



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE MECÁNICA ELECTRICA**

“ESTUDIO DE SOLDABILIDAD PARA REEMPLAZO DE LOS ACEROS A36 y  
A572 POR ACERO STRENGTH 700 COMO MATERIAL BASE EN JUNTAS DE  
SEMIRREMOLQUES”

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO**

**AUTOR:**

Romero Gutierrez Flavio Reanto (ORCID: 0000-0002-4143-7554)

**ASESOR:**

Mg. Jorge Inciso Vásquez (ORCID: 0000-0001-5734-040X)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Estándares de aplicación de soldadura

Trujillo – Perú

2019

## DEDICATORIA

*A Dios, por darme la oportunidad de vivir, por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el período de estudio.*

*A mis amados padres Alejandro, Edita y hermana Claudia por ser el pilar fundamental en todo lo que soy. Todo este trabajo ha sido posible gracias a ellos.  
A mi mamá Rosa, que desde el cielo vela por nosotros*

## **AGRADECIMIENTO**

Debo saludar a la institución que para mí representa el espíritu de los estudiantes y a la Escuela Ingeniería Mecánica, y por acogerme 5 años de mi vida que fueron fundamentales en mi formación profesional para así buscar la excelencia en mi especialidad.

A mi familia por ser incondicionales en todo momento y ayudarme en todo para poder lograr con mis metas y objetivos, ya que ellos son mi soporte para poder salir adelante.

Al Dr. Jorge Olortegui Yume profesor especialista en Ingeniería Mecánica. Por la asesoría brindada y el apoyo que se me vino brindando para poder culminar con la tesis satisfactoriamente.

Al Ingeniero Jorge Vera Alvarado, director de escuela de Ingeniería Metalurgia de la UNT, por el apoyo brindado para poder realizar los ensayos correspondientes en sus instalaciones

A la empresa RMB SATECI. Por darme la oportunidad de desarrollar el presente tema de tesis mediante los materiales que se están usando diariamente en fabricación de semirremolques.

Al personal de producción por el apoyo incondicional para la preparación y soldeo de las probetas que usaremos en el estudio del desarrollo de la tesis.

De igual manera agradezco a mis compañeros de la universidad, que conocí durante estos 5 años: ya que con cada uno de ellos tengo una historia y un aprendizaje bueno que contar.

## **PRESENTACIÓN**

Señores Miembros del Jurado:

En cumplimiento del Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo presento ante ustedes la Tesis titulada **“ESTUDIO DE SOLDABILIDAD PARA REEMPLAZO DE LOS ACEROS A572/A36 POR ACERO STRENX 700 COMO MATERIAL BASE EN JUNTAS DE SEMIRREMOLQUES”** la misma que someto a vuestra consideración y espero que cumpla con los requisitos de aprobación para obtener el título Profesional de Ingeniero Mecánico.

El Autor

## ÍNDICE

ÍNDICE .....	V
RESUMEN .....	VIII
ABSTRACT .....	X
I. INTRODUCCIÓN.....	2
I.1 REALIDAD PROBLEMÁTICA .....	2
I.2 TRABAJOS PREVIOS .....	7
I.3 TEORÍAS RELACIONADAS AL TEMA .....	10
I.3.1 LOS ACEROS.....	10
I.3.2 ACERO ESTRUCTURAL .....	10
I.3.3 CLASIFICACIÓN DE LOS ACEROS .....	12
I.3.4 ACEROS BAJO CARBONO.....	12
I.3.5 ACEROS MEDIO CARBONO.....	14
I.3.6 ACEROS ALTO CARBONO.....	14
I.3.7 ACERO ASTM A 572.....	14
I.3.8 ACERO ASTM A36 .....	17
I.3.9 ACERO STRENGTH 700.....	17
I.3.10 SOLDADURA.....	20
I.3.11 SOLDABILIDAD. ....	21
I.3.13 CARBONO EQUIVALENTE .....	25
I.3.14 PROCESOS DE SOLDADURA .....	28
I.3.15 Soldeo por arco metálico con electrodo revestido (SMAW).....	29
I.3.16 Soldeo por arco metálico y gas (GMAW) .....	30
I.3.17 Soldeo por arco con núcleo de flux (FCAW).....	31
I.3.19 Soldeo por arco sumergido (SAW) Submerged Arc Welding.....	35
I.3.20 Discontinuidades Y Defectos En Uniones Soldadas .....	36
I.3.21 ENSAYOS EN CORDONES DE SOLDADURA MIG .....	43
I.3.22 ENSAYOS DE LIQUIDOS PENETRANTES .....	44
I.3.23 Ensayo de Corriente de Eddy.....	46
I.3.24 Ensayo de Ultrasonido .....	48
I.3.25 Ensayo de Metalografía.....	49

I.3.26	ENSAYO DE DUREZA VICKER.....	53
I.3.27	Ensayo de Dobles.....	57
I.4	FORMULACION DEL PROBLEMA.....	59
I.5	JUSTIFICACION DEL ESTUDIO.....	59
I.5.1	Justificación Técnica.....	59
I.5.2	Justificación Económica.....	60
I.5.3	Justificación Institucional.....	60
I.5.4	Justificación Socio Ambiental.....	61
I.6	HIPOTESIS.....	61
I.7	OBJETIVOS.....	61
I.7.1	Objetivo General.....	61
I.7.2	Objetivos Específicos.....	61
II.	METODO.....	64
II.1	DISEÑO DE INVESTIGACION.....	64
2.1.2	Instalaciones.....	64
II.2	VARIABLES Y OPERACIONALIZACION.....	65
2.1.1	Variables independientes.....	65
2.1.2	Variables Dependientes.....	65
2.1.3	Variables Intervinientes.....	65
II.3	POBLACION MUESTRA.....	65
2.4.	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS, VALIDEZ Y CONFIABILIDAD.....	66
2.4.1	Equipos e instrumentos.....	66
2.4.2	Material adicional.....	68
III.	RESULTADOS.....	71
III.1	Visita y entrevistas en la empresa.....	71
III.2	Normativa asociada a la soldabilidad de Aceros Estructurales.....	76
III.3	Criterios de Soldabilidad y Ensayos.....	77
III.4	Manufactura de probetas para ensayos.....	77
III.4.1	Ensayo De Líquidos Penetrantes.....	78
III.4.2	Ensayo de Corrientes Eddy.....	79
III.4.3	Ensayo de Ultrasonido.....	81
III.4.4	Ensayo de Dureza Vickers.....	82
III.4.5	Ensayo de Metalografía.....	83

III.4.6	Ensayo de Doblez.....	84
III.4.7	Cuadro comparativo condensado de soldabilidad. ....	86
III.5	Simulación Numérica Comparativa de la Estructura del Semirremolque para analizar ventaja económica.....	88
III.6	Simulación de la Estructura del Semirremolque .....	89
IV.	DISCUSION .....	95
V.	CONCLUSIONES.....	97
VI.	RECOMENDACIONES .....	98
I.	REFERENCIAS .....	99
ANEXOS	.....	103
ANEXO 1	– Formato de Entrevista Realizada al Personal de la Empresa RMB SATECI SAC	103
ANEXO 2	- FICHA TECNICA ACERO ASTM A36.....	105
ANEXO 3	- FICHA TECNICA ACERO ASTM A572.....	106
ANEXO 4	- FICHA TECNICA ACERO STRENX 700 .....	107
ANEXO 5	- FICHA TÉCNICA DE ELECTRODO MIG-MAG MERIT S - 6.....	108
ANEXO 6	- FICHA TÉCNICA DE MAQUINA DE SOLDAR LINCOLN S 350.....	109
ANEXO 7	- FICHA TÉCNICA DE GASES PROECTORES AR – CO2.....	110
ANEXO 8	- PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA ACERO Strenx 700.....	111
ANEXO 9	- PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA ACERO ASTM A36 .....	112
ANEXO 10	- PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA ACERO ASTM A572 .....	113
ANEXO 11	- PROCEDIMIENTOS DE ENSAYO DE LÍQUIDOS PENETRANTES .....	114
ANEXO 12	- PROCEDIMIENTOS DE ENSAYO CORRIENTE EDDY .....	115
ANEXO 13	- PROCEDIMIENTOS DE ENSAYO DE ULTRASONIDO .....	116
ANEXO 14	- PROCEDIMIENTOS DE ENSAYO DE DUREZA VICKERS .....	117
ANEXO 15	- PROCEDIMIENTOS DE ENSAYO DE DUREZA METALOGRAFIA.....	118
ANEXO 16	- PROCEDIMIENTOS DE ENSAYO DE DOBLES .....	119
ANEXO 17	- FICHA TÉCNICA DE LÍQUIDOS PENETRANTES .....	120
ANEXO 18	- FICHA TÉCNICA DE ENSAYO CORRIENTE DE EDDY .....	121
ANEXO 19	- Código para Soldadura Estructural - Acero ANSI/AWS D1.1 2000.....	122
ANEXO 20	- Norma AWS D1.1 2010 Sección V – Tabla 5.2.....	123
ANEXO 21	- Hoja de análisis de ensayos de dureza en las chapas ASTM A36.....	124
ANEXO 22	- Hoja de análisis de ensayos de dureza en las chapas ASTM A572 .....	125
ANEXO 23	- Hoja de análisis de ensayos de dureza en STRENX/DOMEX 700 .....	126
ANEXO 24	- Resultados de ensayos de Metalografía .....	129

ANEXO 25 -Resultados de ensayo de Corriente Eddy .....	132
ANEXO 26 - Resultados de ensayo de Ultrasonido .....	135
ANEXO 27 – Hoja de análisis de ensayos de dureza ASTM A572.....	138
ANEXO 28 - Hoja de análisis de ensayos de Metalografía según norma ASTM.....	139
ANEXO 29 - FICHA TECNICA DE MAQUINA DE CORRIENTE EDDY .....	140
ANEXO 30 - FICHA TECNICA DE MAQUINA DE ULTRASONIDO .....	141
ANEXO 31 - FICHA TECNICA DE MAQUINA DE DUREZA VICKERS .....	142
ANEXO 32 - FICHA TECNICA DE MAQUINA DE METALOGRAFIA .....	143

## **RESUMEN**

El presente trabajo de investigación es el Estudio comparativo de la soldabilidad de los aceros ASTM A36, A572 y STRENX 700 en juntas soldadas para semirremolques.

El presente trabajo se inició con el empleo de 5 entrevistas a la empresa RMB SATECI, de las cuales se obtuvieron datos relacionados a los requerimientos para dicha máquina, estos datos posteriormente fueron condensados en una tabla de ingeniería con los rangos extraídos de las conclusiones de las entrevistas. Se realizó una búsqueda de normativa, encontrándose solamente normativa relacionada al proceso de fabricación de las probetas que fueron usadas durante los ensayos. Los ensayos para evaluar la soldabilidad se han realizado bajo la norma AWS D 1.1 se han establecido las especificaciones de los procedimientos de soldadura, utilizando probetas cupón de 4" x 8" soldadura de canal y junta a tope en "V". El proceso de soldadura que se utilizó es el GMAW. Con materiales base: Strenx 700, comparándolos al ASTM A36 y ASTM A572. Los resultados muestran que los tres tipos de acero tienen una buena soldabilidad, de acuerdo con los ensayos destructivos y no destructivos realizados, sin embargo, el acero STRENX 700 tiene mejores propiedades de resistencia y dureza, respecto a los aceros ASTM A572 y ASTM A36, esto es ventajoso ya que posibilita remplazar a los aceros estructurales por el STRENX 700, satisfaciéndose la misma demanda de carga con menores espesores en la fabricación de vigas de semirremolque con múltiples beneficios.

Palabras Claves: Soldabilidad, Strenx 700, Ensayos, AWS.D1.1, Semirremolques, ASTM A36/A572.

## **ABSTRACT**

The present research work is the Comparative Study of the weldability of ASTM A36, A572 and STRENX 700 steels in welded joints for semi-trailers.

This work began with the use of 5 interviews with the RMB SATECI company, from which data related to the requirements for said machine were obtained, these data were subsequently condensed in an engineering table with the ranges extracted from the conclusions of the interviews. A normative search was performed, finding only regulations related to the manufacturing process of the specimens that were used during the tests. The tests to evaluate the weldability have been carried out under the AWS D 1.1 standard, the specifications of the welding procedures have been established, using coupon specimens of 4" x 8" channel welding and butt joint in "V". The welding process that was used is the GMAW. With base materials: Strenx 700, comparing them to ASTM A36 and ASTM A572. The results show that the three types of steel have a good weldability, according to the destructive and non-destructive tests carried out, however, STRENX 700 steel has better strength and hardness properties, compared to ASTM A572 and ASTM A36 steels, This is advantageous since it makes it possible to replace the structural steels with the STRENX 700, satisfying the same load demand with lower thicknesses in the manufacture of semi-trailer beams with multiple benefits.

Keywords: Weldability, Strenx 700, Tests, AWS.D1.1, Semitrailers, ASTM A36 / A572.

# INTRODUCCIÓN

## **I. INTRODUCCIÓN**

### **I.1 REALIDAD PROBLEMATICA**

La alta capacidad que existe en las compañías en todo el mundo ha motivado el crecimiento de distinta tecnología para que disminuyan precios, retardando la vida apropiada del equipo, por lo cual han ido evolucionando estudios instruidos al descenso de falla en la maquinaria a lo largo de las fabricaciones y servicios, utilizan grandes medidas del proceso de conexión como técnica de producciones y recuperaciones de un elemento estructural (Exsa, 2002; Salazar, 2003).

América Latina está produciendo alrededor del 5% del acero del mundo. Para ello, la industria del acero está empleando a casi 225.000 individuos de manera directa, en más de 160 plantas productivas que se están distribuyendo a lo largo de todo el continente. Sin embargo, asimismo, la fundición es una gran multiplicadora de empleos. De acuerdo con una estimación de worldsteel -las asociaciones que reúnen a las industrias a niveles globales-, los números de empleo relacionado a las cadenas de valores del acero de Latinoamérica supera los 5,5 millones, cuando se integra el empleo indirecto. El consumo per cápita de acero de un país o una región es una versión apropiada de sus niveles de vida y crecimiento. Tal cual, la sociedad más avanzada, es a su vez la que más dosis de acero consume. Ahora, los consumos promedios mundiales per cápita anuales de acero es de 225 kg. América Latina aún se encuentran por debajo de dichos promedios: 112 kg/año por habitantes. Con una población mayormente de jóvenes, con unas cifras crecientes de su habitante que se integra a su clase media y a los consumos, con una excelente fuente de fuerza y abundante recurso natural, América Latina es un mundo que asegura futuros brillantes y sustentables. Las industrias del acero están en los centros de las estrategias que se solicitan para crearlo (Alacero, 2019).

Actualmente, el Perú está pasando unos periodos en lo que las industrias metales mecánicas (estructura civil, automotriz y mineras) se está ampliando constantemente, solicitando los gastos masivos de componente y maquinarias, que está sometida a una severa condición de labores, impactos y abrasiones que se deben al material presente en la mina, los cuales motivan a que sigan innovando para poder encontrar

nuevos diseños, materiales base y de aporte el cual sea más fácil de trabajar. El consumo de acero es impredecible y participa en alguna de la edificación moderna que exige unas buenas resistencias y economías en sus diseños (Aceros especiales, 2006 y SSAB 2010:1).

Unos de los principales productos siderúrgicos a nivel nacional es el acero, que es un aproximado el 90% de las producciones de acero al carbono y el 10% acero aleado. Sus niveles de productividad y de comerciar el acero en el Perú es uno el cual más ha aumentado en sus niveles de América del Sur en menos de diez años (2007-2016), así arroja de los últimos reportes elaborados por la Asociación Latinoamericana del Acero (Alacero). Los mayores fortalecimientos de la industria han ido trasladando al país a subir 5 categorías y colocarse en el 2do lugar por adquirir per cápita de acero en América del Sur (123 kg/ habitante), solo por debajo de Chile, donde el adquireminto per cápita de estos metales se ubica en 147 kg el año pasado (Alacero, 2019).

Allá por el 2007 nuestro país se encontraba en la séptima posición, con un consumo per cápita de 54,5 kg/ habitante.

**AMÉRICA LATINA: PRODUCCIÓN DE ACERO CRUDO POR PAÍSES**  
LATIN AMERICA: CRUDE STEEL PRODUCTION BY COUNTRY

Miles de toneladas / Thousand tons

País / Country	2014	2015	2016	2017	2018 <sup>(E)</sup>	Var. '18/'17
Brasil / Brazil	33.897	33.256	31.275	34.365	35.209	2%
México / Mexico	18.930	18.228	18.811	19.924	20.694	4%
Argentina	5.488	5.028	4.126	4.624	5.458	18%
Perú / Peru	1.078	1.082	1.168	1.207	1.240	3%
Chile	1.118	1.358	1.272	1.253	1.157	-8%
Colombia	1.079	1.112	1.153	1.158	1.098	-5%
Ecuador	667	720	576	561	583	4%
Guatemala	395	403	314	294	300	2%
Cuba	256	284	244	221	225	2%
Venezuela	1.485	1.345	553	444	173	-61%
El Salvador	121	124	100	96	99	3%
Uruguay	94	97	61	58	60	4%
Otros / Other Latam	638	639	70	24	25	4%
<b>Total</b>	<b>65.247</b>	<b>63.676</b>	<b>59.723</b>	<b>64.229</b>	<b>66.323</b>	<b>3%</b>

FUENTE / SOURCE: ALACERO  
(E) 2018 ESTIMADO EN BASE A LOS 8 PRIMEROS MESES / (E) 2018 ESTIMATIONS ARE BASED ON THE FIRST 8 MONTHS  
OTROS LATAM INCLUYE A PARAGUAY Y TRINIDAD & TOBAGO / OTHER LATAM INCLUDES PARAGUAY AND TRINIDAD & TOBAGO

Figura 1. Consumo De Acero En Latinoamérica

Fuente: Alacero (2019)

Sin embargo, Alacero 2019 informa que el nivel actual de gastos de acero per cápita continúa por debajo del promedio mundial.

"[Esto es] una señal de los caminos que aún quedan por recorrer", indican. Pero ¿qué podría explicar la evolución del consumo? (Alacero, 2019).

EL CONSUMO PER CÁPITA CONSIDERA LA PRODUCCIÓN LOCAL E IMPORTACIÓN. De acuerdo con la memoria anual de Aceros Arequipa, fundición que alcanza el 57% de participaciones de los mercados, el dinamismo de los sectores de construcciones entre el 2007 y 2008 respondieron a los crecimientos de las autoconstrucciones y al crecimiento de un diverso proyecto privado, lo que influye en el gaso del acero (Alacero, 2019).

RMB SATECI, es una compañía de capital peruano con más de 60 años de experiencias líderes en los sectores industriales metales mecánicos, especialistas en las fabricaciones de carrocería para los transportes de cargas pesadas diversas. RMB SATECI es una de las únicas empresas de los sectores carroceros en el Perú que cuentan con la certificación de calidad ISO 9001 Y OHSAS 18001. La propuesta de valor es caracterizada por fortalecer las máximas disponibilidades operativas de la unidad de transportes que el cliente necesita, como mejor producto al cliente, entregas a tiempo y respaldo de post venta, soportado por sus procesos de seguridad, calidad, ingeniería, innovación y cuidado del medio ambiente. Se ofrece el mejor servicio al cliente, asesorándolos técnica y comercial a partir del principio de su proyecto, y está presente antes y luego de las entregas de su unidad. Cuenta con equipos de alta tecnología y una cadena productiva. RMB SATECI fabrica una gran variedad de productos dividido en tres grupos: SUPERESTRUCTURA (Tolvas, Cisternas, Hormigoneras, Compactadoras), SEMIRREMOLQUES (Volquetes, Cisternas, Plataformas, Porta Contenedores, Cañeros, Cama bajas), REMOLQUE (Volquetes)

Entre el acero más común que se usa en las fabricaciones de vigas mediante soldadura en semirremolques en la empresa RMB Sateci son el ASTM A36 y ASTM A572.

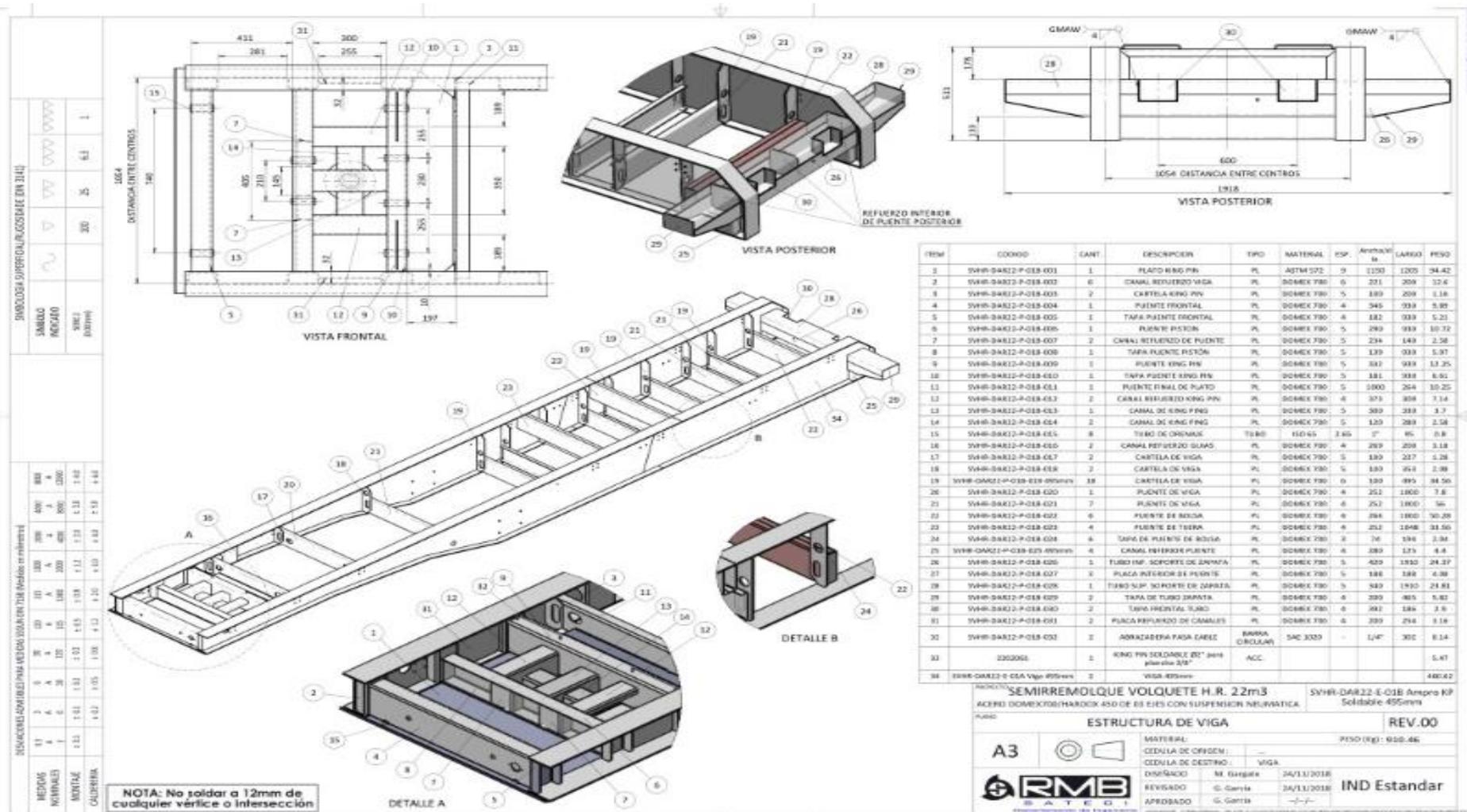


Figura 2. Viga semirremolque volquete de 22m<sup>3</sup> - 2016

Fuente: RMB SATECI (2016)

Dada la constante búsqueda de reducción de carga muerta con el correspondiente incremento en carga útil en la empresa, la gerencia ha estado especulando la posibilidad de migración en el material de la estructura hacía aceros de última generación, esto es, con mayor resistencia y prestaciones dinámicas más interesantes. Bajo esta óptica la empresa ha decidido investigar la posibilidad de usar el acero STRENX 700 debido a su elevado termino de sensibilidad, es más fuerte que los aceros ordinarios, por ello, podrán reducirse la pesadez de su producto si rebaja las resistencias, o alternativas, no cambia la pesadez, pero que mejoren su característica (Strenx, 2019).

