadura, intensidad, voltaje, etc. el cual se tiene que cumplir muy rigurosamente.

Una especificación de procedimiento de soldadura, o WPS, es un documento que sirve como guía para la creación efectiva de una soldadura que cumpla con todos los requisitos de código y estándares de producción aplicables, tal como se muestra a continuación.

### 3.4.1. Especificación del Procedimiento de Soldadura (WPS) Aporte ER-308L

#### Especificación del Procedimiento de Soldadura (WPS)

**Cuadro 4: Propiedades de los Aceros**

<b>ESPECIFICACION DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)</b>			
Nombre Institución: Escuela. Ing. Metalúrgica – UNSA		WPS No. 08/2021	
PQR de Soporte No.:		Fecha: Setiembre 2021	
Según Norma: AWS D1.6		Realizado por: Jorge Esquivias Llerena	
		Lugar: Laboratorio de Soldadura	
<b>ARTICULO I. JUNTA UTILIZADA</b>		<b>ARTICULO V. POSICION DE SOLDADURA</b>	
Tipo de junta:	A tope	Soldadura de:	PLANCHA
Abertura raíz (e):	1mm	Posición del Soldadura	IG
Talón (c):	NA	Progresión:	Empuje
Angulo de ranura ( $\beta$ ):	NA	Técnica:	
Placa de respaldo:	SR	<b>ARTICULO VI. PRECALENTAMIENTO</b>	
Preparar bisel:	NA	Temperatura ( $^{\circ}$ C):	NA
<b>ARTICULO II. METAL BASE</b>		Temperatura entre pases máx.:	NA
Especificación	AISI 304	Tiempo entre pases:	NA
Dimensiones:	Largo: 200mm Ancho: 100mm	<b>ARTICULO VII. TECNICA DE SOLDADURA</b>	
Espesor:	3 mm	Procesos de Soldadura	GTAW
Grupo No.		Tipo de Soldadura:	Manual X
<b>ARTICULO III. METAL DE APORTE/VARILLA</b>			Automática
Especificación (SFA) No. ASME IIC SFA 5.9/AWS A5.9	Denominación AWS: ER-308L		Semiautomática
Velocidad de alimentación del aporte:	7 a 8 cm/min (manual)	Soldadura por:	
Díámetro (mm)	1.6 mm	Cordón por respaldo:	No
Marca:	Soldexa	Pase múltiples o simples (por lado)	Simple
Denominación comercial:	TIGFIL 199	Electrodos Múltiples o únicos:	Único: Wth2
<b>ARTICULO IV. GAS DE PROTECCION</b>		Cordón Recto u Oscilante:	Oscilante
Tipo:	Argón puro (Ar)	Limpieza:	
Caudal: 16 l/min		Primer pase	Pasta decapante SOLDINOX
		Pases siguientes:	
<b>ARTICULO VIII. NOTAS</b>			
Gas de respaldo: Argón puro (Ar) flujo 6 l/min			
<b>Diseño de la Junta:</b>			
			
R= 1mm    TI= 3mm			

ARTICULO IX. CUADRO DE LAS VARIABLES DE OPERACION									
No. de Pase	Metal de aporte		Corriente		Tensión de trabajo	Veloc. De Avance	Progresión	Técnica de Soldadura	
	Clase	Diámetro (mm)	Tipo y Polaridad	Intensidad (A):	(V)	(cm/min)		Oscilado	Recto
1	ER-308L	1.6 mm	CC Directa	70 a 90	22 a 24	6 a 8 Cm/min	IG	x	
Respaldo									
REALIZADO POR:			REVISADO POR:			APROBADO POR:			
Ing. Jorge Esquivias Llerena			Mg. Julio Larico Yanqui			CWI Willy Quispe Alvarez			

Se fijan las placas mediante un punto de soldadura con una separación de 1mm una respecto a la otra, ya que no es necesario biselar los bordes hasta espesores de 3.5mm como indica la normativa. Una vez hecho esto en los 2 extremos (Apéndices) como se muestra en la figura N°15 se procede a realizar el cordón de soldadura con el material de aporte a una velocidad constante de avance a razón de 6 a 8 cm/min.



**Figura 16: Preparando para Soldar**



**Figura 17: Aplicando la Soldadura TIG**





**Figura 18: Fijación de las planchas**



**Figura 19: Cámara Protectora de Gas**

Se prepara la cámara de vacío o cámara protectora para purgar el oxígeno por la parte inferior de las planchas y así poder evitar la formación de contaminantes en el proceso de la soldadura.



**(a)**



**(b)**



**(c)**

**Figura 20: Soldadura de cupones o muestras con protección gaseosa Argón**

Luego se procede a la limpieza del cordón de soldadura para liberar partículas extrañas y contaminantes, a este proceso se denomina DECAPADO, que consiste en aplicar un gel que elimina las capas finas de metal que aparecen después en el área soldada, es un gel anticorrosivo que proporciona una acción rápida para el decapado y limpieza en el acero inoxidable, es completamente soluble en agua y se aplica con una

brocha o cepillo, contiene ácido clorhídrico y ácido nítrico como uno de sus componentes, es bastante fuerte, tóxico y se recomienda manipular con guantes y protector nasal y visual.



**Figura 21: Gel para decapado y limpieza de Acero Inoxidable**



(a)

(b)

(c)

**Figura 22: Medidas del cordón de soldadura y de la zona afectada por el calor y esmerilado.**

### 3.5 MECANIZADO DE LAS MUESTRAS SOLDADAS

#### Preparación de las Probetas

Para evitar la contaminación se debe usar exclusivamente para el acero Inoxidable el siguiente material:

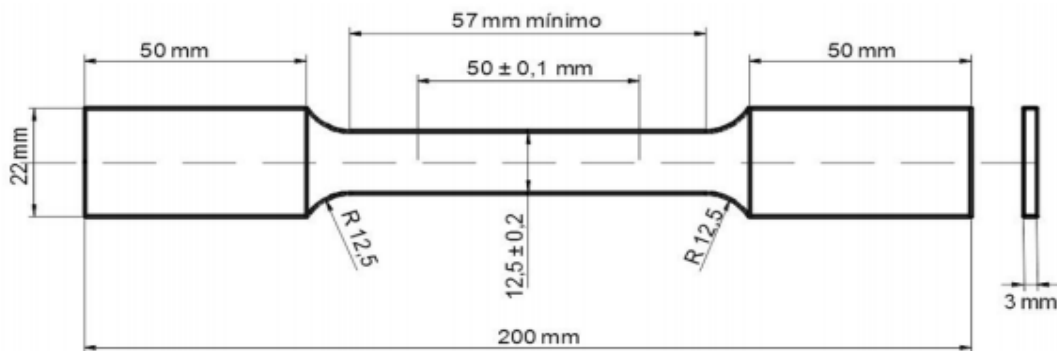
- 01 Piedra abrasiva (óx. Aluminio) Azul Ø8" x 1" ancho.
- 01 Piedra Abrasiva Grano medio Ø6" x 1 Hueco ¾".
- Escobilla de Acero Inoxidable 4" ó 6" para pulir.
- 02 Disco Flat Grado 40 y Grado 100.
- 03 hojas de Sierra para uso exclusivo del acero Inoxidable.
- Cuchillas carburadas de ½ " y ¼".

Probetas o muestras listas para el mecanizado.

- Trazado y corte de las probetas. Norma ASTM E8/E8M
- Mecanizado de Probetas mediante el Torno para el entalle (parte central)
- Probetas mecanizadas con y sin soldadura. (c/s protección gaseosa - Argón)

Luego se selecciona las probetas para hacer ensayos de tensión, con su respectiva codificación. Inicialmente seleccionadas las probetas de metal base / sin soldadura, probetas con soldadura / con protección gaseosa y probetas con soldadura / sin protección gaseosa. El mecanizado de las probetas se realizaron mediante un torno de control numérico CNC con refrigerante.

Dimensiones de la Probeta Plana Norma ASTM E8



**Figura 23: Representación esquemática de la probeta para ensayos de Tracción.**





**Figura 24: Probetas de Ac. Inoxidable 304 para Ensayos de Tensión y Dureza.**

### **3.6 ENSAYOS REALIZADOS A LAS MUESTRAS SOLDADAS**

#### **3.6.1 ENSAYO DE DUREZA**

Probetas indentadas en las Tres Zonas:

- Metal base o plancha de Acero Inoxidable 304 sin soldadura
- Cordón de soldadura o zona de fusión de la soldadura
- Zona afectada por el Calor o zona de influencia entre el metal base y zona de fusión.

#### **3.6.2 ENSAYO DE TRACCIÓN**

- Máquina de Ensayos Universal marca INSTRON Capacidad 100KN.

Se aplicaron las Normas para el Ensayo de Tracción: ASTM E8 y ASTM A 370

Las propiedades mecánicas de los materiales indican el comportamiento de un material cuando se encuentra sometido a fuerzas exteriores, como por ejemplo un estiramiento del material por una fuerza externa a él.

El ensayo de tracción es probablemente el tipo de ensayo más fundamental de todas las pruebas mecánicas que se puede realizar en un material. Los ensayos de tracción son simples, relativamente baratos, y totalmente estandarizados (normalizados).

En este ensayo se somete al material a una fuerza de tracción, es decir, se le aplica una fuerza o varias fuerzas externas que van a tratar de estirar el material. De tal manera que durante el ensayo se estirará haciendo cada vez más fuerza sobre él hasta llegar a su rotura. Como vemos es un ensayo Esfuerzo-Deformación.

Estirando el material, podemos determinar rápidamente cómo el material va a reaccionar ante las fuerzas que se le aplican y que tratan de estirarlo. A medida que estiramos el material, iremos viendo la fuerza que hacemos en cada momento y la cantidad que se estira el material (alargamiento).

Se tomaron datos relativos al ensayo en una tabla para su posterior interpretación.

### **3.6.3 ENSAYO METALOGRÁFICO**

La metalografía es, esencialmente, el estudio de las características estructurales o de constitución de un metal o una aleación para relacionar ésta con las propiedades físicas y mecánicas.

#### **3.6.3.1 Preparación de las probetas para la observación microscópica**

La preparación de la probeta para esta investigación, consiste en obtener primero una superficie plana y semi pulida, mediante el empleo de papeles de esmeril o papel lija al agua de finura de grano creciente, inicialmente se hizo con papel lija #s 120,180, 220, 400, 600, 1000, 1500, 2000 realizando este desbaste con discos adecuados sobre los que se deposita un abrasivo, que en este caso se ha utilizado alúmina conocido también como óxido de aluminio terminando con un pulido fino y final sobre discos provistos de paños.

El final de la operación es la obtención de una superficie especular que es la requerida para, después, efectuar el ataque y observar adecuadamente la estructura.

### **3.6.3.2 Elección de la muestra:**

La elección de la muestra que será examinada al microscopio es de gran importancia, ya que se logrará una probeta representativa del material a examinar de cada una de las zonas en estudio, es decir, del material base, de la zona afectada por el calor y de la zona de fusión o aporte de material, realizando el corte con herramientas y accesorios exclusivos para uso del acero inoxidable y no se contamine y también haciendo el corte de una manera adecuada para evitar algún cambio que pueda producirse en la microestructura del material en estudio.

### **3.6.3.3 Pulidoras Metalográficas**

Los equipos de desbaste y pulido automáticos ahorran, sin duda alguna, mucho tiempo y trabajo del operador en las operaciones rutinarias de preparación de las probetas metalográficas.

Estos equipos se encuentran operativos en los Laboratorios de Metalografía y Preparación de muestras ubicados en el Edificio A. Raimondi pertenecientes a las Escuelas Profesionales de Ingeniería de Materiales e Ingeniería Metalúrgica, lugar donde se prepararon las probetas.

### **3.6.3.4 Ataque químico de las probetas para su examen microscópico.**

El objeto de la mayoría de las investigaciones metalográficas es determinar las características estructurales verdaderas de la probeta, es necesario que los diferentes constituyentes estructurales queden delineados con precisión y claridad.

En general, los reactivos adecuados para el ataque metalográfico se componen de ácidos orgánicos o disueltos en disolventes apropiados como agua, alcohol, glicerina, glicol o mezclas de varios disolventes. Es preciso que la superficie de la probeta este limpia, para asegurarse de que el reactivo la mojará regular y uniformemente.

El procedimiento de ataque es como sigue a continuación:

- Se lava la probeta primero a fondo con agua corriente, para limpiar los restos de metal pulido.
- Se frota luego, con cuidado, utilizando un algodón húmedo.
- Se vuelve a lavar con alcohol etílico, para quitar alguna partícula fina.

- Se procede al secado de la muestra con una secadora manual, mediante un chorro de aire caliente.
- Se prepara una luneta de vidrio y en él se vierte el reactivo a utilizar.
- El reactivo preparado es el llamado VILELLA, cuya composición es:
  - 45 ml de glicerol (alcohol)
  - 15 ml de Ácido nítrico
  - 30 ml de Ácido clorhídrico
- Se sumerge la probeta por el espacio de 4 a 5 minutos, con la superficie pulida hacia abajo, dentro del reactivo, sujetándola con los dedos o con unas pinzas
- Se lava con agua corriente y luego con alcohol
- Se hace secar mediante la secadora manual o portátil

Colocar la muestra en el microscopio óptico de 50x a 1000x para su observación.

Luego se evalúa la microestructura de la probeta que contiene al Metal de Aporte para su análisis, buscando el foco preciso para luego imprimir la fotografía respectiva.

De igual manera se realizaron los mismos pasos con la muestra que contiene a la zona ZAC (zona afectada por el calor) y también con la muestra que contiene al Metal Base y se realizó la comparación con la muestra patrón de otras investigaciones similares.

#### **Imágenes de probetas para ser observadas por el Microscopio óptico.**



**Figura 25: Ataque químico 1**



**Figura 26: Ataque químico 2**

Se observa en las Figs. N°24 y N°25 las lunetas de vidrio conteniendo el reactivo químico para el ataque respectivo de las muestras en estudio.



**Figura 27: Limpieza y secado**



**Figura 28: Microscopio óptico**

La Figura N°27 muestra a las probetas listas en proceso de secado para ser observadas en el microscopio óptico. La Fig. N°28 muestra al Microscopio óptico Zeiss de 1000x.

## CAPITULO IV

### ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1 INTERPRETACIÓN DEL ENSAYO DE DUREZA

##### 4.1.1 Diseño Experimental para Dureza

Voltaje	Amperaje	Voltaje	Amperaje	DUREZA
-1	-1	21	70	81.4
-1	1	21	85	81.9
1	-1	24	70	83.1
1	1	24	85	82.5
-1	-1	21	70	82.2
-1	1	21	85	82.3
1	-1	24	70	83
1	1	24	85	82.8
-1	-1	21	70	81.3
-1	1	21	85	82.5
1	-1	24	70	82.9
1	1	24	85	82.1

Matriz de diseño para análisis de diseño experimental 2k con dos replicas

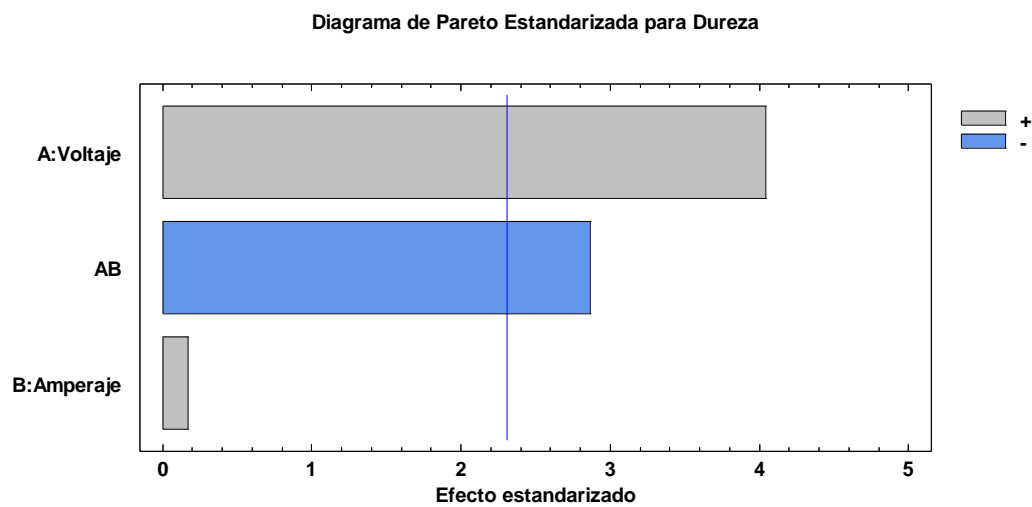
##### 4.1.2 Análisis de Varianza

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A:Voltaje	1.92	1	1.92	16.34	0.0037
B:Amperaje	0.00333333	1	0.00333333	0.03	0.8704
AB	0.963333	1	0.963333	8.20	0.0210
Error puro	0.94	8	0.1175		
Total (corr.)	3.82667	11			

De la tabla del Análisis de Varianza observamos que las variables Voltaje y la interacción entre el Voltaje y el Amperaje son significativas, es decir entonces que nuestra variable voltaje juega un papel importante en los valores obtenidos para nuestra variable Dureza.

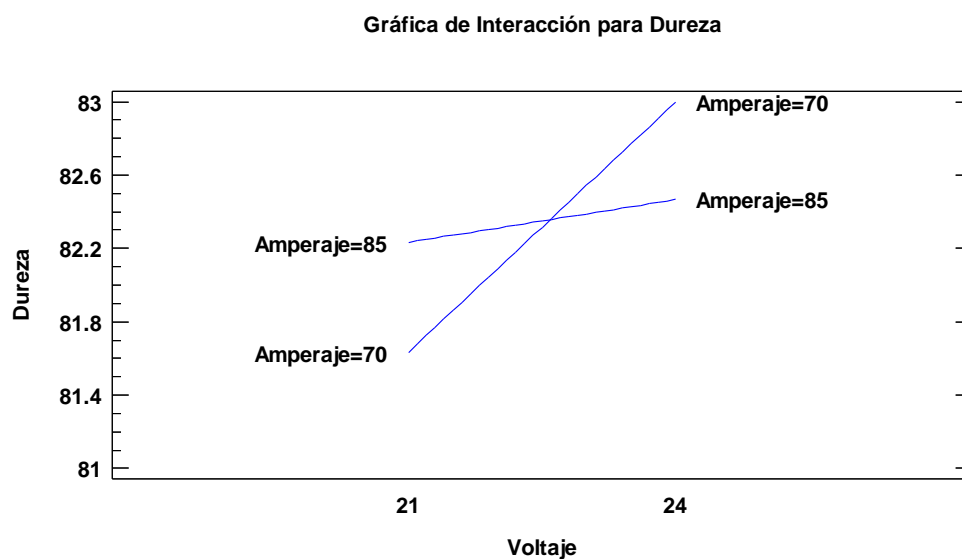
El Voltaje es una variable a tener en cuenta ya que si aumentamos el voltaje la tendencia será un aumento del valor de la dureza, como podemos apreciar en el gráfico de Pareto

### 4.1.3 Diagrama de Pareto



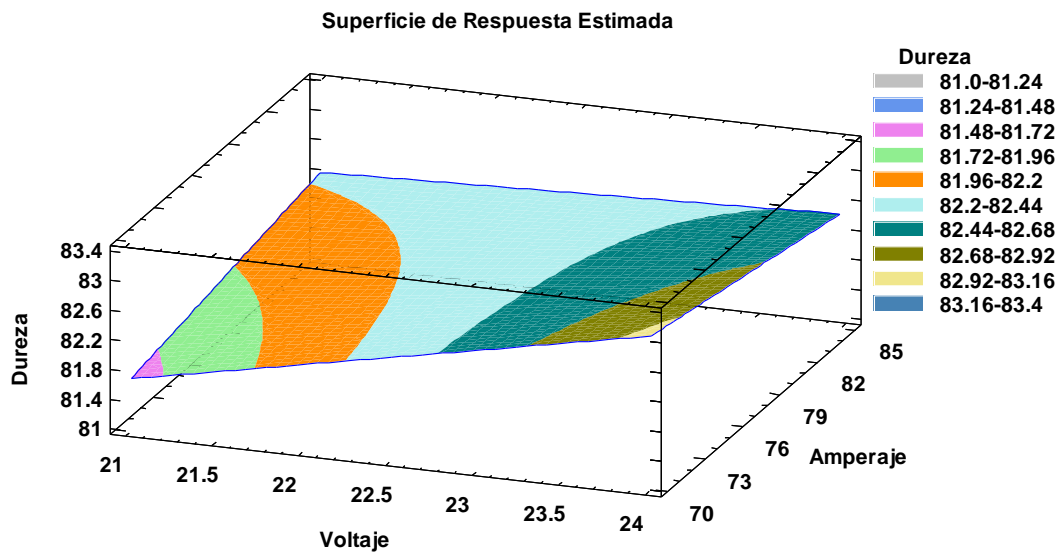
**Figura 29: Diagrama de Pareto**

Sin embargo, se debe tener cuidado con el valor asignado a la variable amperaje ya que cuando este valor es alto (85 A) el voltaje no parece influir demasiado en la variable respuesta (Dureza), por el contrario, cuando el valor del amperaje es bajo (70 A) el voltaje tiene un efecto muy significativo sobre las durezas obtenidas como podemos observar en el gráfico.

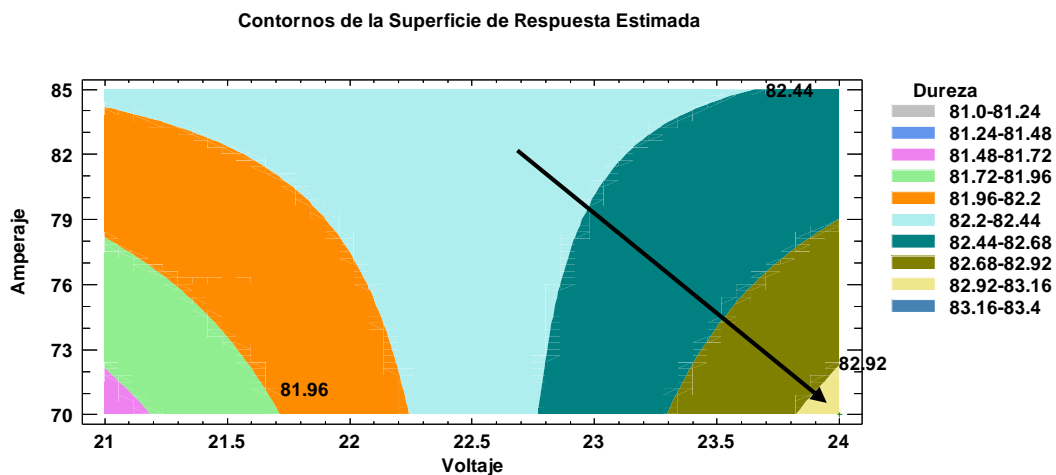


**Figura 30: Gráfica de Interacción para dureza**

Los valores más altos en dureza se obtienen cuando los valores de Voltaje son altos y los valores para el amperaje son bajos, así que dentro de los límites ensayados obtenemos una máxima respuesta (entre 82.92 - 83.16 HRB) bajo estas consideraciones (Alto Voltaje y Bajo Amperaje), como se puede observar en el siguiente gráfico. Para conseguir valores más altos de dureza se deberá explorar la región en dirección a altos voltajes y bajos amperajes.



**Figura 31: Superficie de Respuesta Estimada**



**Figura 32: Contornos de la Superficie Estimada.**

El análisis experimental  $2^k$  indica que la variable voltaje e interacción voltaje y amperaje son estadísticamente significativas a un nivel de confianza de 0,05.



La variable voltaje y la interacción voltaje-amperaje son significativas y se observan en el análisis de varianza ANOVA. El modelo es intrínsecamente lineal, no es necesario realizar el análisis de la curvatura ya que el gráfico en su superficie de respuesta es plano.

Se entiende por dureza de un material a la resistencia que opone el material a su deformación plástica permanente superficial por rayado o penetración.

En este sentido, se puede definir también a la dureza de un material como aquella propiedad de la capa superficial del material de poder resistir toda deformación elástica, plástica o destrucción debido a la acción de esfuerzos de contacto locales originados por otro cuerpo (llamado indentador o penetrador), más duro, de determinada forma y dimensiones, el cual no sufre deformaciones residuales durante el contacto.

Es decir, se entiende por dureza a la propiedad que tienen los materiales en general de resistir la penetración de un indentador sometido bajo carga, de manera que la dureza representa la resistencia del material a la deformación plástica localizada en su superficie.

Este procedimiento se ha realizado a través de la máquina de ensayo para determinar la dureza de la plancha de acero inoxidable 304 marca INDENTEC, que se encuentra en el Laboratorio de Ensayos de Materiales – Edif. A. Raimondi de la Facultad de Ingeniería de Procesos de nuestra Universidad Nacional de San Agustín.

Se hicieron indentaciones a las probetas de acero inoxidable 304 en las tres zonas en estudio, vale decir, en el metal base (MB), en la zona afectada por el calor (ZAC) y en la zona del cordón de soldadura (Aporte), tal como se pueden apreciar en las gráficas correspondientes.