El acero estructural Domex 700 promete al fabricante mayores rentabilidades globales. A favor de sus mayores fuerzas, no es necesario mayores materiales para que consigan las mismas resistencias. En consecuencia, logra que se fabrique un producto de disminuida pesadez; y unos productos más livianos continuamente son más atractivos para los usuarios finales. Esto les permiten que se incremente la venta y se obtenga unos mejores precios por unidades vendidas (Strenx, 2019).

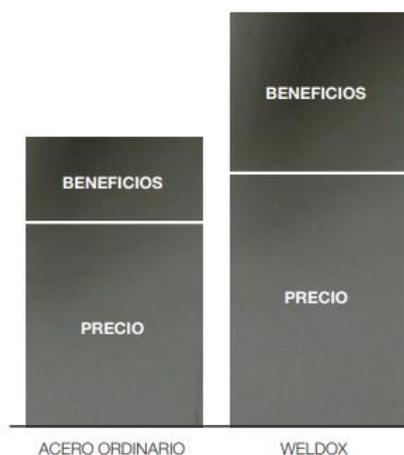


Figura 3. Comparativo Strenx/Weldox – Acero ordinario

Fuente: CGA (2019)

Strenx/Domex mantiene un costo muy elevado por toneladas, sino que aumentan su beneficio. En este trabajo se realizará el estudio comparativo de soldabilidad en estructuras de los aceros ASTM A36 y ASTM A572 versus el acero candidato STRENX 700 con la intención de recomendar el uso de este último para la mejora de la capacidad de carga.

En este trabajo realizaremos un estudio experimental comparativo de la conexión del acero ASTM A36, ASTM A572 y STREX 700 para evaluar la posibilidad de reemplazo de los dos primeros por el tercero en su aplicación de vigas de semirremolque.

## **I.2 TRABAJOS PREVIOS**

Se consideran como trabajos de investigación previos al presente documento a los que se detallan a continuación.

**Luna (2015)**, Estudio para obtener el título de Ingeniero Mecánico en la Pontificia Universidad Católica del Perú: “Evaluaciones de los procedimientos de soldaduras de las uniones disímiles entre aceros API 5L X70 PSL1 Y ATSM A707 L5 F65”. En esta labor se evalúan las especificaciones de los procedimientos de soldaduras para las uniones disímiles entre correas y unas tuberías de material API 5L X70 PSL1 Y ASTM A707 L5 F65 (no homologados por ASME) los procedimientos de soldadura fueron realizados por procesos GMAW Y SMAW, los primeros para que pasen raíces y los segundos para el pase de rellenos, los objetivos del estudio es calificar los procedimientos de soldaduras para las uniones entre correas y tuberías, con el objetivo que se implementen su sistema de transporte. Las caracterizaciones de los materiales de apoyo se efectúan mediante un ensayo de estudios químicos y de tracciones. Así mismo se realiza un ensayo de calificaciones de los procedimientos de soldaduras. De los cuales se extraen 2 cañerías para un ensayo de arrastre, 4 cañerías para ensayo de pliegues laterales y 9 cañerías para ensayo de impactos. Por otra parte, se realiza un ensayo de inspecciones visuales y de macrografías, el cual nos revela discontinuidad en los cordones que afectaran las calidades de los mismos. Además, las bases del resultado obtenido se concluyen que, conforme lo acordado en los códigos ASME sección IX los procedimientos de soldaduras propuestas se encuentran calificados y, en consecuencia, las ejecuciones de las soldaduras entre correa y tubería mencionada deben efectuarse en servicio de dichos procedimientos.

**Pajuelo (2009)**, Estudio para obtener el título de Ingeniero Mecánico en la Pontificia Universidad Católica del Perú: “Evaluaciones del proceso de soldadura

TIG con y sin aportes en la plancha de acero estructurales” Los trabajos propuestos muestran los estudios comparativos de los procesos de soldaduras GTAW (TIG) empleando planchas de 2 mm de espesor de acero estructural A36. Los objetivos principales son de que se comparen una característica y propiedad de unión soldada con y sin materiales de aportes que utiliza los procesos GTAW. Se hacen 4 bonos, 2 sin materiales de aportes con 1 y 2 pasadas, y los otros 2 emplean aportes ER70S6 con 1 y 2 pasadas, los estudios de la característica y propiedad del cupón soldado se realiza mediante un ensayo de tracciones ensayo de micro durezas Vickers, ensayo de doblados y por último metalografías y caracterizaciones micro estructurales a la probeta obtenida del cupón soldado y de los materiales centrales utilizados. En el ensayo de tracciones del resultado de la probeta soldada sin materiales de aportes con unas pasadas alcanza levemente mayor valor en esfuerzos máximos, en esfuerzos de fluencias y elongaciones. En el ensayo de micro durezas Vickers la probeta sin materiales de aportes alcanza durezas en los centros de las soldaduras similares a la probeta soldada con materiales de aportes. En el ensayo de doblaje, de cara como de raíz, toda la probeta pasa la prueba. Además de las bases del resultado obtenido se concluye que para estos casos de uniones de plancha de acero ASTM A36 de 2 mm de espesor mediante soldaduras GTAW, se pueden ir utilizando cualquiera de los 2 métodos, con materiales de aportes o sin materiales de aportes. Los procesos sin materiales de aportes con 1 sola sustentación resultan ventajosos, pues cumplen con la propiedad mecánica requerida que alcanza un excelente valor y son beneficiosos porque disminuyen precios al no utilizarse materiales de aportes y al aumento de las velocidades de soldeos.

**Otiniano (2016)**, Estudio para optar el título de Ingeniero Mecánico Electricista en la Universidad Cesar Vallejo: “Análisis y determinación de falla en las uniones soldadas del semirremolque volquete minero de 22 m<sup>3</sup> en la empresa Consermet S.A.C” En su tesis realizada, analiza y observa fallas en los semirremolques volquetes de 22m<sup>3</sup> en la empresa Consermet, lo cual es perjudicial en toda empresa, por lo que busca ver y analizar una solución mediante los aceros que usa en su unidad, lo realiza mediante ensayos destructivos ED y ensayo no destructivo END. (Líquido Penetrante, Prueba Ultrasonido – Emisión acústica, Partícula Magnética, Radiografía, Corriente de Eddy, Termografías)

**Hurtado (2011)**, Estudio para obtener el título de Ingeniero Mecánico en la Universidad Pontificia Universidad Católica del Perú. “Estudio de la soldabilidad de barras corrugadas de acero para concreto reforzada BELGO 60”. Dicho estudio tiene el objetivo de que se verifique la soldadura de la barra corrugada de acero para concretos reforzados BELGO 60, de elaboración brasilera, conforme el requerimiento de la norma ASTM A 615 Y ASTM A 706, se plantean los presentes trabajos. Esta barra es de acero de medias aleaciones para concretos reforzados orientada a una aplicación donde la propiedad mecánica y las composiciones químicas está limitada por el requerimiento de las normas. Estos objetos de estudios establecen el procedimiento de soldaduras para la barra corrugada, como se sigue la recomendación de los códigos ANSI/AWS D1.4 – 2005. Los tipos de juntas estudiados en las juntas directas a topes – soldaduras canales V simples, posiciones de soldaduras 1G, el diámetro y la barra objetos de estos estudios son a) 3/8 b) 5/8 c) 3/4 y d) 1” El ensayo realizado fue: Conforme requerimientos de códigos; inspecciones visuales, tracciones y macro ataques. Complementario; barridos de durezas y micrografías. Seguidamente de los estudios se concluyen que la barra corrugada de acero para concretos reforzados BELGO 60, cumple con el requerimiento de la norma ASTM A 615 y ASTM A 706, de tal manera puede ser unidad por soldaduras continuando el procedimiento de soldaduras propuestas, manteniendo la siguiente recomendación: a) Emplean unas técnicas de soldeos oscilantes que permitan que se refuerce las uniones en el mínimo número de pasadas, para que se garanticen unos adecuados aportes del calor b) De inmediato luego que se termine las soldaduras de las uniones cubran las juntas para que se reduzcan las velocidades de enfriamientos y previniendo las formaciones de la estructura dura como la martensita.

## I.3 TEORIAS RELACIONADAS AL TEMA

### I.3.1 LOS ACEROS

El acero es una aleación principal de Fe - C y que pueden disponer otro elemento en sus composiciones y/o tratamiento térmico, tal como Cr, Mo, entre otros. También, cabe recalcar que contiene a lo más de 2% de C. El acero es fácil de deformarlo, debido a que tiene elevadas ductilidades. La soldadura del acero depende en altos grados de los porcentajes de carbono que contengan. A mayores cantidades del carbono presentes en las aleaciones se dificultan las soldaduras y a menor carbono aumentan las soldaduras de los materiales (Lean, 2008).

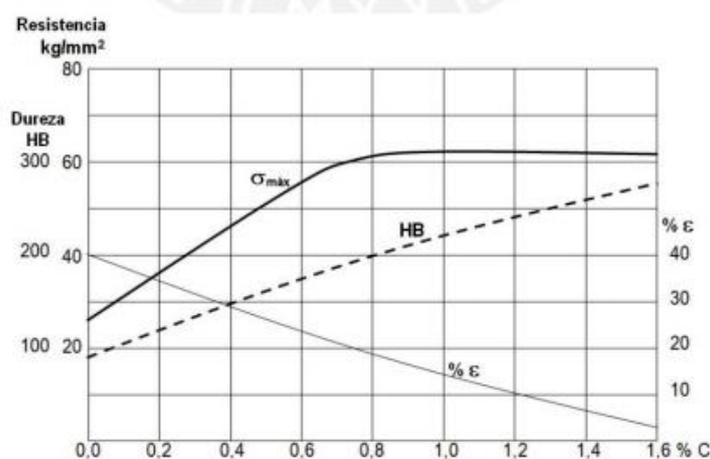


Figura 4. Variación de las propiedades mecánicas según el contenido de carbono

Fuente: Lean (2008)

### I.3.2 ACERO ESTRUCTURAL

Son definidos como aceros estructurales a los que se obtienen cuando se combina el hierro, carbono y una pequeña proporción de otro elemento tal como el silicio, fósforo, azufre y oxígeno, que les contribuye unos conjuntos de una propiedad determinada, tal como unas altas resistencias mecánicas, soldadura, buenas resistencias a las corrosiones y ductilidades a temperaturas ambiente, aunque a una alta temperatura esta propiedad se ve afectada.

El acero estructural son unos materiales básicos de uso para construcciones de una estructura como edificio y muelle que se emplea un perfil estructural de sección L,

U, T, H, I, también de un cable y tirante en los casos del puente; varilla y malla para concretos reforzados y lámina plegada usada en techo y piso (Sepúlveda, 2016).

### **Ventajas del acero como material estructural**

**Tiene una gran firmeza:** Unas de las grandes firmezas del acero por sus unidades de peso significa que los pesos de las estructuras se hallarán al mínimo, estos son de bastante eficacia en un puente de amplio claro (Sepúlveda, 2016).

**Semejanza:** La propiedad del acero no se convierte apreciablemente con el pasar del tiempo.

**Durabilidad:** Si el sustento de la estructura de acero es conveniente durara un tiempo indefinido.

**Ductilidad:** Las ductilidades son las propiedades que tienen unos materiales de que se soporte una grande deformación sin fracasar bajo alto esfuerzo de tensiones. La natural ductilidad del acero estructural común le permiten que fluya en su lugar, haciendo que se evite de esa manera una falla prematura.

**Tenacidad:** El acero estructural es tenaz, también, posee resistencias y ductilidades. Las propiedades de unos materiales para que se absorban energías en una grande cantidad es llamada firmeza.

### **Desventajas del acero como material estructural**

**Costo de mantenimiento:** Las principales partes del acero es susceptible a las corrosiones al estar comprometido al agua y al aire y, pues, debe ir pintándose habitualmente.

**Costo de la protección contra el fuego:** Aun cuando algún miembro estructural es incombustible, su resistencia se reduce notoriamente a lo largo de un incendio (Sepúlveda, 2016).

### I.3.3 CLASIFICACION DE LOS ACEROS

El acero por lo general es clasificado conforme a sus contenidos de carbono; bajos, medios y altos de carbono. También, todos los equipos poseen una subclase conforme con las concentraciones de otro elemento de aleaciones. Mientras tanto el acero a los carbonos solo contiene concentración residual de impureza distinta a los carbonos, en el acero aleado, el elemento de aleaciones se añade accidentalmente en una concentración específica. Es denominado absolutamente acero a los carbonos, aunque no son especificados ni garantizados otro elemento aleante que pudiera contenerse. Este acero obtiene su propiedad absoluta de sus contenidos de carbono (Callister, 1995).

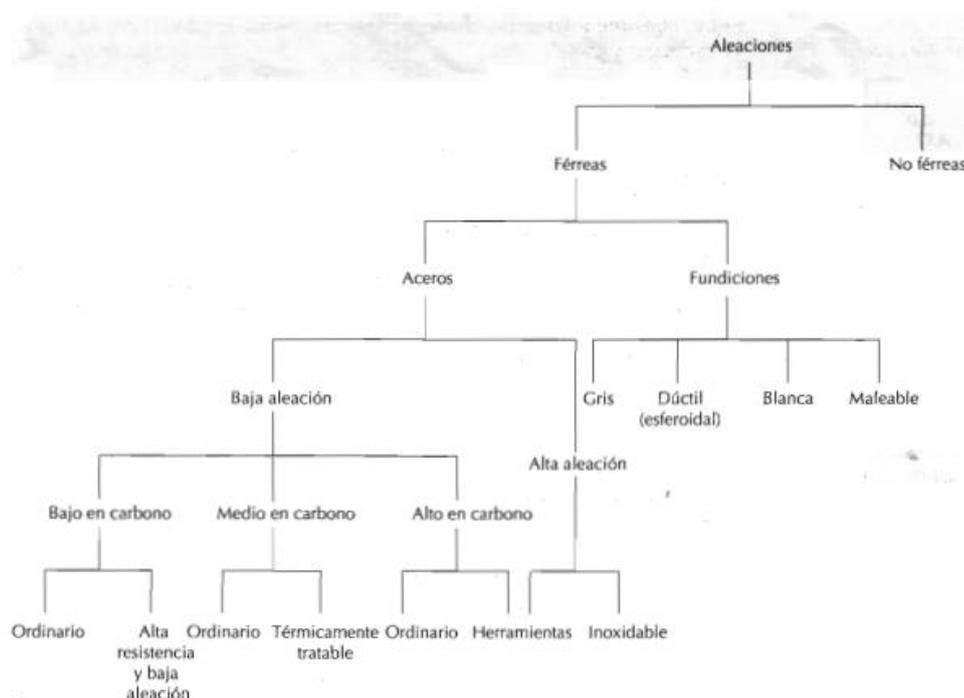


Figura 5. Clasificación de varias aleaciones de los aceros

Fuente: Callister (1995)

### I.3.4 ACEROS BAJO CARBONO

Las principales partes de todos los aceros fabricados son de bajos carbonos. Estos tipos de acero contienen menos del 0.25% de carbono, no responden a los tratamientos térmicos para que formen martensitas y es endurecibles por acritud. Sus microestructuras consisten en ferritas y perlitas. En conclusión, este acero

es inciertamente blando y poco resistente, por lo cual, posee unas extraordinarias ductilidades y tenacidades. También, son buenamente mecanizable, soldable y barato. Este acero suele poseer unos límites elásticos de alrededor de 275 MPa, unas resistencias a las tracciones comprendidas entre 415 y 550 MPa y unas elongaciones del 25% (Callister, 1995).

**Tabla 1**

*Composición de aceros de bajo carbono y aleación.*

DESIGNACIÓN	Composición (% en peso)		
AISI/SAE o número ASTM	C	Mn	Otros
<b>Aceros bajos en carbono</b>			
1010	0.1	0.45	
1020	0.2	0.45	
A 36	0.29	1	9.2 Cu (min)
A516 Grado 70	0.31	1	0.25 Si
<b>Aceros de baja aleación y alta resistencia</b>			
A 440	0.28	1.35	0.3 Si (máx), 0.2 C (mín)
A633 Grado E	0.22	1.35	0.3 Si, 0.08 V, 0.2 N, 0.03 Nb
A656 Grado 1	0.18	1.6	0.6 Si, 0.1 V, 0.2 Al, 0.015 N

Fuente: [Callister \(1995, p.365\)](#)

**Tabla 2**

*Características mecánicas de aceros de bajo carbono.*

AISI/SAE o número ASTM	Resistencia a la tracción [psi x 10 <sup>3</sup> (Mpa)]	Limite elástico [psi x 10 <sup>3</sup> (Mpa)]	Ductilidad (% Elongación)
<b>Aceros bajos en carbono</b>			
1010	47(325)	26(180)	28
1020	55(380)	30(205)	25
A36	58(400)	32(220)	23
A516 Grado 70	70(485)	38(260)	21
<b>Aceros de baja aleación y alta resistencia</b>			
A440	63(435)	42(290)	21
A622 Grado E	75(520)	55(380)	23
A656 Grado 1	95(655)	80(552)	15

Fuente: [Callister \(1995, p.365\)](#)

### **I.3.5 ACEROS MEDIO CARBONO**

El acero de medio carbono tiene un porcentaje de carbono comprendido entre 0.3% y 0.35%. Puede ser tratado por su temperatura a través de las autenticaciones, temple y revenidos para el mejoramiento de su propiedad mecánica. Suele usarse en las condiciones de revenido, con unas microestructuras de martensitas revenidas. Son de disminuidas templabilidades, únicamente tratable en velocidad de temple muy rápida. La adición de cromo, níquel y molibdeno mejora las capacidades de esta aleación para ser tratado con calefacción, que genera así unos buenos números de combinación de resistencias – ductilidades. Tratado con temperatura es más resistente que el acero de bajo carbono, pero salvo dúctil y tenaz. Es usado para la fabricación de un componente que necesita elevadas resistencias mecánicas, resistencias a los desgastes y tenacidades (Callister, 1995).

### **I.3.6 ACEROS ALTO CARBONO**

El acero de alto carbono contiene unos porcentajes de carbono entre 0.60 y 1.4% C y son más resistentes, duraderos y aún excepto dúctil que el otro a acero al carbono. Definitivamente se utiliza en las condiciones templadas y revenidas, en las cuales es especial resistente a los desgastes y capaz de que se adquiera las formas de una herramienta de cortes. La herramienta y la matriz se fabrica con acero aleado alto en carbono que contiene, por lo regular, cromo, vanadio, tungsteno y molibdeno. Este elemento de aleaciones se combina con el carbono para que formen carburos muy fuerte y resistente a los desgastes: por ejemplo, CR<sub>23</sub>, C<sub>6</sub>, V<sub>4</sub>C<sub>3</sub> Y WC. Este acero se utiliza como herramienta de cortes y matriz para facturar material, así como cuchillo, navaja, hoja de sierra, muelle e hilo de altas resistencias (Callister, 1995).

### **I.3.7 ACERO ASTM A 572**

Estos aceros están disponibles en variado grado depende de los tamaños del perfiles y grosor de las placas. Los grados 50 son soldables y de bajas aleaciones, aleados con Niobios y Vanadios como afinador de granos. Estos son los grados de acero estructurales más utilizados en lo actual en los mercados estadounidenses

Son unos aceros Estructurales de Altas Resistencias y de Bajas Aleaciones (Sepúlveda, 2016).

Estos aceros son utilizados en aplicación, tal como construcciones electro soldadas de estructura en común o puente, donde las tenacidades en la entalladura son importantes. El requisito asociado con estas propiedades debidos a las variedades de grado que contemplan estos tipos de acero debe ser especificado entre los compradores y los productores (Sepúlveda, 2016).

La característica de placa de estos aceros son sus elevadas resistencias, buenos manejos y facilidades de soldados a precio moderado. Las resistencias a las corrosiones atmosféricas son las mismas de la placa de acero al carbón. Su mejor propiedad mecánica, en paralelo con los productos ASTM A 36, permite que se reduzca el espesor y disminuya el peso de la estructura remachada, empernada o soldada como por ejemplo puente, carrocería, equipo de transporte y estructura en general (Sepúlveda, 2016).

**Tabla 3.**

*Composición química del acero ASTM A572*



<b>Grado</b>	<b>%C máx.</b>	<b>%Mn máx.</b>	<b>%P máx.</b>	<b>%S máx.</b>	<b>%Si máx.</b>
42	0.21	1.35	0.04	0.05	0.4
50	0.23	1.35	0.04	0.05	0.4
60	0.26	1.35	0.04	0.05	0.4
65	0.26	1.35	0.04	0.05	0.4
<b>Elemento</b>					
	<b>Elemento</b>		<b>Contenido</b>		
Tipo 1	Columbio (Niobio)		0.005 - 0.05		
Tipo 2	Vanadio		0.01 - 0.15		
Tipo 3	Niobio (0.05% máx.) más Vanadio		0.02 - 0.15		

Fuente: Ficha técnica ASTM A572 – TRADI (2018)

El valor expresado en la propiedad mecánica y física corresponde al valor promedio que esperan que cumplan los materiales. Tal valor es para que se oriente a aquellas personas que deben ir diseñando o que se construya algunos componentes o estructuras, pero en ningún instante se deben estar considerando como un valor estricto exacto para usos en los diseños (Sepúlveda, 2016).

**Tabla 4**

*Propiedades mecánicas del acero ASTM A572*

Grado	Límite de Fluencia (mín.)		Resistencia a la Tracción (mín.)		Elongación Min. %En 200 mm (8in)
	Mpa	PSI	Mpa	PSI	
42	290	42000	415	60000	20
50	345	50000	450	65000	18
60	415	60000	520	75000	16
65	450	65000	550	80000	15

Fuente: Ficha técnica del acero A572

**Tabla 5**

*Propiedades mecánicas del acero ASTM A572*

Espesor (In)	% Elongación mín. 200 mm (8in)			
	Grado 42	Grado 50	Grado 60	Grado 65
1/2 - 3/8	20	18	16	15
5/16.	19.5	17.5	15.5	14.5
1/4.	17.5	15.5	13.5	12.5
3/16.	15	13	11	10
1/8.	12.5	10.5	8.5	7.5

Fuente: Ficha técnica del acero A572

### I.3.8 ACERO ASTM A36

Aceros estructurales de buenas soldaduras, adecuados para las fabricaciones de una madera soldada para un edificio, estructura remachada, y atornillada, base de columna, pieza para puente y depósito de combustible. Si se desea mejoramientos en la propiedad, perfeccionando las estructuras, se deben estar especificando antes (Sepúlveda, 2016).

NORMA TECNICA	F	R	A	NORMA EQUIVALENTE
	kg/mm <sup>2</sup>	kg/mm <sup>2</sup>	%	
ASTM A-36	25.3 min	41-56	20 min	EN 10025-2 GRADO S 235
ASTM A-1011 SS36* Tp2	25.3 min	41-56	16 min	
ASTM A-1018 SS36* Tp2	25.3 min	41-56	18 min	
JIS G-3101 SS 400	25.0 min	41-52	21 min	

Figura 6. Propiedades Mecánicas del acero ASTM A36

Fuente: Tradi (2010)

**Tabla 6**

*Composición química del acero ASTM A36*

Acero	%C máx.	%Si máx.	%Mn máx.	%S máx.	%P máx.	%C u máx.
ASTM A36	0.29	0.35	0.80/1.20	0.05	0.04	0.2

Fuente: Ficha técnica acero ASTM A36

### I.3.9 ACERO STRENX 700

Strenx/Domex es la señal de las bandas de aceros laminadas en caliente de SSAB Tunnplant. El acero Strenx/Domex de elevadas resistencias es acero de bajas aleaciones para configuraciones en frío, cuyos campos de aplicaciones principales se encuentran en la industria de ingenierías mecánicas y de los automóviles. Las gamas completas se extienden desde el acero Strenx/Domex MC para configuraciones en frío incluso el acero resistente a los desgastes, a las corrosiones atmosféricas, acero para protecciones balísticas y acero para aplicación eléctrica (SSAB, 2016).

Strenx/Domex es el resultado de un continuo proceso de desarrollo, como evidencia su amplia gama de aceros extra alta resistencia. Nuevos aceros de ultra alta resistencia, con mayores niveles de resistencia se encuentran hoy en fase de desarrollo y sin lugar a duda, abrirán oportunidades completamente nuevas (SSAB, 2016).



Figura 7. Niveles de resistencia de los aceros Strenx/Domex

Fuente: Catálogo SSAB (2016)

### Los aceros Strenx se caracterizan por su:

- Excelentes capacidades de conformaciones con relación a sus elevadas resistencias.
- Buenas soldaduras en beneficio a los bajos contenidos en un elemento de aleaciones.
- Buenas resistencias a disminuida temperatura.
- Aptitud para corte en laser
- Pueden ser soldados con cualquier otro acero estructural.

### Aspectos generales sobre la soldadura de los aceros Strenx

- Buena soldabilidad
- Puede utilizarse cualquier método de soldadura
- Se deberá controlar el aporte de energía.
- Corte mecanizado (fresado)
- Corte térmico (corte con gas, láser, plasma)

**Tabla 7**

*Composición química acero Strenx/Domex 700*

Acero	%C máx.	%Si máx.	%Mn máx.	%P máx.	%S máx.	%Al máx.	%Nb máx.	%V máx.	%Ti máx.
<b>Strenx</b> 700	0.12	0.1	2.1	0.025	0.01	0.015	0.09	0.2	0.15

Fuente: Ficha técnica SSAB acero de alta resistencia Strenx/Domex

Propiedades mecánicas							
Calidad	Límite elástico $R_{eL}$ (N/mm <sup>2</sup> ) mín.	Carga de rotura $R_m$ (N/mm <sup>2</sup> ) mín.	Alargamiento mín. (%)		Radio de plegado mín. $t \leq 3$ mm	Radio de plegado mín. $3 < t \leq 6$ mm	Radio de plegado mín. $t > 6$ mm
			$A_{50}$ $t < 3$	$A_5$ $t \geq 3$			
Domex 240 YP	240	360-460	28**)	28	0,3 xt	0,5 xt	0,7 xt
Domex 315 MC	315	390-510	20	24	0.2 xt	0.3 xt	0.4 xt
Domex 355 MC	355	430-550	19	23	0.2 xt	0.3 xt	0.5 xt
Domex 420 MC	420	480-620	16	20	0.4 xt	0.5 xt	0.8 xt
Domex 460 MC	460	520-670	15	19	0.5 xt	0.7 xt	0.9 xt
Domex 500 MC	500	550-700	14	18	0.6 xt	0.8 xt	1.0 xt
Domex 550 MC	550	600-760	14	17	0.6 xt	1.0 xt	1.2 xt
Domex 600 MC	600	650-820	13	16	0.7 xt	1.1 xt	1.4 xt
Domex 650 MC	650*)	700-880	12	14	0.8 xt	1.2 xt	1.5 xt
Domex 700 MC	700*)	750-950	10	12	0.8 xt	1.2 xt	1.6 xt

Figura 8. Propiedades mecánicas acero Strenx 700

Fuente: SSAB (2016)



Figura 9. Tipos de preparación de bordes para aceros Strenx/Domex

Fuente: SSAB (2016)

**Economía en costos al usar Acero Strenx 700, el corte térmico de material más fino ofrece: SSAB (2018)**

- Aumento de la velocidad de corte (50 – 100%)
- Reducción del tiempo de la operación del corte

- Menor consumo de energía
- Menos gases en la operación de corte
- Chapas más ligeras = más fáciles de manejar
- Disminución del material de aporte necesario
- Reducción del tiempo de la operación de soldadura
- Menos gases en la operación de soldadura

### Resumen de los aceros Strenx SSAB (2018)

- Pueden utilizarse todos los métodos de soldadura.
- El riesgo de defectos inherentes al material es bajo.
- Hay disponibles una gran cantidad de metales de aporte.
- A menudo pueden utilizarse metales de aporte con menor límite elástico
- En la unión soldada pueden lograrse buenas propiedades mecánicas.
- Localizar las soldaduras expuestas a fatiga en zonas de baja concentración de tensiones.
- Si se requiere una mayor resistencia a la fatiga, utilice tratamientos post soldadura o cambie a un método de unión con mejores propiedades de fatiga.
- Con aceros avanzados de alta resistencia se pueden reducir los costos de producción.

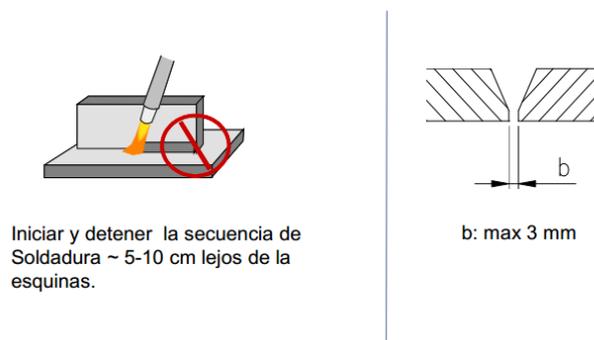


Figura 10. Reducir tensiones en uniones de juntas.

Fuente: SSAB (2016)

### I.3.10 SOLDADURA.

Las soldaduras son unos procesos de fijaciones en el cual se realizan las uniones de 2 o más partes de unos materiales, habitualmente acertados mediante las coalescencias (fusiones), en las cuales la pieza es soldada juntándolas. Se pueden

estar agregando unos materiales de aportes, que, al juntarse, forman unos charcos de los materiales juntados mediante la pieza al ser soldada (los baños de soldaduras) y, al refrescarse, se convierten en unas uniones fijas a las que se les denominan cordón. A veces son utilizadas simultáneamente presión y calor, o solo presión por sí mismas, para que se produzcan las soldaduras. Una vez unidas no se pueden separar, y llegan a formar una sola pieza (Wikipedia, 2017).

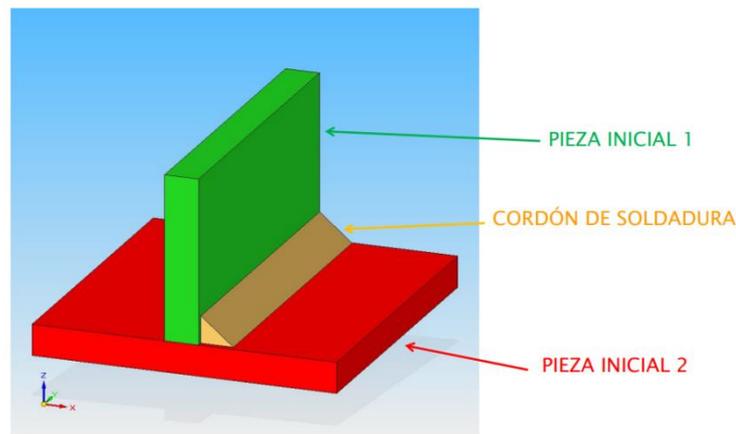


Figura 11. Representación gráfica de soldadura.

Fuente: Elaboración propia.

### **I.3.11 SOLDABILIDAD.**

Son las facilidades con las que unos materiales pueden ser unidos, consiguiendo propiedad mecánica que se requiere para sus operaciones en servicio. Cuando soldamos por fusión, involucre obligatoriamente aportes de calor para que se unan 2 piezas entre sí. En cambio, este calor que se implica en su zona local de conexión se transfiere y se desplaza mediante el metal, aumenta asimismo su temperatura, influyendo sus microestructuras y éstas, a su vez, su propiedad mecánica (Fosca, C. 2003).

#### **Métodos de soldadura más comunes.**

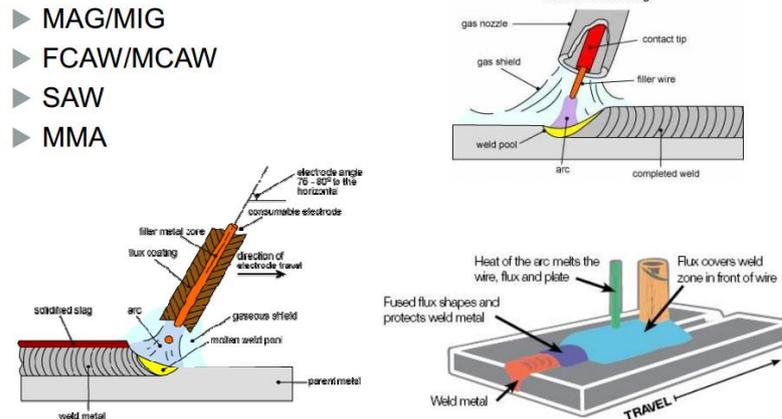


Figura 12. Métodos más comunes en soldadura.

Fuente: SSAB (2016).

### Aspectos generales de los aceros.

- Buena soldabilidad.
- Puede utilizarse cualquier método de soldadura.
- Se deberá controlar el aporte de energía.

### Preparación de bordes de uniones soldadas.

- Mecanizado.
- Frezado
- Corte térmico.
- Corte con láser.
- Corte con gas.
- Corte con plasma.

### La Soldabilidad de un material encierra tres aspectos esenciales, esto son:

**1. Soldabilidad Metalúrgica:** Es la competencia del material de no mostrar variación estructural en las conexiones soldadas o modificación en la propiedad fisicoquímica, como se muestra en el acero aleado en donde existen las posibilidades de que se forme una estructura de martensitas y en el acero inoxidable austeníticos, que, al acelerar el carburo de Cr, disminuyen sus resistencias a las corrosiones (Sepúlveda, 2016).

**2. Soldabilidad Operatoria:** Responden a las operaciones de soldaduras, en los que respectan a una cuestión tecnológica y de ejecuciones de la unión soldada por algunos procesos de soldaduras. Ejemplo: En el caso del Aluminio, Acero Aleado al Cr, en el cual el óxido que forma dificulta las soldaduras y se deben por lo cual acudir a la utilización de aseo, fundente y técnica auxiliar (Sepúlveda, 2016).

**3. Soldabilidad Constructiva:** Se refiere a la propiedad física de los materiales bases, tal como dilataciones y contracciones que provoca deformación y tensión, la cual puede ir generando agrietamiento de las uniones soldadas, como ocurren en los casos del Hierro Fundido que por sus disminuidas plasticidades no tienen posibilidad de que se absorban las imperfecciones y hay que acudir a un recurso tecnológico de pre y post calentamientos para que eviten estas soldabilidades condicionadas (Sepúlveda, 2016).

**En conclusión, se considera que un metal tiene:**

1. **Buena soldabilidad,** cuando le dan cumplimiento a los tres periodos previos.
2. **Soldabilidad Regular o condicionada,** cuando no cumplen con algunos de ellos, pero que por medio de una solución tecnológica se pueden ir obteniendo unas conexiones soldadas de calidades.
3. **Mala Soldabilidad,** cuando no cumplen con 2 o más del aspecto citado y no se pueden estar resolviendo para las obtenciones de una buena propiedad mecánica y química en las soldaduras (Sepúlveda, 2016).

**Tipos de preparación de bordes para aceros.**

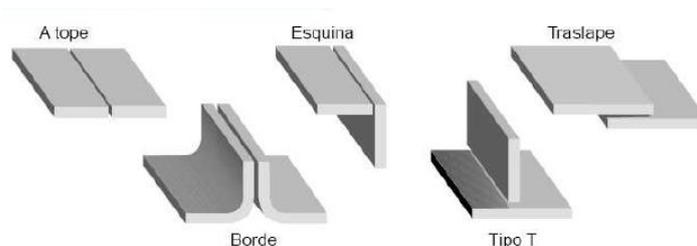


Figura 13. Tipos de juntas.

Fuente: SSAB (2016).

### I.3.12 ZONAS METALURGICAS DE LA SOLDADADURA.

Son unos procesos de soldadura por unión se puede estar distinguiendo 3 áreas precisas en las uniones soldadas: Metal de Soldadura (MS o ZF), Zona Afectada por el Calor (ZAC) y Metal Base (MB) (Fosca, C. 2003).

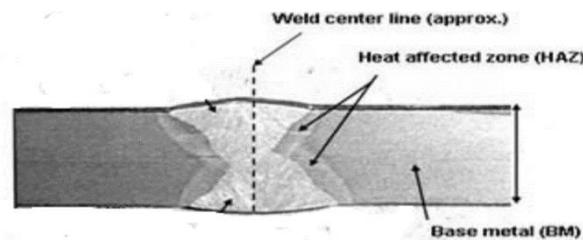


Figura 14. Zonas en la unión soldada.

Fuente: Soldexa (2005)

**A) Metal Base (MB).** Es el territorio en donde no ocurren cambios microestructurales,

**B) Metal de Soldadura o Zona de Fusión (ZF).**

Es la región la cual compete al abrevadero líquido de las soldaduras o las que alcanzan las fusiones completas. Desde la posición metalográfica en estas regiones ocurren unos procesos de congelación de relativas complejidades con las presencias de unas microestructuras primarias de grano de soporte cuya morfología depende de los modos de solidificaciones. Los metales de soldaduras son los resultados de unos procesos de diluciones mediante los materiales o metal de aportes y el metal base (ESAB – Conarco, 2007).

**C) Zona afectada por el calor (ZAC).**

Cuando una parte estructural es soldada por fusiones, en las juntas, los materiales de ambos elementos son calentándolos hasta su lugar de fusiones. Precisos a estos severos ciclos térmicos las estructuras originales de los materiales y su propiedad es modificada en unas regiones cercanas a las soldaduras. Estos tamaños de

materiales afectados por su temperatura están denominados habitualmente como unas zonas afectadas por el calor (Devedia, L. y Svoboda, H. 2004).

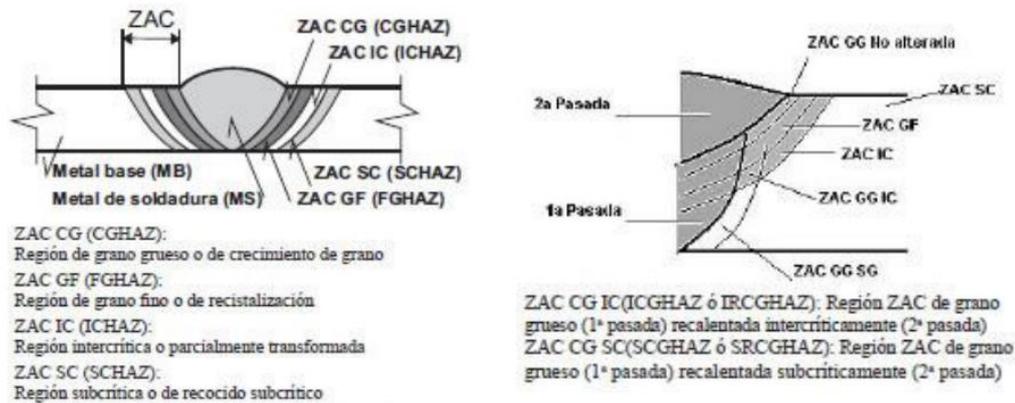


Figura 15. Zonas afectadas por el calor ZAC

Fuente: Soldar Conarco (2004)

### I.3.13 CARBONO EQUIVALENTE

El valor del carbono equivalente en el acero indica la sensibilidad para formar grietas por hidrogeno. Un valor bajo de carbono equivalente reduce el riesgo por grietas de hidrogeno. Como el carbono es uno de los elementos que más incluyen en las templabilidades y en las durezas finales de los aceros, se han estado considerando adecuadamente que se denominen carbonos equivalentes (*CE*) a los índices que permiten relacionar las composiciones químicas de unos aceros con sus tendencias a que se presente una estructura frágil cuando estos son sometidos a unos procesos de soldaduras (Fosca, C. 2003).

El Código API 1104- A B presentan las ecuaciones desarrolladas por el instituto internacional de soldadura

$$CEV = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr+Mo+V}{5} + \frac{Ni+Cu}{15} (\%) \quad (1)$$

Como normal usual, un acero es considerado soldable si los carbonos equivalentes según las fórmulas son menores a 0.4%. Estos valores estarían señalando como el elemento de aleaciones presente en los aceros afecta la transformación característica y favorece las formaciones de microestructura susceptible a aberturas por hidrogeno en la ZAC.

Los carbonos semejantes proveen unas indicaciones de los tipos de microestructuras esperadas en las ZAC en servicio de las velocidades de enfriamientos desde unas temperaturas máximas.

Las soldaduras además se están viendo afectadas por las historias térmicas de los materiales y tensión mecánica desarrollada anteriormente, durante y posteriormente de realizadas las uniones. Además, poseen unos roles importantes las adecuadas elecciones de los consumibles. Fosca, C. (2003)

### OTRO CONCEPTO DE CARBONO EQUIVALENTE

Cuando el carbono equivalente (CE) se determina con la ecuación (1), la soldabilidad es aceptable si el valor de CE es menor de 0.50.

La ecuación 2 propuesta por el Instituto de la Soldadura (Internacional Institute of Welding, IIW) probablemente es la más utilizada (Internacional Institute of Welding, IIW, 2017).

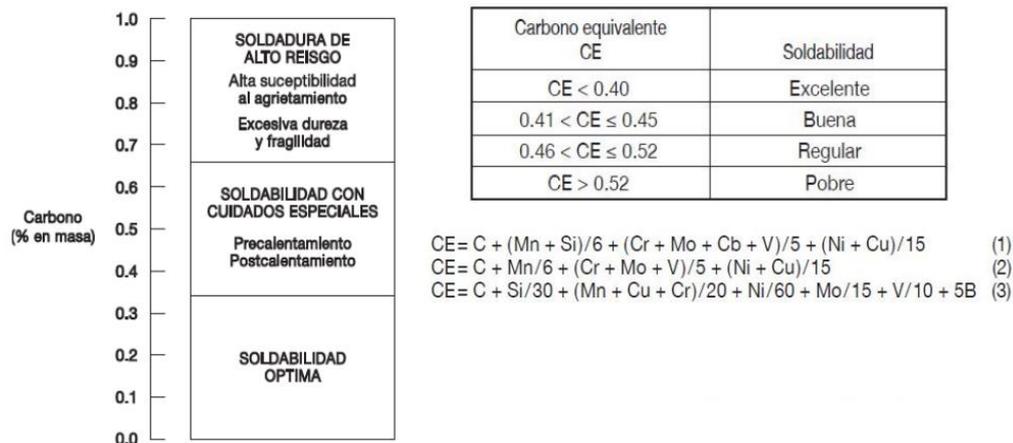


Figura 16. Carbono equivalente

Fuente: Internacional Institute of Welding, IIW (2017)

Otra de las maneras de determinar el grado de soldabilidad de los aceros es mediante el uso del diagrama de Graville.

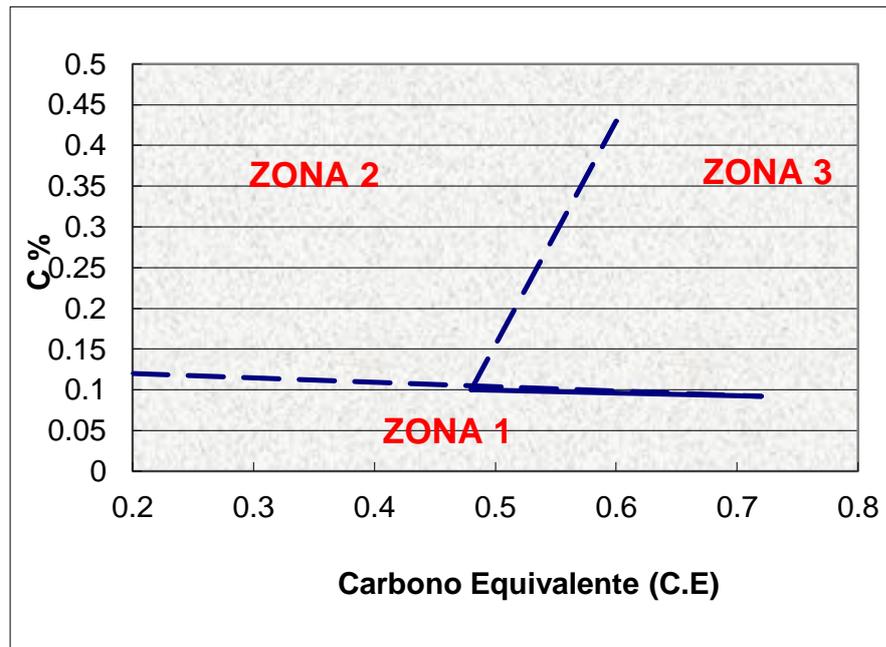


Figura 17. Diagrama de Graville

Fuente: Fosca, C. (2003)

**Zona 1.-** Los riesgos de fisuraciones es casi incierto, y puede estar ocurriendo únicamente en unos casos de que ocurra un alto porcentaje de hidrogeno adentro de una cuerda de soldaduras que se tenga un conjunto de soldados muy sujetos y genera un alto nivel de tensiones residuales.

**Zona 2.-** En esta se debe tomar precauciones para evitar la creación de una estructura frágil tanto en la ZAC como en el cordón de soldadura.

**Zona 3.-** Los aceros ubicado en esta zona tienen un alto riesgo de formación de estructuras frágiles es decir que son de difícil soldabilidad (Fosca, C. 2003).

## IMPORTANCIA DEL CARBONO EQUIVALENTE

Definición Norma BS en 1011–2/2001

La influencia de la composición química sobre el comportamiento de fractura en frío de los aceros es caracterizada por medio del carbono equivalente CET.