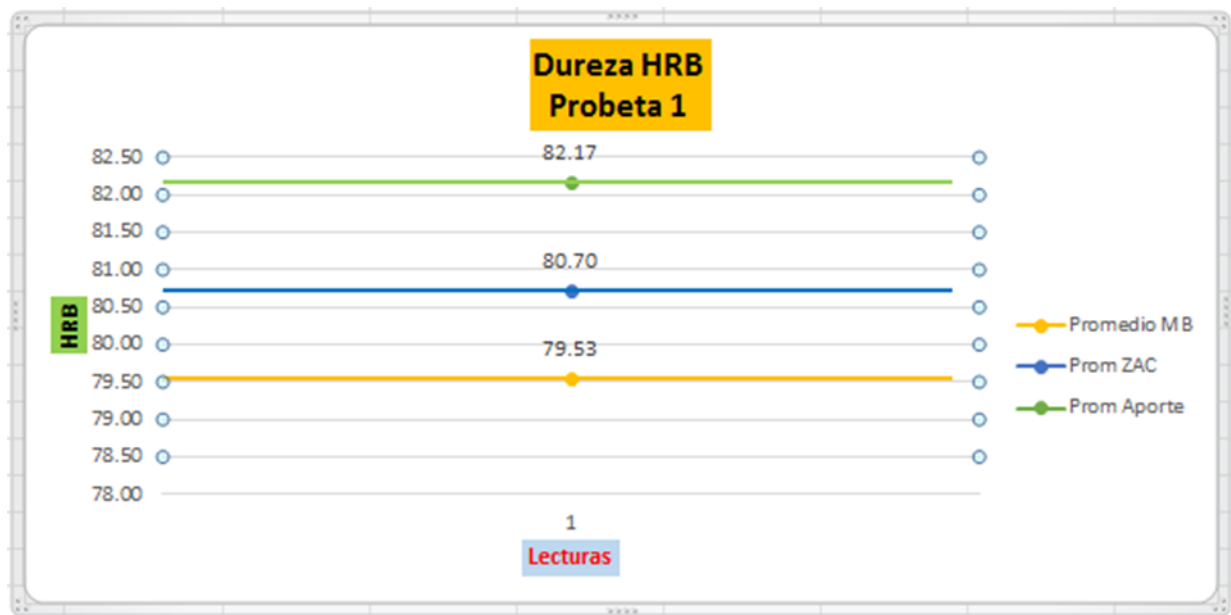
**Figura 33: Máquina de Ensayo de Dureza (INDENTEC)**



**Figura 34: Medición de dureza en las 3 zonas de cada probeta de Ac Inoxidable.**

**Gráfico 1: Valores promedios de la Probeta 1.**

PROBETA 1	1	2	3	4	5	6
MB	80	78.4	78.5	80.1	79.7	80.5
	79.53	79.53	79.53	79.53	79.53	79.53
ZAC	81.8	79.3	80.6	81.2	81.1	81.2
	80.7	80.7	80.7	80.7	80.7	80.7
MA	83.1	81.9	82.3	82.3	81.5	81.9
	82.17	82.17	82.17	82.17	82.17	82.17

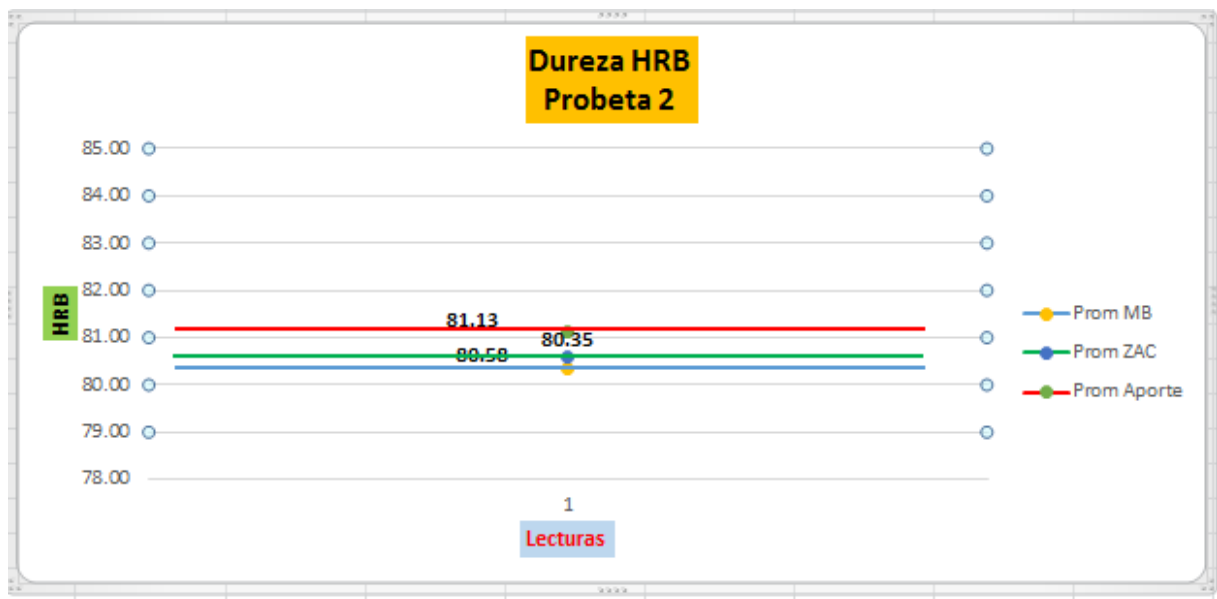


En la Probeta #1 se realizaron 6 indentaciones en cada una de las tres zonas principales, es decir, en la zona del Metal Base (MB), en la Zona Afectada por el Calor (ZAC) y en la Zona del Cordón de Soldadura o del Material de Aporte (MA) reportándose diferentes valores de dureza Rockwell B (HRB), de los cuales también se procedió a calcular el promedio en cada zona para luego mostrarlos en la Gráfica N°1, dichos promedios de dureza son:

- Para el Metal Base (MB) = 79.53
- Para la Zona Afectada por el Calor = 80.70
- Para la Zona del Cordón de Soldadura (MA) = 82.17

**Gráfico 2: Valores promedios de la Probeta 2.**

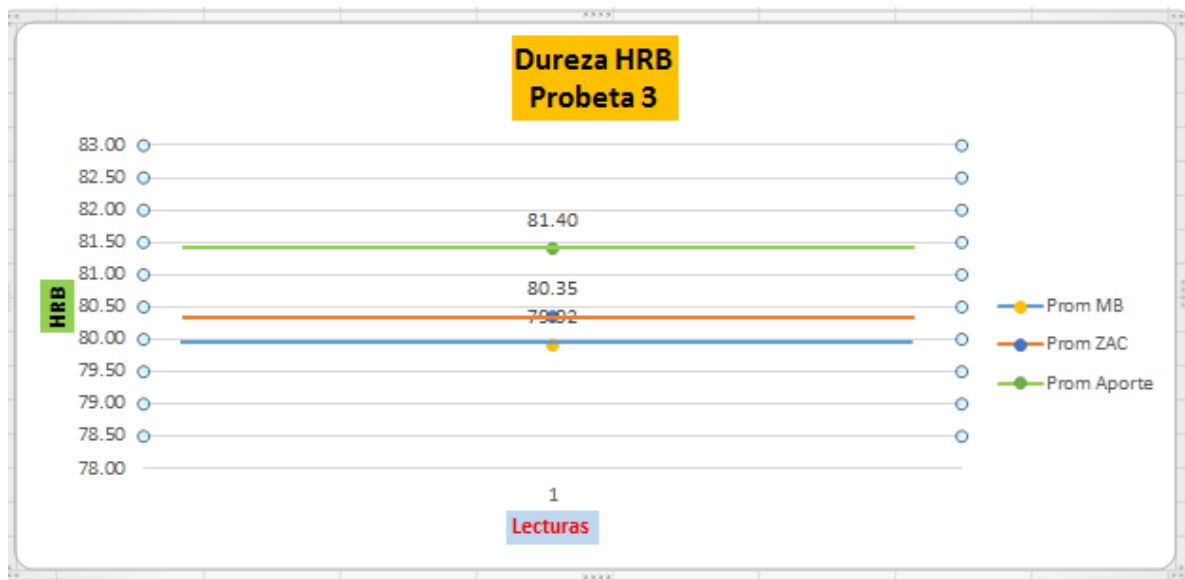
<b>PROBETA 2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
MB	79.8	80.1	81.5	79.5	79.9	81.3
	80.35	80.35	80.35	80.35	80.35	80.35
ZAC	81.8	81.4	80	80.2	79.1	81
	80.58	80.58	80.58	80.58	80.58	80.58
MA	80.5	81.2	82.4	81.4	80.4	80.9
	81.13	81.13	81.13	81.13	81.13	81.13



Los Gráficos N°1, N°2 y N°3 corresponden a los valores de dureza promedios tanto para la Probeta 1, Probeta 2 y Probeta 3 de las tres zonas de referencia, es decir, del Metal Base (MB), de la Zona Afectada por el Calor (ZAC) y del Metal de Aporte de la Soldadura, los cuales figuran muy cercanos y que han sido tomados por la máquina de dureza INDENTEC y que se muestran en los cuadros correspondientes.

**Gráfico 3: Valores promedios de la Probeta 3.**

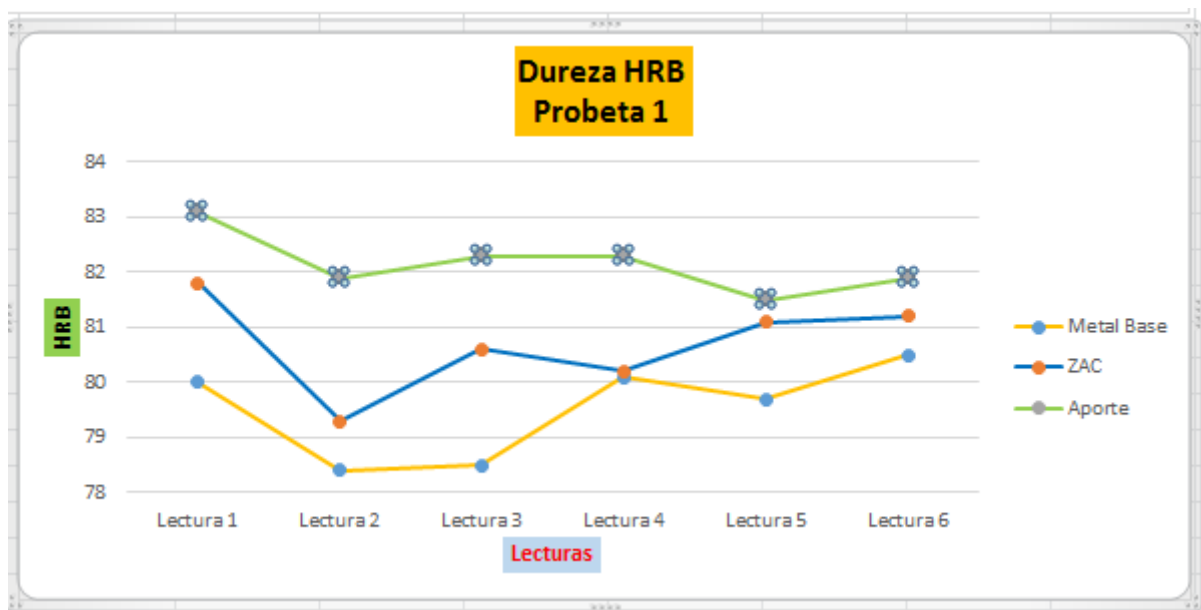
<b>PROBETA 3</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
MB	79.9	79.5	79.1	79	81.5	80.5
	79.92	79.92	79.92	79.92	79.92	79.92
ZAC	80.5	81.1	80.1	79.6	79	81.8
	80.35	80.35	80.35	80.35	80.35	80.35
MA	81.3	80.1	82.4	81.9	81.5	81.2
	81.4	81.4	81.4	81.4	81.4	81.4



También se puede apreciar en esta Probeta #3, que el valor promedio del material de aporte (MA) está por encima (81.40) que el valor promedio de la ZAC (80.35) y también por encima del valor promedio del metal base (MB) (79.02), lo cual es bueno y recomendable para el Proceso de Soldadura realizado.

**Gráfico 4: Toma de Durezas ( tres zonas) Probeta 1.**

PROBETA 1	1	2	3	4	5	6
MB	80	78.4	78.5	80.1	79.7	80.5
	79.53	79.53	79.53	79.53	79.53	79.53
ZAC	81.8	79.3	80.6	80.2	81.1	81.2
	80.7	80.7	80.7	80.7	80.7	80.7
MA	83.1	81.9	82.3	82.3	81.5	81.9
	82.17	82.17	82.17	82.17	82.17	82.17



Los valores de dureza tomados corresponden a las tres zonas de estudio, es decir, al Metal Base, al material de aporte y también a la zona afectada por el calor.

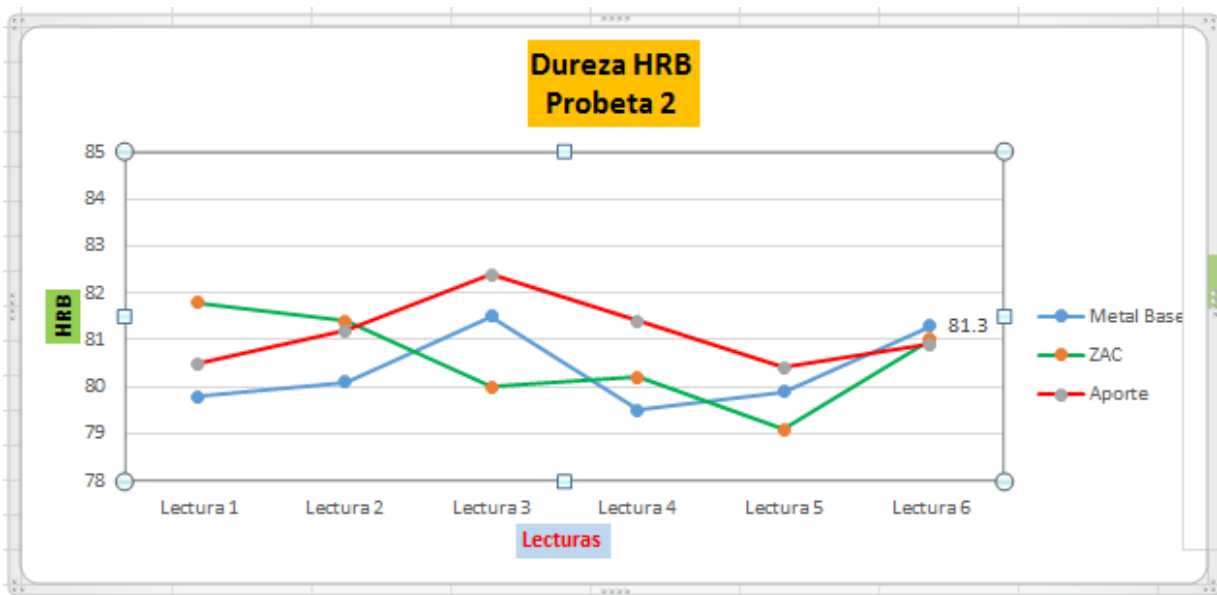
Se puede apreciar que para esta Probeta #1, los valores de mayor dureza corresponden a la zona de fusión o del metal de aporte teniendo como valor de dureza máximo 83.1 y su valor de dureza mínimo en 81.5.

Asimismo, se puede apreciar que en la zona afectada por el calor (ZAC) los valores de dureza van desde 81.8 como valor máximo y con 79.3 como valor mínimo.

En cuanto al metal base, los valores de dureza, muestran un valor máximo de 80.5 y un valor mínimo de 78.4 lo cual demuestra que los valores de dureza tanto del metal o varilla de aporte y de la zona de fusión son mayores que los valores de dureza del Metal Base (MB) lo cual corrobora el mejoramiento de las propiedades en la unión soldada.

**Gráfico 5: Toma de Durezas (tres zonas) Probeta 2.**

PROBETA 2	1	2	3	4	5	6
MB	79.8	80.1	81.5	79.5	79.9	81.3
	80.35	80.35	80.35	80.35	80.35	80.35
ZAC	81.8	81.4	80	80.2	79.1	81
	80.58	80.58	80.58	80.58	80.58	80.58
MA	80.5	81.2	82.4	81.4	80.4	80.9
	81.13	81.13	81.13	81.13	81.13	81.13

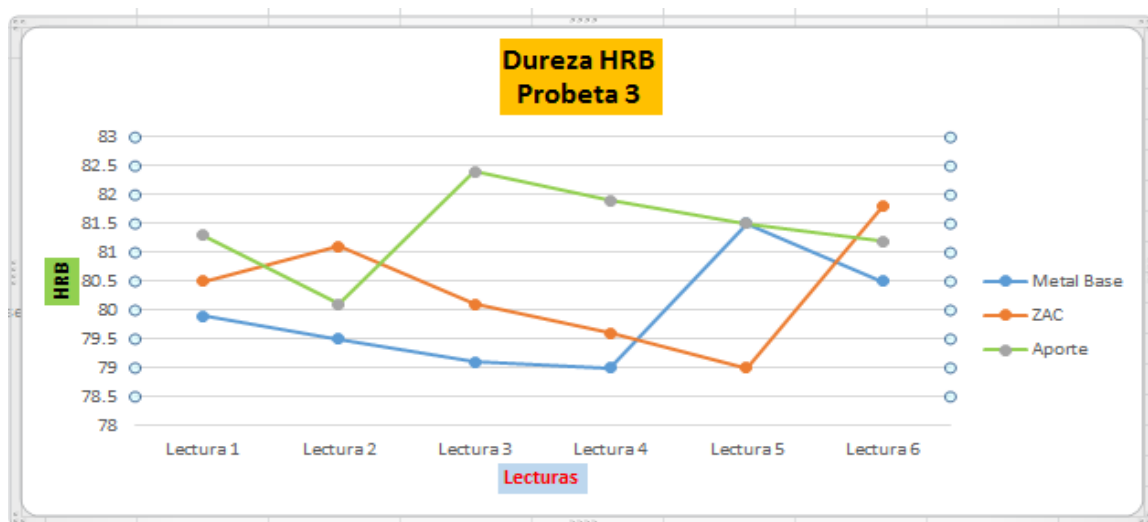


Los valores de dureza del material de aporte (MA) en esta Probeta #2, se nota que tienen valores de dureza que están por encima de los valores de dureza del Material Base (MB), es decir, muestra un valor de dureza máximo de 82.4 y un valor mínimo de 80.4. En cuanto a la ZAC también los valores de dureza son ligeramente superiores a los del metal base (MB), alcanzando un valor máximo de dureza de 81.8 y un valor mínimo de 79.1.

Los valores de dureza del Metal Base (MB) se podría decir que van en promedio o están cercanos con los valores de dureza de la ZAC. Haciendo una relación referente al metal base (MB), presenta un valor de dureza máximo de 81.5 y un valor de dureza mínimo de 79.5 donde también se nota un mejoramiento de las propiedades mecánicas.

**Gráfico 6: Toma de Durezas (tres zonas) Probeta 3.**

PROBETA 3	1	2	3	4	5	6
MB	79.9	79.5	79.1	79	81.5	80.5
	79.92	79.92	79.92	79.92	79.92	79.92
ZAC	80.5	81.1	80.1	79.6	79	81.8
	80.35	80.35	80.35	80.35	80.35	80.35
MA	81.3	80.1	82.4	81.9	81.5	81.2
	81.4	81.4	81.4	81.4	81.4	81.4



En esta Probeta #3 los valores de dureza máximo del material de aporte (MA) corresponde a 82.4 y el valor mínimo de dureza en 80.1. También se encuentran estos valores muy cercanos a los de la ZAC y del metal base (MB).

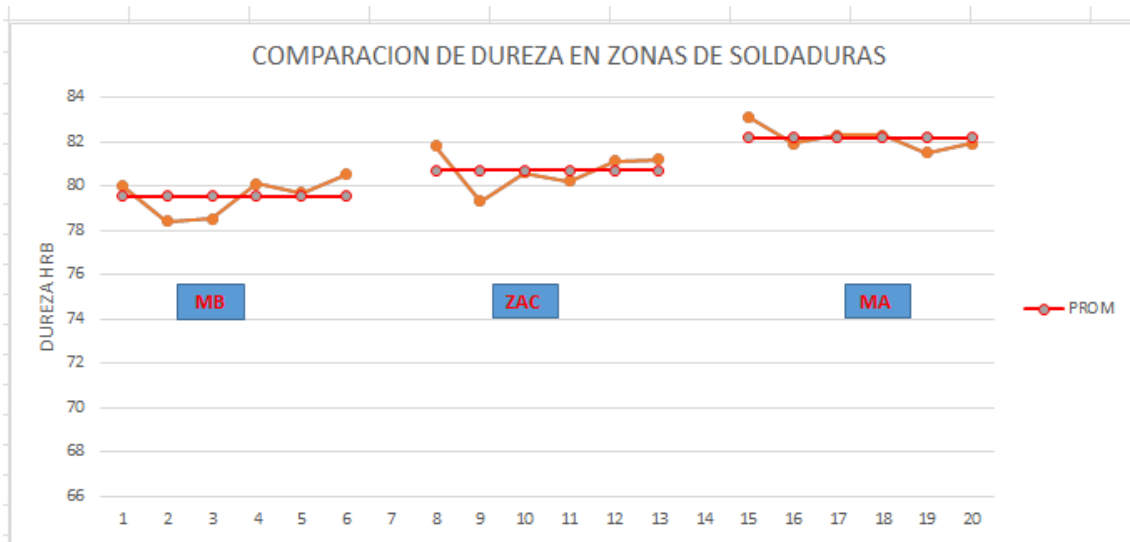
En la zona afectada por el calor (ZAC), los valores máximos de dureza corresponde a 81.8 y el valor mínimo de dureza corresponde a 79.0. En lo que se refiere al metal base (MB) el valor máximo de dureza está en 81.5 y el valor mínimo de dureza corresponde a 79.0.

Como se puede observar en esta Probeta, los valores de dureza del material de aporte (MA) o zona de fusión o cordón de soldadura y de la zona afectada por el calor (ZAC) son notoriamente mayores que los valores de dureza del metal base (MB), lo cual nos indica que hay un mejoramiento de las propiedades mecánicas mediante el proceso de soldadura GTAW.



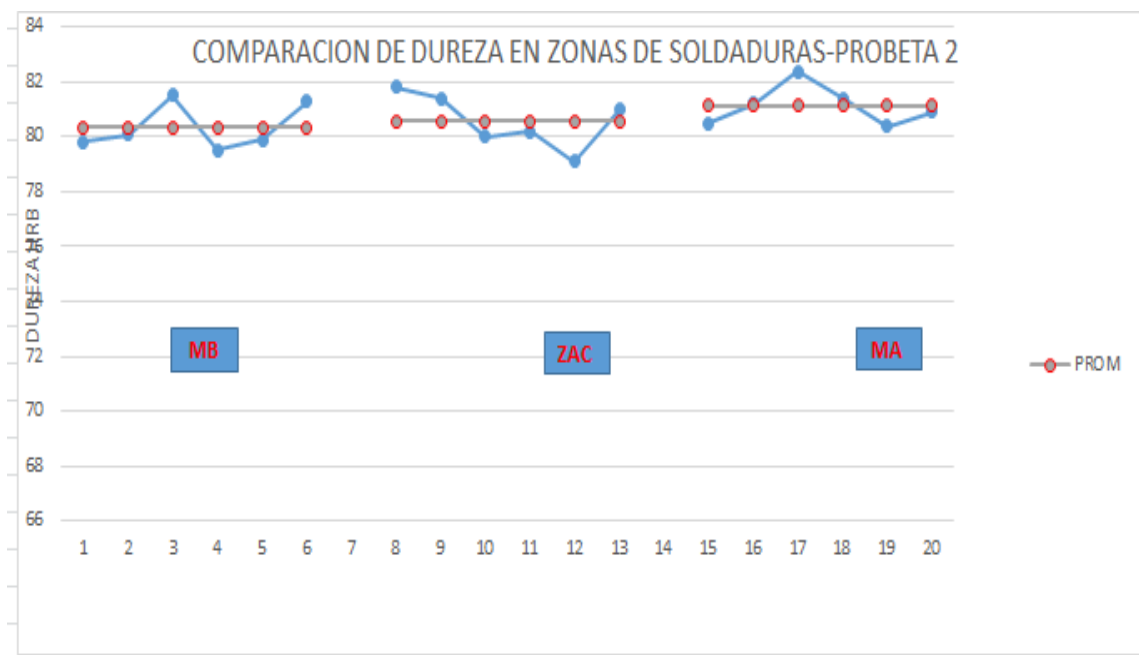
**Gráfico 7: Dureza en referencia al promedio – Probeta 1**

<b>PROBETA 1</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
MB	80	78.4	78.5	80.1	79.7	80.5
	79.53	79.53	79.53	79.53	79.53	79.53
ZAC	81.8	79.3	80.6	80.2	81.1	81.2
	80.7	80.7	80.7	80.7	80.7	80.7
MA	83.1	81.9	82.3	82.3	81.5	81.9
	82.17	82.17	82.17	82.17	82.17	82.17



**Gráfico 8: Dureza en referencia al promedio – Probeta 2**

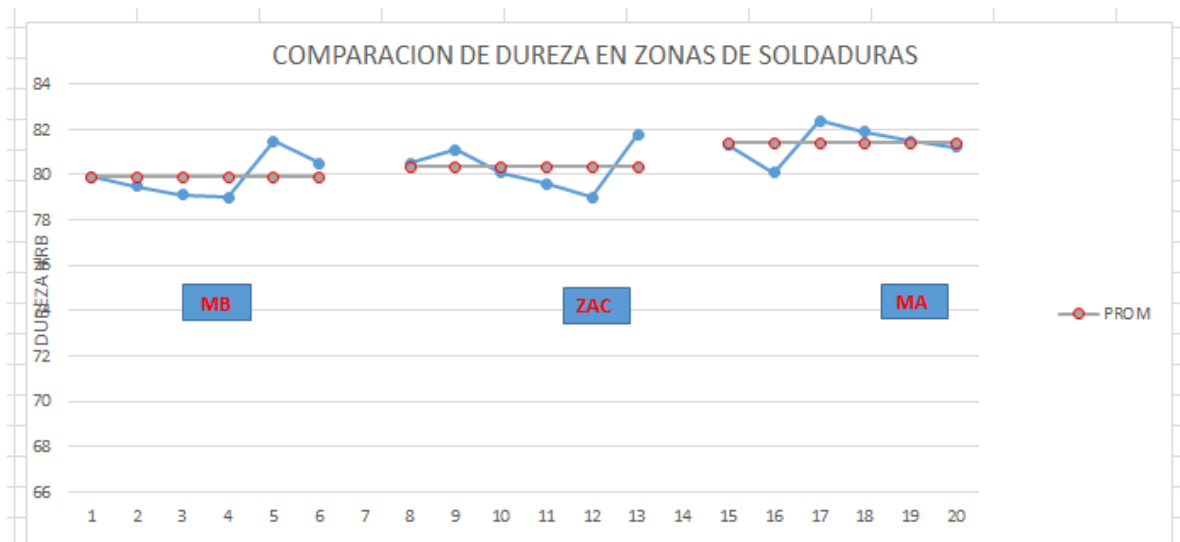
<b>PROBETA 2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
MB	79.8	80.1	81.5	79.5	79.9	81.3
	80.35	80.35	80.35	80.35	80.35	80.35
ZAC	81.8	81.4	80	80.2	79.1	81
	80.58	80.58	80.58	80.58	80.58	80.58
MA	80.5	81.2	82.4	81.4	80.4	80.9
	81.13	81.13	81.13	81.13	81.13	81.13



Los Gráficos N°7, N°8 y N°9 corresponden a la comparación de Dureza en Zonas de Soldaduras correspondientes a las 3 Probetas y a las tres zonas de referencia.

**Gráfico 9: Dureza en referencia al promedio – Probeta 3.**

<b>PROBETA 3</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
MB	79.9	79.5	79.1	79	81.5	80.5
	79.92	79.92	79.92	79.92	79.92	79.92
ZAC	80.5	81.1	80.1	79.6	79	81.8
	80.35	80.35	80.35	80.35	80.35	80.35
MA	81.3	80.1	82.4	81.9	81.5	81.2
	81.4	81.4	81.4	81.4	81.4	81.4



## 4.2 INTERPRETACIÓN DEL ENSAYO DE TRACCIÓN

Se analizaron los datos obtenidos del ensayo de tracción de probetas metálicas, en el laboratorio se pusieron a prueba un total de 10 probetas metálicas planas de acero inoxidable 304 teniendo como referencia la Norma ASTM E8 y ASTM A370.

Las probetas se sometieron a cargas axiales de tracción para evaluar los esfuerzos y propiedades mecánicas que presentan cada una de ellas. El objetivo es observar de manera experimental y poder realizar un claro análisis de las curvas de esfuerzos vs deformación obtenidos en el ensayo.

Se compara las gráficas obtenidas con las muestras patrón – standard para un material metálico sometido a esfuerzos axiales, hay que tener en cuenta que las gráficas modelo son para materiales en estado puro, pero en este caso se trabajó con probetas de materiales que presentan ciertas impurezas.

Los resultados que se obtuvieron fueron los siguientes a través de la gráfica.

**Cuadro 5: Resultados del esfuerzo de tensión máxima**

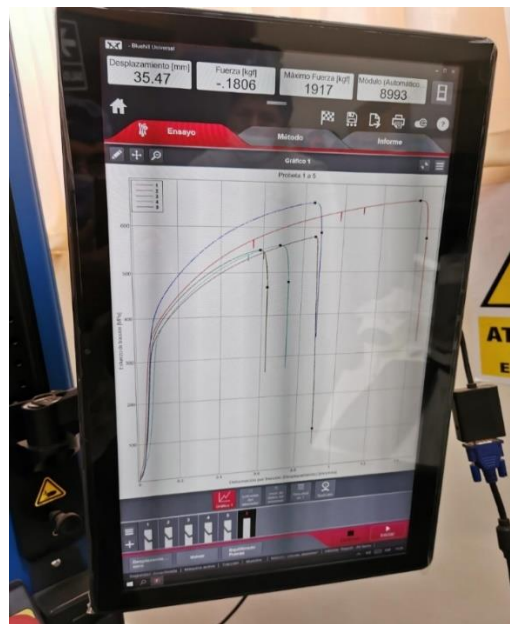
<b>N° de Probetas</b>	<b>Fecha de inicio</b>	<b>Deformación por tracción (Desplazamiento) distancia inicial [mm]</b>	<b>Máximo Fuerza [kN]</b>	<b>Esfuerzo de tracciónMáximo Fuerza [MPa]</b>
1	21/09/2021	100	22.93	2293.02
2	21/09/2021	100	21.44	2144.17
3	21/09/2021	100	15.71	1570.11
4	21/09/2021	100	16.54	1654.23
5	21/09/2021	100	18.83	1883.31
6	21/09/2021	100	16.28	1628.07
7	21/09/2021	100	15.73	1573.18
8	21/09/2021	100	14.59	1459.29
9	21/09/2021	100	16.17	1617.24
10	21/09/2021	100	16.75	1675.33

**Fuente: Software de la Máquina de Ensayos Universal**

El Cuadro N°5 muestra los datos obtenidos de la máquina de tracción al ser sometidas a un esfuerzo máximo de tracción en MPa, para cada una de las probetas analizadas mediante el ensayo mecánico de tracción, el cual corresponde al esfuerzo de tracción mecánico máximo con el que se puede someter a carga una probeta plana de acero inoxidable.

Así mismo se evidencia las pruebas de tensión con la siguiente vista fotográfica de la Máquina de Tracción INSTRON con el resultado de las pruebas realizadas. Donde figuran las primeras 5 curvas de esfuerzo vs deformación correspondiente a cada una de las probetas normalizadas sometidas al esfuerzo de tracción, en la cual podemos visualizar que no hay mucha diferencia en la zona elástica, se podría decir que es casi pareja,

uniforme, pero que a partir de la zona de fluencia o límite elástico se ve un comportamiento diferente para cada una de las muestras.



**Figura 35: Registro de pruebas de tensión**

**Cuadro 6: Probetas sometidas a la prueba de Tensión**

Nº de Orden	Identificación de Probeta	Con/Sin Protección Gaseosa (Argón)	Material de Aporte o varilla	Sección (mm <sup>2</sup> )	Máxima Fuerza Kg-f	Resistencia a la Tensión Kg-f/mm <sup>2</sup>
1	1	Sin Soldadura	Ninguno	37.5	2293.02	61.1472
2	2	Sin Soldadura	Ninguno	37.5	2144.17	57.1778
3	5	C.P. (Argón)	ER-308L	37.5	1883.31	50.2216
4	10	C.P. (Argón)	ER-308L	37.5	1675.33	44.6754
5	4	C.P. (Argón)	ER-308L	37.5	1654.23	44.1128
6	6	C.P. (Argón)	ER-308L	37.5	1628.07	43.4152
7	9	Sin Protección	ER-308L	37.5	1617.24	43.1264
8	7	Sin Protección	ER-308L	37.5	1573.18	41.9514
9	3	Sin Protección	ER-308L	37.5	1530.11	41.8696
10	8	Sin Protección	ER-308L	37.5	1459.29	38.9144

Las probetas #5, #10, #4 y #6 presentan mejor resistencia a la tensión debido a la protección gaseosa en el procedimiento de soldadura.

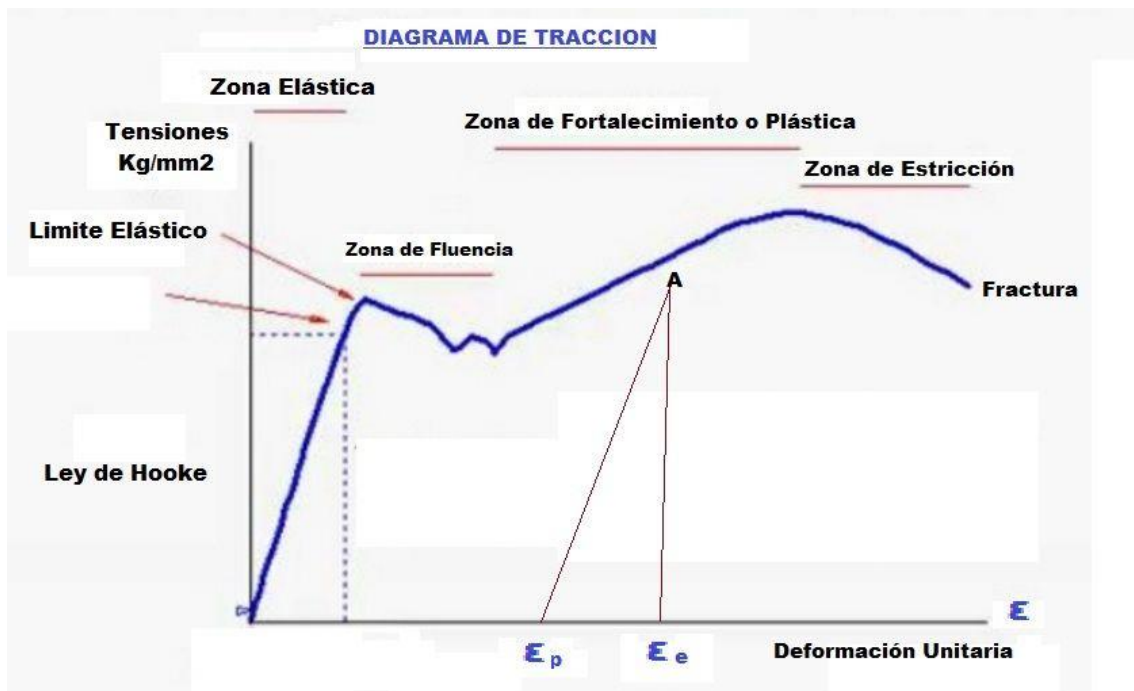
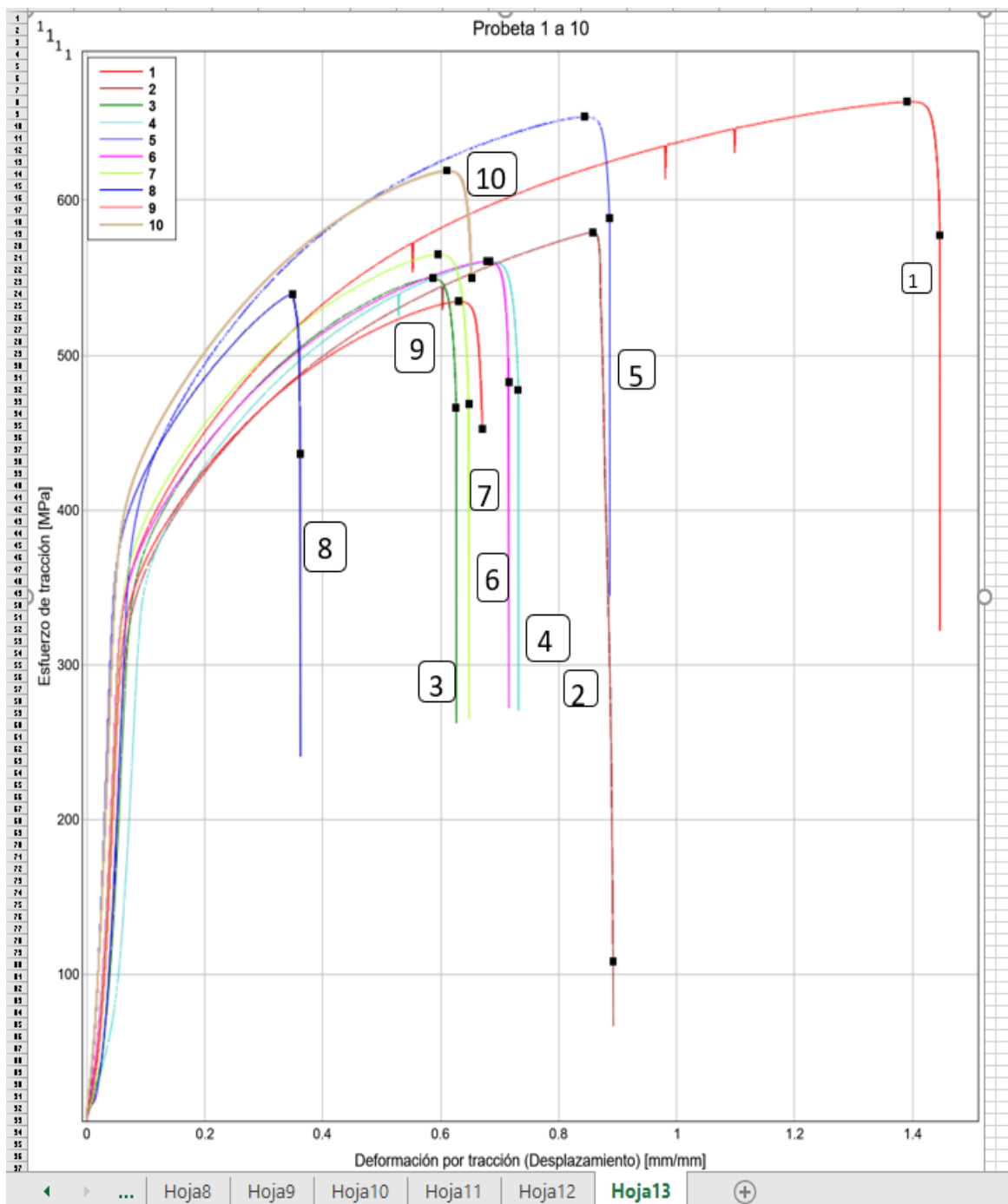
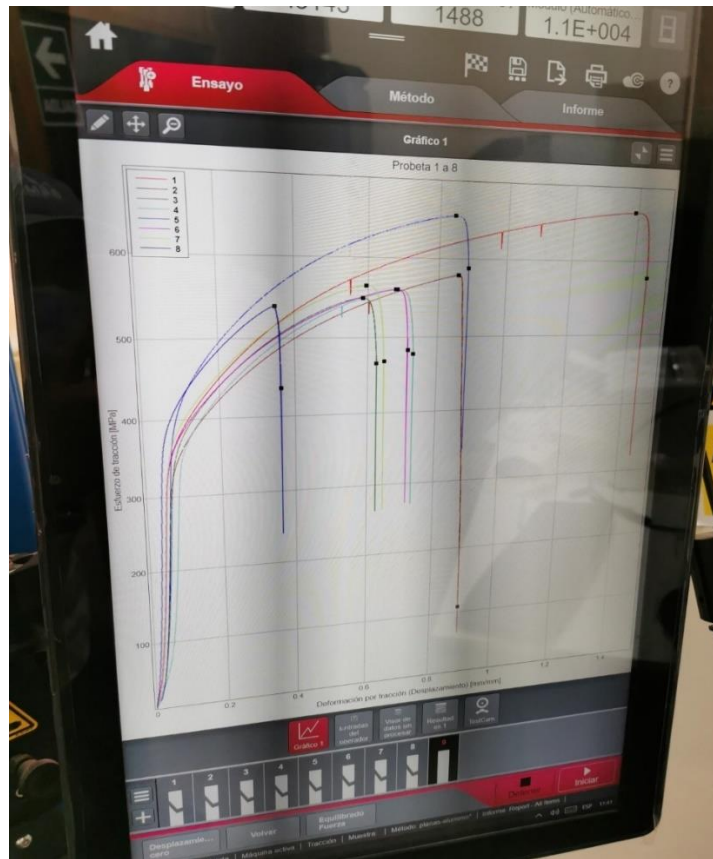


Figura 36: Diagrama de Tracción.

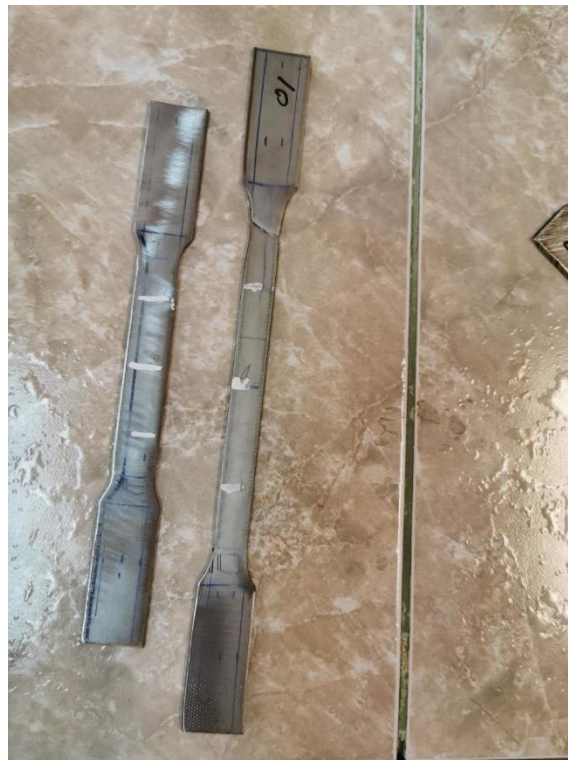


**Figura 37: Registro de las pruebas de tensión efectuada**

La Fig. N°36 muestra el registro de las 10 Probetas sometidas al ensayo de tracción en la máquina INSTRON, donde se puede apreciar la zona elástica, la zona fluencia, la zona plástica, de mayor esfuerzo y de rotura.



**Figura 38: Registro de la 8va. Prueba de tensión**



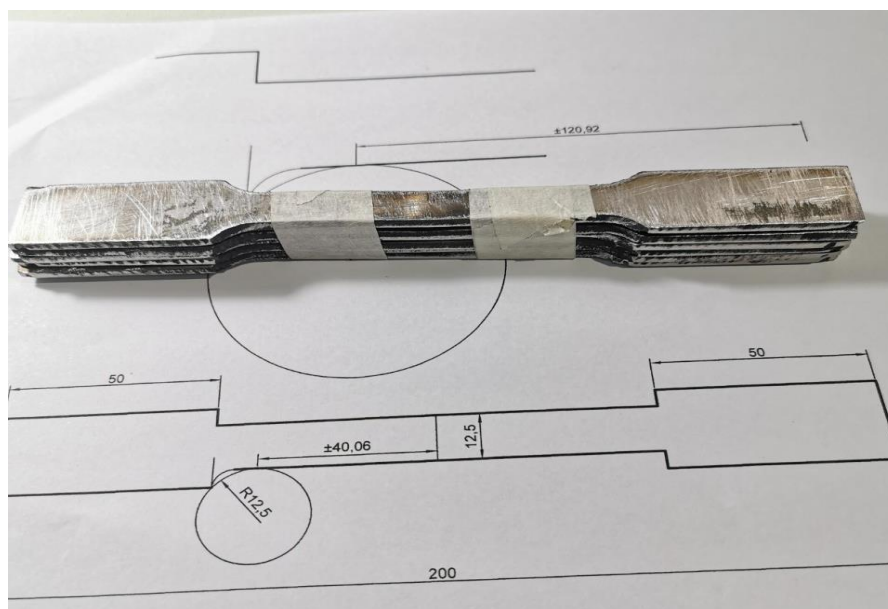
**Figura 39: Probeta del Metal Base sin soldadura**



**Cuadro 7: Desplazamiento en función del tiempo**

Nº	Fecha de inicio	Deformación por tracción/ Desplazamiento) distancia inicial (mm)	Máximo Fuerza (kn)	Esfuerzo de tracción al máximo (MPa)	Módulo automático de Young (MPa)	Etiqueta de la probeta	Velocidad (mm/min)	Deformación por tracción (Desplazamiento a la rotura)	Fuerza la rotura estándar (kN)	Tiempo (Seg)
1	21/09/2021	100	22.93	663.62	8581.05	1	10	144.6	19.96	694.12
2	21/09/2021	100	21.44	579.41	7695.21	2	10	89.23	14.01	214.21
3	21/09/2021	100	15.7	549.74	8096.74	3	10	62.64	13.3	150.37
4	21/09/2021	100	16.54	560.43	7581.54	4	10	73.16	14.09	175.66
5	21/09/2021	100	18.8	653.9	8993.34	5	10	88.63	16.91	212.78
6	21/09/2021	100	16.28	560.46	8998.33	6	10	71.67	14.02	172.06
7	21/09/2021	100	15.73	565.11	8651.73	7	10	64.84	13.03	155.68
8	21/09/2021	100	14.59	539.15	10511.96	8	10	36.31	11.8	87.21
9	21/09/2021	100	16.17	534.65	8196.67	9	10	67.13	13.68	161.17
10	21/09/2021	100	16.75	618.95	9618.25	10	10	65.34	14.87	156.91

En el cuadro N°7 se muestra el Esfuerzo de Tracción al máximo antes de la rotura y también el desplazamiento en función del tiempo en segundos y donde se puede apreciar que la probeta N°5 que es con soldadura y con protección gaseosa alcanza valores importantes en relación a las demás.

**Figura 40: Probetas de Acero Inoxidable 304 antes del ensayo de tracción.**

**Cuadro 8: Esfuerzo de Tracción**

<b>Registro en función del esfuerzo de Tracción</b>					
<b>Nº</b>	<b>Identificación de la Probeta</b>	<b>C/S Gas de Protección (Argón)</b>	<b>Fuerza (kN) Tiempo (seg)</b>	<b>Esfuerzo de Tracción máx. (MPa)</b>	<b>Módulo de Young (Mpa)</b>
1	5	CP	212.77	653.91	8993.34
2	10	CP	156.91	618.95	9618.25
3	7	SP	155.68	565.11	8651.73
4	6	CP	172.02	560.46	8938.33
5	4	CP	175.65	560.43	7581.54
6	3	SP	150.37	549.74	8096.74
7	8	SP	87.21	539.15	10511.96
8	9	SP	161.16	534.65	8196.67

En el presente Cuadro N°8 se puede observar datos del esfuerzo de tracción reportados por la máquina de tracción en probetas con y sin protección gaseosa.

**Cuadro 9: Registro en función de la deformación**

<b>Registro en función de la deformación</b>					
<b>Nº</b>	<b>Identificación de la Probeta</b>	<b>C/S Gas de Protección (Argón)</b>	<b>Deformación Tiempo (seg)</b>	<b>Esfuerzo de Tracción máx. (MPa)</b>	<b>Módulo de Young (Mpa)</b>
1	5	CP	212.77	653.91	8993.34
2	4	CP	175.65	560.43	7581.54
3	6	CP	172.02	560.46	8938.33
4	9	SP	161.16	534.65	8196.67
5	10	CP	156.91	618.95	9618.25
6	7	SP	155.68	565.11	8651.73
7	3	SP	150.37	549.74	8096.74
8	8	SP	87.21	539.15	10511.96

En el Cuadro N°9 se registran datos del esfuerzo de tracción como también la deformación de cada una de las probetas expresada en seg. donde se puede destacar que la probeta #5 tiene mayor tiempo en deformarse y la probeta #8 tiene menor tiempo.

### Cuadro 10: Dimensionamiento de Probetas después del ensayo de tracción

#### DIMENSIONAMIENTO DE LAS PROBETAS DESPUÉS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN(mm)

N° Probetas	C/S Protección Gaseosa (Argón)	Identif. de la Probeta	Longitud Final (mm)	Longitud Inicial (mm)
1	SP	9	224.3	200
2	CP	6	224.1	200
3	CP	5	230.1	200
4	CP	4	224.2	200
5	CP	10	223.2	200
6	SP	8	210.1	200
7	SP	7	222.3	200
8	SP	3	222.5	200
9	Sin Soldadura	2	233.2	200
10	Sin Soldadura	1	255.1	200

El Cuadro N°10 muestra las dimensiones iniciales de cada probeta antes del ensayo de Tracción y también las longitudes o dimensiones finales después del ensayo de tracción.