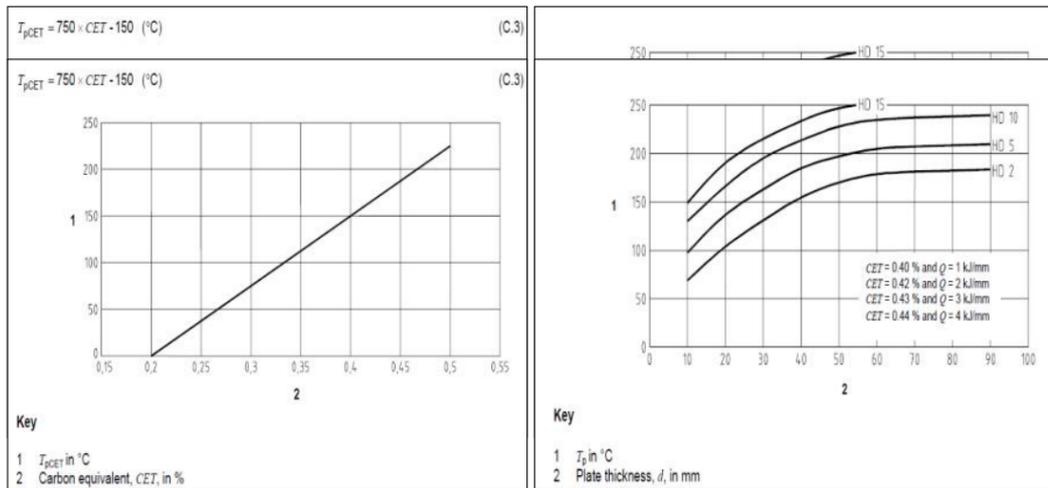


Figura 18. Importancia del carbono equivalente

Fuente: SSAB (2016)

Esta norma europea, que forma parte de la serie BS EN 1011, proporciona orientación para las soldaduras por arcos manuales, semi-mecanizadas, mecanizada y automáticas de acero ferrítico, excluye acero inoxidable ferrítico, en toda la forma de producto.

Esta norma es generalmente aplicable a todos los aceros ferrítico y es apropiada independientemente del tipo de fabricación involucrada, aunque la norma de aplicación puede tener requisitos adicionales.

Se llama la atención sobre el hecho de que el anexo C de esta norma detalla dos métodos para predecir la temperatura de precalentamientos para que eviten los agrietamientos de los hidrógenos. Se resumen las diferencias en el origen y la experiencia utilizada para desarrollar estos dos métodos. Esta información puede ser utilizada como una guía para su aplicación.

### I.3.14 PROCESOS DE SOLDADURA

El diferente método de conexión de material es la soldadura por fusiones, soldaduras en estados sólidos y las soldaduras fuertes y blandas. Para los presentes estudios es de mucha importancia que se conozca el proceso de las soldaduras por fusiones.

Los procesos por fusiones son caracterizados por las presencias de unas piletas líquidas o baños de fusiones contruidos por unas fracciones de metales que permanecen líquidas unos instantes de tiempos en los cursos de las ejecuciones de las soldaduras. Estos líquidos pueden componerse de material de aporte como de material base fundido.

De acuerdo con la AWS los tipos de soldadura por fusión as comunes son:

- Soldeo por arco metálico con electrodo revestido (SMAW).
- Soldeo por arco metálico y gas (GMAW).
- Soldeo por arco con núcleo de flux (FCAW).
- Soldeo por arco con tungsteno y gas (GTAW).
- Soldeo por arco sumergido (SAW), (Bresler, L. 1990).

### I.3.15 Soldeo por arco metálico con electrodo revestido (SMAW).

Estos procesos de soldaduras se producen, en las cuales los arcos eléctricos en el metal bases y unos electrodos revestidos alcanzan temperatura cercana a los 4000°C Los materiales de aportes se obtienen por las fusiones de los electrodos en formas de una pequeña gota. Al fundirse dicho extremo, se van quemando los recubrimientos elaborando un aire adecuado para poder soldar, la gota de los metales fundidos va cayendo recubierta de escorias fundidas, éstas flotas en las superficies como unas capas protectoras (Pajuelo ,2009).

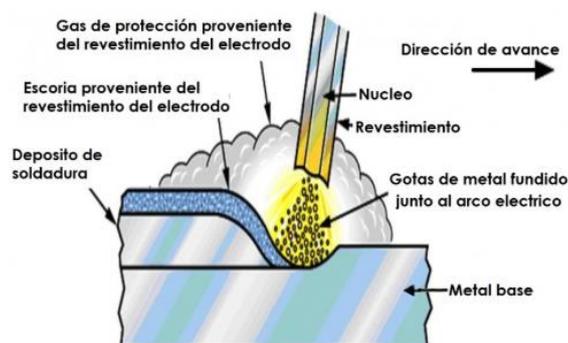


Figura 19. Esquema de proceso Smaw

Fuente: Andres (2016)

### Ventajas del proceso SMAW

- Fuentes de poderes económicos y portátiles.

- Estos métodos son útiles por sus simplicidades y bajos precios.
- Permiten la soldadura en toda su posición.
- Protegen a los materiales de aportes del medio ambiente y es menos sensibles al viento.
- El rango normal del espeso de los materiales bases son hasta 200 mm. (Pajuelo, 2009)

#### **Desventajas del proceso SMAW**

- Los procesos no son automatizables.
- Estos procedimientos no son adecuados para el espesor menos de 3 mm.
- Valoración de posiciones bajas, por tener que retirar escorias y cabios de electrodo.
- No es adjudicable a un metal de bajos puntos de fusiones ni a metal sensible a las oxidaciones (Pajuelo 2009; Manual Soldexa 2019).

#### **I.3.16 Soldeo por arco metálico y gas (GMAW)**

Los procesos de soldadura por arcos metálicos y gas (GMAW), son unos procesos en los cuales los calores necesarios son generados por unos arcos que se establecen entre unos electrodos consumibles y los metales que se van a soldar. Los electrodos son unos alambres macizos, desnudos, que se alimentan de unas formas continuas espontáneamente y se convierten en los metales depositados conforme se van consumiendo, según se muestra en la Figura 20. El electrodo, arcos, metales fundidos y zona adyacente de los metales bases, queda protegido de las contaminaciones del gas atmosférico a través de unas corrientes de gas que se aportan mediante las toberas de las pistolas, concéntricamente al alambre. Si se usa un gas inactivo como defensa de los procesos se denominan metales active gas (MIG), Hernandez, R. G. (1991). La DCEP (Corriente directa-electrodo al polo positivo) es usada en el proceso GMAW. Un arco estable, de suave transferencia con baja pérdida de salpicadura y buena penetración de soldadura es obtenida con DCEN (Corriente directa-electrodo al polo negativo) o AC, sin embargo, la transferencia de metal es errática (Sindo, K. 2003).

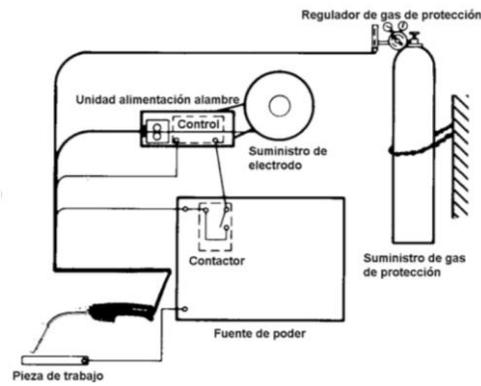


Figura 20. Equipo de soldadura GMAW básico

Fuente: Granja M. Hidalgo V. (2013)

### **Ventajas del proceso GMAW**

- Alta valoración de deposiciones de soldaduras.
- Mínimas limpiezas luego de la soldadura (sin presencia de escoria).
- Proceso automatizable, alcanza altas velocidades de trabajo.
- El proceso se puede realizar en toda posición.
- El proceso GMAW no tiene restricciones de tamaño de electrodo.
- Es posible hacer tramos largos sin la necesidad de parar.
- Es el proceso exclusivo de soldadura con electrodos consumibles que pueden servirnos para soldar todo el metal y aleación comercial (Pajuelo, 2009).

### **Desventajas del proceso GMAW**

- Los equipos de soldeo GMAW son más costosos, complejos y menos transportables que los de los procesos SMAW.
- Es sensible a corrientes de aire, es por eso que los arcos de soldaduras deben estar protegiéndose en contra de esta corriente que pueda estar dispersando los gases protectores.
- No es aconsejable para que se una un espesor menor a 5 mm.
- Las principales discontinuidades son las presencias de inclusión de escorias además pueden presentarse fusiones incompletas y porosidad (Pajuelo, 2009).

### **I.3.17 Soldeo por arco con núcleo de flux (FCAW).**

El FCAW son unos procesos de soldaduras con arcos eléctricos diseñados para el Acero al carbono, Acero inoxidable y Acero de baja aleación. Utilizan unos

arcos eléctricos para que se produzcan coalescencias mediante unos electrodos metálicos auxiliares tubulares continuos y los materiales bases, y pueden producirse con o sin unos gases de protecciones. Con los cables con núcleos de fundentes protegidos con gas, el agente de defensa es proporcionado por unos fundentes contenidos adentro de los electrodos tubulares. Unos gases suministrados al exterior absolutamente aumentan el elemento central de los electrodos para que eviten las contaminaciones atmosféricas de los metales fundidos. Aunque se utilicen unos gases de protecciones, los equipos de los procesos son casi los mismos que se utilizan en las soldaduras de metales con arcos de gas (GMAW) (Pajuelo, 2009).

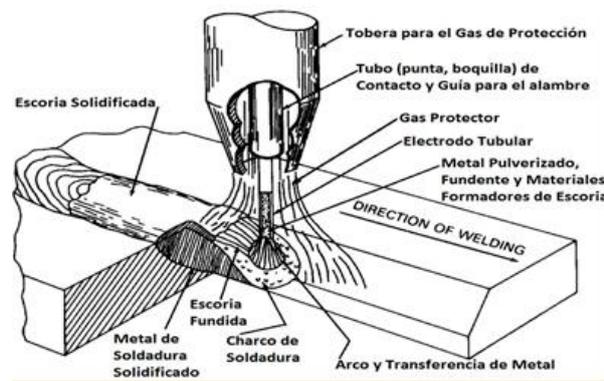


Figura 21. Proceso de soldadura FCAW

Fuente: ESAB (2019)

### Ventajas del proceso FCAW

- El almacenamiento de los metales de soldaduras es de alta calidad y muy buena penetración.
- Es factible que se suelde algún acero adentro de unos intervalos de espesor extenso.
- Soldadura sencilla de motorizar, mediante variedad de herramientas.
- Arco visible que facilita su aplicación.
- No requieren mucho aseo previo como la GMAW ya que posee mayores tolerancias a los contaminadores que podría estar causando los agrietamientos de las soldaduras.

- Produce menor distorsión que SMAW en relación con la edición de calor (Pajuelo, 2009).

### **Desventajas del proceso FCAW**

Están limitados a las soldaduras de metal ferroso y aleación con bases de níquel.

- El proceso elabora unas cubiertas de escorias que son precisos eliminar inclusive con mayores cuidados antes de unas pasadas subsecuentes.
- Los alambres de electrodos para FCAW cuestan más por unidades de pesos que los alambres de electrodos sólidos, excepto en los casos de algún acero de altas aleaciones.
- Se generan mayores cantidades de humos y vapor en comparaciones con GMAW o SAW (Pajuelo, 2009).

### **I.3.18 Soldeo por arco de tungsteno y gas (GTAW) Gas Tungsten Arc Welding.**

Además, llamado TIG (Tungsten inert gas) utilizan como fuentes de potencia los arcos eléctricos que se establecen unos electrodos no consumibles y las piezas a soldarse, mientras tanto un gas inactivo protege los baños de fusiones (como el argón o helio) Los materiales de aportes, cuando se utilizan se aplican por medios de varilla como los soldeos oxiacetilénicos. Los baños de fusiones están totalmente aislados del aire a lo largo de todas las operaciones de soldeos, de no ser así, tanto el oxígeno como el nitrógeno del aire serán aspirados por los metales en estados de fusiones y las soldaduras quedarían porosas y frágiles (Pajuelo, 2009).

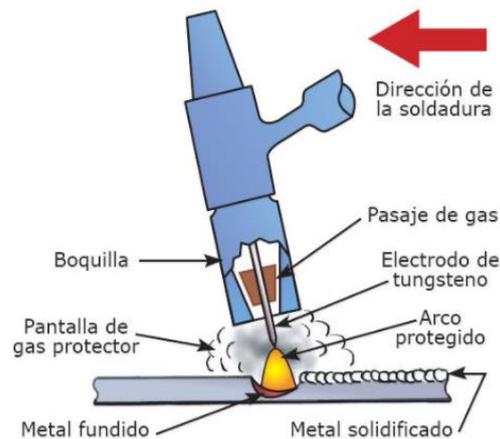


Figura 22. Proceso de soldadura GTAW

Fuente: Andres (2016)

### **Ventajas del proceso GTAW**

- Soldadura de buena calidad, cordón resistente, ductilidad, poca sensibilidad a las corrosiones en comparación a los demás procesos, puesto que los gases protectores impiden contactos entre la atmosfera y los baños de fusiones.
- Baja emisión de humos.
- La soldadura es posible en todas las posiciones.
- Se requieren pocas o ningunas limpiezas posteriores.
- No se producen escorias.
- Procesos pocos sensibles a las presencias de fisura, porosidad y salpicadura.
- Sirven para que se suelde casi todos los tipos de metal como aluminios, magnesios, aceros inoxidable, bronce, cobre, plata, níquel, aleación, hierro fundidos, acero de bajos carbonos, acero aleado e incluso unión de metal disímil.

### **Desventajas del proceso GTAW**

- No es recomendable para sección de más de 10 mm de espesor.
- Velocidades de deposición de metal de aporte bajas.
- Se requiere un soldador calificado y especializado para este proceso.
- Las protecciones gaseosas pueden ser removidas por una corriente de aire (AWS D1.1-2000  $V_{aire} < 8 \text{ km/h}$ ).

### **I.3.19 Soldeo por arco sumergido (SAW) Sumerged Arc Welding.**

La Soldadura SAW sofoca al metal utilizado unos arcos eléctricos entre unos electrodos descubiertos y los materiales bases, debajo de unos compuestos de materiales fundentes (*flux – mineral fusible granulado con óxido de magnesio, silicio, titanio, aluminio, calcio, circonio, magnesio y otro compuesto como el fluoruro de calcio, con determinada característica de escorificaciones, viscosidades, etc.*) Estos procesos utilizan unos electrodos de alambres macizos continuos protegidos por los fundentes. Los fundentes estabilizados de los arcos durante las soldaduras, preservando los baños de fusiones de la atmósfera. Además, cubren y protegen las soldaduras durante los enfriamientos y pueden fingir las composiciones de las soldaduras y su propiedad (Pajuelo, 2009).

#### **Ventajas del proceso SAW**

- La SAW por lo general es automatizadas, pero asimismo existe sistema semi automatizado.
- Las corrientes pueden ser CA o CC para el sistema automatizado
- Los fundentes que sobran pueden reusarse, hasta un límite de 2 veces.
- Requieren pocas habilidades de los operarios.

#### **Desventajas del proceso SAW**

- Los procesos no son adecuados para que se una un espesor delgado a menos de 5 mm.
- Solo se puede aplicar en posición plana.
- Los fundentes están sujetos a contaminarse que puede elaborar un defecto en las soldaduras.
- Las prendas deben ser siempre aportadas, los cuales encarecen a los procedimientos y aumentan la probabilidad de fallos.

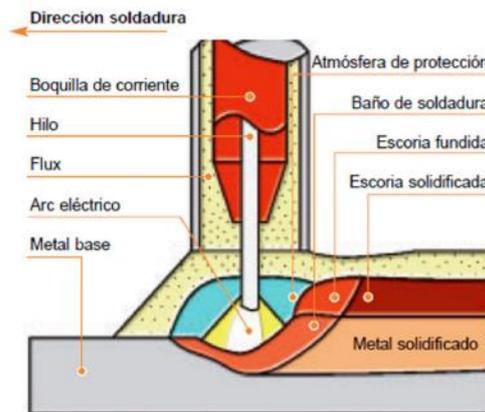


Figura 23. Proceso de soldadura SAW

Fuente: Solysol (2017)

### I.3.20 Discontinuidades Y Defectos En Uniones Soldadas

Discontinuidades (imperfección): Interrupciones de las estructuras típicas de unos materiales, al igual como unas faltas de homogeneidades en su característica mecánica, metalúrgica o física.

Defectos: Discontinuidades que por su naturalidad o efectos acumulados hace a unas partes o productos incapaces de realizar el mínimo estándar o especificación aplicable. Son unas imperfecciones de superficies tamaños tales que se garanticen rechazos basados en la estipulación de los estándares de construcciones (SSAB, 2016).

Toda consecuencia es una interrupción, pero no toda interrupción es una deficiencia.

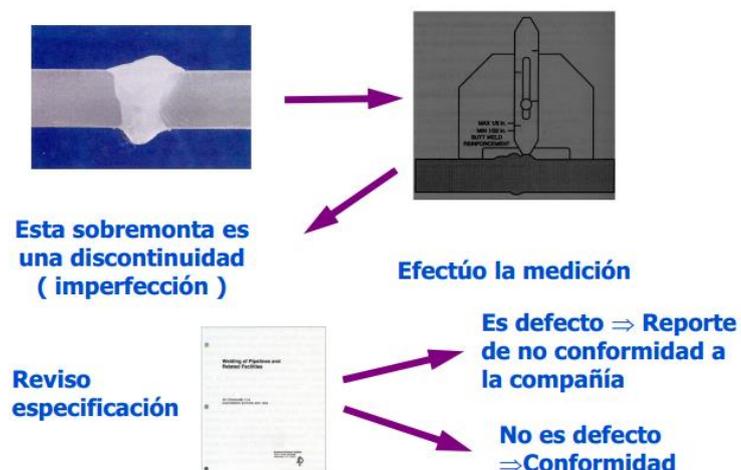


Figura 24. Defecto y discontinuidad de soldadura

Fuente: SSAB (2016)

**Veamos a continuación porque se puede tener defectos y discontinuidades.**

- La rapidez de avances al efectuarse los cordones.
- Malos empleos de las técnicas de soldaduras (Habilidades de los soldadores si son técnicas manuales).
- Malas conexiones del material para unirse.
- Incorrectas elecciones de los gases de protecciones.
- Apariciones de un elevado gradiente térmico en las zonas soldadas.
- Malas preparaciones de las superficies que contienen los cordones, etc.

Entre el defecto más común encontrado en el cordón de soldaduras tenemos:

#### **A. Porosidad:**

Por una diversa razón, en los metales de soldaduras fundidas se forma un gas que puede permanecer atrapado si no hay duraciones suficientes para que se escape antes de las solidificaciones de las soldaduras. Los gases así atrapados comúnmente tienen las formas de agujero redondo denominado porosidad esférica, o de formas alargadas llamada porosidades tubulares o vermiculares. Las formaciones de gases pueden estar formándose por una reacción química en las soldaduras por altos contenidos de azufre en las planchas como en los electrodos, humedades excesivas, corrientes incorrectas o polaridades invertidas, corriente de aire (Senocorp, 2017).

Las porosidades gaseosas pueden estar produciéndose en formas aisladas (porosidades esféricas aisladas) o agrupadas (nidos de poro), en formas alineadas etc.



Figura 25. Porosidades

Fuente: Senocorp (2017)

#### **B. Inclusiones sólidas:**

La mayoría de las soldaduras contiene escoria que ha sido atrapada en los metales depositados a lo largo de las solidificaciones. Es un depósito de carbón, óxido

metálico y silicato primordial. La escoria puede estar proviniendo de los revestimientos de los electrodos o de las fundentes empleadas.

Escoria en los interiores de perforación: Adentro de los metales soldados por efectos de unas perforaciones, suelen producirse unos rechupes de los materiales, incorporando material extraño, proveniente por lo frecuente de los revestimientos de los electrodos. Las imágenes radiográficas muestran unas manchas irregulares negras, en los centros de las indicaciones claras de unas perforaciones, parecido a un anillo luminoso (Senocorp, 2017).

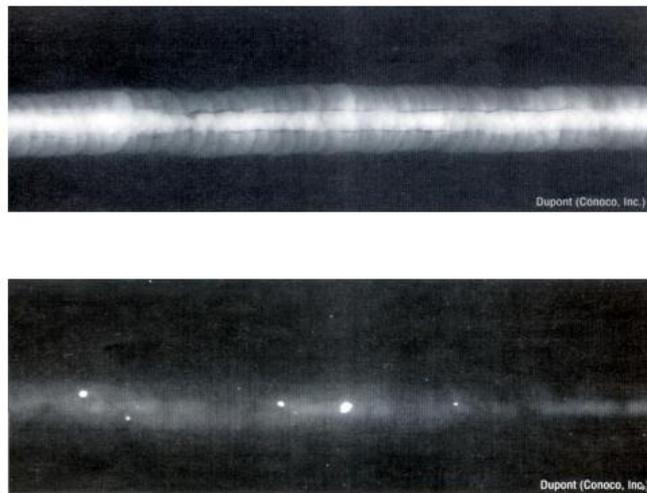


Figura 26. Inclusión de tungsteno

Fuente: SSAB - 2016

### C. Falta de fusión

Es el agrietamiento de los metales de las soldaduras. Tienen más probabilidad de suceder en las primeras capas de soldaduras que en algunas otras partes, y de no repararse continuará pasando a las demás capas al ir siendo depositadas. Estas tendencias de proseguir hacia las demás capas siguientes se reducen notoriamente, o se eliminan, con unos metales de soldaduras austeníticos. Aunque se encuentre el problema de agrietamiento de las primeras capas de metales de las soldaduras, puede lograr perfección empleando uno o más de la siguiente modificación:

Cambiar las manipulaciones de los electrodos o la condición eléctrica, los que cambian los contornos o las composiciones de los cordones. Disminuyen las celeridades de avances, para que aumenten los espesores de los cordones, aportan con ellos más metales de las soldaduras para que resista el esfuerzo que se está

generando. Ayudar con precalentamientos, para que se modifique las intensidades de los sistemas de esfuerzo que están imponiéndose. (Por cc Gherson p. Buitrago) (Senocorp, 2017).

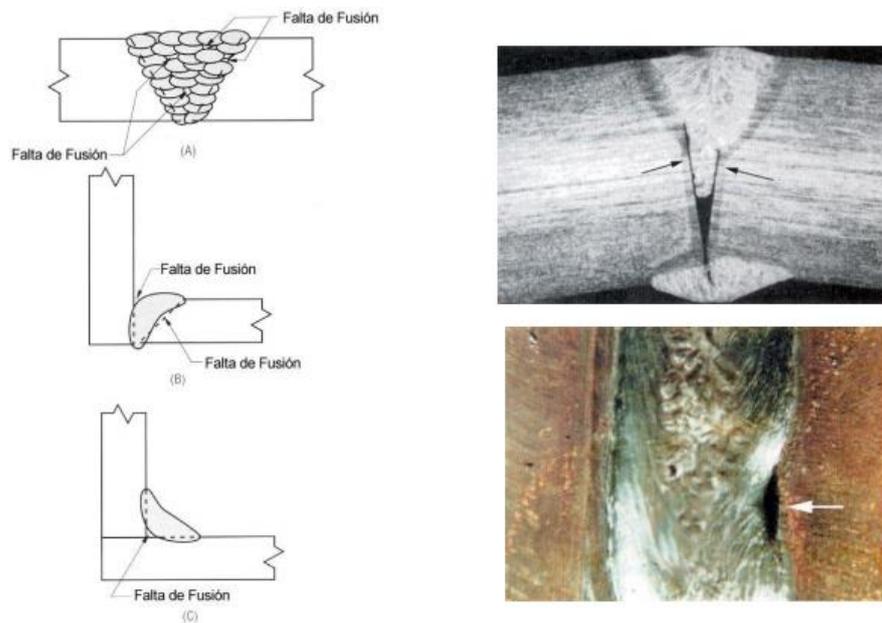


Figura 27. Falta de fusión

Fuente: endcoatza (2019)

**Los** agrietamientos de la junta soldada. Ocurren por las presencias de esfuerzo en diferente dirección, localizada, que en algunos puntos rebasa las resistencias máximas de los metales. Cuando se abre una grieta a lo largo las soldaduras o como resultados de éstas, naturalmente solo son aparentes unas ligeras deformaciones de las piezas de los trabajos.