**Figura 41: Probeta fracturada**



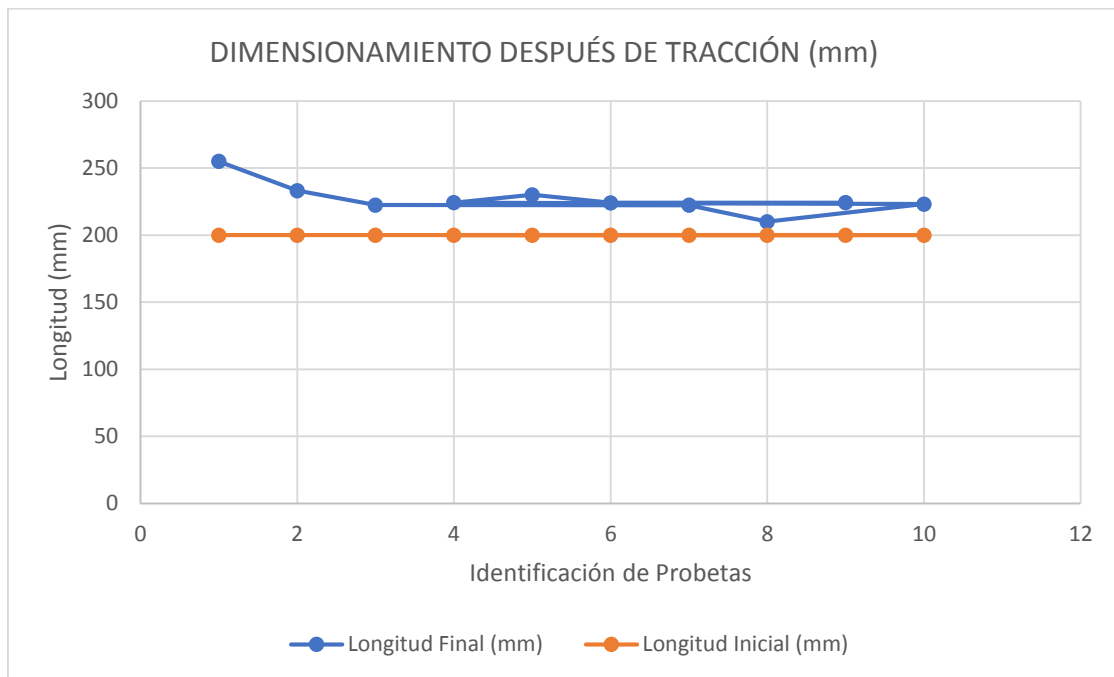
**Figura 42: Máquina de Tracción**



**Figura 43: Probeta sin soldadura después del Ensayo de Tracción**



**Figura 44: Probetas con soldadura después del Ensayo de Tracción**

**Gráfico 10: Dimensionamiento después de tracción**

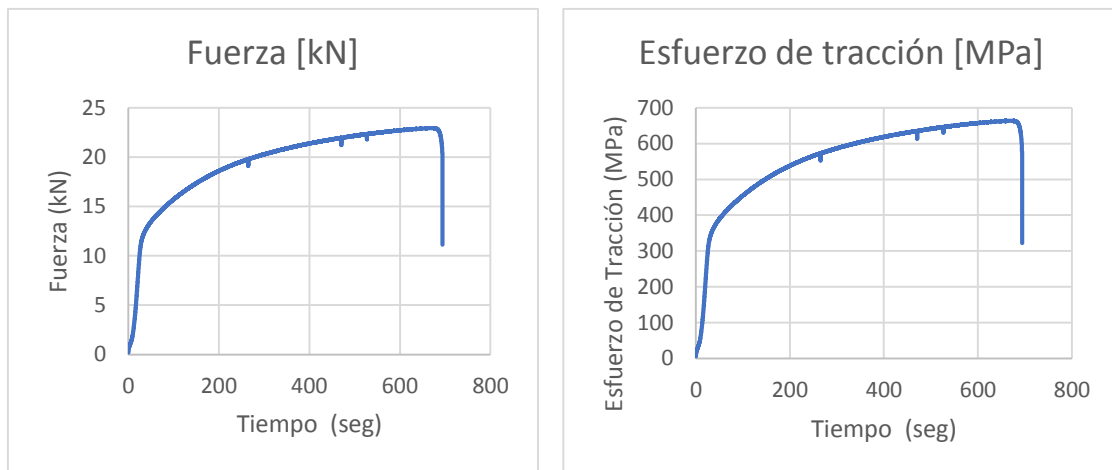
En la Gráfica N°10 se muestra el cambio de dimensiones que ha sucedido en cada Probeta luego de ser sometidas a tracción, referente a la dimensión inicial de 200mm.

**Figura 45: Probetas Fracturadas****Figura 46: Probetas resultantes.**

La Figura N°44 muestra las Probetas de Acero Inoxidable sin soldadura pero 2 de ellas han sido fracturadas mediante el ensayo de tracción y una está como referencia.

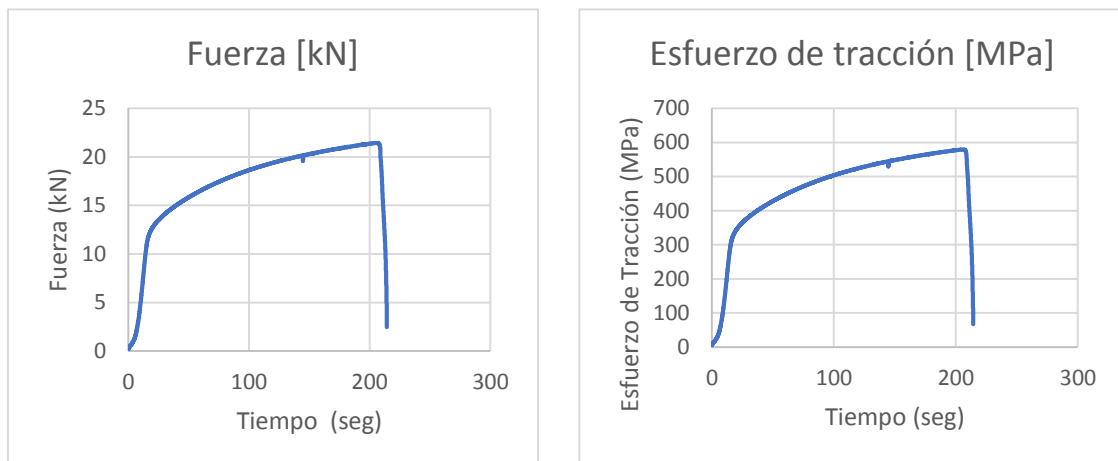
En la Figura N°45 se pueden observar a las 10 Probetas que han sido fracturadas, tomando diferentes dimensiones como resultado del ensayo de tracción y la 1ra. de la izquierda como referencia.

Las gráficas que se presentan a continuación están en función del Esfuerzo de Tracción vs el tiempo de deformación para cada una de las probetas.



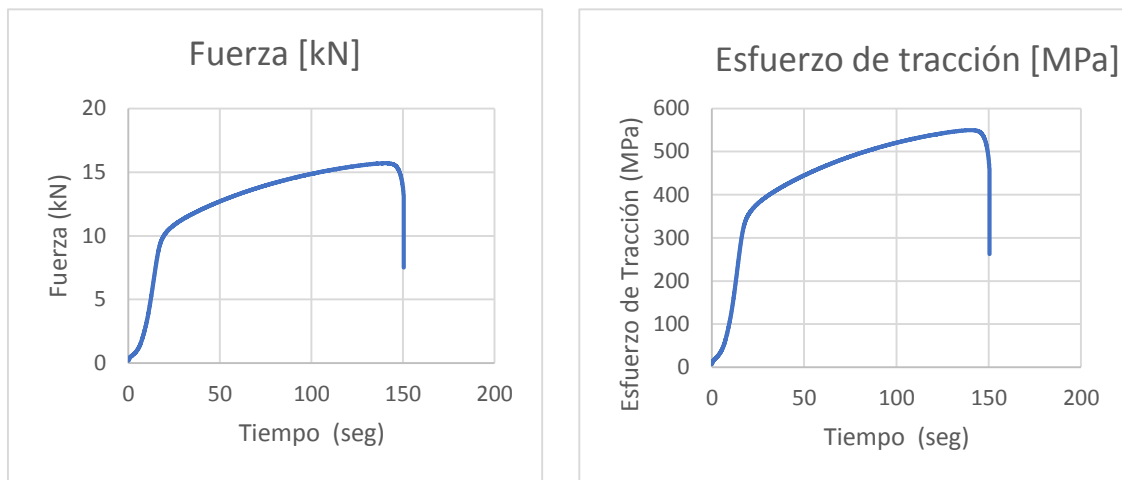
**Figura 47: Probeta N°1 Esfuerzo - Deformación**

Esfuerzo de Tracción = 663.62 MPa vs 694.12 seg



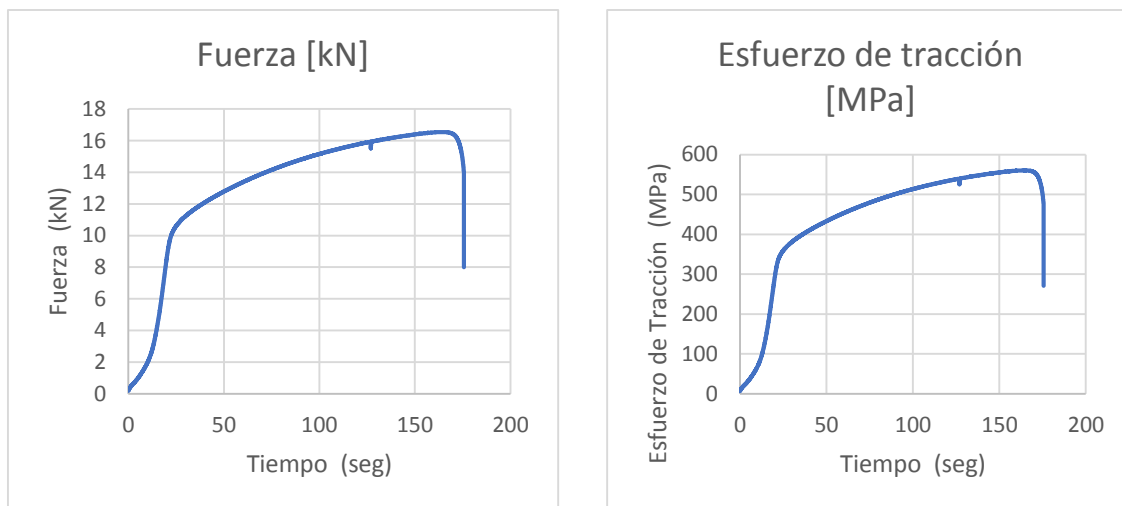
**Figura 48: Probeta N°2 Esfuerzo - Deformación**

Esfuerzo de Tracción = 579.41 MPa vs 214.21 seg



**Figura 49: Probeta N°3 Esfuerzo- Deformación**

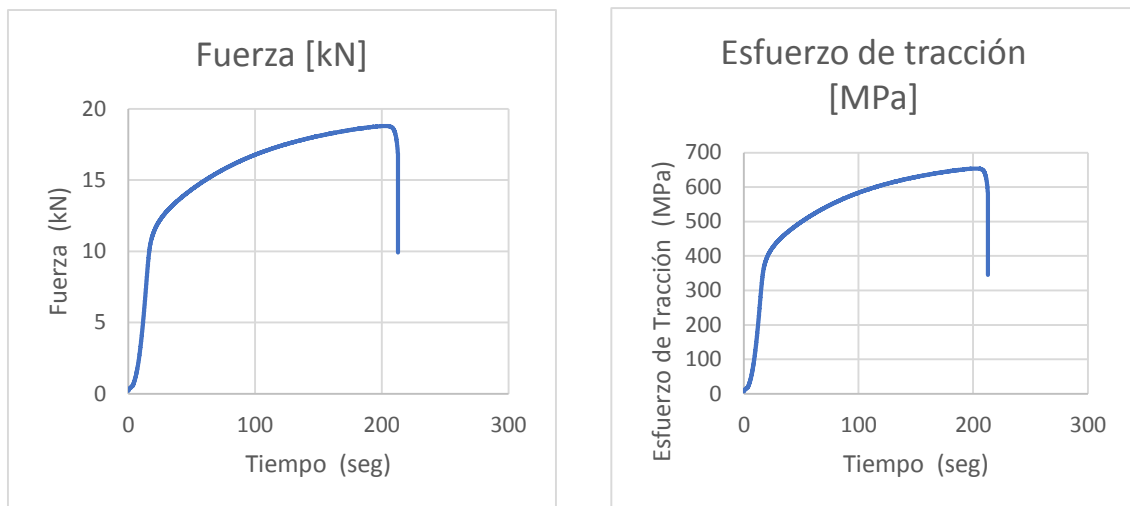
Esfuerzo de Tracción = 549.74 MPa vs 150.37 seg



**Figura 50: Probeta N° 4 Esfuerzo - Deformación**

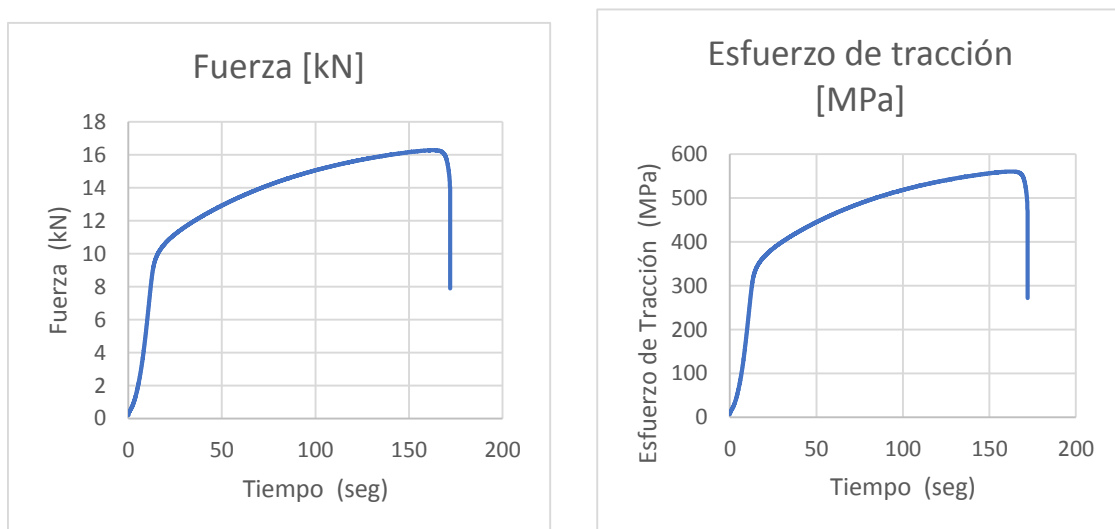
Esfuerzo de Tracción = 560.43 MPa vs 175.66 seg





**Figura 51: Probeta N° 5 Esfuerzo - Deformación**

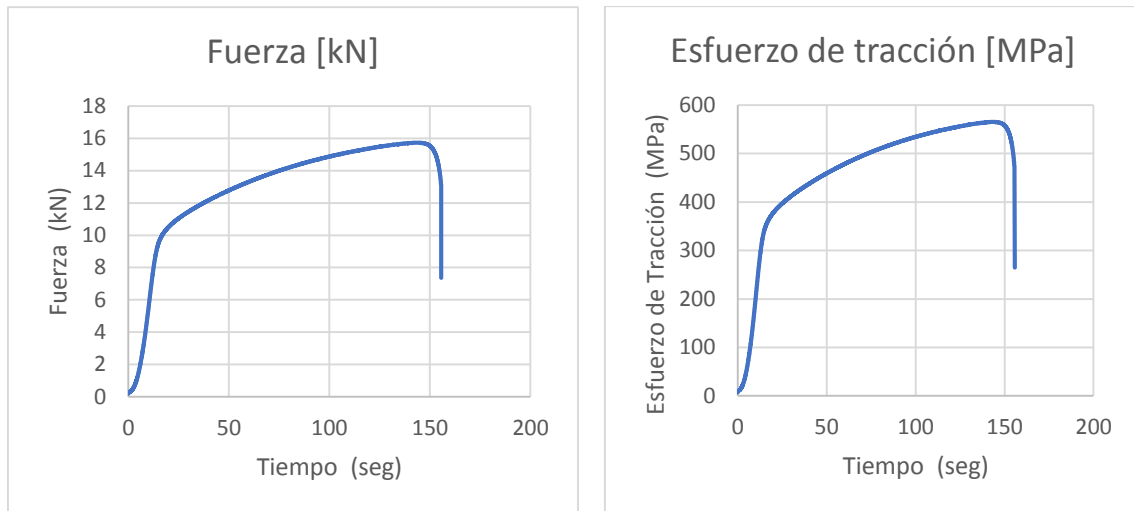
Esfuerzo de Tracción = 653.9 MPa vs 212.78 seg



**Figura 52: Probeta N° 6 Esfuerzo - Deformación**

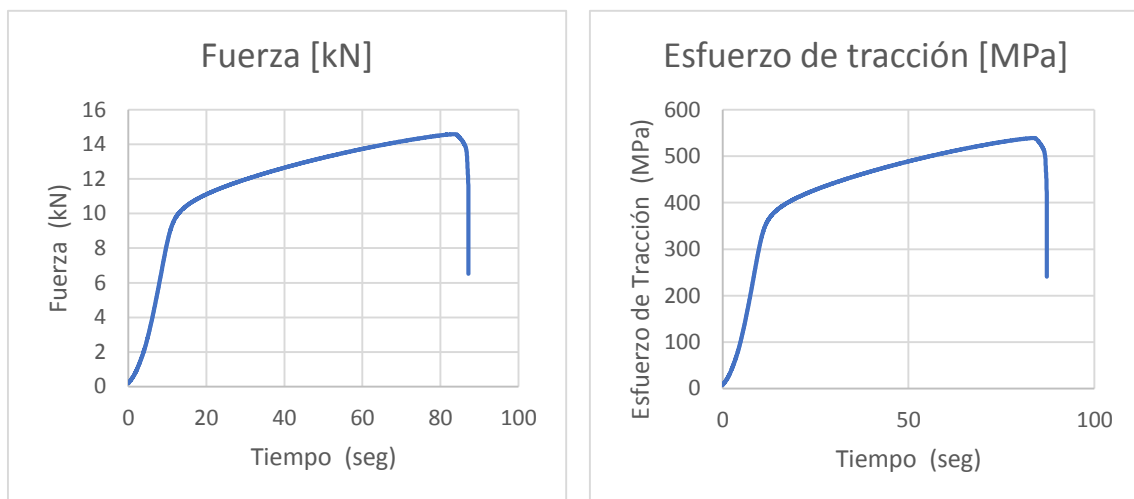
Esfuerzo de Tracción = 560.46 MPa vs 172.06 seg





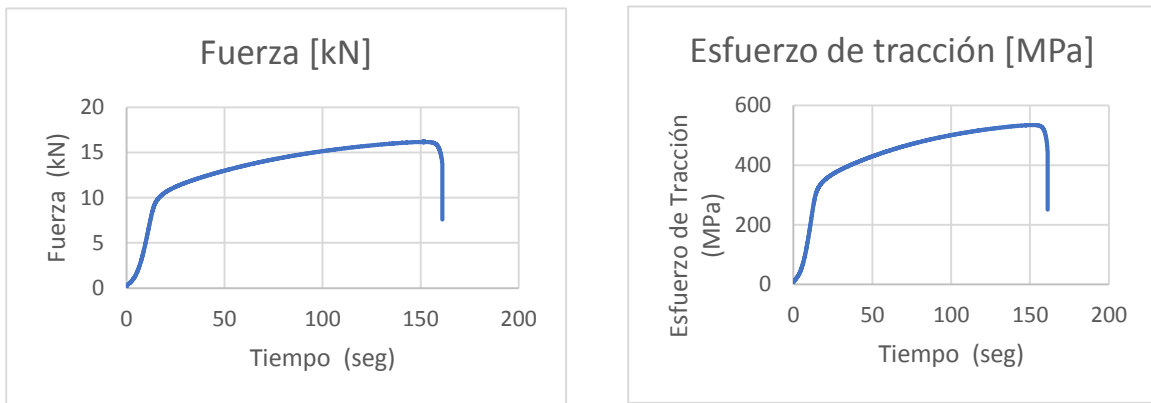
**Figura 53: Probeta N° 7 Esfuerzo - Deformación**

Esfuerzo de Tracción = 565.11 MPa vs 155.68 seg



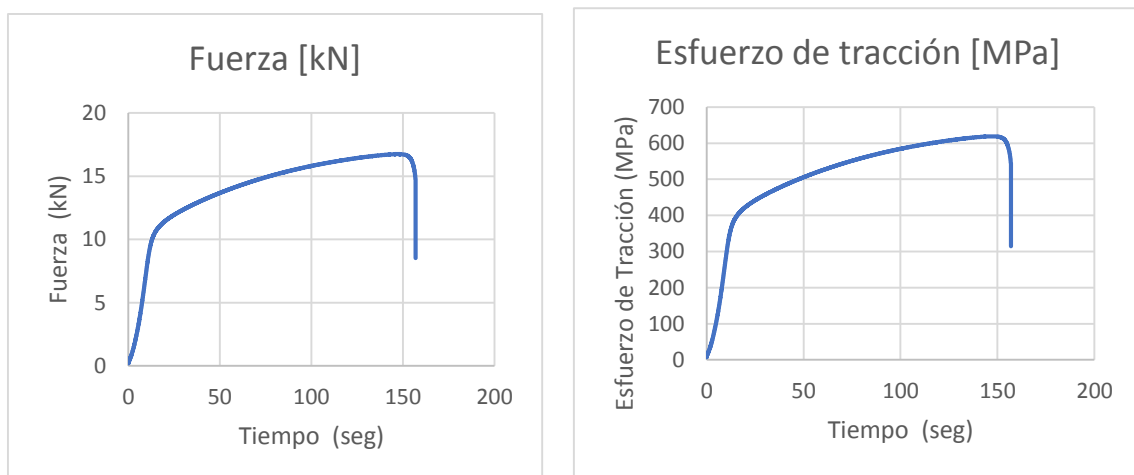
**Figura 54: Probeta N° 8 Esfuerzo - Deformación**

Esfuerzo de Tracción = 539.15 MPa vs 87.21 seg



**Figura 55: Probeta N° 9 Esfuerzo - Deformación**

Esfuerzo de Tracción = 534.65 MPa vs 161.17 seg



**Figura 56: Probeta N° 10 Esfuerzo - Deformación**

Esfuerzo de Tracción = 618.95 MPa vs 156.91 seg

#### 4.2.1 Análisis de varianza para el módulo de Young.

**Cuadro 11: Resumen Estadístico para Módulo de Young**

<i>Grupo</i>	<i>Recuento</i>	<i>Promedio</i>	<i>Desviación Estándar</i>	<i>Coficiente de Variación</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>
C.P. (Argón)	3	9183.31	377.675	4.11262%	8938.33	9618.25
Sin Protección	3	8315.05	295.826	3.55772%	8096.74	8651.73
Sin Soldadura	2	7940.13	346.369	4.36226%	7695.21	8185.05
Total	8	8546.91	620.244	7.25694%	7695.21	9618.25

#### 4.2.2 Tabla ANOVA para Módulo de Young por Grupo

**Cuadro 12: Tabla Anova para Módulo de Young**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	2.11265E6	2	1.05632E6	9.10	0.0216
Intra grupos	580275.	5	116055.		
Total (Corr.)	2.69292E6	7			

De la tabla ANOVA observamos que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe entonces una diferencia estadísticamente significativa entre la media de Módulo de Young entre un nivel de Grupo y otro, con un nivel del 95.0% de confianza.

Así entonces el grupo de probetas “C.P. (Argón)” presenta un mayor módulo de Young en comparación a los otros grupos.

### 4.2.3 Pruebas de Múltiple Rangos para Modulo de Young por Grupo

**Cuadro 13: Prueba de Múltiples Rangos**

Método: 95.0 porcentaje LSD

<i>Grupo</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
Sin Soldadura	2	7940.13	X
Sin Protección	3	8315.05	X
C.P. (Argón)	3	9183.31	X

De la tabla ANOVA concluimos que el grupo C.P. (Argón) es un grupo distinto a los demás grupos (Sin soldadura y Sin Protección)

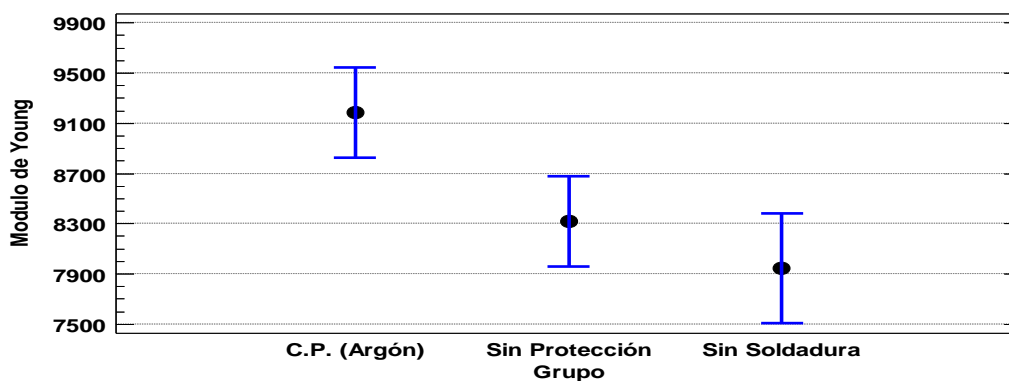
**Cuadro 14: Datos comparativos**

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
C.P. (Argón) - Sin Protección	*	868.26	715.021
C.P. (Argón) - Sin Soldadura	*	1243.18	799.418
Sin Protección - Sin Soldadura		374.917	799.418

\* indica una diferencia significativa.

En la tabla se puede apreciar que hay diferencia estadísticamente significativa entre el grupo “C.P. (Argón)” y el grupo “Sin Protección” así como entre los grupos “C.P. (Argón)” y “Sin Soldadura”

**Medias y 95.0% de Fisher LSD**



En el gráfico de medias se observa que el módulo de Young del grupo de probetas denominado “C.P. (Argón)” exhibe un promedio más alto en comparación a los otros grupos.

Gráfico de Medianas

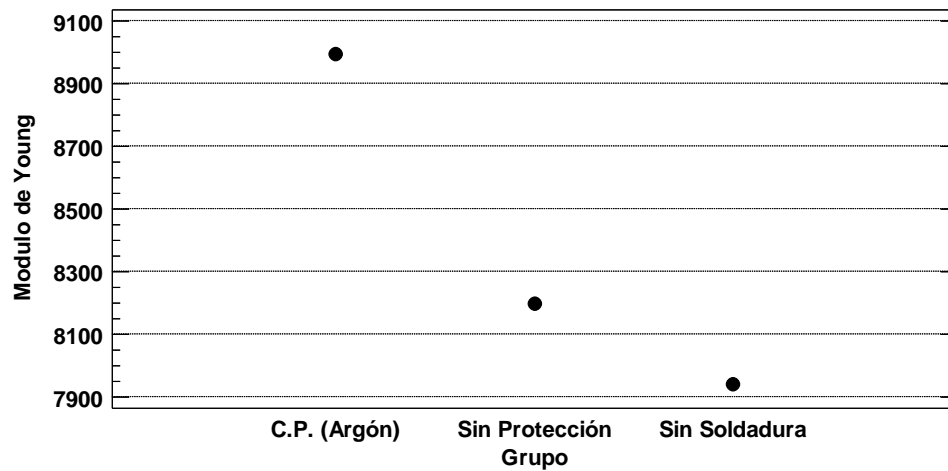


Figura 57: Gráfico de medianas

En el gráfico de medianas observamos que las probetas en las que se usó protección (Gas Argón) se obtuvieron mejores resultados de módulo de Young.

#### 4.2.4 Análisis de Varianza para Resistencia a la Tensión

Cuadro 15: Resumen Estadístico para Esfuerzo de Tracción Máximo

Grupo	Recuento	Promedio	Desviación Estándar	Coficiente de Variación	Mínimo	Máximo
C.P. (Argón)	4	598.438	46.1332	7.70895%	560.43	653.91
Sin Protección	4	547.163	13.5341	2.47351%	534.65	565.11
Sin Soldadura	2	621.515	59.5455	9.5807%	579.41	663.62
Total	10	582.543	46.5896	7.99762%	534.65	663.62

Cuadro 16: Tabla ANOVA para Esfuerzo de Tracción Maximo por Grupo

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	9055.29	2	4527.65	3.02	0.1131
Intra grupos	10480.0	7	1497.14		
Total (Corr.)	19535.3	9			

De la tabla ANOVA observamos que el valor-P de la prueba-F es mayor que 0.05, NO existe diferencia estadísticamente significativa entre la media de Esfuerzo de Tracción Máximo entre un nivel de Grupo y otro, con un nivel del 95.0% de confianza.

### Cuadro 17: Media de Esfuerzo de Tracción máximo

Método: 95.0 porcentaje LSD

<i>Grupo</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
Sin Protección	4	547.163	X
C.P. (Argón)	4	598.438	X
Sin Soldadura	2	621.515	X

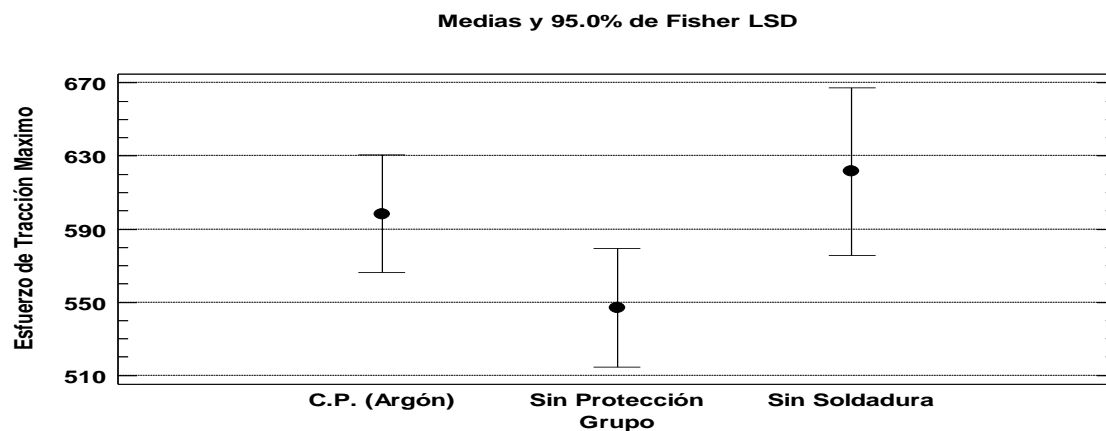
De la tabla concluimos que los grupos son homogéneos es decir que ningún grupo presenta mejores propiedades de Esfuerzo de Tracción que otro grupo.

### Cuadro 18: Esfuerzo de Tracción por grupo

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
C.P. (Argón) - Sin Protección	51.275	64.6964	
C.P. (Argón) - Sin Soldadura	-23.0775	79.2365	
Sin Protección - Sin Soldadura	-74.3525	79.2365	

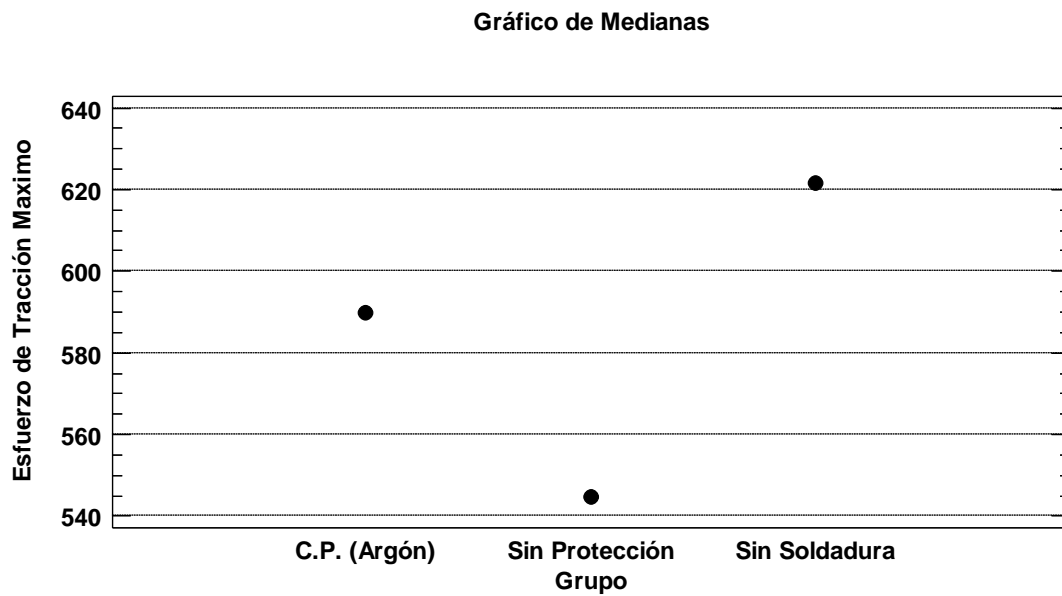
\* indica una diferencia significativa.

En la siguiente gráfica se comparan los grupos evaluados por pares, se aprecia que no existe diferencia significativa en los pares comparados.



**Figura 58: Gráfico de medianas.**

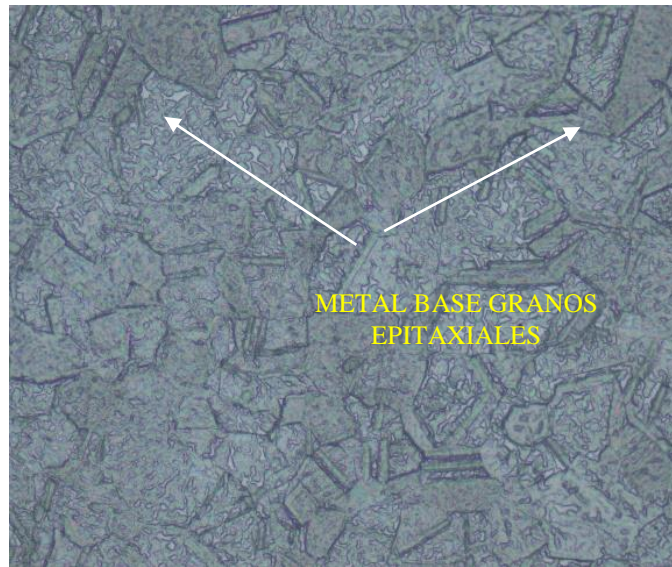
En el gráfico de medias se observa que el Esfuerzo de Tracción Máximo para el grupo C.P. (Argón) presenta valores ligeramente menores en comparación al grupo sin soldadura.



**Figura 59: Gráfico de medianas.**

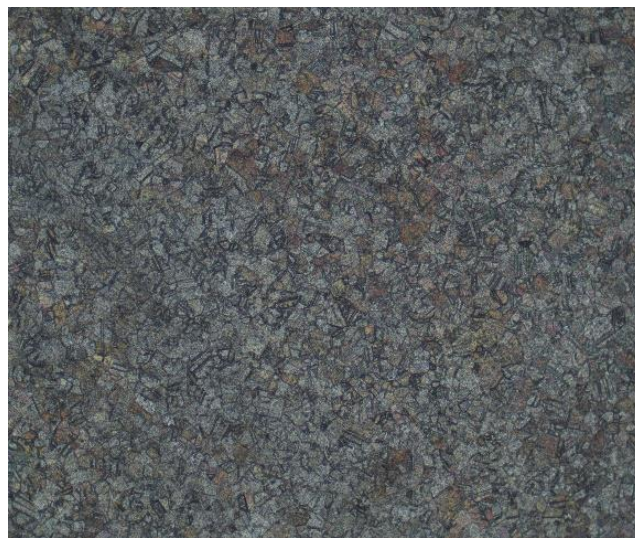
En el gráfico de medianas observamos que las probetas del grupo “C.P. (Argón)” presenta valores ligeramente inferiores al grupo “Sin Soldadura” y ligeramente superiores al grupo “Sin Protección”

### 4.3 ANÁLISIS Y OBSERVACIÓN MICROSCÓPICA DE LA UNIÓN SOLDADA



**Figura 60: Metal Base Acero 304 a 500x**

En la Fig. N°60 observamos la muestra metalográfica del acero inoxidable austenítico 304, en la que se puede apreciar la formación y distribución de granos epitaxiales y también de formación geométrica poligonal, característica de los aceros inoxidables austeníticos.



**Figura 61: Metal Base Acero 304 a 100x**

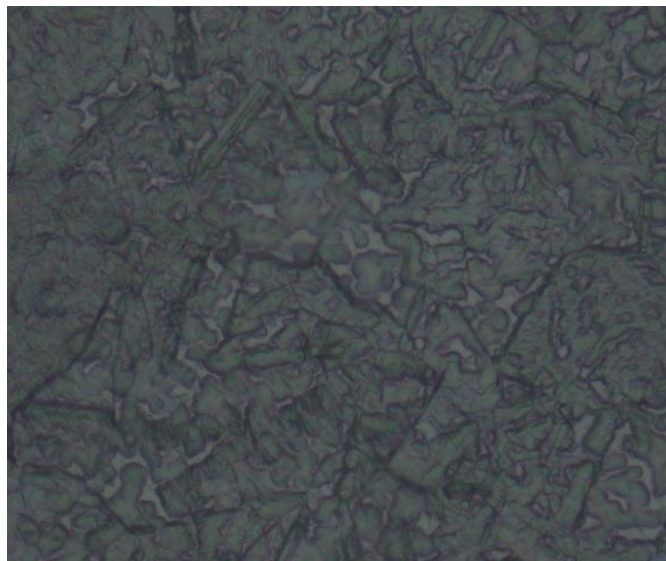
En la Fig.N°61 se debe evitar el sobre ataque de la muestra porque se distorsiona la imagen de la microestructura, dado que la superficie se puede manchar y tapar la estructura o producirse manchas de corrosión.





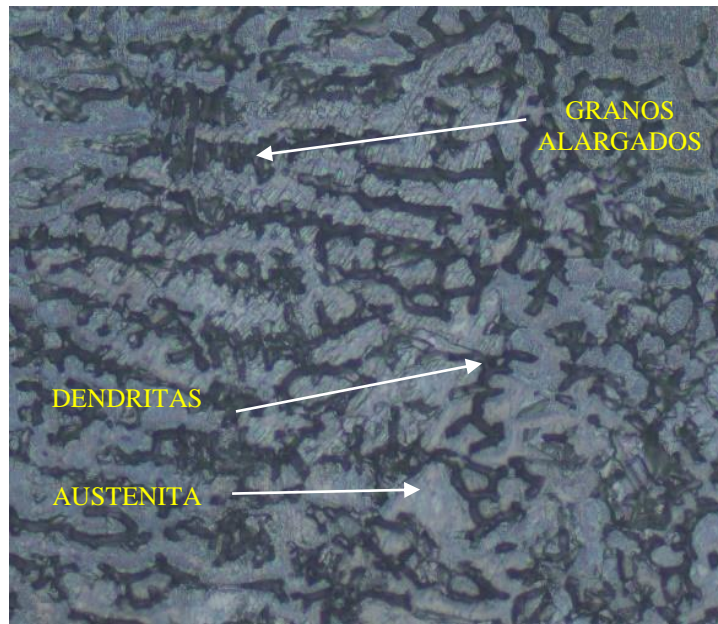
**Figura 62: Metal Base Acero 304 a 200x**

En la Fig.N°62 algunos cristales cambian de orientación con respecto a otros, probablemente por la presencia de elementos metálicos como el níquel que le dará mayor tenacidad, como una de las propiedades físicas fundamentales de los aceros inoxidable austeníticos.



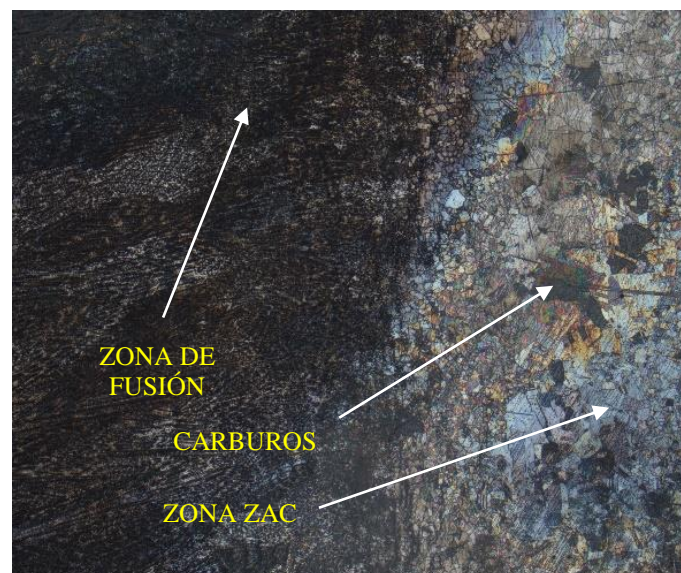
**Figura 63: Metal Base Acero 304 a 1000x**

Se puede apreciar en la Fig. N°63 la formación de granos epitaxiales y también de formación geométrica poligonal a 1000x, característica de los aceros inoxidable austeníticos con algunas trazas oscuras que podrían contener carburos de cromo alrededor de los granos.



**Figura 64: Zona de Fusión Acero 304 (Granos Alargados) a 500x**

En la Fig. N°64 la zona de fusión muestra uniformidad respecto al tamaño de grano en referencia a la zona ZAC debido a que ésta sufre una transformación en su microestructura, se observa granos en forma de dendritas.

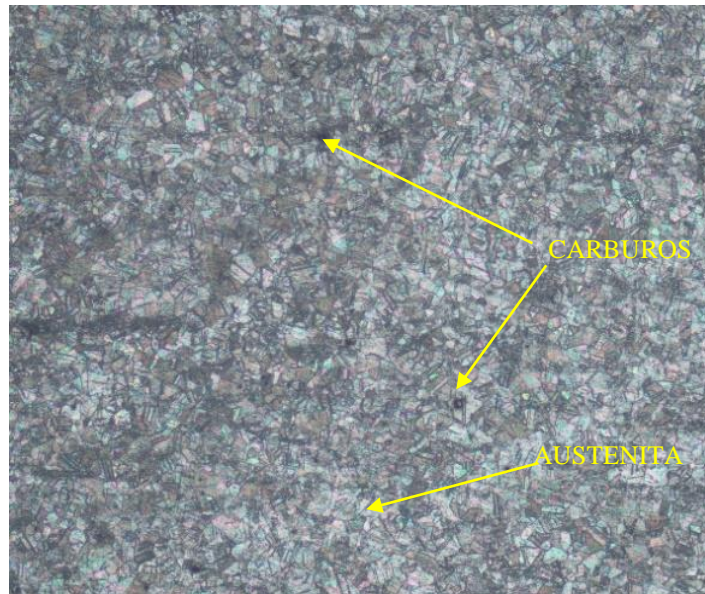


**Figura 65: Zona de Fusión Acero 304 (ZAC) a 50x con pp**

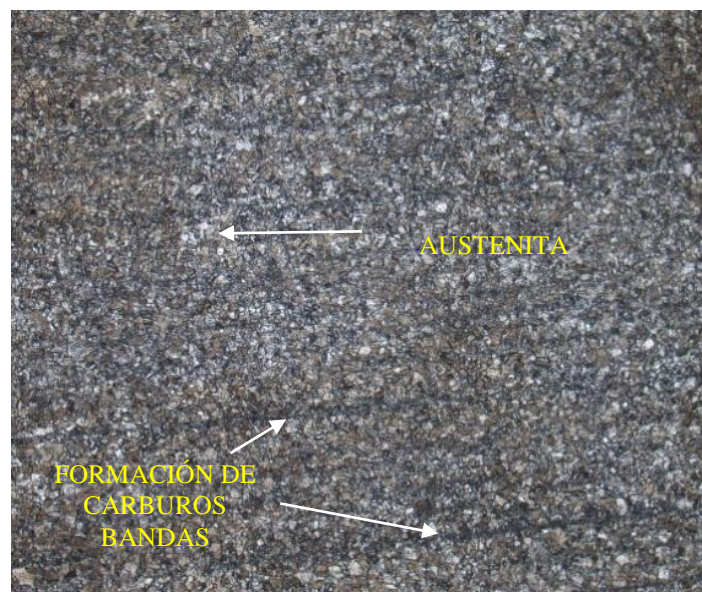
En la Fig. N°65 corresponde a la soldadura del acero inoxidable 304, en la cual se observa la deformación al realizar la unión para asegurar la calidad de la junta a 50x. Se



observa 2 zonas claramente definidas correspondientes a la zona afectada por el calor y la zona del metal base que muestra una soldadura uniforme libre de defectos.

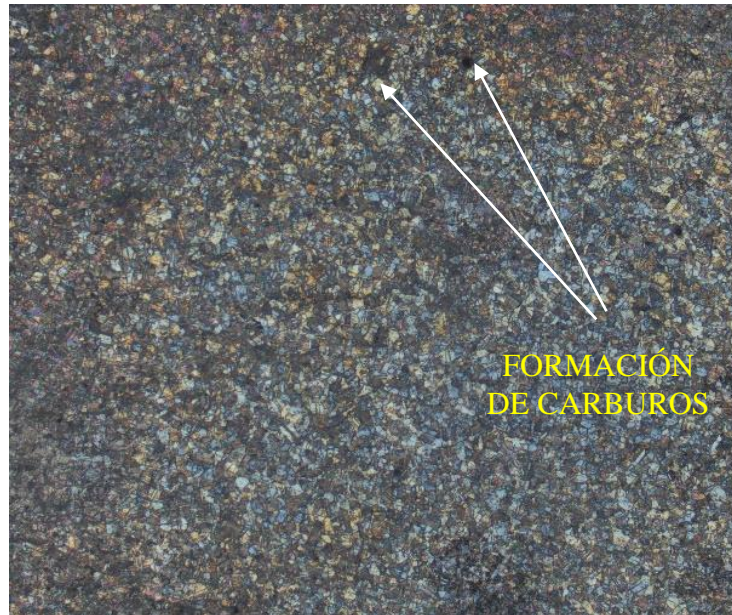


**Figura 66: Acero 304 Zona ZAC a 100x**



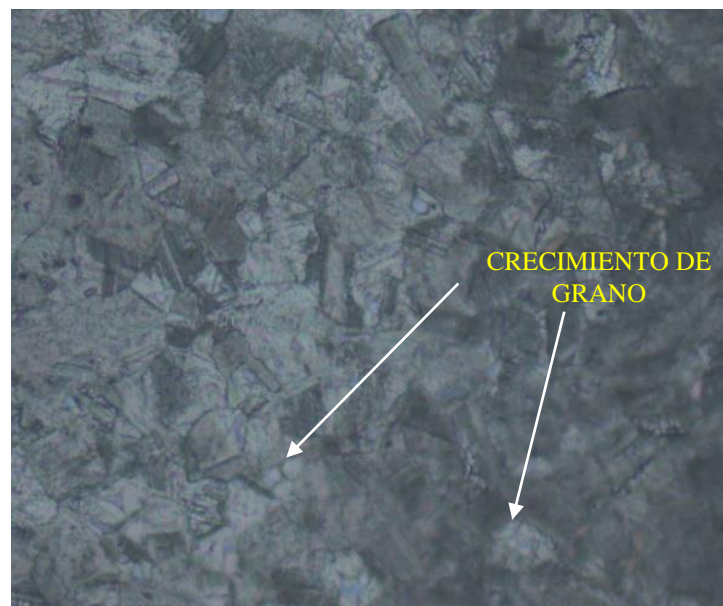
**Figura 67: Acero 304 Zona ZAC a 100x**

En la Fig.N°67 se muestra la zona afectada por el calor con algunas trazas oscuras que podrían contener carburos de cromo alrededor de los granos.



**Figura 68: Acero 304 Zona ZAC a 100x**

En la Fig. N°68 Se observa como varía el aspecto superficial, las partes blancas o claras corresponden a una fase austenítica y las zonas oscuras a la posible formación de carburos de cromo alrededor de los granos o bordes de grano y en la matriz.



**Figura 69: Acero 304 Zona ZAC a 500x**

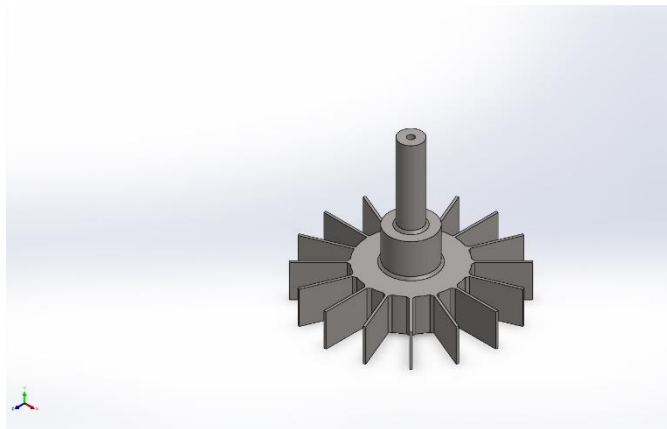
En la Fig. N°69 algunos cristales cambian de orientación con respecto a otros, probablemente por la presencia de elementos metálicos como el níquel que le dará mayor tenacidad, como una de las propiedades físicas fundamentales de los aceros inoxidable austeníticos.

Con la reducción del tamaño de grano aumenta la resistencia mecánica.

#### **4.4 ANÁLISIS COMPUTACIONAL DE UN AGITADOR DE PALETAS**

La simulación puede utilizarse en el ámbito de la fabricación, también para perfeccionar las secuencias de soldadura antes de la fabricación o para conocer los efectos de la soldadura en estructuras existentes y también para mejorar la fabricación de componentes metálicos. Así como también proporciona un ambiente inmersivo en un taller de soldadura virtual donde se puede practicar el proceso de soldadura como en la vida real.