Luego que se han sido enfriadas unas juntas soldadas, hay más probabilidad de que ocurran agrietamientos cuando los materiales son duros o frágiles. Unos materiales dúctiles soportan una concentración de esfuerzos que pudiera ocasionarse fallas en unos materiales duros o frágiles (Senocorp, 2017).

La razón es carga aplicada en un área dada, excede la resistencia local del material.

## **TIPOS.**

### **Fisuración en caliente (hot cracking)**

- Fisuras de garganta (Throat crack)
- Fisuras de raíz (root crack)
- Fisuras de cráter (cráter crack)

#### **Fisuración en frío (cold cracking)**

- Fisura retrasada (delayed crack)
- Fisura bajo el cordón (underbead crack)
- Fisura en el pie (toe crack)



Figura 28. Fisura Longitudinal

Fuente: SSAB (2016)

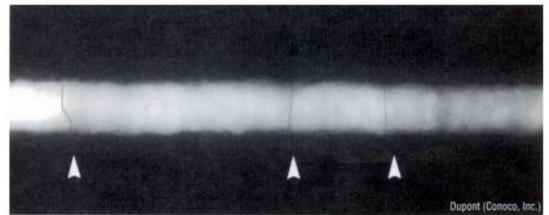


Figura 29. Fisura transversal

Fuente: SSAB (2016)

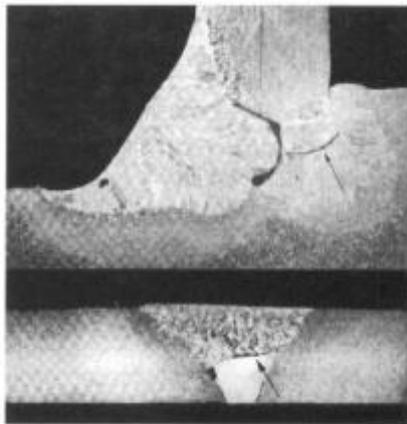


Figura 30. Fisura bajo el cordón

Fuente: SSAB (2016)

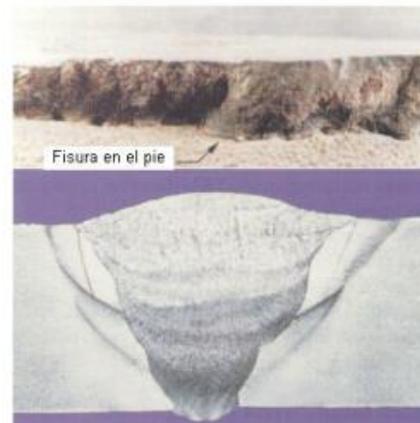


Figura 31. Fisura en el pie

Fuente: SSAB (2016)

#### **D. Penetración incompleta**

Estas expresiones se usan para que se describan las situaciones en que los metales depositados y los metales bases no se funde en formas integrales en la raíz de las soldaduras. Pueden ser ocasionadas porque las caras de la raíz de las soldaduras de ranuras no alcancen las temperaturas de fusiones a todas sus alturas, o porque los metales de las soldaduras no lleguen a la raíz de unas soldaduras de filetes, y deje los

huecos ocasionados por los puentes de los metales de las soldaduras desde unos miembros a los otros.

Como las penetraciones incompletas pueden deberse en unos cuantos casos a las faltas de disoluciones del óxido e impureza de las superficies, la condición de transmisiones de calor que existe en las juntas son unas fuentes más frecuentes de estos defectos.

Las penetraciones incompletas son indeseables, en especial si las raíces de las soldaduras están sujetas ya sean a tensiones directas o a esfuerzo flexionante. Las áreas que no se funden permiten concentración de esfuerzo que puede resultar en una falla sin deformaciones apreciables (Senocorp, 2017).

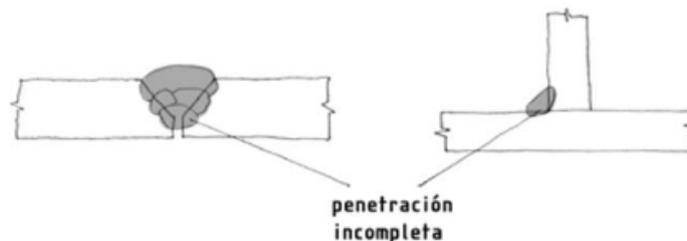


Figura 32. Penetración incompleta

Fuente: Rodríguez (2006)

### E. Socavamiento o mordedura

Se emplean estos términos para describirse:

a.- Las eliminaciones por fusiones de las paredes de unas ranuras de soldaduras en los bordes de unas capas o cordones, con las formaciones de unas depresiones marcadas en las paredes laterales en las zonas a las que deben unirse por fusiones las siguientes capas o cordones.

b.- Las reducciones de espesores en los metales bases, en las líneas en las que se unieron por fusiones los últimos cordones de las superficies. El socavamiento en ambos casos se debe a las técnicas empleadas por los operadores. Cierta electrodo, unas corrientes demasiadas altas, o unos arcos demasiados largos, puede aumentar las tendencias a los socavamientos (Gherson P, 2009).

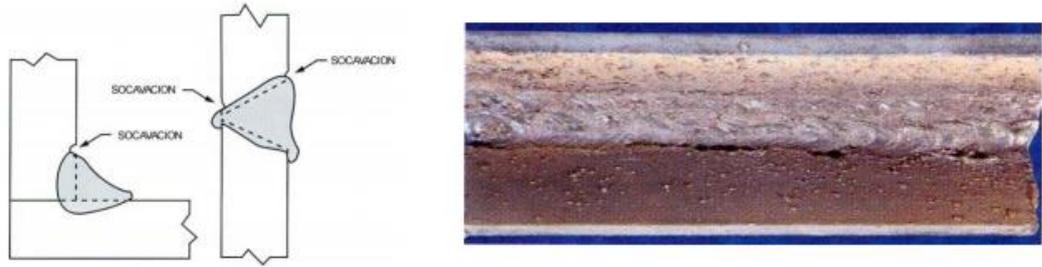


Figura 33. Socavación o mordedura

Fuente: Gherson P. (2009)

#### F. Proyecciones

Son gotas de metales fundidos propia de los procesos, que no representa riesgos mecánicos para los cordones a menos que sean excesivas sus cantidades. Se debe primordialmente a una elevada intensidad de trabajos y a unas grandes distancias de los electrodos y las piezas (Gherson P. 2009).



Figura 34. Proyecciones

Fuente: Gherson P. (2009)

**Cuadro indicando el ranking donde una discontinuidad es más severa y menos severa**

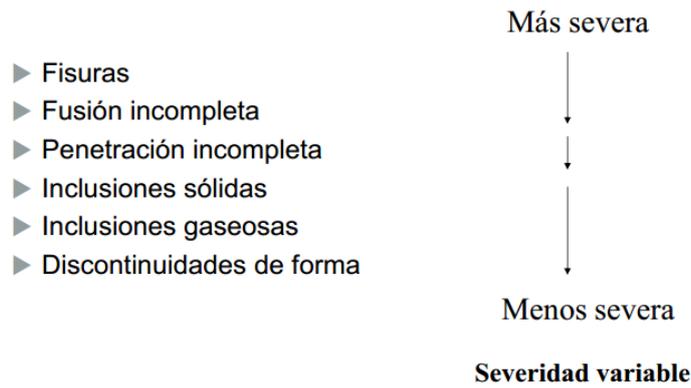


Figura 35. Ranking de discontinuidades, más severo y menos severo

Fuente: SSAB (2016)

### **I.3.21 ENSAYOS EN CORDONES DE SOLDADURA MIG**

Las soldaduras son ampliamente utilizadas en las industrias metalmeccánicas para las uniones de pieza y estructura metálica. Y para que se garantice las sanidades de estos tipos de unión es necesario que se realice el procedimiento, inspección y el ensayo adecuado bajo unas normas o estándares. Muchas de los exámenes se realizan con ensayos no destructivos, ya que tiene las cualidades de no alterarse las formas físicas, químicas o mecánicas de los materiales, este ensayo se aplica a un producto terminado, unión soldada, recipiente a presión, componente industrial, entre otros. De tal manera, nuestro personal se encuentra comprobado a niveles internacionales por unas instituciones que rige los campos de las soldaduras y del ensayo no destructivo, tal como las American Welding Society (AWS), el International Institute of Welding (IIW), la American Society for Non destructive Testing (ASNT) y el American Petroleum Institute (API) (CITEmateriales PUCP, 2019).

#### **Ensayos e inspecciones en uniones soldadas**

Ensayo mecánico de resistencias máximas a las tracciones, doblados, Nick break, impactos, macrografías, barridos de durezas.

- Calificaciones de procedimiento de soldaduras y soldador.
- Elaboraciones de especificación (WPS) y registro de calificaciones (PQR) de procedimiento de soldaduras.

- Supervisión de fabricaciones y montajes con soldaduras.
- Inspecciones de unión soldada.

### **Ensayos no destructivos**

- Inspecciones Visuales.
- Líquido Penetrante.
- Partícula Magnética.
- Radiografías Industriales por Rayos X.
- Ultrasonidos Industriales.
- Ultrasonidos Avanzados TOFD y Phased Array.
- Ensayo de integridades: prueba hidrostática, neumática e inspecciones de fuga.

#### **I.3.22 ENSAYOS DE LIQUIDOS PENETRANTES**

En términos generales, los ensayos de líquido penetrante revelan discontinuidad superficial mediante las afloraciones de unos medios penetrantes contra unos fondos contraste coloreados. Estos se logran a través de las aplicaciones de unos penetrantes (generalmente líquidos) sobre las superficies limpias de las piezas a experimentar. Una vez que se deja permanecer a los penetrantes sobre las superficies durante unas cantidades de tiempos de penetraciones, estos van a estar infiltrándose adentro de algunas aberturas superficiales. Seguidamente, se remueven los excesos de penetrantes y se aplican unos reveladores que sacan a los penetrantes que permanecen en la discontinuidad. La indicación resultante es mostrada en contrastes y magnifica las presencias de las discontinuidades de manera que puede ser interpretada visualmente. Hay 2 maneras básicas en la que puede ser agrupado al penetrante; precisamente, por los tipos de indicaciones producidas, y por los métodos de remociones de los penetrantes en excesos. Las 2 señales son visibles y fluorescentes. Las marcas visibles (generalmente rojas) producen unos colores rojos vivos contra unos reveladores blancos cuando se ven bajo la luz blanca. Los penetrantes fluorescentes producen unas marcas verdes contra unos tonos luminosos cuando son observados bajo la luz

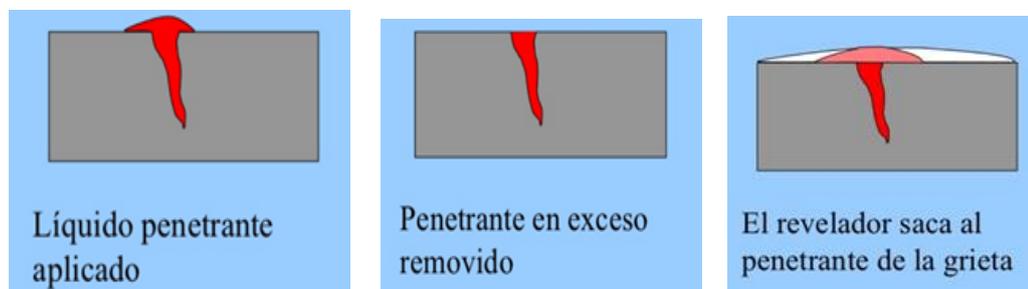
ultravioleta (negra). Necesario a que los ojos humanos pueden percibirse más buenamente unas marcas fluorescentes que unas marcas visibles, pueden resultar unos métodos de ensayos más sensibles los usos de penetrantes fluorescentes (Tecnología de Inspección de Soldadura – M10, 2017).



Figura 36. Spray de líquidos (Laboratorio Metalurgia UNT - 2018)

Fuente: Elaboración propia

La segunda categoría en la que es clasificado el penetrante se refieren a los métodos mediante los cuales el penetrante en exceso son removidos de las superficies. Puede ser removible mediante agua, solvente o post emulsionables. Los penetrantes removibles por medio del agua contienen unos emulsificadores que permiten a los penetrantes aceitosos se levanten con unas bajas presiones de spray de agua. El penetrante removible mediante solventes requiere unos solventes para removerse a los penetrantes de los objetos a ensayarse. El penetrante posts – emulsionable es removido agregandose unos emulsificadores luego de los tiempos de penetraciones. Las aplicaciones de estos permiten que los penetrantes sean removidos de las mismas formas de los removedores a base de agua. Combinando la característica de éstas 2 clasificaciones, pueden



producir series tipos de penetrante (SSAB, 2016).

Figura 37. Demostración grafica de la aplicación de líquidos.

Fuente: SSAB (2016)

El resumen de las ventajas y desventajas de este método se ven en la Tabla 8.

**Tabla 8**

*Ventajas, desventajas y aplicaciones del uso de líquidos penetrantes.*

VENTAJAS	DESVENTAJAS	APLICACIONES
-Simple de usar, fácil y preciso de interpretar		-Detección de grietas superficiales en todos los metales

Fuente: SSAB (2016)

### I.3.23 Ensayo de Corriente de Eddy

El ensayo por corriente inducida (Corrientes de Eddy) se basan en las medidas del cambio de impedancias en unos materiales conductores eléctricos. Consisten en hacer pasar unas corrientes alternas por unos solenoides, las cuales generan unos campos magnéticos. Al colocar las piezas a inspeccionarse en direcciones perpendiculares a los campos magnéticos creados por los solenoides, genera corriente inducida circular en las piezas. La corriente eléctrica inducida va a producirse en unos campos magnéticos (secundarios) que se van a oponer a los campos magnéticos de los solenoides (primarios) y modificaran las impedancias de las bobinas. Las consiguientes variaciones de las corrientes eléctricas que circulan por las bobinas son los parámetros que se miden y se registran. El defecto existente en las piezas interrumpe la corriente inducida, los que provocan que los cuerpos magnéticos producidos por dicha corriente sean menores (Federación de enseñanza de CC.OO. Andalucía, 2011).

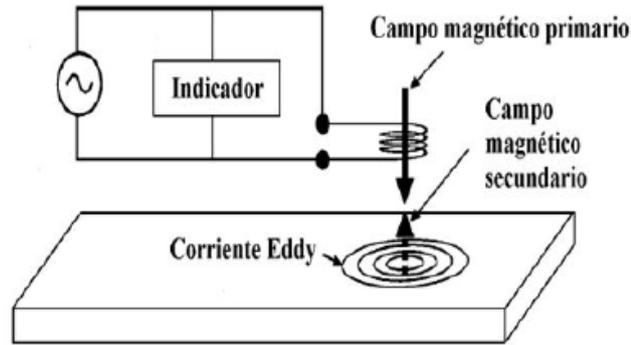


Figura 38. Corriente Eddy

Fuente: Federación de enseñanza de CC.OO. Andalucía (2011)

Son unas pruebas superficiales detectando defecto sub – superficial, cercano a las superficies y evaluándose un agrietamiento en la zona afectada por las soldaduras. Los patrones de corriente inducida y los campos magnéticos que obligatoriamente están asociados a ella, está influenciado por diferente característica de los materiales bajo pruebas. Esta característica puede agruparse en 3 grupos: detecciones de discontinuidad, mediciones de propiedad del material y medición dimensional (Federación de enseñanza de CC.OO. Andalucía, 2011). El resumen de la ventaja y desventaja de estos métodos se ven en la Tabla 9.

**Tabla 9**

*Ventajas, desventajas y aplicaciones del END de Corriente Eddy.*

VENTAJAS	DESVENTAJAS	APLICACIONES
<ul style="list-style-type: none"> <li>-Sistema rápido, sensible y portable.</li> <li>-Útil para chequeo de taladros de unión para la localización de grietas.</li> <li>-Detecta fácilmente fisuras.</li> <li>-Se puede actuar a tiempo de forma precisa.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Sensible a combinaciones y variaciones en el material.</li> <li>-Requiere de probetas especiales para cada aplicación.</li> <li>-El equipo es complejo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Medida de la conductividad para determinar áreas dañadas por el fuego.</li> <li>-Detección de discontinuidades en superficies metálicas, grietas, corrosión intergranular y tratamientos térmicos.</li> <li>-Intercambiadores de calor ferromagnéticos.</li> <li>-Fuselaje de aviones.</li> </ul>

Fuente: CC.OO. Andalucía (2011)

### I.3.24 Ensayo de Ultrasonido

El equipo utilizado para la aplicación de estas técnicas es capaz de generar, emitir y captar haces de ondas muy bien definidas, sujetas a leyes de reflexión al encontrar en su trayectoria un cambio en las propiedades físicas del medio en el cual se propagan. Al ser captadas, son analizadas según el objetivo del equipamiento y con la determinación del tiempo transcurrido desde su emisión hasta su recepción, puede conocerse la distancia recorrida, al ser la velocidad previamente establecida. Federación de enseñanza de CC.OO. Andalucía 2011).

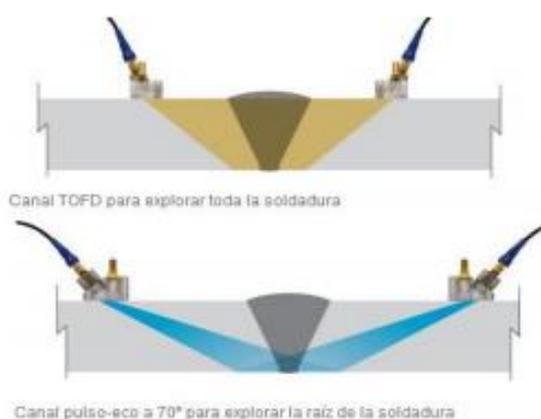


Figura 39. Comparación pulso - eco

Fuente: Federación de enseñanza de CC.OO. Andalucía (2011)

Es un método en el cual un haz de alta frecuencia (125 KHz a 20 MHz) es circulado en el material a ser inspeccionado con el objetivo de detectar discontinuidades internas y superficiales (fisuras, inclusiones, etc.) El sonido que recorre el material es reflejado por las interfaces y es detectado, y analizado para determinar la presencia y localización de discontinuidades (Federación de enseñanza de CC.OO. Andalucía, 2011).

**Tabla 10**

*Ventajas, desventajas y aplicaciones del END de Ultrasonido.*

VENTAJAS	DESVENTAJAS	APLICACIONES
-Alta precisión transportable y alta sensibilidad.	-Se requieren patrones para ajustar el instrumento.  -Se requieren operadores entrenados.	-Detección de discontinuidades en la superficie y cerca de la superficie mediante

-Rápido y fácil de operar. -Resultados inmediatos.	-Requiere corriente externa. -La orientación de la grieta debe ser conocida para seleccionar el tipo de onda usada.	técnicas de pulsos y ecos.
---	--	----------------------------

Fuente: CC.OO. Andalucía (2011)



Figura 40. Máquina de ultrasonido (Laboratorio Metalurgia UNT - 2018)

Fuente: Elaboración propia

### I.3.25 Ensayo de Metalografía

Entre las disciplinas que se encargan del estudio de estructuras en materiales encontramos la metalografía. Es una disciplina que se encarga de examinar y determinar los componentes en una muestra de metal, haciendo uso de varios niveles de magnificación que pueden ir desde 20x hasta 1000000x. También se conoce como el proceso entre la preparación de una muestra de metal y la evaluación de su microestructura (Metalografía protocolo, 2011).



Figura 41. Microscopio invertido Laboratorio Metalurgia UNT – (2018)

Fuente: Elaboración propia

Dicha figura muestra el intervalo en tamaño, para el cual es posible observar ciertas microestructuras típicas en materiales. El estudio de metalografía comprende en gran parte la observación de granos, la dirección, el tamaño y la composición de los mismos; estas microestructuras pueden ser observadas entre  $10^{-8}$  m y  $10^{-2}$  m. El estudio de metalografía puede integrarse en dos subdivisiones: Análisis macroscópico y Análisis microscópico (Metalografía protocolo, 2011).

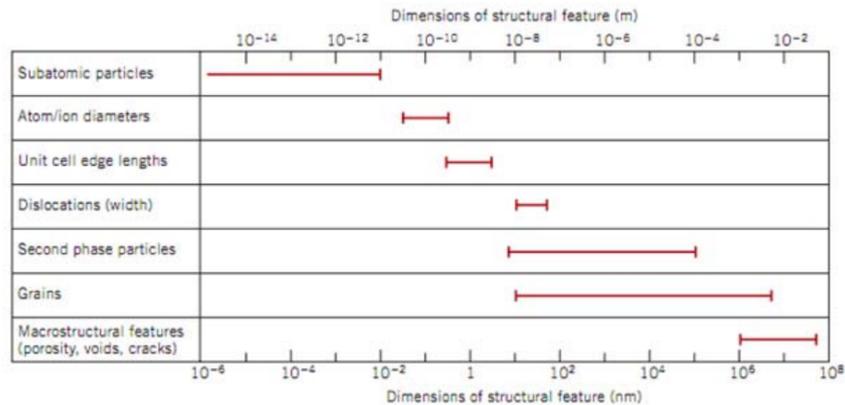


Figura 42. Diferentes rangos de tamaños para estructuras típicas en materiales.

Fuente: Metalografía protocolo (2011)

## ANÁLISIS MACROSCÓPICO

El análisis macroscópico es aquel que se puede realizar a simple vista, es decir sin necesidad de un microscopio, el rango de tamaño como se puede ver en la figura anterior inicia en  $10^{-3}$  m en adelante. El análisis macroscópico se puede usar en:

- Líneas de flujo en materiales forjados
- Capas en herramientas endurecidas por medio de tratamiento térmico
- Zonas resultado del proceso de soldadura
- Granos en algunos materiales con tamaño de grano visible
- Marcas de maquinado

- Grietas y ralladuras
- Orientación de la fractura en fallas.

Metalografía protocolo (2011 – II)

## **ANALISIS MICROSCOPICO**

Aquel tipo de análisis que no se puede realizar a simple vista, menor a 10(-3) m. Observar las estructuras microscópicas en materiales ayuda a comprender el comportamiento de los mismos. El análisis microscópico se puede usar en:

- Tamaño de grano.
- Límites de grano y dislocaciones.
- Análisis microestructural
- Distribuciones de fases en aleaciones

Para comprender el análisis microscópico es necesario tener claridad sobre el concepto de grano y el funcionamiento del microscopio metalográfico.