El Agitador de Paletas (Pieza, Accesorio, Elemento de Máquina, etc.), se puede dibujar en SolidWorks o también puede ser importado del AutoCAD mediante la extensión .dwg en 3D y se activa la pestaña SolidWorks Simulation donde se crea un nuevo estudio estático, luego se selecciona el material adecuado donde nos muestra muchas características y propiedades de dicho material en este caso Acero Inoxidable 304, se selecciona una geometría fija de referencia, se le asigna una carga-fuerza en Newtons o MPa. Digamos 1000 N a las paletas del agitador, seguidamente se hace un enmallado fino para que el resultado de la simulación sea bastante uniforme y posteriormente se ejecuta el estudio, dándonos como resultados mediante una escala de colores (Von Mises) valores de las tensiones, deformaciones, alargamientos para su análisis respectivo, animación, etc



#### 4.4.1 Descripción

ANÁLISIS ESTÁTICO DE UN AGITADOR DE  
PALETAS DE 16 PLACAS DE ACERO INOXIDABLE  
304 FABRICADO PARA USO EN LA INDUSTRIA  
ALIMENTARIA

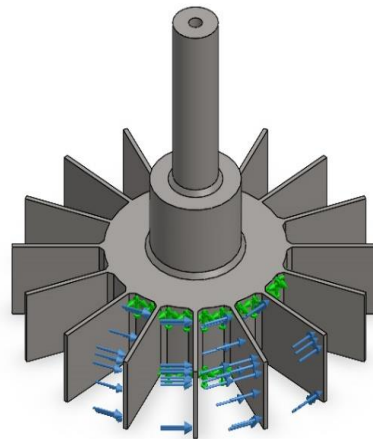
## Simulación de Agitador de paletas 1

Fecha: viernes, 1 de octubre de 2021  
Diseñador: ING° JORGE ESQUIVIAS  
LLERENA  
Nombre de estudio: Análisis estático 1  
Tipo de análisis: Análisis estático

### TABLA DE CONTENIDO


Descripción	75
Información de modelo	76
Propiedades de estudio	77
Unidades	77
Propiedades de material	78
Cargas y sujeciones	79
Enmallado	80
Resultados del estudio	80
Conclusión	83

#### 4.4.2 Información de modelo



**Nombre del modelo:** Agitador de paletas 1  
**Configuración actual:** Predeterminado

#### Sólidos

Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
Chaflán2 	Sólido	<b>Masa:1.97489 kg</b> <b>Volumen:0.000246861 m<sup>3</sup></b> <b>Densidad:8,000 kg/m<sup>3</sup></b> <b>Peso:19.3539 N</b>	<b>D:\2019-PRO-SIRI\Agitador de paletas 1.SLDPRT</b> Oct 1 21:10:33 2021



### 4.4.3 Propiedades de estudio

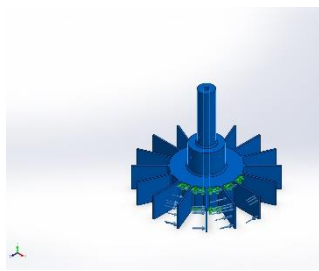
<b>Nombre de estudio</b>	Análisis estático 1
<b>Tipo de análisis</b>	Análisis estático
<b>Tipo de malla</b>	Malla sólida
<b>Efecto térmico:</b>	Activar
<b>Opción térmica</b>	Incluir cargas térmicas
<b>Temperatura a tensión cero</b>	298 Kelvin
<b>Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation</b>	Desactivar
<b>Tipo de solver</b>	FFEPlus
<b>Efecto de rigidización por tensión (Inplane):</b>	Desactivar
<b>Muelle blando:</b>	Desactivar
<b>Desahogo inercial:</b>	Desactivar
<b>Opciones de unión rígida incompatibles</b>	Automático
<b>Gran desplazamiento</b>	Desactivar
<b>Calcular fuerzas de cuerpo libre</b>	Activar
<b>Fricción</b>	Desactivar
<b>Utilizar método adaptativo:</b>	Desactivar
<b>Carpeta de resultados</b>	Documento de SOLIDWORKS (D:\2019-PRO-SIRI)

### 4.4.5 Unidades

<b>Sistema de unidades:</b>	Métrico (MKS)
<b>Longitud/Desplazamiento</b>	mm
<b>Temperatura</b>	Kelvin
<b>Velocidad angular</b>	Rad/seg
<b>Presión/Tensión</b>	N/m <sup>2</sup>



#### 4.4.6 Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p><b>Nombre:</b> AISI 304</p> <p><b>Tipo de modelo:</b> Isotrópico elástico lineal</p> <p><b>Criterio de error predeterminado:</b> Tensión de von Mises máx.</p> <p><b>Límite elástico:</b> 2.06807e+08 N/m<sup>2</sup></p> <p><b>Límite de tracción:</b> 5.17017e+08 N/m<sup>2</sup></p> <p><b>Módulo elástico:</b> 1.9e+11 N/m<sup>2</sup></p> <p><b>Coefficiente de Poisson:</b> 0.29</p> <p><b>Densidad:</b> 8,000 kg/m<sup>3</sup></p> <p><b>Módulo cortante:</b> 7.5e+10 N/m<sup>2</sup></p> <p><b>Coefficiente de dilatación térmica:</b> 1.8e-05 /Kelvin</p>	Sólido 1(Chaflán2)(Agitador de paletas 1)
Datos de curva:N/A		

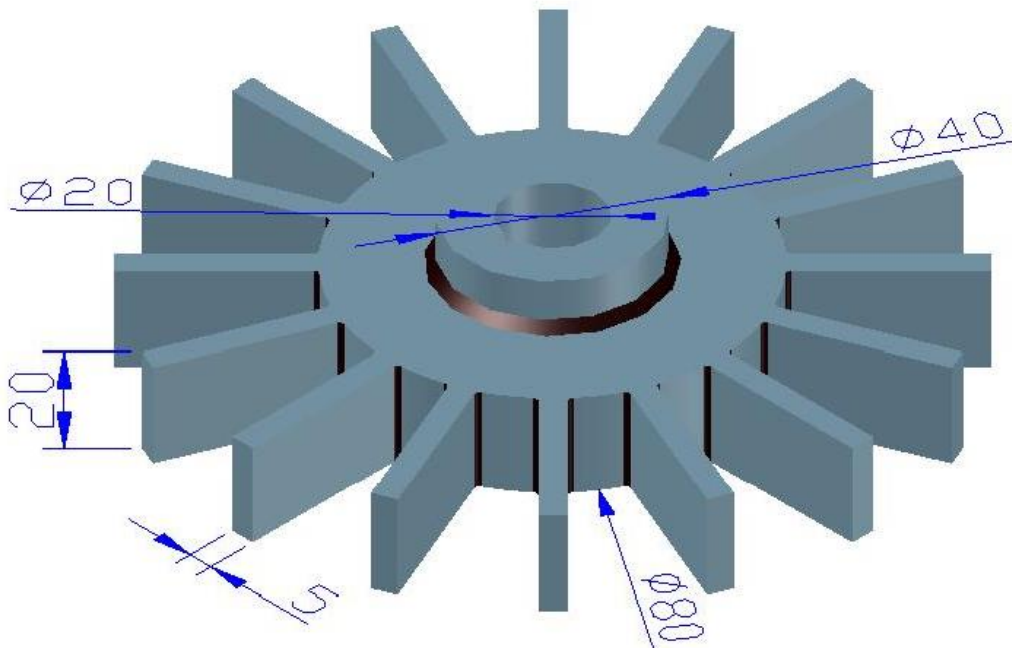
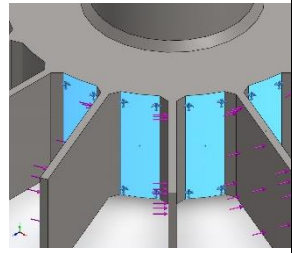
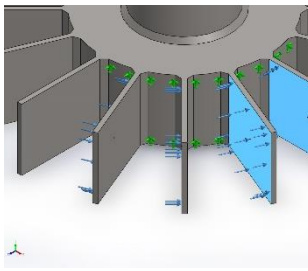


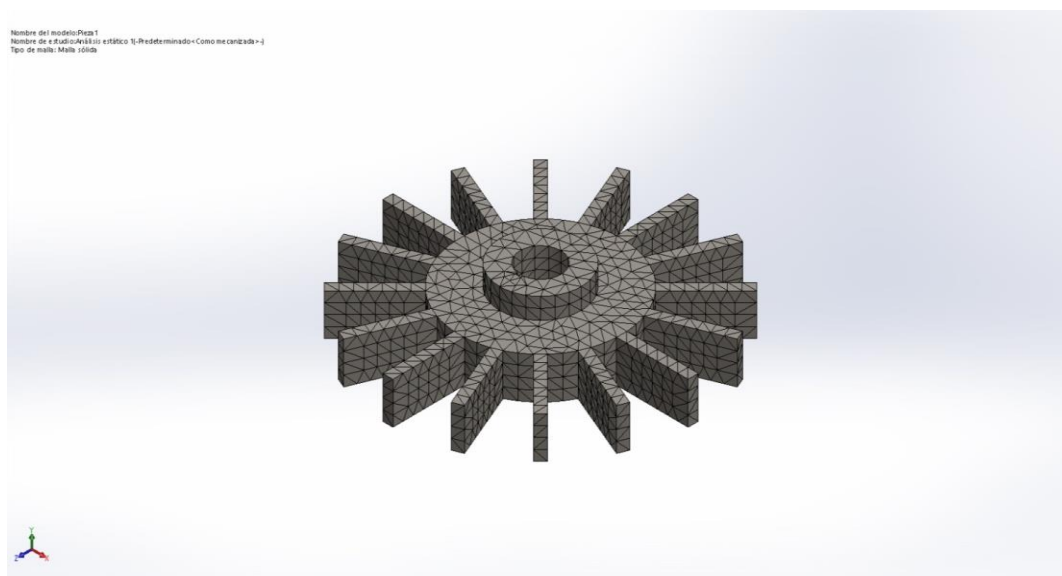
Figura 70: Impulsor de 16 álabes o agitador de paletas de Ac. Inoxidable

#### 4.4.7 Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Fijo-1		<b>Entidades:</b> 5 cara(s) <b>Tipo:</b> Geometría fija		
<b>Fuerzas resultantes</b>				
<b>Componentes</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z</b>	<b>Resultante</b>
<b>Fuerza de reacción(N)</b>	-2,013.1	-0.598098	3,015.06	3,625.35
<b>Momento de reacción(N.m)</b>	0	0	0	0

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Fuerza-1		<b>Entidades:</b> 4 cara(s) <b>Tipo:</b> Aplicar fuerza normal <b>Valor:</b> 1,000 N

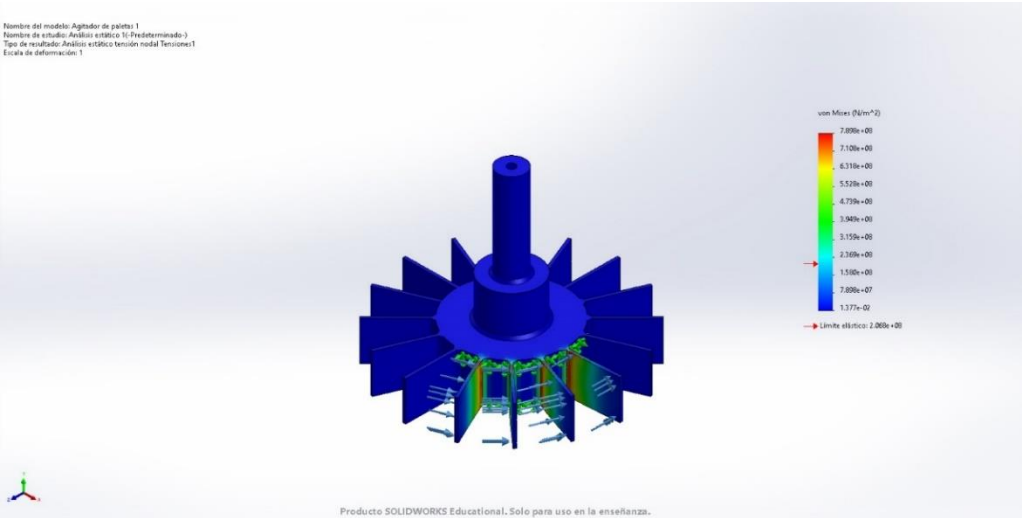
#### 4.4.8 Enmallado



### 4.4.9 Resultados del estudio

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	1.377e-02N/m <sup>2</sup> Nodo: 24832	7.898e+08N/m <sup>2</sup> Nodo: 36258

Nombre del modelo: Agitador de palitas 1  
Nombre de estudio: Analisis estático 1(-Predefinido-)  
Tipo de resultado: Analisis estático tensión modal Tensiones1  
Escala de deformación: 1



von Mises (N/m<sup>2</sup>)

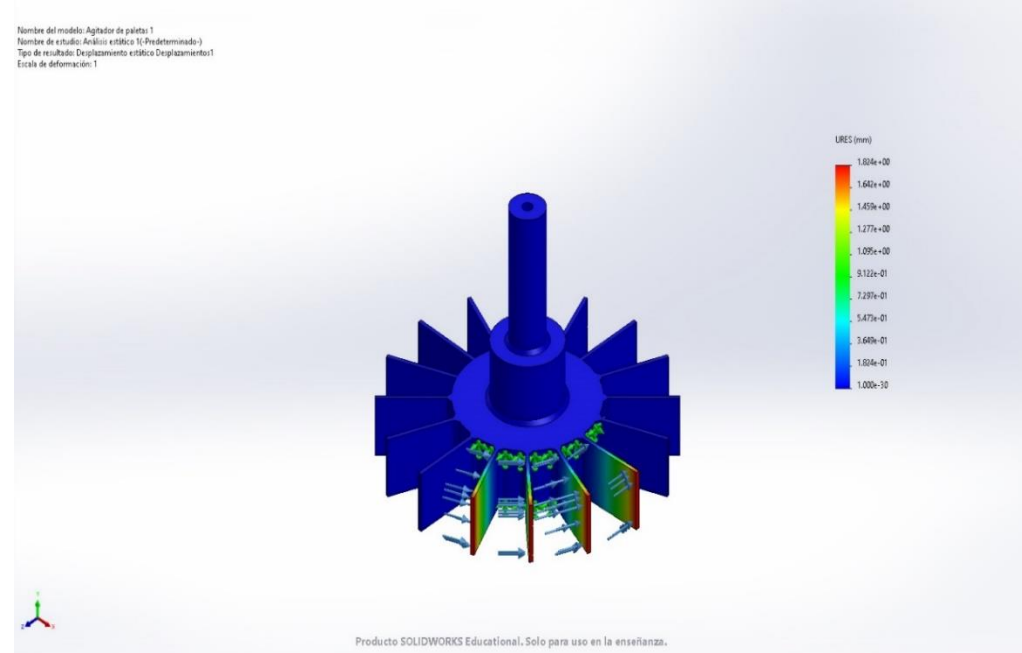
7.898e+08  
2.110e+08  
6.318e+07  
5.528e+07  
4.738e+07  
3.948e+07  
3.158e+07  
2.368e+07  
1.578e+07  
7.898e+06  
1.377e+02

→ Límite elástico: 2.000e+08

Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0.000e+00mm Nodo: 2210	1.824e+00mm Nodo: 2271

Nombre del modelo: Agitador de palitas 1  
Nombre de estudio: Analisis estático 1(-Predefinido-)  
Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1  
Escala de deformación: 1



URES (mm)

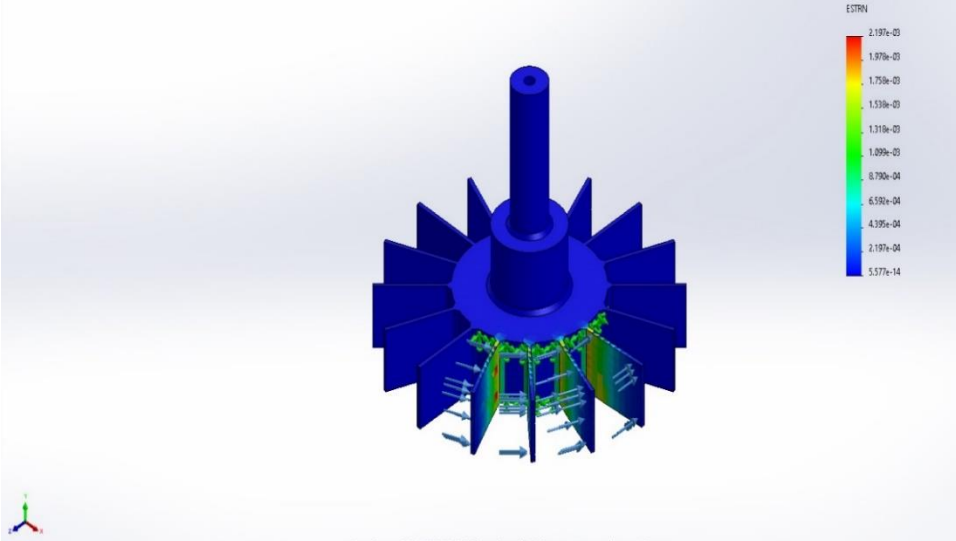
1.824e+00  
1.642e+00  
1.459e+00  
1.277e+00  
1.095e+00  
9.132e-01  
7.309e-01  
5.487e-01  
3.664e-01  
1.844e-01  
1.000e-01

Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

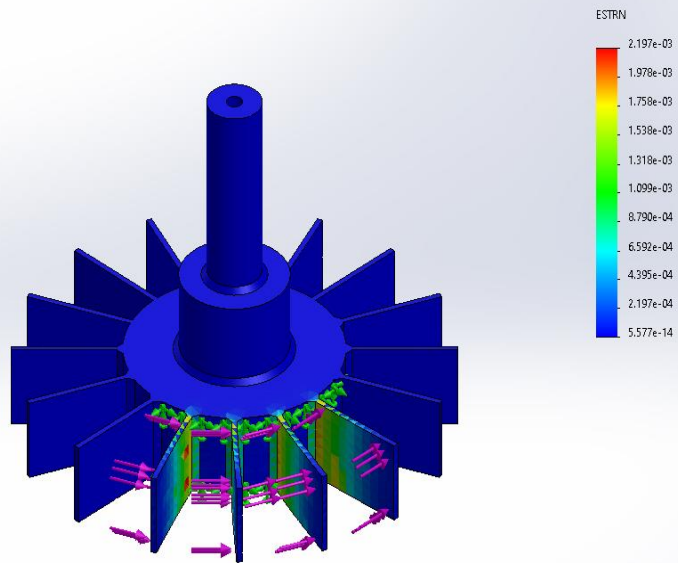
Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	5.577e-14 Elemento: 26947	2.197e-03 Elemento: 7345

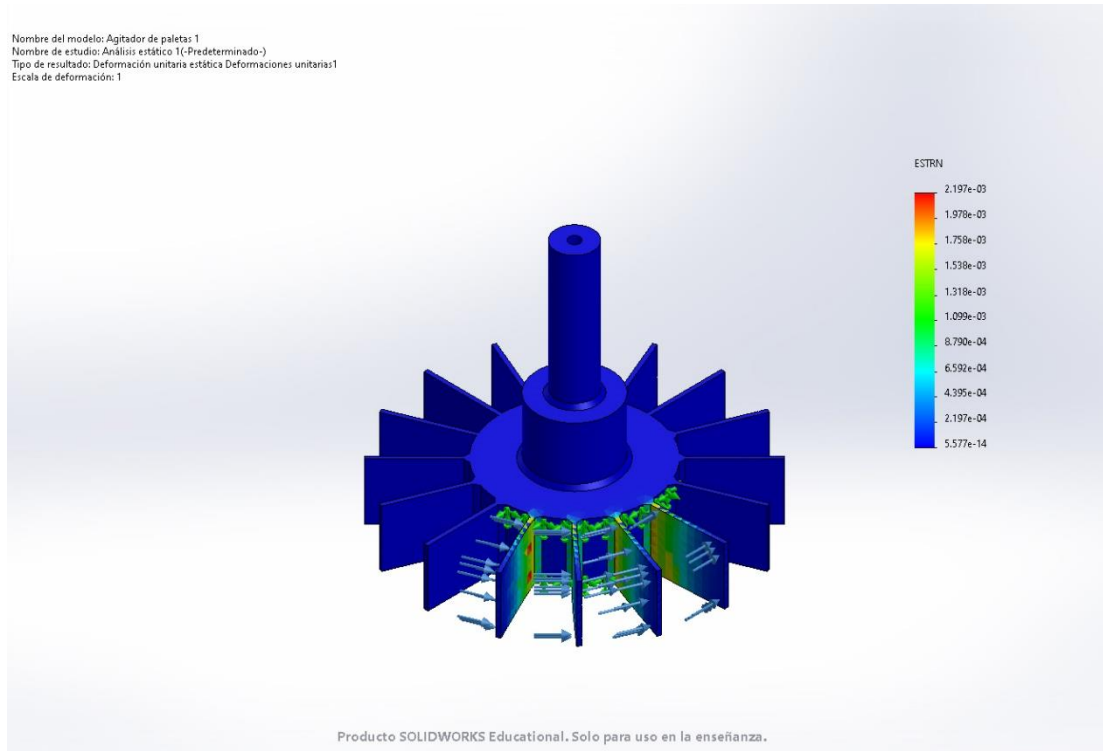
tas 1-

Nombre del modelo: Agitador de paletas 1  
Nombre de estudio: Análisis estático 1(-Predeterminado-)  
Tipo de resultado: Deformación unitaria estática Deformaciones unitarias1  
Escala de deformación: 1

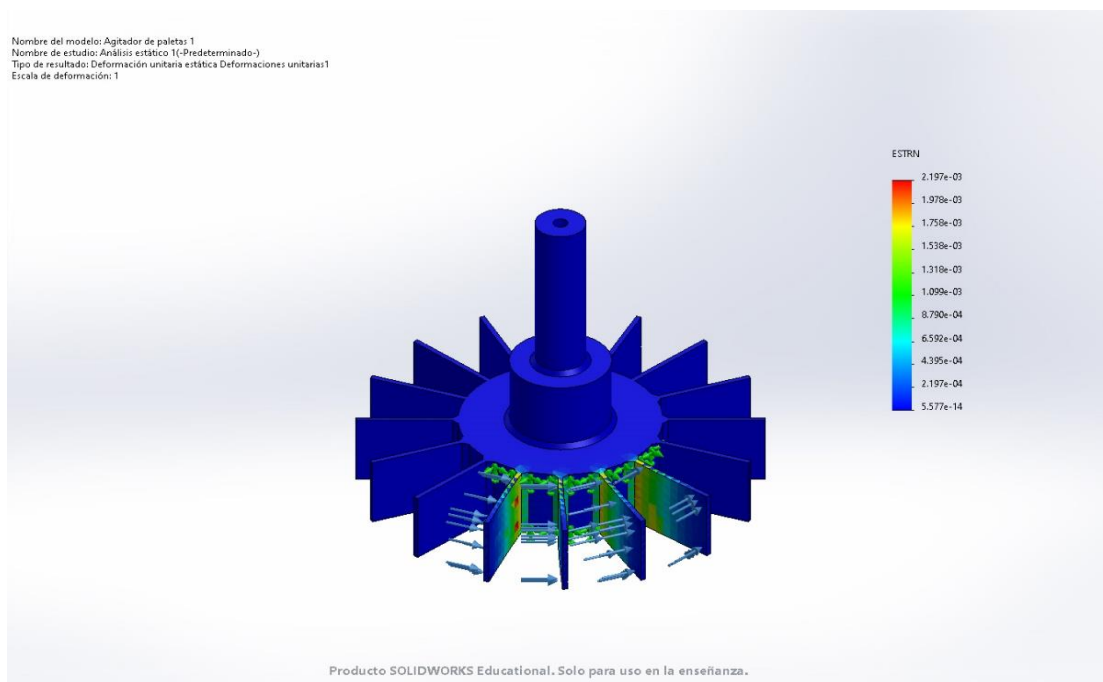


Nombre del modelo: Agitador de paletas 1  
Nombre de estudio: Análisis estático 1(-Predeterminado-)  
Tipo de resultado: Deformación unitaria estática Deformaciones unitarias1  
Escala de deformación: 1





#### 4.4.10 Conclusión



Comentarios de la imagen:  
 ENDURECIMIENTO Y POSIBLE FRAGILIDAD EN LA ZONA AFECTADA POR EL CALOR por la coloración rojiza que se muestra entre la masa y la placa (Escala de colores – Von Mises).

## CONCLUSIONES

**PRIMERA:** Se logró seleccionar en uno de los parámetros principales en el proceso de soldadura GTAW, como es la intensidad de corriente a 80 Amperios, adecuado para poder realizar una soldadura uniforme y con una velocidad de avance constante y así haber logrado una soldadura de calidad generando una atmósfera inerte y libre de contaminantes mediante una caja protectora con gas argón.

**SEGUNDA:** Las muestras que presentaron mayores valores de carga máxima de fluencia fueron las muestras soldadas con material de aporte y con protección gaseosa (Argón) en relación a las muestras que fueron soldadas sin protección gaseosa.

**TERCERA:** Las durezas obtenidas en la zona fundida (cordón de soldadura) y en la ZAC son mayores con respecto al material base, dado que estas zonas alcanzaron las más altas temperaturas y velocidades de enfriamiento por ello sus durezas aumentaron con respecto al material base.

**CUARTA:** Los ensayos de tracción indican que si bien es cierto que hay una pérdida de ductilidad, ésta no es significativa pues no presentan fisuras ni agrietamientos tanto en la zona de fusión como en la zona afectada por el calor ya que el proceso de soldadura GTAW garantiza la uniformidad del cordón de soldadura libre de defectos internos y externos debido a la protección que genera el gas inerte argón, el cual no permite el ingreso de elementos contaminantes en el proceso de soldadura.

**QUINTA:** En el ensayo o análisis estático podemos observar que la zona crítica o de riesgo donde se concentran las tensiones es justamente entre la masa del

impulsor o agitador y el álabe o paleta por la diferencia de volúmenes tal como se demuestra en la simulación efectuada e identificada mediante la escala de colores (Esfuerzo de Von Mises), por consiguiente en el diseño se tendría que reforzar esa zona.

**SEXTA:** La Estadística aporta a las investigaciones en la planificación, definición, clasificación de variables, las técnicas adecuadas, en el análisis, es decir, es un nexo común en la que intervienen el tratamiento de los datos, la interpretación y predicción de los mismos al igual que la simulación, los cuales nos aportan herramientas que van desde el análisis, predicción y toma de decisiones en los procesos.

## RECOMENDACIONES

Se recomienda para continuar con este estudio de Investigación, realizar como trabajo futuro las siguientes actividades:

**PRIMERA:** Utilizar otros grados de aceros inoxidables para determinar si tienen mejores propiedades mecánicas que sean de utilidad para aplicaciones más severas de desgaste en medios corrosivos.

**SEGUNDA:** Realizar pruebas de fatiga y soldabilidad para determinar la tenacidad con la aplicación de soldaduras de recubrimiento martensítico, de mayor dureza superficial que pudiera determinar una estructura martensítica, pero que carezca de fragilidad para el trabajo a realizar.

**TERCERA:** Realizar un análisis mediante microscopía electrónica de barrido, para determinar la distribución de las distintas fases, los precipitados de carburo de cromo alrededor de los bordes de grano y defectos presentes en el material como inclusiones y determinar una relación entre composición química, microestructura y las propiedades mecánicas. Asimismo, con ensayos complementarios de Rayos X, ultravioleta.



## BIBLIOGRAFÍA

- Mejía, I., Maldonado, C., Bedolla, A., & García, C. J. (2006). Esfuerzos Residuales Generados En La Soldadura De Placas De Acero Inoxidable Aisi 304 Mediante El Proceso Smaw. *Researchgate.Net*, 2006.
- Ricceli, maria gracia, & Goldoni, M. (2020). *Humos de soldadura, un factor de riesgo de enfermedades pulmonares*.
- Camargo-Suarez – 2010 Influencia de la soldabilidad de un acero inoxidable austenítico
- Briones, Roberto 2014Caracterización de los aceros inoxidable. Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales , Volume 34 N° 2 Páginas 306 – 315
- “El soldador y los humos de soldadura”. (OSALAN - Instituto Vasco de Seguridad y Salud Laborales. 2009).
- Marcelino P. Nascimento<sup>1</sup> , Herman J. C. Voorwald<sup>2</sup> , Víctor O. Gamarra-Rosado Efectos Del Proceso De Soldadura Tig En La Resistencia A Ensayos Por Fatiga
- BR Moharana -10 abr. 2017 - ... wave CO2 laser welded dissimilar couple of AISI 304 stainless Steel
- Westin – 2010 Welds in the lean duplex stainless steel LDX 2101 – Effect of microstructure and weld oxides on corrosion properties.
- AWS D 10.18. (2018). Guide for welding ferritic/austenitic duplex stainless steel pipingand tubing
- Tsuchida, N., Kawahata, T., Ishimaru, E., Takahashi, A. (2014). Effects of temperatureand strain rate on tensile properties of a lean duplex stainless steel. ISIJ International, Vol.54, Núm.8, 1971-1977.
- Martikainen, P. (2013). Influence of shielding gases in the welding of metals.. International Journal of Advanced Manufacture Technology, 64, 1411-1421.
- ASTM A240/A240M. (2017). Standard Specification for Chromium and ChromiumNickel Stainless Steel Plate, Sheet, and Strip for Pressure Vessels and for General. Applications.
- Corrosión y Procesos de Corrosión. metalografía - universidad tecnológica de pereira. citado el 22 de agosto de 2017, de: <http://blog.utp.edu.co/metalografia/12-corrosion-y-procesos-de-corrosion/>
- “Riesgos higiénicos existentes en las operaciones de soldadura con arco eléctrico”. (Instituto Cántabro de Seg“Manual de aceros inoxidable para soldadores”. (INDURA, S.A. 2010).