La preparación de una muestra consiste en los pasos necesarios para poder analizar la misma de forma correcta. Específicamente se describen a continuación (Metalografía protocolo, 2011).

**SECCIONAR:** consiste en remover una muestra del material analizado, teniendo en cuenta las convecciones en tamaño y que tan representativa es dicha porción del total a analizar. Este primer paso es usado para otras prácticas además de la metalografía, por ejemplo, ensayos de dureza.

**MONTAJE DE LA MUESTRA:** Consiste en proporcionar una base que sostenga la muestra, lo anterior brinda facilidad de uso. Por ejemplo, en la manipulación de especímenes pequeños o cortantes. Es importante tener en cuenta que, antes de realizar el montaje se debe limpiar la muestra según su naturaleza. Por ejemplo, muestras con oxido (el cual no es objeto de estudio)

Deben ser limpiadas químicamente, por otro lado, la limpieza física es adecuada y casi siempre necesaria.

**MONTAJE TECNICO:** Montaje en abrazaderas de diferentes tipos, es un tipo de montaje sencillo, pues no requiere maquinaria especializada.

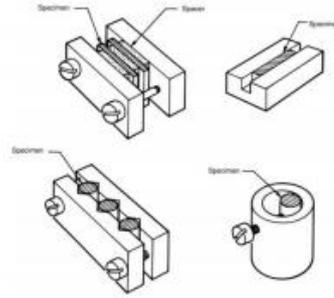


Figura 43. Tipos de montaje mecánico.

Fuente: Metalografía protocolo (2011)

**Montaje en plástico:** Es el tipo de montaje más usado. Básicamente se usan dos formas para montaje en plástico.

- Moldeo por compresión o montaje en caliente: requiere de calor, presión y por tanto algún tipo de prensa especializada.
- Montaje en frío: se realiza vertiendo encima de la muestra, dos muestras líquidas polímeros que se solidifican al reaccionar con temperatura ambiente.

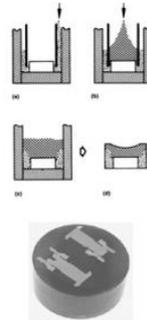


Figura 44. Tipos de montaje mecánico montaje en frío.

Fuente: Metalografía protocolo (2011)

**Tabla 11**

*Ventajas, desventajas y aplicaciones del END de Metalografía*

VENTAJAS	DESVENTAJAS	APLICACIONES
-Muy buena resolución (8/10 puntos).	-Si el operados no tiene experiencia las burbujas	-Las causas más frecuentes de rotura de elementos de

-Colocación y extracción en 3 min.	pueden perjudicar las zonas de interés.	caldera o componentes que soportan presión y temperatura, pueden ser clasificadas en
-Ideal para estudiar fisuras.	-Difícil aplicación en áreas irregulares.	
	Aplicación para áreas pequeñas.	<b>MECANICO, QUÍMICO Y TÉRMICO</b>

Fuente: Metalografía de Protocolo (2011)

### I.3.26 ENSAYO DE DUREZA VICKER

El ensayo de dureza Vickers es un método versátil, utilizado para macro y micro ensayos de dureza. Abarca un amplio rango de carga, y es idóneo para múltiples aplicaciones y materiales.

El método Vickers se deriva directamente del método Brinell. Se emplea mucho en laboratorio y en particular para piezas delgadas y templadas, con espesores mínimos hasta de 0.2 mm. Se utiliza como penetrador una punta piramidal de base cuadrangular y ángulo en el vértice entre caras de 136 °. Este ángulo se eligió para que la bola Brinell quedase circunscrita al cono en el borde de la huella. Struers (2019)

La dureza Vickers viene dada por:  $HV = P/S$  (Kg/mm) dónde S es la superficie de la impronta y P la carga aplicada.

Ponemos la fórmula en función de la diagonal “d”.

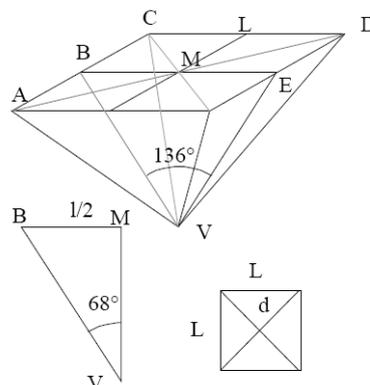


Figura 45. Imagen del penetrador.

Fuente: Archivos UNT (2018)

$$S = 4 \frac{AC \cdot VB}{2} = \frac{4L \cdot VB}{2} \dots \text{Fórmula en función de la diagonal} \quad (2)$$

$$\frac{1}{2} = VB \sin \sin 68^\circ \Rightarrow VB = \frac{L}{2 \sin \sin 68^\circ} \quad (3)$$

$$L^2 + L^2 = d^2 \Rightarrow 2L^2 = d^2 \Rightarrow L = \frac{\sqrt{2}}{2} d \quad (4) \quad VB = \frac{\sqrt{2}d}{4 \sin \sin 68^\circ} \quad (5)$$

$$\text{Donde } d = \frac{d_1 + d_2}{2} \quad (6)$$

Luego nos queda una superficie de

$$S = \frac{4 \frac{\sqrt{2}}{2} d \frac{\sqrt{2}}{2} d}{4 \sin \sin 68^\circ} = \frac{d^2}{2 \sin \sin 68^\circ} \quad (7)$$

Así pues, la expresión para dureza Vickers.

$$HV = 1.854 \frac{P}{d^2} \left( \frac{Kg}{mm^2} \right) \quad (8)$$

Donde P es generalmente 30 Kp (entre 5 y 100 Kp)- pero si es dureza superficial es 1.3 o 1.5 Kp

### COMO MEDIR LA DUREZA VICKERS EN 7 PASOS

1. Utilice una máquina de ensayo de dureza Duramin-40. Coloque la muestra en la mesa.
2. Haga clic y arrastre el ratón para mover la muestra a su posición.
3. Desplácese para enfocar correctamente.
4. Seleccione el método de ensayo y la carga.
5. Elija un objetivo y un nombre para el trabajo.
6. Utilice la cámara de visión general para colocar el penetrador.
7. Inicie el ensayo. Struers (2019)



Figura 46. Ensayo de dureza Vickers Laboratorio Metalurgia – UNT 2018

Fuente: Elaboración propia

### **PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE**

Antes de colocar el material de la muestra en la máquina de ensayo de microdureza, debe asegurarse de que se ha preparado correctamente.

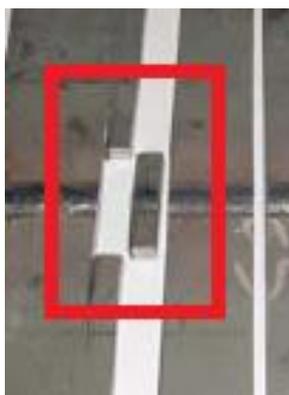


Figura 47. Probeta obtenida de la plancha

Fuente: Elaboración propia

El estado en que deberá encontrarse la superficie para el ensayo de dureza Vickers dependerá del tipo de carga utilizado.

CARGAS		
Standard	Load Range	
<b>ISO 6507</b>	10 gf - ≤100 kgf	(0.0981 - 9.807 N)
<b>ASTM E384</b>	1 gf - ≤1 kgf >1 kgf - ≤120 kgf	(0.0098 - ≤9.807 N) (>9.807 - ≤1176.800 N)

✓ Tiempo de indentación: 10-15 segundos  
 ✓ Grosor de muestra según norma ASTM: Como mínimo 10 veces la profundidad de la penetración  
 ✓ Grosor de la muestra según norma ISO: Como mínimo 1,5 veces la longitud diagonal

Figura 48. Cargas según normas

Fuente: Struers (2019)

### **ESPACIAMIENTO DEL PENETRADOR.**

Independientemente del ensayo de microdureza utilizado, cuando realice un ensayo de dureza Vickers, la penetración deformará el material circundante y alterará sus propiedades. A fin de evitar malas interpretaciones de la dureza percibida, las normativas del ensayo de dureza Vickers prescriben una cierta distancia entre las múltiples penetraciones.

#### **Acero y cobre**

- Al menos 3 anchos diagonales entre las penetraciones: Plomo, zinc y aluminio.
- Al menos 6 anchos diagonales entre las penetraciones

### **ANCHURAS DIAGONALES**

Para garantizar una lectura precisa del penetrador, los estándares del ensayo de dureza Vickers prescriben una anchura diagonal mínima de 20 µm. Ello implica, por ejemplo, que la medición CHD utilizando una dureza Vickers inferior a 0,2 generalmente se debe evitar, ya que producirá una penetración inferior a 20 µm (Struers, 2019).

**Tabla 12**

*Ventajas, desventajas y aplicaciones del END de Dureza Vickers.*

VENTAJAS	DESVENTAJAS	APLICACIONES
<ul style="list-style-type: none"><li>-Puede medirse una amplia gama de materiales desde muy blandos hasta muy duros.</li><li>-Puede medirse dureza superficial (para determinar recubrimientos de los materiales).</li><li>-Las huellas resultan bien perfiladas, cómodas para la medición.</li><li>-En el ensayo Vickers se pueden probar materiales muy duros a diferencia del Brinell. Instituto Tecnológico de Sonora – Miguel Ángel Castro Ramírez 2013</li></ul>		<ul style="list-style-type: none"><li>-Se usa para materiales duros y quebradizos como la cerámica.</li><li>-Está especialmente indicado para áreas pequeñas y alargadas, como los recubrimientos.</li></ul> <p>Struers (2019)</p>

Fuente: Struers (2019)

### I.3.27 Ensayo de Dobles

Ensayo de tipo tecnológico consiste en someter el material a un plegado simple o alternativo y observar la aparición de grietas. Se emplea para láminas, tubos y alambres.

Ensayo de plegado simple: Se realiza este ensayo apoyando las probetas sobre 2 puntos fijos, generalmente rodillos, y ejerciendo una presión mediante un mandril curvo u otro rodillo, hasta que la probeta se doble en el ángulo deseado (a).

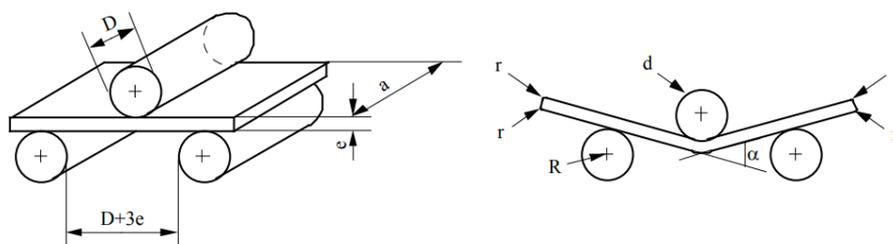


Figura 49. Ilustración de ensayo de dobles.

Fuente: Malishev, G. Nikolaiev, Y. Shuvalov (1985)

- Las probetas suelen ser barras con una anchura:  $a > 1.5 e$
- Las aristas de la cara estirada y redondearan con un radio aproximadamente  $r = e/10$
- Si  $e > 30$  mm, se mecaniza por una de sus caras hasta que  $e = 30$  mm. Las piezas forjadas  $e = 20$  mm.
- La distancia entre rodillo de apoyo debe ser  $L = D + 3e$ , siendo D el diámetro del rodillo que ejerce la presión.

$e = 20$  mm materiales forjados; Rodillos diámetro 25 mm si  $e < 12$  mm

- La longitud del mandril deberá ser mayor que la anchura de las probetas.
- Si el plegado ha de ser a 180 grados, se aplica la máquina hasta 140 o, y luego se comprimen directamente las 2 ramas hasta conseguir el contacto de las dos caras o hasta que queden paralelas, intercalando entre ellas una cuña. - Si la pieza a ensayar es de sección circular o poligonal, se puede usar sin preparación previa, si su diámetro o el círculo inscrito es  $\geq 30$  mm. Cuando sea  $\geq 30$  mm, se mecaniza una barra cuadrada o rectangular de  $a = 30$  mm (Malishev, G. Nikolaiev, Y. Shuvalov, 1985).



Figura 50. Máquina de dobles RMB Sateci

Fuente: Elaboración propia

### **Ensayo de resistencia al doble.**

Existen diferentes tipos de ensayos de doblez, dependiendo de su orientación, de la soldadura respecto al doblez. Existen tres tipos de probetas para doblez transversal que son:

- Doble de cara
- Doble de raíz
- Dobles lateral

En estos, la soldadura se encuentra perpendicular a la dirección longitudinal de la probeta, y su nombre se refiere al lado de la soldadura el cual es puesto en tensión durante el ensayo; esto es, la cara de la soldadura es estirada en el doble de cara, la raíz es estirada en el doble de la raíz y el lado de la sección transversal de la soldadura estirada en el doble lateral.

**Tabla 13**

*Ventajas, desventajas y aplicaciones del ED de Dobles.*

VENTAJAS	DESVENTAJAS	APLICACIONES
-Permite observar discontinuidades superficiales.	-Por cada prueba se usa una sola probeta.	-Se aplica en el sector metan mecánico mayormente, para calificación de soldador.

Fuente: Malishev, G. Nikolaiev, Y. Shuvalov (1985)

## **I.4 FORMULACION DEL PROBLEMA**

¿Es la soldabilidad del acero STRENX 700 superior a la de los aceros ASTM A36 y ASTM A572 en juntas soldadas mediante GMAW de vigas de semirremolque?

## **I.5 JUSTIFICACION DEL ESTUDIO**

### **I.5.1 Justificación Técnica**

El uso de acero de alta resistencia Strenx/Domex 700 en los diferentes tipos de juntas de los semirremolques que vamos a estudiar, nos va a permitir relacionar y comparar las ventajas que se van a lograr. Haciendo un estudio comparativo para los aceros usados anteriormente y lo que ahora se va a usar.

Existen unidades fabricadas y que están transitando con aceros ASTM A36, ASTM A572, la cuales pueden mejorar reduciendo su peso neto y aumentando la carga útil.

Tener mayor carga útil y reducir el peso neto de la unidad tiene los beneficios para el transportista como para la empresa, como son.

- Reducción de tensión en uniones
- Pueden utilizarse todos los métodos de soldadura.
- El riesgo de defectos inherentes al material es bajo.
- Hay disponibles una gran cantidad de metales de aporte.
- A menudo pueden utilizarse metales de aporte con menor límite elástico.
- En la unión soldada pueden lograrse buenas propiedades mecánicas.
- Localizar las soldaduras expuestas a fatiga en zonas de baja concentración de tensiones.
- Si se requiere una mayor resistencia a la fatiga, utilice tratamientos post-soldadura o cambie a un método de unión con mejores propiedades de fatiga.
- Con aceros avanzados de alta resistencia se pueden reducir los costos de producción.

### **I.5.2 Justificación Económica**

Un nuevo producto que beneficia a vendedor y clientes, teniendo como principal objetivo disminuir el costo en los consumibles, y disminuir el peso en las unidades, hacer un producto más dinámico estructuralmente.

- Disminución del material de aporte necesario.
- Reducción del tiempo de la operación de soldadura.
- Menor consumo de energía.
- Menos gases en la operación de soldadura.
- Chapas más ligeras, más fáciles de manejar.

### **I.5.3 Justificación Institucional**

La empresa que usa dicho acero está dando un paso importante a lo que es el liderazgo en el mercado y en el rubro, ya que, al innovar sus productos, con un nuevo material y el que disminuya el espesor de las planchas, hacerlo más ligera

y que tenga una mayor carga dinámica, causa un extra en las unidades, trenado un nuevo producto al mercado.

#### **I.5.4 Justificación Socio Ambiental**

El corte del acero Strenx 700 por plasma, hace que sea menos contaminante, ya que el corte es más fino y tiende a no botar muchos humos tóxicos, como si lo hacen los aceros comerciales. OBJETIVOS

### **I.6 HIPOTESIS**

Los aceros STRENX 700 presentan mejor soldabilidad respecto a los aceros ASTM A572/A36 evaluada de acuerdo con el código AWS D1.1 en juntas soldadas mediante proceso GMAW.

### **I.7 OBJETIVOS**

#### **I.7.1 Objetivo General**

Determinar la soldabilidad comparativa de los aceros ASTM A36, A572 y STRENX 700 de acuerdo con el código AWS D.1.1 en forma experimental en juntas soldadas mediante proceso GMAW para recomendar el reemplazo de los dos primeros aceros por el tercero en su uso en vigas de semirremolque.

#### **I.7.2 Objetivos Específicos**

- Determinar indicadores de soldabilidad constructiva mediante una visita in-situ a la empresa y 05 entrevistas al personal relacionado con la estructura y su conformación por soldeo.
- Realizar una revisión de la literatura y normativa de la soldabilidad en estructura de acero para semirremolques y/o estructuras afines.
- Identificar los criterios de soldabilidad y la normativa y ensayos asociados para la aplicación particular.
- Manufacturar las probetas a ensayar según recomendaciones y/o normativa.
- Ejecutar los ensayos de soldabilidad metalúrgica y constructiva
- Comparar la soldabilidad de cada acero en base a los resultados de los ensayos.
- Realizar una simulación numérica de la estructura del semirremolque incluyendo la viga principal considerando los tres aceros: ASTM A36, ASTM

A572 y STRENX 700 para obtener un indicador de ventaja económica en el reemplazo de los dos primeros aceros por el tercero.

# MÉTODO

## II. METODO

### II.1 DISEÑO DE INVESTIGACION

Experimental: El objeto de estudio de éstos 03 tipos de acero ASTM A36; ASTM A572 y STRENX 700 es estudiar la soldabilidad de estos aceros, los cuales fueron proporcionados por la empresa metal mecánica RMB SATECI S.A.C en planchas de 4 x 8 pulg las fichas técnicas de los tipos de aceros se encuentran en los anexos.

#### 2.1.2 Instalaciones

Las probetas para los ensayos se fabricaron en las instalaciones de la empresa RMB SATECI S.A.C Lima – Perú. En la Figura No. 51 se aprecia una vista panorámica de la misma.



Figura 51. Empresa RMB Sateci toma panorámica

Fuente: Google Maps

Los ensayos de tintes penetrantes, ultrasonido, corriente Eddy, dureza Vickers, Metalografía se realizaron en el Laboratorio de Ensayos No destructivos de la Escuela de Ingeniería Metalúrgica – UNT (Figura No. 52).

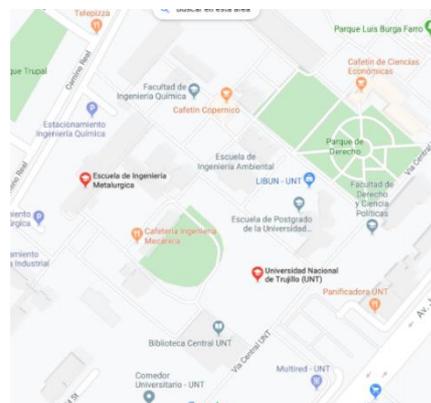


Figura 52. Universidad Nacional de Trujillo – Vista panorámica

Fuente: Google Maps

## **II.2 VARIABLES Y OPERACIONALIZACION**

Las variables seleccionadas como independientes, dependientes e intervinientes se detallan a continuación. La relación entre estas variables se puede apreciar en la caja negra de la Figura No. 58.

### **2.1.1 Variables independientes**

Tipo de acero: Strenx 700, ASTM A36, ASTM A572

### **2.1.2 Variables Dependientes**

Soldabilidad

Defectología en superficie y volumétrica.

Dureza, Hv.

Metalografía.

Doblado.

### **2.1.3 Variables Intervinientes**

Humedad

Condiciones ambientales.

habilidad del soldador.

Estado de máquina de soldar y gases intervinientes.

## **II.3 POBLACION MUESTRA**

### **II.3.1 Población**

Aceros estructurales soldados

### **II.3.2 Muestra**

Chapas soldadas de aceros Strenx 700, ASTM A572 y ASTM A36

2 pruebas cupón por cada tipo de acero estructural de acuerdo con el código AWS D1.1, de 4pulg. x 8pulg.

## 2.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS, VALIDEZ Y CONFIABILIDAD

### 2.4.1 Equipos e instrumentos

#### 2.4.1.1 Equipo de corrientes de Eddy.

Los ensayos de corrientes de Eddy para determinación de Fisuras se realizaron en el equipo El Mentor EM (ver anexo No. 29). En la Figura No. 53 se puede apreciar el equipo perteneciente a al Laboratorio EDN de la Escuela Ingeniería Metalúrgica.



Figura 53. Equipo de corrientes Eddy – UNT Laboratorios de Metalurgia

Fuente: Elaboración propia

#### 2.4.1.2 Equipo de Ultrasonido.

Los ensayos de Ultrasonido para determinación de Fisuras se realizaron en el USM 36 (ver anexo No. 30). En la Figura No. 54 se puede apreciar el equipo perteneciente a al Laboratorio EDN de la Escuela Ingeniería Metalúrgica.



Figura 54. Equipo de Ultrasonido – UNT Laboratorios de Metalurgia

Fuente: Elaboración propia

#### **2.4.1.3 Equipo de Dureza Vickers**

Los ensayos de Dureza Vickers para determinación de Fisuras se realizaron en el equipo Micro Durómetro Digital Innivatest Falcon 5000. (ver anexo No. 31). En la Figura No. 55 se puede apreciar el equipo perteneciente a al Laboratorio EDN de la Escuela Ingeniería Metalúrgica.



Figura 55. Equipo de Dureza Vickers – UNT Laboratorios de Metalurgia

Fuente: Elaboración propia

#### **2.4.1.4 Equipo de Metalografía**

Los ensayos de metalografía para determinación de límite de grano se realizaron en el equipo Microscopio Metalográfico invertido AXIO ZEISS (ver anexo No. 32). En la Figura No. 56 se puede apreciar el equipo perteneciente a al Laboratorio EDN de la Escuela Ingeniería Metalúrgica. Microscopio Metalográfico Invertido Axioo Zeiss.



Figura 56. Microscopio Metalográfico – UNT Laboratorios de Metalurgia

Fuente: Elaboración propia

#### **2.4.1.5 Equipo de Dobles**

Los ensayos de corrientes de Eddy para determinación de Fisuras se realizaron en la prensa Hidráulica de la empresa RMB SATECI En la Figura No. 57 se puede apreciar el equipo.



Figura 57. Prensa Hidráulica RMB SATECI - 2017

Fuente: Elaboración propia

#### **2.4.2 Material adicional**

Gases de protección Ar (80 %) y CO<sub>2</sub> (20%).

Lijas de Agua N°: 220, 320, 400, 600, 800, 1000, 2000.

Esmeril.

Disco de corte 4 pulg.

Cámara fotográfica

Computadora HP I3.

Equipo de soldadura MIG – MAG: Marca Lincoln.

Esmeril Angular de 7” A4-600: Marca INDURA, Modelo A4-600.