- Influencia de la soldabilidad de un acero inoxidable austenítico [www.scielo.org.co](http://www.scielo.org.co) › scielo  
 › BR Moharana - 2017 -... wave CO2 laser welded dissimilar couple of AISI 304 stainless Steel
- ACERIND S.C., (2006), Soldadura de los aceros Inoxidables, Sección I. Argentina, Buenos Aires. pp. 10 – 12.
- Acosta, A., Monsalve, Y. (2006), Determinación de los valores adecuados de los parámetros de trabajo para una máquina de soldadura por fricción. Trabajo de grado. Universidad de Carabobo, Valencia. pp. 56 – 60.
- AMERICAN WELDING SOCIETY / MANUAL DE SOLDADURA. (1996), Tomo III. 8va edición. Editorial Prentice – Hall Hispanoamericana, S.A.
- Bazán C. E., (1998), Determinación de electrodos y calculo de costos de soldadura de arco asistido por computadora, Piura – Perú. pp. 16 – 21.
- Huamanchumo H, Ricci S. (2006), Estudio del Comportamiento Mecánico del acero Inoxidable Duplex SAF 2507, Ensayado a Tracción a Diferentes Temperaturas. Trabajo de Grado. Universidad de Carabobo, Valencia.
- INFRA / MANUAL DE CONCEPTOS BÁSICOS EN SOLDADURA Y CORTE. (2000). Tomo III. Editorial INFRA, S.A. DE C.V. pp. 38 – 40.
- Maesques, P. V., Modenesi, P. J., (1999), Características del arco de soldadura TIG en diferentes atmósferas, Journal de Revista de Metalurgia, V. 37 (5), pp. 292 – 300.
- METALS HANDBOOK (1972). Vol. 7. “Atlas of microstructures of industrial alloys”. 8va edición. American society for metals.
- Modenesi, P. J., Apolinário, E. R., Pereira, I. M., (2000), TIG welding with single-component fluxes, Journal of Materials Processing Technology, V. 99, pp. 260 – 265.
- Monsalve Gil, Héctor Iván; David Alejandro Mena Herrera, Jorge
- Enrique Giraldo Barrada. (2004). Efecto del amperaje en las propiedades de recubrimientos duros resistentes a la abrasión aplicados por soldadura. Dyna, 71, 144, 151-163.
- Nascimento, M. P., Voorwald, H. J., Gamarra R, V. O., (2003), Efectos del proceso de soldadura TIG en la resistencia a ensayos por fatiga del acero aeronáutico ABNT 4130, Revista latinoamericana de metalurgia y materiales, Vol. 23 N° 2, pp. 36 – 44.
- LINCOLN SOLDADURA DE VENEZUELA C.A. (2008), Material de apoyo del curso de Soldadura TIG. Venezuela, Valencia.
- Pozo, M. J., Cedre, D. E., Rico, T. M., Gaitán, G. M. (2006), Soldadura de cintas extrafinas de cobre mediante el proceso TIG automático. Ponencia COMEC. México, Querétaro.
- Quass J. F. (1970), Hardfacing International, Welding Journal, pp.175 – 182.

- Ramírez, A., Cerpa, S., Mejías, G., León, J. B., Quintero, A., (2006), Soldadura de un acero inoxidable Duplex 2205 por el proceso de soldadura GTAW. Revista latinoamericana de metalurgia y materiales, pp. 44 – 49.
- Rodríguez, Pedro C. (2001), Manual de Soldadura. Primera edición. Editorial Alsina. Argentina, Buenos Aires, pp. 16 – 18.
- SUNARC. (2003), Soldadura TIG. Argentina, Buenos Aires. pp. 3 – 23.
- Cordero, F. Cordero, J. (2005). Determinación de los efectos de la fuerza de arco eléctrico en la sección transversal de la soldadura GTAW con argón en acero inoxidable austenítico 304. Universidad de Carabobo. Trabajo de Grado.
- Pino, A. (2018). Análisis de Materiales. Diagramas tensión deformación. retrieved
- Silva., E. A. M., & López., R. A. C. (2015). Análisis de la resistencia a la tensión y dureza -Esfuerzo (kN/m<sup>2</sup>) Deformación (m) Curva esfuerzo vs deformación.
- Howard, B., C. y Helzer, S., Tecnología Moderna de la Soldadura, Ed. Pearson, pp 4, 2005.
- Krutz, G. W. y Segerlind, L. J., Finite elements analysis of structures, *Welding Journal* 57 (7), pp 211-216, 1978.
- Kasuya, T. y Hashiba, Y., Prediction of hardness distribution in steel heat affected zone, *Science and Technology of Welding and Joining*, Vol. 4 No. 5 1995.
- Nawrocki, J. G., Dupont, J. N., Robino, C. V. y Marder, A. R., The stress-Relief Cracking Susceptibility of a new Ferritic Steel – Part 2 Multiple – pass Heat – affected zone simulations, *Welding Research Supplement*, January, 2001.
- Gil-Mur, F. J, y Manero-Panella, J. M., *Metalografía*, Ed. Ediciones UPS, pp 59-65, 2005.
- Bullón, W. C., Acosta, J. S., Franco, R. R. y Valverde, Q. G., Simulación de un proceso de soldadura mediante un modelo termo-mecánico considerando el esfuerzos residuales utilizando el método de elemento finito, *8 Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica*, 2007.
- Séférián, G Franche D. Práctica de la soldadura autógena / G Franche-D-Séférián; M. Company. -- 7<sup>a</sup> ed . -- México : Gili, 1991. -- 260 p. ; 16 cm.

# ANEXOS

## Anexo 1. FICHA TÉCNICA DE LA VARILLA DE APORTE

CE APORTE TIG (GTAW)

# Lincoln® ER308/308L

Inoxidable • AWS ER308, ER308L

### Características principales

- ▶ Usar en metales de base de composición similar
- ▶ La clasificación dual asegura que el contenido máximo de carbono es 0.03%
- ▶ Q2 Lot®: certificado que muestra la composición real del alambre y el número calculado de ferrita (FN) disponible en línea
- ▶ El contenido de 0.03% de carbono aumenta la resistencia a la corrosión intergranular
- ▶ Identificación por impresión de tinta a lo largo del electrodo

### Aplicaciones típicas

- ▶ Hoja de acero en los metales base correspondientes de acero inoxidable
- ▶ Tubería de alta presión

### Cumplimientos

AWS A5.9/A5.9M: 2006	ER308, ER308L
ASME SFA-A5.9:	ER308, ER308L
EN ISO 14343-B:	SS308L

### Posiciones de soldadura

Todas

### Gas protector

100% Argón

### DIÁMETROS/EMPAQUE

Diámetro in (mm)	1 lb (0.5 kg) Tubo de plástico 10 lb (4.5 kg) caja master	10 lb (4.5 kg) Caja de cartón	50 lb (22.7 kg) in (mm) Caja de cartón
1/16 (1.6)	ED025410	ED025412	ED026655
3/32 (2.4)	ED025413	ED025415	ED026656
1/8 (3.2)	ED025416	ED025418	ED026657

### COMPOSICIÓN DE ALAMBRE: según requisitos de AWS A5.9/A5.9M: 2006

	%C <sup>(4)</sup>	% Cr	&Ni	% Mo	% Mn
Requisitos: AWS ER308L	0.03 <sup>(2)</sup> máx.	19.5 - 22.0	9.0 - 11.0	0.75 máx.	1.0 - 2.5
Resultados de prueba <sup>(1)</sup>	0.02	20.2	9.2	0.03	1.6
	% Si	% P	% S	% Cu	Total de otros
Requisitos: AWS ER308L	0.30 - 0.65	0.03 máx.	0.03 máx.	0.75 máx.	0.50 máx.
Resultados de prueba <sup>(1)</sup>	0.44	0.02	0.02	0.11	0.03

#### IMPORTANTE: SE REQUIERE VENTILACIÓN Y/O ESCAPE ESPECIAL

Los gases del uso normal de algunos productos de soldadura pueden contener cantidades importantes de componentes como cromo y manganeso, que pueden bajar el lineamiento máximo de exposición de 5.0 mg/m<sup>3</sup> para los gases de soldadura general.  
 ANTES DE USAR, LEER Y COMPRENDER LA HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD DE LOS MATERIALES (MATERIAL SAFETY DATA SHEET, MSDS) PARA ESTE PRODUCTO E INFORMACIÓN ESPECÍFICA IMPRESA EN EL EMPAQUE DEL PRODUCTO

(1) Ver el descargo de responsabilidad de los resultados de la prueba en la siguiente página. (2)Requisitos para ER308 es 0.08% máx. de carbono

**COMPOSICIÓN DE ALAMBRE:** según requisitos de AWS A5.9/A5.9M: 2006

	%C <sup>(4)</sup>	% Cr	&Ni	% Mo	% Mn
<b>Requisitos:</b> AWS ER308L	0.03 <sup>(2)</sup> máx.	19.5 - 22.0	9.0 - 11.0	0.75 máx.	1.0 - 2.5
<b>Resultados de prueba</b> <sup>(1)</sup>	0.02	20.2	9.2	0.03	1.6
	% Si	% P	% S	% Cu	Total de otros
<b>Requisitos:</b> AWS ER308L	0.30 - 0.65	0.03 máx.	0.03 máx.	0.75 máx.	0.50 máx.
<b>Resultados de prueba</b> <sup>(1)</sup>	0.44	0.02	0.02	0.11	0.03

IMPORTANTE: SE REQUIERE VENTILACIÓN Y/O ESCAPE ESPECIAL					
Los gases del uso normal de algunos productos de soldadura pueden contener cantidades importantes de componentes como cromo y manganeso, que pueden bajar el lineamiento máximo de exposición de 5.0 mg/m <sup>3</sup> para los gases de soldadura general.					
ANTES DE USAR, LEER Y COMPRENDER LA HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD DE LOS MATERIALES (MATERIAL SAFETY DATA SHEET, MSDS) PARA ESTE PRODUCTO E INFORMACIÓN ESPECÍFICA IMPRESA EN EL EMPAQUE DEL PRODUCTO					
(1) Ver el descargo de responsabilidad de los resultados de la prueba en la siguiente página. (2)Requisitos para ER308 es 0.08% máx. de carbono					

I THE LINCOLN ELECTRIC COMPANY

**Anexo 2: VARILLA TIG ACERO INOXIDABLE 308L**

Condición: Nuevo

Varilla Tig Acero Inoxidable 308L diseñada para soldar aceros inox. austeníticos tipo 304 o 304L con bajo contenido en carbono. Resistente a la corrosión. Recomendado para ser utilizado en un amplio rango de condiciones corrosivas, sin necesidad de tratamiento térmico posterior. Recomendado para almacenamiento de productos químicos y alimenticios.

Aplicaciones: Bombas e intercambiadores de calor. Equipos de fabricación y almacenamiento de productos químicos (ácidos orgánicos diluidos, sales alcalinas, soluciones alcalinas diluidas).

**NORMAS:**

<b>Norma</b>	<b>Clasificación</b>
AWS A5.9	ER 308L
EN ISO 14343-A	W 19 9 L

**PARÁMETROS DE SOLDADURA:**

<b>Diámetro Varilla Tig (mm)</b>	<b>T Caudal (Lt/mim)</b>	<b>Gas Protección</b>
1.0	6-12	Argón
1.2	6-12	Argón
1.6	6-12	Argón
2.0	6-12	Argón
2.4	6-12	Argón

**COMPOSICIÓN QUÍMICA % (VALORES COMUNES):**

<b>C</b>	<b>Mn</b>	<b>Si</b>	<b>Ni</b>	<b>Cr</b>	<b>Ferrita</b>	<b>P</b>	<b>S</b>
<0,02	1,50-2,00	0,70-1,0	9,5-11	19,5-20,5	5-10	<0,02	<0,02

**PROPIEDADES MECÁNICAS:**

<b>Resistencia tracción (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Límite elástico (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Alargamiento 5d (%)</b>	<b>Resiliencia charpy V (J)+20°C</b>
>520	>350	>35	>80

**INDICADO PARA:**

<b>Aceros Inoxidables:</b>
304 - 304L - 308 - 321 y 347

Austeníticos: Estos son los aceros inoxidables al cromo-níquel (tipo 3XX) y al cromo-níquel-manganeso (tipo 2XX). Son esencialmente no magnéticos en la condición de recocido y no endurecen por tratamiento térmico. El contenido total de níquel y cromo es de por lo menos 23%. Se pueden trabajar fácilmente en caliente o en frío. El trabajo en frío les desarrolla una amplia variedad de propiedades mecánicas y, en esta condición, el acero puede llegar a ser ligeramente magnético. Son muy resistentes al impacto y difíciles de maquinar. Estos aceros tienen la mejor resistencia a altas temperaturas y resistencia a la formación de escamas de los aceros inoxidables. Su resistencia a la corrosión suele ser mejor que las de los aceros martensíticos o ferríticos. 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.

## Anexo 3: FICHA TÉCNICA DEL ACERO INOXIDABLE AUSTENÍTICO 304

## FICHA TÉCNICA DEL ACERO INOXIDABLE

TABLA DE CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL ACERO INOXIDABLE		SERIE 300	
		Acero al Cromo - Níquel	Acero al Cromo - Níquel - Molibdeno
DESIGNACIÓN	TIPO AISI	304	316
	COMPOSICIÓN QUÍMICA	C ≤ 0.08%* Si ≤ 1.00% Mn ≤ 2.00% Cr 18% - 20%* Ni 8% - 10,5%*	C ≤ 0.08%* Si ≤ 1.00% Mn ≤ 2.00% Cr 16% - 18%* Ni 10% - 14%* Mo 2% - 2.5%*
PROPIEDADES FÍSICAS	PESO ESPECÍFICO A 20C (DENSIDAD) (g/cm <sup>3</sup> )	7.9	7.95 - 7.98
	MÓDULO DE ELASTICIDAD (N/mm <sup>2</sup> )	193,000	193,000
	ESTRUCTURA	AUSTENÍTICO	AUSTENÍTICO
	CALOR ESPECÍFICO A 20C (J/Kg K)	500	500
	CONDUCTIVIDAD TÉRMICA A 20C/100C (W/m K)	15 / 16	15 / 16
	COEFICIENTE DE DILATACIÓN A 100C (x 10 <sup>6</sup> C <sup>-1</sup> )	16.0 - 17.30	16.02 - 16.5
INTERVALO DE FUSIÓN (C)	1398/1454	1371/1398	
PROPIEDADES ELÉCTRICAS	PERMEABILIDAD ELÉCTRICA EN ESTADO SOLUBLE RECOCIDO	AMAGNÉTICO	AMAGNÉTICO
	CAPACIDAD DE RESISTENCIA ELÉCTRICA A 20C (μΩm)	0.72 - 0.73	0.73 - 0.74
PROPIEDADES MECÁNICAS A 20C	DUREZA BRINELL RECOCIDO HRB/CON DEFORMACIÓN EN FRÍO	130150 / 180330	130185 / -
	DUREZA ROCKWELL RECOCIDO HRB/CON DEFORMACIÓN EN FRÍO	7088 / 1035	7085 / -
	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN RECOCIDO / DEFORMACIÓN EN FRÍO (Rm) (N/mm <sup>2</sup> )	520 - 720 / 540 - 750	540690 / -
	ELASTICIDAD RECOCIDO / CON DEFORMACIÓN EN FRÍO (Rp) (N/mm <sup>2</sup> )	210 / 230	205410 / -
	ELONGACIÓN (A <sub>5</sub> ) MIN (%)	≥ 45	
	RESILIENCIA KCU / KVL (J/cm <sup>2</sup> )	160 / 180	160 / 180
PROPIEDADES MECÁNICAS EN CALIENTE	ELASTICIDAD RP(0.2) A 300C/400C/500C (N/mm <sup>2</sup> )	125 / 97 / 93	140 / 125 / 105
	RP(1) A 300C/400C/500C (N/mm <sup>2</sup> )	147 / 127 / 107	166 / 147 / 127
	LÍMITE DE FLUENCIA A 500C/600C/700C/800C (σ <sub>1/10<sup>5</sup>/t) (N/mm<sup>2</sup>)</sub>	68 / 42 / 14.5 / 4.9	82 / 62 / 20 / 6.5
TRATAMIENT. TÉRMICOS	RECOCIDO COMPLETO RECOCIDO INDUSTRIAL (OC)	ENFR. RÁPIDO 1008/1120	ENFR. RÁPIDO 1008/1120
	TEMPLADO	NO ES POSIBLE	NO ES POSIBLE
	INTERVALO DE FORJA INICIAL / FINAL (C)	1200 / 925	1200 / 925
	FORMACIÓN DE CASCARILLA, SERVICIO CONTINUO / SERVICIO INTERMITENTE	925 / 840	925 / 840
OTRAS PROPIEDADES	SOLDABILIDAD	MUY BUENA	MUY BUENA
	MAQUINABILIDAD COMPARADO CON UN ACERO BESSEMER PARA B. B1112	45%	45%
	EMBUTICIÓN	MUY BUENA	BUENA

\* Son aceptables tolerancias de un 1%



**Anexo 4: TABLA DE CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS, DUREZA  
ROCKWELL Y DUREZA BRINELL PARA LOS ACEROS**

<b>Características Mecánicas</b>				
<b>AISI</b>	<b>Resistencia a la Tracción</b>	<b>Límite Elástico</b>	<b>Dureza</b>	
	<b>Kg/mm<sup>2</sup></b>	<b>Kg/mm<sup>2</sup></b>	<b>H R<sub>b</sub> Máx.</b>	<b>Brinell Máx.</b>
201	70-80	30	95	201
301	52-75	21	88	185
302	52-70	21	88	183
302 B	55-75	21	88	183
303	52-70	21	90	180
304	50-70	21	88	183
304 L	50-65	18	88	183
304 H	75	30	92	183
304 LN	75	30	92	202
305	50-70	20	88	183
308	50-70	21	88	183
309	50-75	25	95	217
309 S	50-75	25	95	217
310	50-75	25	95	217
310 S	50-75	25	95	217
314	50-75	25	95	217
316	50-75	21	95	217
316 L	50-70	18	95	217
316 N	80	35	95	217
316 LN	75	30	95	217
316 Ti	50-78	25	95	217
317	55-75	25	90	217
317 L	80	35	95	217
321	55-75	25	88	183
321 H	75	30	95	217
347	55-75	25	92	201
348	55-75	25	92	201
403-410 S	45-60	24	90	183
405	42-53	25	88	183
410	45-88	30	95	217
416	45-74	24	98	215
420	55-77	33	95	220
430	45-62	25	90	185
430 F	45-63	25	-	185
431	84-92	65	-	270
440 A	65-80	30	95	-
440 B	75-85	40	-	-
446	52-60	31	90	185

## **Anexo 5: NORMA ESTRUCTURAL DE SOLDADURA DE ACEROS INOXIDABLES AWS D1.6**

### **AWS D1.6, Norma estructural de soldadura de aceros inoxidables**

Este código referencia los requerimientos para soldadura de estructuras de aceros inoxidables tales como soportes para recipientes de presión, plataformas y edificios o armaduras. La mayoría de los constructores usa las especificaciones del código AWS D1.1 *Código de soldadura estructural de acero*. Este código no es apropiado ni seguro por numerosas razones: los aceros inoxidables están fuera del alcance del AWS D1.1, los aceros inoxidables tienen diferentes propiedades a los aceros al carbono y a los aceros de baja aleación, y los requerimientos de servicio son diferentes también.

Como resultado el comité D1 de la Asociación Americana de Soldadura (AWS), preparó el código AWS D1.6. La primera edición fue publicada en el año 1999, la segunda en el 2007 y la tercera el 2015 y la última es del 2017.

Este código es principalmente aplicado para aceros inoxidables austeníticos, pero también cubre la soldadura estructural aplicada a cualquiera de las otras cuatro categorías así como a la soldadura entre aceros inoxidables y aceros al carbono o a los de baja aleación, en espesores de 1/16 de pulgada (1.5 mm) a más.

La Cláusula 2 provee información valiosa para diseñadores de estructuras de acero inoxidable. La Tabla 2.1 señala los valores máximos permisibles de resistencia para uniones de acuerdo con el tipo y orientación de la carga aplicada en uniones con penetración completa (CJP), uniones con penetración parcial (PJP), soldadura de filete y tapón.

La cláusula 3 cubre los procedimientos precalificados de soldadura (WPSs) en donde el metal base son los aceros inoxidables austeníticos y junto con los materiales de aporte forman pequeña cantidad de ferrita en la soldadura y, por lo tanto, puede ser usado sin necesidad de calificar un procedimiento. El uso de los WPSs están limitados a procesos de soldadura y detalles de unión especificadas.

La cláusula 4 describe la Calificación de procedimientos de soldadura y personal (apuntaladores, soldadores y operadores de soldadura). Las calificaciones pueden ser hechas en cualquier unión de acero inoxidable o entre acero inoxidable y acero al carbono o acero de baja aleación. Algunas áreas están siendo evaluadas para su revisión e inclusión en la próxima edición.

En la cláusula 5: La fabricación, referencia las cuestiones prácticas sobre la soldadura de los aceros inoxidable, principalmente lo relacionado a la contaminación y la consecuente corrosión. El párrafo 5.2 indica “las propiedades de resistencia a la corrosión de los materiales y las condiciones de servicio de lo fabricado serán consideradas como prioridad en la fabricación”. Luego continúa con las recomendaciones para remover los óxidos de la superficie y concluye diciendo: “Donde la corrosión por picaduras, la corrosión por agrietamiento, corrosión intergranular o la fisuración debido a corrosión por tensión son consideraciones especiales de fabricación que deberán ser especificadas en los documentos contractuales.” Esa cláusula también advierten respecto a evitar el contacto con plomo, zinc u otros materiales con estos componentes debido a la potencial fisuración en caliente.

La importancia de la contaminación es desarrollada en el párrafo 5.2.1 con requerimientos tales como: “discos de amolado, hojas de sierra, hojas, u otras herramientas cortantes que han sido usadas con aceros al carbono no deberán ser usadas en aceros inoxidable. El amolado deberá ser realizado con ruedas abrasivas libres de hierro. “La limpieza de las soldaduras es añadida en el párrafo 5.10 con requerimientos como: “En todos los casos donde se usen escobillas, los alambres de las escobillas serán de materiales de acero inoxidable”.

La cláusula 6: Inspección, está siendo evaluada para una revisión potencial y ser reformada paralelamente al AWS D1.1:2010. Hay dos áreas principales diferentes entre AWS D1.1 y AWS D1.6 con respecto a los ensayos no destructivos. El ensayo por partículas magnéticas (MT) se aborda brevemente en el AWS D1.6 debido a que los aceros inoxidable austeníticos (los que son mayormente usados en la soldadura de aceros inoxidable estructurales) no son magnéticos; sin embargo el párrafo 6.7.7 permite el uso de partículas magnética para los grados de inoxidable ferrítico y martensítico así como para las aleaciones endurecidas por precipitación. Los procedimientos de ensayo por ultrasonido (UT) y sus requerimientos son diferentes en AWS D1.6 a los indicados en AWS D1.1 debido a la mayor dimensión de los granos vistos en los aceros inoxidable austeníticos soldados y sus efectos sobre la resolución e interpretación de las señales UT.

Finalmente la cláusula 7 trata la Soldadura de espárragos y está siendo evaluada para formatearla y presentar una secuencia más lógica de operaciones, e identificar claramente las combinaciones de acero inoxidable y espárragos de acero al carbono/ acero de baja aleación y los metales base que pueden ser soldados.

Mucha gente no se da cuenta de la riqueza sobre la información disponible en AWS D1.6 para la soldadura de aceros inoxidable, independientemente de si

están siendo aplicados a estructuras o no. Hay un número de anexos informativos que merecen una mención.

El anexo F del AWS D1.6: este es un anexo informativo que provee una matriz de metales base y sus metales de aporte sugeridos. Este incluye combinaciones de las cinco categorías de aceros inoxidable así como sus uniones a aceros al carbono y de baja aleación.

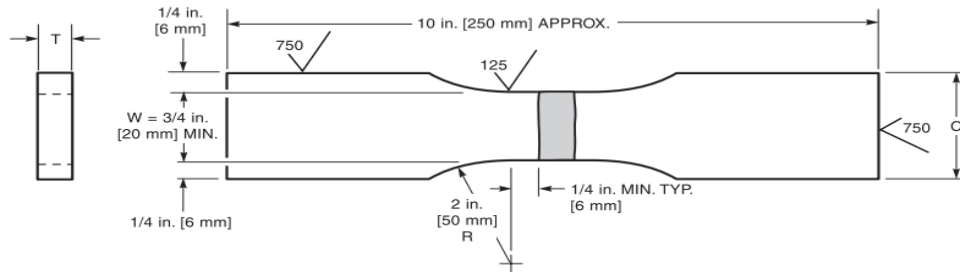
El Anexo I: es una guía para la calificación de procedimientos (WPS) y su uso, este es extremadamente beneficioso ya que tiene una compilación de recomendaciones y guías para la evaluación o ensayo de la calificación de procedimientos. Es especialmente útil en la explicación de las relaciones entre los tratamientos de precalentamiento y post-calentamiento (PWHT) y las propiedades metalúrgicas y mecánicas de las cinco categorías de acero inoxidable. También se agregan cuestiones singulares para las cinco categorías de acero inoxidable, incluyendo la fisuración en caliente de los austeníticos con contenido bajo de ferrita; la fisuración en frío de los martensíticos que incluye la necesidad de precalentamiento; los electrodos de bajo hidrógeno y el tratamiento de post-calentamiento cuando estos se sueldan; el control de aporte de calor para alcanzar una microestructura balanceada de austenita-ferrita en los grados dúplex; y problemas de fragilización. Este anexo también trata la soldadura de materiales disímiles (de diferente naturaleza) esto es entre aceros inoxidables y aceros al carbono o de aceros de baja aleación.

Finalmente el anexo N -Soluciones de Ataque: en este se recomienda una lista de químicos y soluciones para macro-ataque de los aceros inoxidables, tales como los que se necesitan para determinar el tamaño de la soldadura o el perfil de la soldadura de filete o la penetración parcial de las uniones de ranura. Este anexo también incluye precauciones de seguridad.

## Anexo 6: AWS D1.6 NORMAS PARA PROBETAS PLANAS PARA ENSAYO DE TENSION - SOLDADURA

AWS D1.6/D1.6M:2007

CLAUSE 4. QUALIFICATION



T = SPECIMEN THICKNESS OR THICKNESS OF TEST WELDMENT (t) PER NOTE 3.

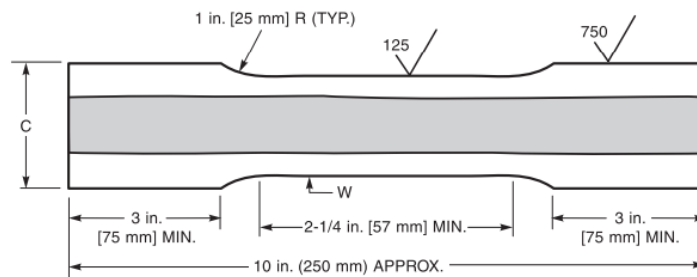
Notes:

1. Thin sheet metal being tested tends to tear and break near the shoulder. In such cases, dimension C shall be no greater than 1-1/3 times W.
2. Weld reinforcement and backing strip, if any, shall be removed flush with the surface of the specimen.
3. When the thickness, T, of the test weldment is such that it would not provide a specimen within the capacity limitations of the available test equipment, the specimen shall be parted through its thickness into as many specimens as required.
4. The length of the reduced sections shall be equal to the width of the widest portion of the weld plus 1/4 in. [6 mm] on each side.

**Figure 4.10—Transverse Rectangular Tension Test Specimen (see 4.6.6.1)**

CLAUSE 4. QUALIFICATION

AWS D1.6/D1.6M:2007



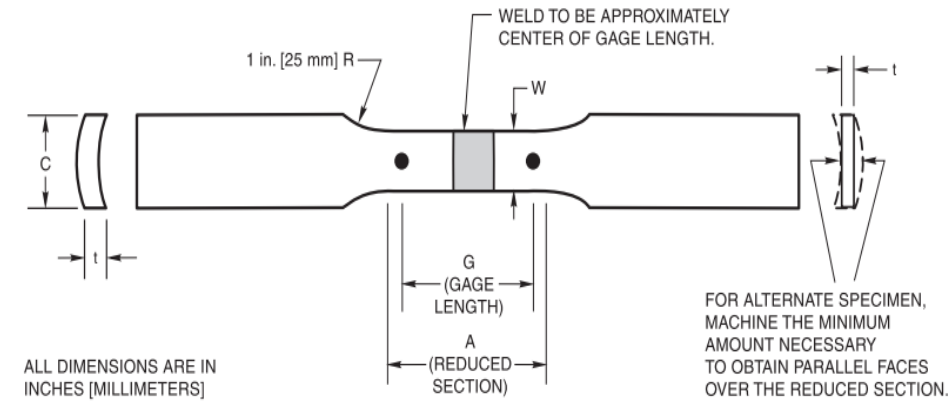
t = THICKNESS OF THE PLATE SECTION AS PER APPLICATION SPECIFICATION.  
T = THICKNESS OF TENSILE SPECIMEN AS PER APPLICATION SPECIFICATION.

	Dimensions			
	Specimen 1		Specimen 2	
	in.	mm	in.	mm
W = width	1 ± 0.05	25 ± 1	1.50 ± 0.125	40 ± 3
B = width of weld	0.50 approx.	12 approx.	0.75 approx.	20 approx.
C = nominal width of section	1.5	40	2.0	50

Notes:

1. The weld reinforcement and backing, if any, shall be removed.
2. The width, B, of the weld may be varied to approximately W/2 by selecting an appropriate specimen thickness, T, and its location within the weld.
3. The width, W, may be varied within reason to accommodate the approximately of B = W/2 if it is not possible to meet the requirements of Note 2.
4. The grip section of the specimen shall be symmetrical, with the centerline of the reduced section within 1/8 in. [3 mm].

**Figure 4.11—Tension Specimens (Longitudinal) (see 4.6.6.1)**



Specimen No.	W, in. [mm]	C, in. [mm]	G, in. [mm]	A (min.), in. [mm]
1	1/2 ± 1/64 [12 ± 0.4]	1-1/16 [27] approx.	2± [50±]	2-1/4 [57]
2	3/4 ± 1/32 [20 ± 1]	1 [25] approx.	2± [50±] 4± [100±]	2-1/4 [57] 4-1/2 [115]
3	1 ± 1/16 [25 ± 2]	1-1/2 [40] approx.	2± [50±] 4± [100±]	1/64 [0.5] 2-1/4 [57] 4-1/2 [115]
4	1-1/2 ± 1/8 [40 ± 3]	2 [50] approx.	2± [50±] 4± [100±] 8± [200±]	2-1/4 [57] 4-1/2 [115] 9 [230]

Notes:

1. The weld reinforcement and backing, if any, shall be removed flush with the specimen.
2. Alternate specimen shall not be used for nominal wall thickness less than 3/8 in. [10 mm].
3. Only grip sections of the specimen may be flattened.
4. In the case of full wall thickness specimens, cross-sectional areas may be calculated by multiplying W and t (t = T).
5. T is the thickness of the test specimen as provided for in the applicable specification.
6. The reduced section shall be parallel within 0.010 in. [0.25 mm] and may have a gradual taper in width from the ends toward the center with the ends not more than 0.010 in. [0.25 mm] wider than the center.
7. The grip section of the specimen shall be symmetrical, with the centerline of the reduced section within 1/8 in. [3 mm].

**Figure 4.12—Tension Specimen for Pipe Size Greater Than 2 in. [50 mm] Nominal Diameter (see 4.6.6.1)**

## 5. Fabrication

### 5.0 General

This clause applies general requirements for the fabrication, assembly, construction or erection of stainless steel products within the scope of this code. The fabricator, contractor or erector (hereafter referred to jointly as the contractor) is cautioned that this code is not a design handbook; it does not eliminate the need for competent engineering judgement of the designer.

### 5.1 Responsibilities

The contractor, and individuals employed by the contractor, working in accordance with this code are responsible for the quality of work and items they produce. They shall evaluate the quality of their work prior to release for subsequent stages of processing or fabrication/erection inspections. Fabrication/erection inspections shall be in accordance with Clause 6 of this code and as prescribed in contract or engineering specifications.

**5.1.1 Processes and WPSs.** Welding shall be performed using either qualified or prequalified WPSs, and shall meet the requirements of Clause 3 or Clause 4 of this code, as applicable.

**5.1.2 Environmental Conditions.** Welding shall not be performed on surfaces that are wet, or in wind velocities that would adversely effect the shielding properties of the welding processes used.

**5.1.2.1** Preheat temperatures shall be sufficient to remove moisture from the joints to be welded, as a minimum. Specific preheat and interpass temperatures are largely dependent on the material types and thickness to be welded. Both preheat and interpass temperatures shall be in accordance with the approved WPS or as otherwise specified or approved by the Engineer.

**5.1.3 Base Materials.** The materials used shall be consistent with good manufacturing and inspection practices. Also see Clause 1 of this code.

**5.1.3.1** Base material discontinuities or defects that exceed material specifications are unacceptable unless repairs are approved by the Engineer. If repairs are approved they shall meet the requirements of 5.2.2, 5.2.3, or 5.13 as applicable.

**5.1.4 Filler Materials and Fluxes.** Certification, storage and handling of filler materials and fluxes shall be controlled as specified in Clause 3, Part D. Filler materials removed from the original packaging in which the filler materials were received shall be protected and storage shall be in accordance with the manufacturer's recommendations.

### 5.2 Preparation of Base Metal

Corrosion resistance properties of materials and the service conditions that fabrications will be exposed to should be considered prior to the actual fabrication. It may be necessary to remove surface oxides from the base metal prior to the welding. Surface oxides may be removed by mechanical methods, chemical cleaning, or other means approved by the Engineer. Contact with lead, zinc, or lead or zinc compounds shall be avoided due to the potential for hot cracking. Where pitting corrosion, crevice corrosion, intergranular corrosion or stress corrosion cracking are anticipated, special fabrication considerations should be specified in the contract documents.

**5.2.1 Surface Preparation.** Acceptable methods of material or joint preparation or repairs may include machining, thermal cutting, gouging, chipping or grinding. Surface conditions shall be within the limits of 5.2.2. Grinding disks, saw blades, files or other cutting tools that have been used on carbon steels shall not be reused on stainless steels. Grinding shall be done with an iron-free abrasive wheel.

**5.2.1.1** Surfaces on which weld metal is to be deposited (including adjacent surfaces) shall be clean, free



from organic contaminants and surface oxides. Surfaces shall be free from material discontinuities including fins, tears, laminations, and cracks that would affect the quality or strength of weldments (see 5.2.2.1).

**5.2.1.2** Grooves produced by thermal cutting, gouging or grinding shall have surfaces equivalent to those specified in 5.2.1.1 above. Groove profile dimensions, as specified on the WPS shall be maintained unless alternate tolerances are approved by the Engineer. Suitable access to the root area shall be provided as applicable.

**5.2.2 Cutting Requirements.** Cutting equipment shall be adjusted in such a way as to make smooth cuts. Notches or gouges on cut surfaces (edges) not exceeding 1/16 in. [2 mm] for materials less than 5/8 in. [16 mm] or 10% of the material thickness (T) for materials 5/8 in. [16 mm] or greater need not be repaired unless specified by the Engineer or contract specifications. Notches or gouges exceeding the above limits shall be repaired as specified below.

**5.2.2.1** Notches, gouges, or other material discontinuities may be repaired by grinding or machining provided the depth of the notch or gouge does not exceed the lesser of 1/8 in. [3 mm] or 20% of the material thickness. Repairs shall be blended smoothly into the surrounding surfaces to a slope not exceeding 1 in. in 4 in. [25 mm in 100 mm].

**5.2.2.2** Notches or gouges exceeding 5.2.2.1 shall be repaired by excavation and welding in accordance with 5.13 unless otherwise directed by the Engineer. Repaired surfaces shall be cleaned to bright metal after completing the repair.

**5.2.2.3** If discontinuities other than notches or gouges are observed during the cutting operation, the indications shall be explored and repaired as required. Excavation of defective areas shall be limited to a depth of T/3 without prior approval of the Engineer.

**5.2.2.4** Defect excavation or repairs exceeding T/3 may be done only with prior approval and direction from the Engineer. Defect exploration or repairs anticipated to exceed a depth of T/3 shall be examined by methods specified by the Engineer to determine the extent of the defect before exceeding a depth of T/3. Welded repairs shall be accomplished in accordance with 5.13.

**5.2.3 Mill Induced Discontinuities.** Mill induced discontinuities observed on the plane surface of material (not cut edges) shall be evaluated, explored, or repaired as specified in applicable material or contract specifications.

**5.2.3.1** Evaluation of mill induced discontinuities shall be performed by ultrasonic examination in accor-

dance with Clause 6 of this code, or as directed by the Engineer or contract specification.

**5.2.3.2** Unacceptable surface defects may be removed by grinding, gouging or machining, provided the remaining thickness of the section is within material specifications, and the depression, after defect removal, is blended uniformly into the surrounding surface. Appropriate NDT methods shall be specified by the Engineer to assure complete defect removal.

**5.2.3.3** Welded repairs of base metals, when required or specified shall be accomplished in accordance with 5.13. As an alternative to repairs, the contractor may replace the materials in question.

**5.2.4 Beam Copes and Weld Access Holes.** All beam copes and weld access holes shall be free of notches or sharp reentrant corners. Beam cope radii and access holes shall provide a smooth transition past the points of tangency of adjacent surfaces.

**5.2.4.1** All weld access holes required to facilitate welding operations shall, where practical, have a length from the edge of the weld preparation or edge of backing (as applicable), 1.5 times the thickness of the material in which the hole is made. The size and shape of access holes shall be adequate for deposition of sound weld metal and provide clearance for weld tabs (see Figure 5.1).

**5.2.4.2** Reentrant corners or cut materials shall be formed to provide a gradual transition with a radius of 1 in. [25 mm] where practical. The reentrant corners may be formed by mechanical or thermal cutting, followed by grinding, if necessary, to meet the surface requirements of 5.2.2.

## 5.3 Assembly

**5.3.1** The Engineer and contractor shall refer to design drawings, contract specifications and Clause 2 of this code as a basis for the detail drawings. All connections shall be fabricated in such a manner as to maintain compliance with this code and contract specifications.

**5.3.2** Assembly and joining of parts to fabrications or built-up members, and welding of reinforcing parts to members shall be done using procedures and sequences that will minimize distortion and shrinkage. Insofar as practical, all welds shall be made in a sequence that will balance the applied heat of welding while the welding progresses (see Clause 2). Joints or groups of joints for which it is especially important that welding sequence and technique be carefully controlled to minimize



shrinkage stresses and distortion shall be clearly identified on the applicable drawings.

**5.3.3** It is the responsibility of the contractor to prepare WPSs and employ fabrication methods capable of producing welds meeting the quality requirements of this code. All welders shall be qualified per Clause 4. A welding sequence and distortion control program shall be prepared by the contractor and evaluated by the Engineer prior to the start of welding if shrinkage or distortion is expected to affect the end use of the fabrication.

**5.3.4** In assemblies, joints expected to have significant shrinkage should be welded before joints expected to have less shrinkage. They should also be welded with as little restraint as possible.

**5.3.5** Welding of martensitic materials where conditions of severe external shrinkage restraint are present shall be welded continuously to completion, or to a point that will ensure freedom from cracking before the joint is allowed to cool below the minimum specified preheat and inter-pass temperature.

**5.3.6** Members to be welded shall be brought into correct alignment and held in position by bolts, clamps, wedges, guy lines, struts, and other suitable devices, or by tack welds until welding has been completed. The use of jigs and fixtures is recommended where practical. Allowances shall be made for warpage and shrinkage.

**5.3.7** All welded shop splices in each component part of a cover-plated beam or built-up member shall be made before welding component parts to other component parts of the member. When making subassembly splices, whether in the shop or field, the welding sequence should be reasonably balanced between the web and flange welds as well as about the major and minor axes of the member.

**5.3.8** Edges of built-up beam and girder webs shall be cut to the prescribed camber with suitable allowance for shrinkage due to cutting and welding.

**5.3.9** Corrections to meet camber tolerances shall be in conformance with procedures approved by the Engineer.

## 5.4 Assembly Tolerances

**5.4.1** Parts to be joined by fillet welds shall be brought into alignment. Fit-up separations 1/16 in. [2 mm] or greater are acceptable provided the fillet weld size is increased by an amount equal to the separation. Fit-up separations greater than 3/16 in. [5 mm] are unacceptable without prior approval by the Engineer and demonstration that the required effective throat has been attained.

**5.4.1.1** The separations between the faying surfaces of lap joints, plug and slot welds, and butt joints landing on a backing shall not exceed 1/16 in. [2 mm].

**5.4.1.2** Where dimensions in rolled shapes do not permit alignment within specified limits (after straightening), corrective actions shall be approved by the Engineer. The use of filler plates is prohibited except as specified on drawings or specifically approved by the Engineer. When approved, the use of filler plates shall be in accordance with 2.7.

**5.4.2** Parts joined by groove welds shall be brought into alignment. The root openings between parts shall be in accordance with Figures 3.4, 3.5, or 3.6, or an approved WPS as applicable. Tolerances for bearing joints shall be in accordance with the applicable contract specifications.

**5.4.3** Parts joined at butt joints shall be carefully aligned. Where parts are effectively restrained against bending due to eccentricity in alignment, offsets which do not exceed the lesser of 10% of the thickness of the thinner part joined, or 1/8 in. [3 mm] are permitted as a departure from the theoretical alignment. For correcting misalignment, parts shall not be drawn in to a slope greater than 1/2 in. [12 mm] in 12 in. [300 mm]. Measurement of offsets shall be based on the centerline of parts unless otherwise shown on the drawings. In the case of tubular products, measurement of offset shall be based on misalignment of internal surfaces.

**5.4.4** Root openings greater than those permitted in Figures 3.4, 3.5, or 3.6 or the approved WPS, but not greater than twice the thickness of the thinner part or 1/2 in. [12 mm], whichever is less, may be corrected by welding to acceptable dimensions prior to joining the parts by welding.

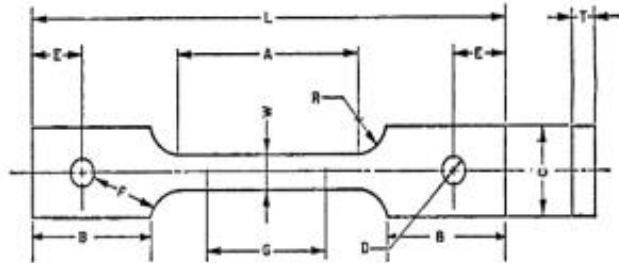
**5.4.5** Root openings greater than permitted by 5.4.4 may be corrected by welding only with approval of the Engineer.

**5.4.6** Heat shall not be applied to form parts or improve alignment unless approved by the Engineer.

## 5.5 Distortion of Members

Members distorted by welding may be straightened by mechanical straightening methods specified and approved by the Engineer. This clause of the code does not prohibit, but makes no provisions for the use of heat straightening of stainless steels with the following exception: If heat straightening is used, it is the Engineer's responsibility to determine the effect that the heat has on corrosion resistance properties of the materials and external stresses of the fabrication. Heat straightening temperatures should not exceed 600°F [315°C] for ferritic,

**Anexo 7: NORMA ASTM E8/E8M – 13<sup>a</sup>. ESQUEMA Y DIMENSIONES ESTANDARIZADAS PARA LAS PROBETAS PLANAS.**



Dimensions, mm [in.]

G—Gauge length	50.0 ± 0.1 [2.000 ± 0.005]
W—Width (Note 1)	12.5 ± 0.2 [0.500 ± 0.010]
T—Thickness, max (Note 2)	16 [0.625]
R—Radius of fillet, min (Note 3)	13 [0.5]
L—Overall length, min	200 [8]
A—Length of reduced section, min	57 [2.25]
B—Length of grip section, min	50 [2]
C—Width of grip section, approximate	50 [2]
D—Diameter of hole for pin, min (Note 4)	13 [0.5]
E—Edge distance from pin, approximate	40 [1.5]
F—Distance from hole to fillet, min	13 [0.5]

NOTE 1—The ends of the reduced section shall differ in width by not more than 0.1 mm [0.002 in.]. There may be a gradual taper in width from the ends to the center, but the width at each end shall be not more than 1 % greater than the width at the center.

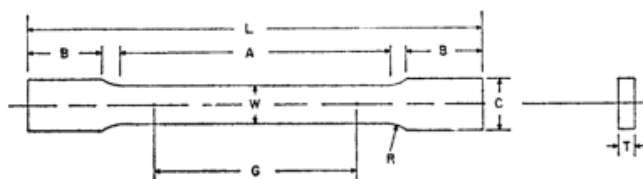
NOTE 2—The dimension *T* is the thickness of the test specimen as stated in the applicable product specifications.

NOTE 3—For some materials, a fillet radius *R* larger than 13 mm [0.500 in.] may be needed.

NOTE 4—Holes must be on center line of reduced section within ± 0.05mm [0.002 in.].

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

## E8/E8M - 13a



NOTE 3—For the three sizes of specimens, the ends of the reduced section shall not differ in width by more than 0.10,

Dimensions

	Standard Specimens		Subsize Specimen
	Plate-Type, 40 mm [1.500 in.] Wide	Sheet-Type, 12.5 mm [0.500 in.] Wide	6 mm [0.250 in.] Wide
	mm [in.]	mm [in.]	mm [in.]
G—Gauge length (Note 1 and Note 2)	200.0 ± 0.2 [8.00 ± 0.01]	50.0 ± 0.1 [2.000 ± 0.005]	25.0 ± 0.1 [1.000 ± 0.003]
W—Width (Note 3 and Note 4)	40.0 ± 2.0 [1.500 ± 0.125, -0.250]	12.5 ± 0.2 [0.500 ± 0.010]	6.0 ± 0.1 [0.250 ± 0.005]
T—Thickness (Note 5)		thickness of material	
R—Radius of fillet, min (Note 6)	25 [1]	12.5 [0.500]	6 [0.250]
L—Overall length, min (Note 2, Note 7, and Note 8)	450 [18]	200 [8]	100 [4]
A—Length of reduced section, min	225 [9]	57 [2.25]	32 [1.25]
B—Length of grip section, min (Note 9)	75 [3]	50 [2]	30 [1.25]
C—Width of grip section, approximate (Note 4 and Note 9)	50 [2]	20 [0.750]	10 [0.375]

0.05 or 0.02 mm [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 1% 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 40 mm [1.500 in.] wide specimens shall be 5 mm [0.188 in.]. Maximum thickness of 12.5 and 6 mm [0.500 and 0.250 in.] wide specimens shall be 19 and 6 mm [0.750 and 0.250 in.], respectively.

NOTE 6—For the 40 mm [1.500 in.] wide specimen, a 13 mm [0.500 in.] minimum radius at the ends of the reduced section is permitted for steel specimens under 690 MPa [100 000 psi] in tensile strength when a profile cutter is used to machine the reduced section.

NOTE 7—The dimension shown is suggested as a minimum. In determining the minimum length, the grips must not extend in to the transition section between Dimensions *A* and *B*, see Note 9.

NOTE 8—To aid in obtaining axial force application during testing of 6-mm [0.250-in.] wide specimens, the overall length should be as large as the material will permit, up to 200 mm [8.00 in.].

NOTE 9—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 12.5 mm [0.500-in.] wide specimens is over 10 mm [0.375 in.], longer grips and correspondingly longer grip sections of the specimen may be necessary to prevent failure in the grip section.

NOTE 10—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

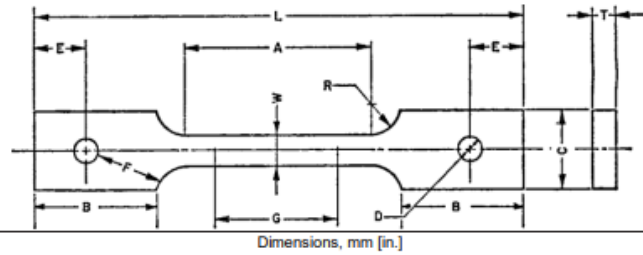
2.5, 1.25 and 0.13 mm [0.10, 0.05 and 0.005 in.], respectively. However, for referee testing and when required by product specifications, the ends of the

12.5 mm [0.500 in.] wide specimen shall be symmetrical within 0.2 mm [0.01 in.].

NOTE 11—For each specimen type, the radii of all fillets shall be equal to each other within a tolerance of 1.25 mm [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 2.5 mm [0.10 in.].

NOTE 12—Specimens with sides parallel throughout their length are permitted, except for referee testing, provided: (a)

E8/E8M - 13a



<i>G</i> —Gauge length	50.0 ± 0.1 [2.000 ± 0.005]
<i>W</i> —Width (Note 1)	12.5 ± 0.2 [0.500 ± 0.010]
<i>T</i> —Thickness, max (Note 2)	16 [0.625]
<i>R</i> —Radius of fillet, min (Note 3)	13 [0.5]
<i>L</i> —Overall length, min	200 [8]
<i>A</i> —Length of reduced section, min	57 [2.25]
<i>B</i> —Length of grip section, min	50 [2]
<i>C</i> —Width of grip section, approximate	50 [2]
<i>D</i> —Diameter of hole for pin, min (Note 4)	13 [0.5]
<i>E</i> —Edge distance from pin, approximate	40 [1.5]
<i>F</i> —Distance from hole to fillet, min	13 [0.5]

NOTE 1—The ends of the reduced section shall differ in width by not more than 0.1 mm [0.002 in.]. There may be a gradual taper in width from ends to the center, but the width at each end shall be not more than 1 % greater than the width at the center.

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

NOTE 3—For some materials, a fillet radius *R* larger than 13 mm [0.500 in.] may be needed.

NOTE 4—Holes must be on center line of reduced section within 6 0.05mm [0.002 in].

NOTE 5—Variations of dimensions *C*, *D*, *E*, *F*, and *L* may be used that will permit failure within the gauge length. **FIG. 7 Pin-Loaded Tension Test Specimen with 50-mm [2-in.] Gauge Length**

6.7.1 *Full Cross Section*—It is permissible to reduce the width of the specimen throughout the test section with abrasive cloth or paper, or by machining sufficiently to facilitate fracture within the gauge marks, but in no case shall the reduced width be less than 90 % of the original. The edges of the midlength of the reduced

a radius of 10 mm [ $\frac{3}{8}$  in.] but not less than 3 mm [ $\frac{1}{8}$  in.] shall be used at the ends of the reduced sections.

6.7.2 Rectangular bar of thickness small enough to fit the grips of the testing machine but of too great width may be reduced in width by cutting to fit the grips, after which the cut surfaces shall be