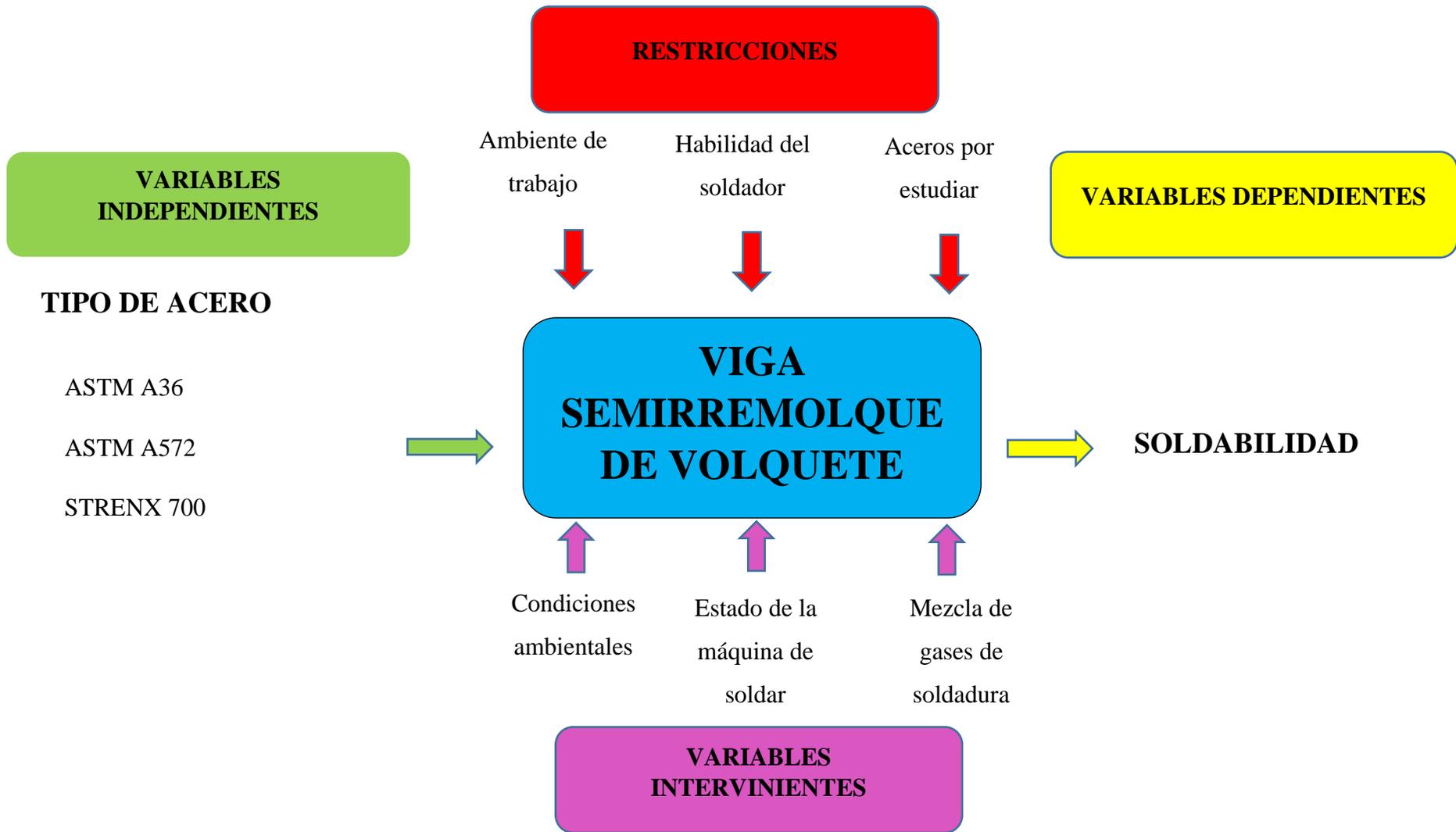


Figura 58. Caja Negra

Fuente: Elaboración propia

# RESULTADOS

### **III. RESULTADOS**

#### **III.1 Visita y entrevistas en la empresa**

Realizada la visita a la empresa y ejecutadas las entrevistas (ver Anexos No. 1) se elaboró un cuadro con las respuestas del personal, el cual se aprecia en las Tablas 14 y 15. Las preguntas elaboradas están orientadas a identificar el grado de aceptación de la idea de reemplazo de los aceros ASTM A36 y ASTM A572 por el acero STRENX 700.

Se realizó un resumen de acuerdo con los datos obtenidos en las entrevistas que se aprecia a continuación.

#### **Pregunta N°1: Cual es la relación que se tiene del producto a analizar con su puesto de trabajo.**

En RMB SATECI la relación que cada trabajador administrativo u obrero en la empresa es tener productos resistentes para que al momento de ser sometido a trabajo en mina o en el sector industrial cumpla las expectativas de nuestros clientes, además de tener un menor peso y mayor carga útil.

#### **Pregunta N°2: Cuales son las especificaciones importantes que considerar en el diseño y fabricación de las vigas de los semirremolques.**

Según las personas encuestadas, al vender nuestros productos, debemos de transmitir al cliente la innovación que se tiene como empresa líder en el sector carroceros, trayendo consigo un nuevo producto futurista que va a traer buenas mejoras, tanto estructuralmente como económicamente.

#### **Pregunta N°3: Que características debe de tener el acero que va a reemplazar, y la performance que va a diferenciar de los aceros comunes en las vigas.**

Las características que debe de tener nuestro nuevo acero es ser resistente a las cargas que será trabajada, ya que en el Perú nuestra geografía es accidentada y por ende nuestras unidades van a ser sometida a diferentes escenarios geográficos.

#### **Pregunta N°4: Que beneficios, ganancias tendrá la empresa a partir de este cambio significativo en las flotas y nuevas unidades que va a fabricar.**

Ser reconocida a nivel nacional por ser la primera empresa en apostar por nuevas tecnologías de desarrollo, ya que traemos un producto alternativo y a la vez futurista

que va a desplazar a los aceros comerciales a la fabricación de nuevos productos, reduciendo pesos y teniendo las mismas o mejores propiedades fisicoquímicas en la industria.

**Pregunta N°5: A qué tipo de cargas estará sometida la estructura.**

Los productos en desarrollo serán sometidas a cargas estáticas y dinámicas, ya que sobre ellas va a trabajar transportando diferentes minerales en las tolvas, es por ende que la estructura de nuestras vigas tiene que ser resistente.

**Pregunta N°6: En que tiempo se podría ver la aceptación del nuevo cambio de material en las vigas.**

A partir de la fabricación y la venta de nuestras unidades se tendrá que hacer un seguimiento, encargando al área de post venta para que vea cómo se comporta nuestras estructuras y hacer un análisis comparativo con las anteriores que pasaran a ser nuestras unidades obsoletas, a partir de ver un buen cambio en ellas se tendrá que realizar y promover nuestros nuevos productos.

**Información Técnica**

Se pudo obtener también de parte de la empresa las fichas técnicas de los aceros ASTM A36, ASTM A572 y STRENX 700 según el proveedor que suministra (TRADI SAC). Estas fichas técnicas fueron usadas posteriormente en los cálculos de soldabilidad y se pueden apreciar en los Anexos No. 2, 3 y 4.

**Tabla 14**

*Resumen de entrevista para determinar las necesidades de la empresa RMB SATECI.*

ENTREVISTADOS Preguntas	RANDOLF CANALES GERENTE COMERCIAL	GERMAN GARCIA JEFE DE INGENIERIA	ISRAEL IRIARTE JEFE DE PCP	VICTOR ROMERO JEFE DE PLANTA	JOSE SALDAÑA JEFE DE POST VENTA
1.Cuál es la relación que se tiene del producto a analizar con su puesto de trabajo.	Soy el que va a ofrecer este nuevo producto innovador	Soy el encargado del diseño de la estructura	Relacionar los precios de las planchas de acero	Ver el comportamiento de las planchas al cortarlas y soldarlas	Ver el comportamiento de las unidades en campo
2. Cuáles son las especificaciones importantes que considerar en el diseño y fabricación de las vigas de los semirremolques	Menos Peso de las unidades y mayor carga útil para nuestros clientes.	Menor peso, e igual o mayor resistencia a los aceros comerciales.	Igual resistencia que los anteriores aceros	Menor peso de las unidades	Menor peso de las unidades

3 Que características debe de tener el acero que va a reemplazar, y la performance que se va a diferenciar de los aceros comunes en las vigas.	Resistente	Resistente, no tener problemas con los otros aceros estructurales al momento de soldar	Usar las mismas máquinas de corte y soldado que los aceros comerciales	Usar el mismo tipo de alambre al soldarlo	Usar las mismas máquinas para el tratado del acero
--	------------	--	--	---	--

*Fuente: Elaboración Propia*

### **Tabla 15**

*Resumen de entrevista para determinar las necesidades de la empresa RMB SATECI. (continuación)*

ENTREVISTADOS	RANDOLF CANALES	GERMAN GARCIA	ISRAEL IRIARTE	VICTOR ROMERO	JOSE SALDAÑA
Preguntas	GERENTE COMERCIAL	JEFE DE INGENIERIA	JEFE DE PCP	JEFE DE PLANTA	JEFE DE POST VENTA
4. Que beneficios, ganancias tendrá la empresa a partir de este cambio significativo en las flotas y nuevas unidades que va a fabricar.	A nivel nacional seremos la primera empresa en un diferente tipo de acero respecto a la competencia.	Será un proyecto innovador ya que el uso de nuevos aceros hace que salgan nuevos diseños a la venta.	Nos va a diferenciar de la competencia.	Tendremos menor peso de acero en nuestras unidades.	Seremos vistos comercialmente una empresa innovadora.

5. A qué tipo de cargas estará sometida la estructura.	22m3 a mas	Cargas estáticas y dinámicas	22m3	Cargas estáticas y dinámicas	Cargas estáticas y dinámicas
6 En que tiempo se podría ver la aceptación del nuevo cambio de material en las vigas.	En medio año	Medio año	1 año	Haciendo un comparativos en los mismos trabajos con las unidades anteriores	Hacer un comparativo en un cierto tiempo con unidades antiguas.

*Fuente: Elaboración Propia*

### III.2 Normativa asociada a la soldabilidad de Aceros Estructurales

Las normas y códigos relacionados directamente con los ensayos desarrollados son:

- **ANSI/AWS D1.1. 2000 código para soldadura estructural – acero**

Este código cubre los requisitos de soldadura para cualquier tipo de estructura soldada realizada con aceros al carbono y de baja aleación utilizados comúnmente en la construcción. Las Secciones 1 a 9 constituyen un conjunto de reglas para la regulación de la soldadura en la construcción con acero. En este código se incluyen nueve anexos normativos y once anexos informativos. Con el documento también se incluye un comentario sobre el código (Ver Anexo No. 19).

- **ASTM E165 Líquidos penetrantes.**

Las definiciones relativas a la inspección por tintas penetrantes, las cuales aparecen en la terminología E1316 se aplican a los términos utilizados en este. Resumen de método de prueba. Un líquido penetrante el cual podría ser visible o de material fluorescente es aplicado aun en superficies que están siendo inspeccionadas y permiten entrar en las discontinuidades abiertas después de un tiempo. El exceso de penetrante en la superficie es removido. Un revelador es aplicado y dibuja o muestra que el penetrante sale de la discontinuidad y mancha el revelador. El resto de la superficie es entonces inspeccionado y determina la presencia o la ausencia de indicación. Nota 1 - el removedor puede ser omitido por acuerdo entre el comprador y el proveedor. Nota2 – precaución, la inspección por penetrantes fluorescentes, no seguirá una inspección por penetrantes visibles a menos que el procedimiento ha sido calificado de acuerdo con 10.2,

Parámetros de procesos, tales como la pre-limpieza de la superficie, tiempo de penetración y método de remoción del exceso de penetrante (Ver Anexo No. 17).

- **ISO 17643: 2015 Corriente de Eddy**

En este artículo estudiamos el uso del método de prueba de corriente Foucault (ECT) para la detección de grietas por fatiga. En especímenes soldados de acero. Nos enfocamos en modelar la detección usando FEM (Método de elementos finitos) y

realizamos una comparación cualitativa entre los resultados teóricos y las mediciones experimentales. Para evaluar la capacidad del modelo teórico para simular con precisión las pruebas soldadas realizadas con la norma (Ver Anexo No. 18).

- **Código AWS DI. 1 sección V – Tabla 5.2. Ultrasonido**

El Código AWS DI. 1 especifica el uso de los patrones IIW (Internacional Institute of Welding) tipo 16 2, los cuales están estandarizados en medidas de pulgadas o en milímetros (figura 5.7). La mayor diferencia entre ambos tipos es que las superficies reflectoras están localizados a 4 y 9 pulgadas (100 y 225 mm) para el tipo 1 y a 4 y 8 pulgadas (100 y 200 mm) para el tipo 2. En ambos tipos las calibraciones y controles se realizan de forma similar. El material de los bloques es de ASTM A36, pero se puede utilizar otro material equivalente acústicamente.

### **III.3 Criterios de Soldabilidad y Ensayos**

Se selecciono la Norma AWS D1.1 2015 (ver Anexo No. 19) como guía para identificar los criterios de soldabilidad, así como los ensayos asociados. De esta norma se desprende que realizaran ensayos destructivos y no destructivos que involucren simplicidad y rapidez debido a restricciones de presupuesto. Así se seleccionaron los Ensayos No Destructivos de Líquidos Penetrantes, Corrientes de Eddy y Ultrasonido. Del mismo modo se seleccionaron los ensayos de Metalografía, Dureza y Doblez

### **III.4 Manufactura de probetas para ensayos**

Las probetas para todos los ensayos fueron extraídas de cordones de soldadura practicados en los aceros ASTM A36, ASTM A572 y STREX 700. El plano de este arreglo fue extraído de la norma AWS D1.1 2015 (ver Anexo No. 19). La fabricación de las probetas se realizó en las instalaciones de la empresa RMB SATECI SAC haciendo uso de una máquina de plasma.

### III.4.1 Ensayo De Líquidos Penetrantes

Se realizó el ensayo de líquidos penetrantes a las 06 probetas de los tres aceros y los resultados se muestran en las figuras 59 a la 61. El procedimiento seguido se halla en el Anexo No. 11. Los resultados de aceptación/rechazo se pueden apreciar en la Tabla 16.



Figura 59. Ensayo de líquidos penetrantes acero Strenx 700

Fuente: Elaboración propia

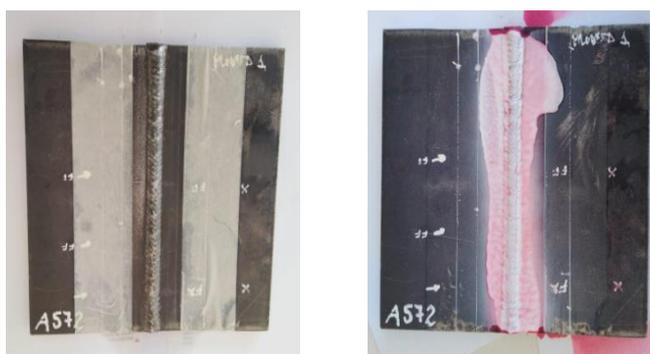


Figura 60. Ensayo de líquidos penetrantes acero A572

Fuente: Elaboración propia

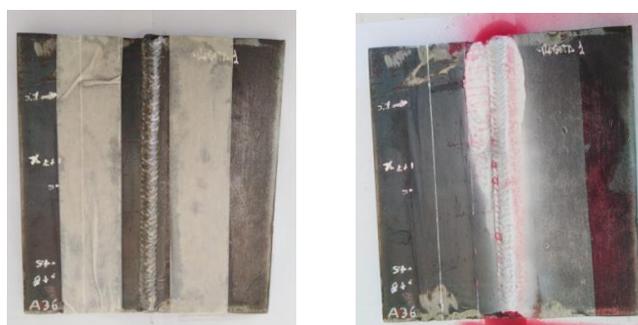


Figura 61. Ensayo de líquidos penetrantes acero A36

**Tabla 16**

***Criterio de aceptación de los ensayos de líquidos penetrantes según AWS D1.1***

INDICE	Inspección visual probeta 1	Inspección visual probeta 2	Índice de Soldabilidad
ASTM A36	1	1	2
ASTM A572	1	1	2
STRENX 700	1	1	2

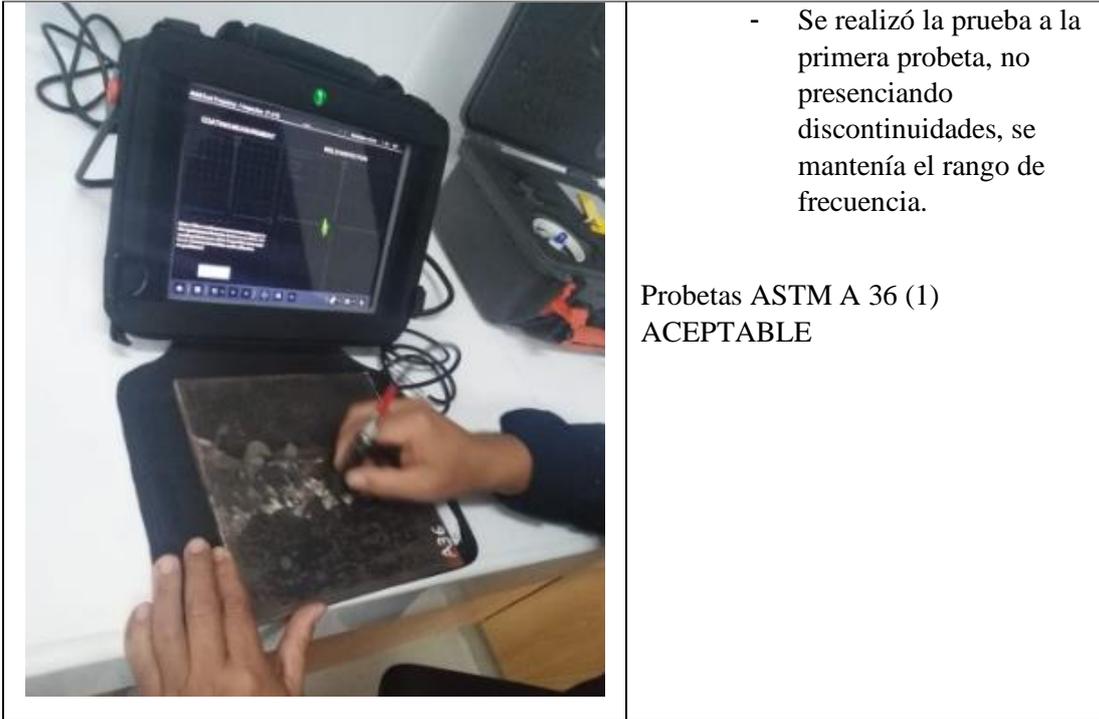
Donde:

1	Buena soldabilidad (Probeta aceptada)
0	Mala soldabilidad (Probeta rechazada)

Fuente: Elaboración propia

#### **III.4.2 Ensayo de Corrientes Eddy.**

Se efectuaron los ensayos de Corrientes de Eddy sobre las probetas mostradas en las Figuras 58 a la 60 en el MENTOR EM No. 61 se aprecia el ensayo a la probeta numero 1 ASTM A36. En el Anexo No. 25 se puede apreciar todos los ensayos realizados. Los resultados de todas las probetas se condensaron en la Tabla No. 17.



- Se realizó la prueba a la primera probeta, no presenciando discontinuidades, se mantenía el rango de frecuencia.

Probetas ASTM A 36 (1)  
ACCEPTABLE

Figura 62. Ensayo corriente Eddy de probeta N°1 ASTM A36

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 17**

*Criterio de aceptación de los ensayos de Corriente Eddy según AWS D1.1*

INDICE	Inspección visual probeta 1	Inspección visual probeta 2	Índice de Soldabilidad
ASTM A36	1	1	2
ASTM A572	1	1	2
STRENX 700	1	1	2

Donde:

1	Buena soldabilidad (Probeta aceptada)
0	Mala soldabilidad (Probeta rechazada)

Fuente: Elaboración propia

### III.4.3 Ensayo de Ultrasonido

Se efectuaron los ensayos de Ultrasonido sobre las probetas mostradas en las Figuras 59 a la 61 en el equipo Krautkramer USM 36 Figura No. 63 En el Anexo No. 26 se puede apreciar todos los ensayos realizados. Los resultados de todas las probetas se condensaron en la Tabla No. 18.

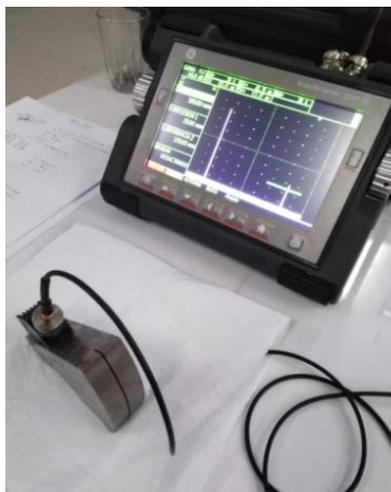


Figura 63. Equipo de ultrasonido – UNT Laboratorios de Metalurgia

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 18**

*Criterio de aceptación de los ensayos de Ultrasonido según AWS D1.1*

INDICE	Inspección visual probeta 1	Inspección visual probeta 2	Índice de Soldabilidad
ASTM A36	0	3	3
ASTM A572	2	3	5
STRENX 700	3	3	6

Donde:

A	0	Discontinuidades grandes (rechazadas)
B	1	Discontinuidades medias (mayor a 20mm rechazada)
C	2	Discontinuidades pequeñas (mayor a 50mm rechazada)
D	3	Discontinuidades menores (Aceptadas)

Fuente: Elaboración propia

### III.4.4 Ensayo de Dureza Vickers

Se efectuaron los ensayos de Dureza Vickers sobre las probetas mostradas en las Figuras 59 a la 61 en el equipo Micro Durómetro Digital FALCON 500 Figura No. 64 se aprecia el ensayo a la probeta numero 1 ASTM A36. En el Anexo No. 21 al 23 se puede apreciar todos los ensayos realizados. Los resultados de todas las probetas se condensaron en la Tabla No. 19.



Figura 64. Micro durómetro digital – UNT Laboratorios de Metalurgia

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 19**

*Criterio de aceptación de los ensayos de Dureza Vickers según AWS D1.1*

INDICE	Inspección visual probeta 1	Inspección visual probeta 2	Índice de Soldabilidad
ASTM A36	1	1	2
ASTM A572	1	1	2
STRENX 700	1	1	2

Donde:

1	Buena soldabilidad (Probeta aceptada) NO supera los 350 HV
0	Mala soldabilidad (Probeta rechazada) supera los 350 HV

Fuente: Elaboración propia

Se realizaron los gráficos comparativos de dureza de los tres tipos de acero.

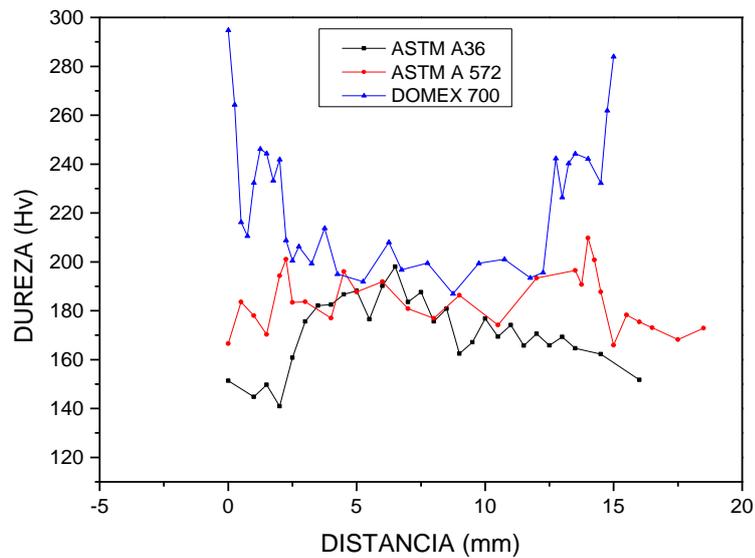


Figura 65. Muestra los gráficos de los 3 tipos de acero en el diagrama dureza vs distancia

Fuente: Elaboración propia

La línea azul nos muestra que el Acero Strenx 700/Domex 700 es superior en dureza comparado con los aceros ASTM A36 y ASTM A572.

### III.4.5 Ensayo de Metalografía.

Se efectuaron los ensayos de Metalografía sobre las probetas mostradas en las Figuras 59 a la 61 en el equipo Microscopio Metalográfico invertido AXIO ZEISS Figura No. 66. En el Anexo No. 24 se puede apreciar todos los ensayos realizados. Los resultados de todas las probetas se condensaron en la Tabla No. 20.



Figura 66. Microscopio metalográfico invertido – UNT Laboratorios de Metalurgia

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 20**

***Criterio de aceptación de los ensayos de metalografía según AWS D1.1***

INDICE	Inspección visual probeta 1	Inspección visual probeta 2	Índice de Soldabilidad
ASTM A36	1	1	2
ASTM A572	1	1	2
STRENX 700	1	1	2

Donde:

1	Buena soldabilidad (Probeta aceptada) buen límite de grano
0	Mala soldabilidad (Probeta rechazada) se encuentra martensita

Fuente: Elaboración propia

#### **III.4.6 Ensayo de Doble.**

Se efectuaron los ensayos de dobles sobre las probetas mostradas en las Figuras 59 a la 61 en la prensa hidráulica de la empresa RMB SATECI Figura No. 67 se aprecia el ensayo a la probeta numero 1 ASTM A36. En el Anexo No. 25 se puede apreciar todos los ensayos realizados. Los resultados de todas las probetas se condensaron en la Tabla No. 21.



Figura 67. Equipo de dobles – RMB SATECI SAC

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 21**

***Criterio de aceptación de los ensayos de dobles según AWS D1.1***

INDICE	Inspección visual probeta 1	Inspección visual probeta 2	Índice de Soldabilidad
ASTM A36	1	1	2

ASTM A572	1	1	2
STRENX 700	1	1	2

Donde:

1	Buena soldabilidad (Probeta aceptada) no se encuentran discontinuidades
0	Mala soldabilidad (Probeta rechazada) fisuras, poros y grietas

Fuente: Elaboración propia

### III.4.7 Cuadro comparativo condensado de soldabilidad.

**Tabla 22**

*Cuadro comparativo de Soldabilidad de los aceros ASTM A36, ASTM A572 y STRENX 700.*

*Fuente: Elaboración propia (Resultados de tabla 16 hasta tabla 21 – Carbono equivalente Tabla 25)*

INDICE	CARBONO EQUIVALENTE	ENSAYO DE LIQUIDOS	ENSAYO CORRIENTE EDDY	ENSAYO ULTRASONIDO	ENSAYO DUREZA VICKERS	ENSAYO METALOGRAFIA	ENSAYO DOBLES	SOLDABILIDAD
ASTM A36	<b>0.382</b>	2	2	3	2	2	2	<b>13</b>
ASTM A572	<b>0.431</b>	2	2	5	2	2	2	<b>15</b>
STREN X 700	<b>0.39</b>	2	2	6	2	2	2	<b>16</b>

Dónde:

0 – 6	Malo
7 – 12	Regular
13 - 18	Bueno

Malo: Mal material de acero para uso en soldabilidad.

Regular: Regular material de acero para uso en soldabilidad.

Bueno: Buen material de acero para uso en soldabilidad.

## FORMULA DE CARBONO EQUIVALENTE

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

**Tabla 23**

*Composición química del acero ASTM A36*

elemento	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo
%	0,1790	0,1980	0,8200	0,019	0,0084	0,3130	0,0400	<0,0010
elemento	Al	Cu	Co	Ti	Nb	V	W	Pb
%	0,0023	0,0130	0,0056	0,0018	0,0021	<0,001	0,0250	0,0110
elemento	B	Sb	Sn	Zn	As	Bi	Ta	Ca
%	0,0003	0,0065	0,0029	0,006	0,012	<0,0015	<0,007	0,0013
elemento	Ce	Zr	La	Se	N	Fe		
%	<0,002	0,0025	<0,0003	0,0032	<0,002	98,3000		

Fuente: Sepúlveda (2016)

**Tabla 24**

*Composición química del acero ASTM A572*

elemento	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo
%	0,1740	0,2230	1,4400	0,0240	0,0068	0,0440	0,0580	0,0058
elemento	Al	Cu	Co	Ti	Nb	V	W	Pb
%	0,0270	0,0380	0,0086	0,0120	0,0150	<0,0010	0,0310	0,0130
elemento	B	Sb	Sn	Zn	As	Bi	Ta	Ca
%	0,0014	0,0096	0,0043	0,0054	0,0130	<0,0015	0,0140	0,0021
elemento	Ce	Zr	La	Se	N	Fe		
%	<0,0020	0,0032	<0,0003	0,0360	<0,0020	97,8000		

Fuente: Sepúlveda (2016)

**Tabla 25**

*Composición química del acero STRENX 700*

C (max %)	Si <sup>1)</sup> (max %)	Mn (max %)	P (max %)	S (max %)	Al <sub>tot</sub> (min %)	Nb <sup>2)</sup> (max %)	V <sup>2)</sup> (max %)	Ti <sup>2)</sup> (max %)
0.12	0.21	2.10	0.020	0.010	0.015	0.09	0.20	0.15

<sup>1)</sup> Si este material se va a galvanizar por inmersión en caliente, conforme a las categorías A o B de la norma EN 10149-2, debe especificarse en el momento de realizar el pedido. Consulte acerca de la disponibilidad de otras clases para galvanización con alto contenido de silicio.

<sup>2)</sup> Suma de Nb, V y Ti = máx 0,22 %

El grano del acero se ha refinado.

Fuente: SSAB (2019)

Carbono equivalente de los aceros tratados, podemos observar en la figura 16, que nuestros 3 tipos de acero su soldabilidad es óptima.

**Tabla 26**

*Carbono equivalente de los aceros estudiados*

ACERO	CE (%)
ASTM A36	0.382
ASTM A572	0.431
STRENX 700	0.39

Fuente: Elaboración propia (resultado de las tablas 23,24,25)

### III.5 Simulación Numérica Comparativa de la Estructura del Semirremolque para analizar ventaja económica

La empresa RMB SATECI por muchos años empleo aceros comerciales para la fabricación de vigas en los semirremolques, ya sea el acero ASTM A36/ASTM A572 con los cuales se lograba una carga útil menor, ya que el peso bruto de la unidad era mayor al de las unidades que se están fabricando ahora. Ahora la empresa tiene la intención de emplear el acero Strenx 700 con lo cual se puede aumentar la carga útil y disminuyendo el peso bruto de la estructura con espesores de plancha menores como se puede ver en la Figura 68.

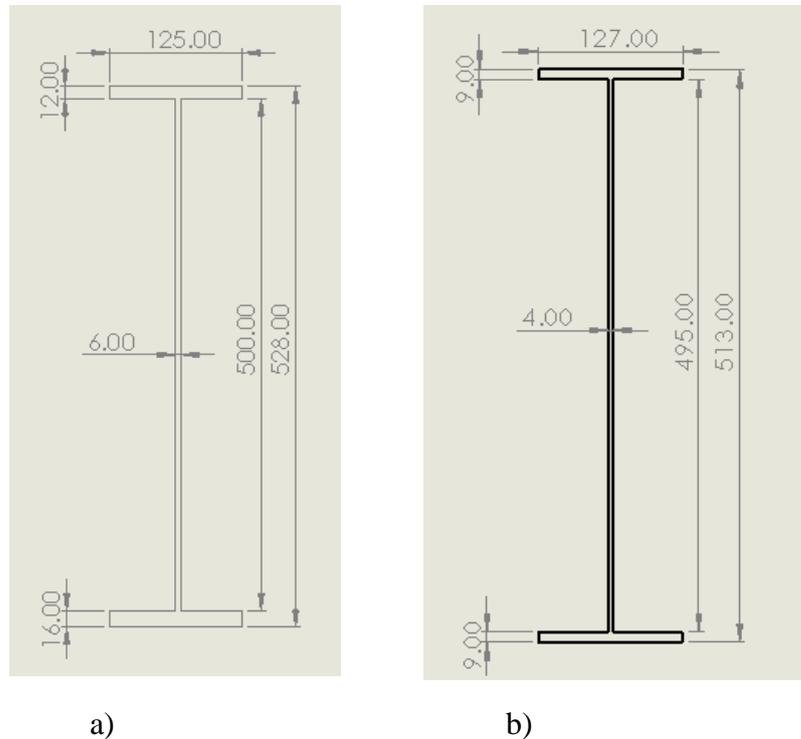


Figura 68. a) Cotas de las vigas con los aceros ASTM A572- ASTM A36, b) Cotas de las vigas con el nuevo acero Strenx 700

Fuente: Elaboración propia

Peso de viga en los aceros ASTM A36/ASTM A572 Y Strenx 700.

**Tabla 27**

*Pesos de la viga con los diferentes tipos de acero*

ACERO	PESO (Kg)
ASTM A36	350.00
ASTM A572	350.00
STRENX 700	230.31

Fuente: Planos RMB Sateci

### III.6 Simulación de la Estructura del Semirremolque

Con la intención de comprobar los niveles de esfuerzos que se generan a lo largo de la viga del semirremolque se elabora una simulación en el software ANSYS en su versión estudiantil la cual posee una restricción en la cantidad máxima de nodos que pueden ser simulados, aun así, las características de dicha versión son suficientes para el desarrollo de presente trabajo.

#### Modelado 3D

El modelo CAD en 3D se elaboró usando las herramientas de dibujo CAD del paquete de dibujo SPACECLAIM (ANSYS). Las medidas fueron extraídas de los planos de fabricación proporcionados por la empresa RMB SATECI SAC (Figura 69). El resultado final del modelo 3D se puede ver en la Figura 70, donde se tomó únicamente la viga del semirremolque con las dimensiones mostradas en figura 71 y la cual se repartirá la mitad de la carga total de la tolva.

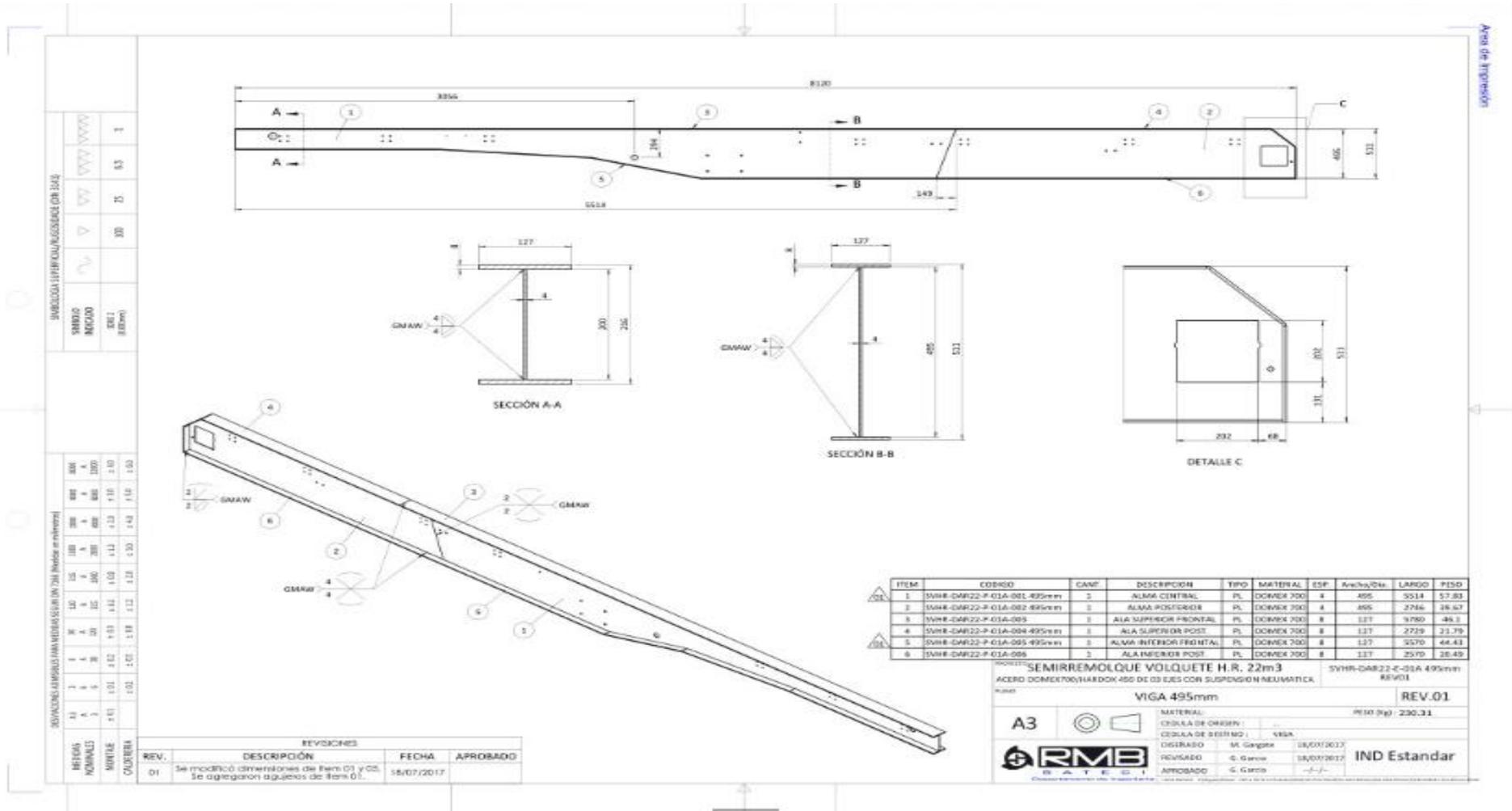


Figura 69. Plano de fabricación para la viga semirremolque

Fuente: RMB SATECI SAC (2016)

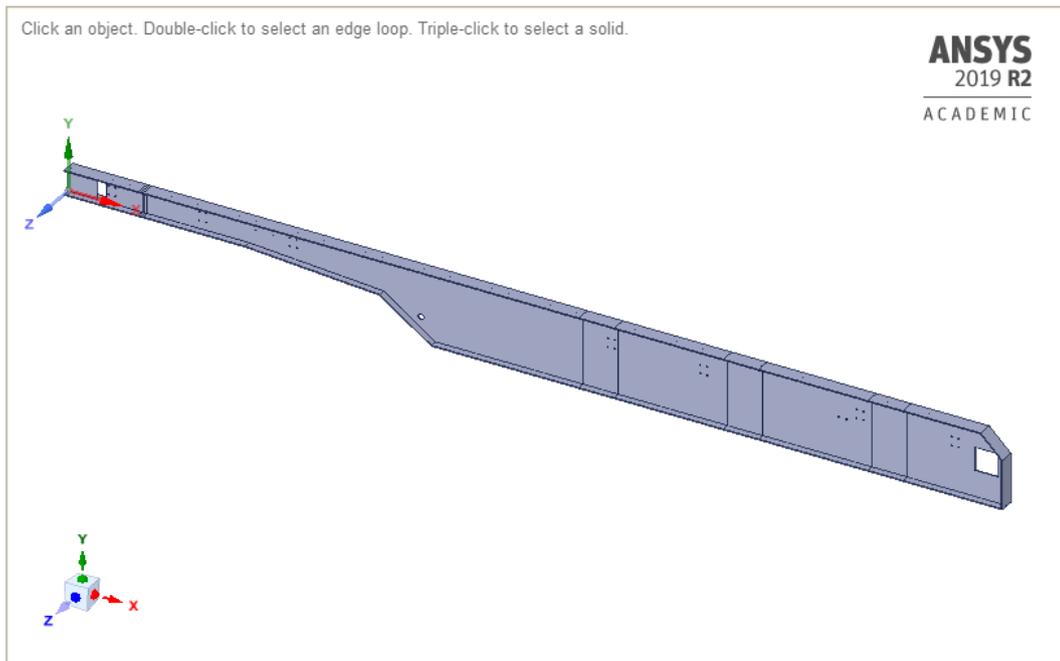


Figura 70. Modelo CAD en 3D elaborado en SPACECLAIM

Fuente: Elaboración propia

### Simulación en ANSYS

En la simulación se empleó el mismo modelo, pero con los tres materiales que serán analizados en los ensayos: ASTM A36, ASTM A572, STRENX 700. Tomando el mismo valor de carga se realizó la simulación para los materiales, esta carga se determina en base al material transportado (Polimetálico) el cual tiene una densidad de  $1700 \text{ kg/m}^3$  y el volumen máximo del remolque que es  $21 \text{ m}^3$  quedando que la carga a soportar por cada viga es de  $175108.5 \text{ N}$  (figura 71). Donde los resultados del factor de seguridad se observan en las Tablas 28. Se puede observar claramente que el factor de seguridad de la viga empleando el Strenx 700 es mucho mayor que en los otros materiales, lo que significa que es capaz de soportar mayor carga útil. De este hecho se puede determinar el aumento de la carga útil igualando los factores de seguridad a 5 y verificando el valor de la carga correspondiente (Tabla 29).

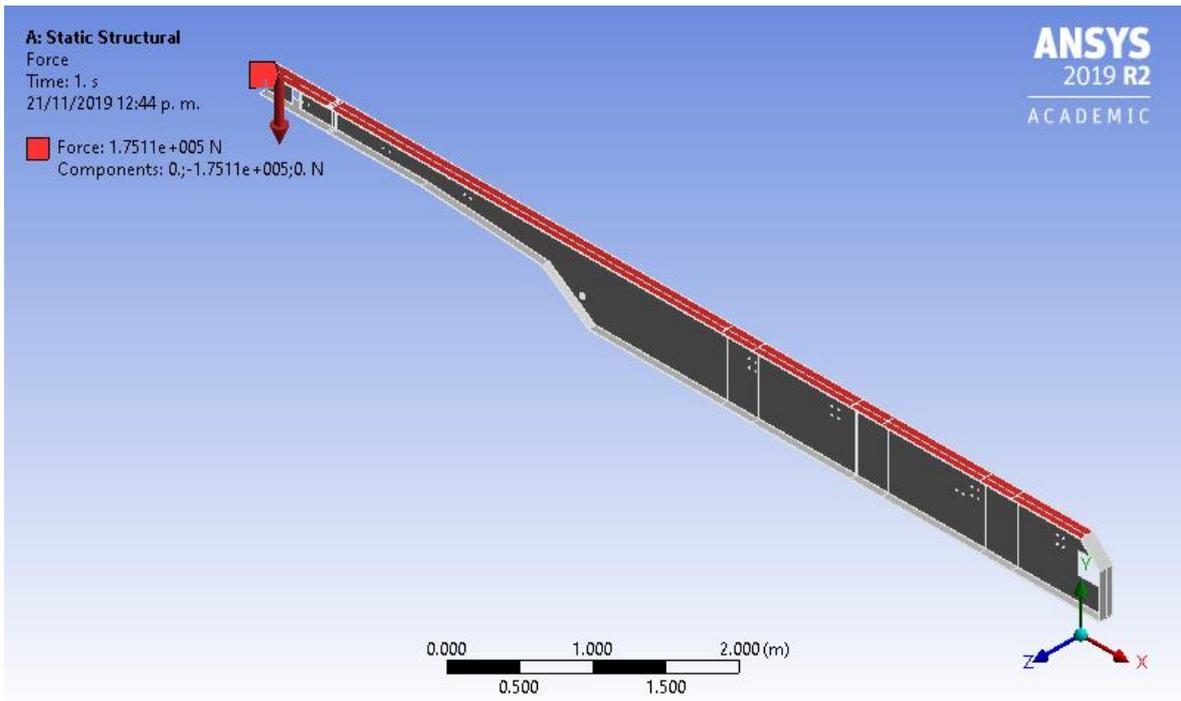


Figura 71. Asignación de la carga sobre la viga

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 28**

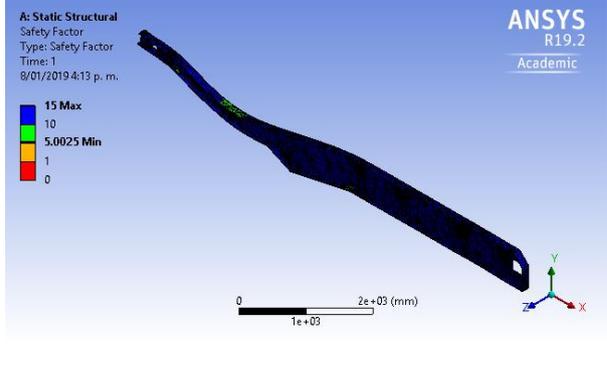
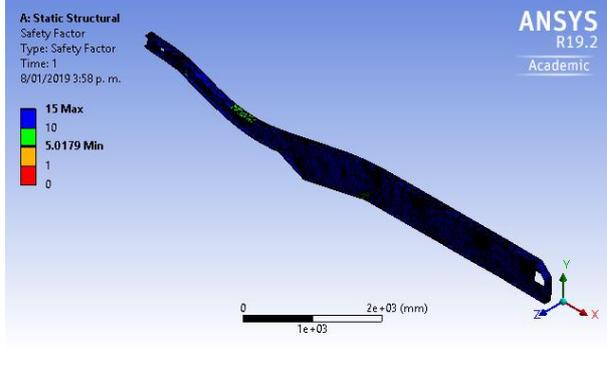
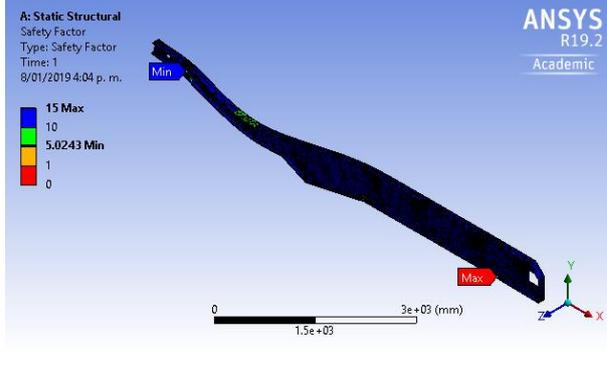
*Comparación de resultados para la simulación*

ACERO	DEFORMACIÓN UNITARIA	ESFUERZOS DE VON MISES (MPa)	FS EN CARGA ESTATICA (ADIM)	FS EN FATIGA (ADIM)
ASTM A36				
ASTM A572				
STRENX 700				

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 29**

*Comparación de carga aplicada y factor de seguridad para los materiales empleados*

MATERIA L	IMAGEN	FACTOR DE SEGURIDA D	CARGA APLICAD A
ASTM A36		5.0025	82500 N
ASTM A572		5.0179	113500 N
STRENX 700		5.0243	230000 N

Fuente: Elaboración propia

#### **IV. DISCUSION**

En las encuestas realizadas a las 05 profesionales en la empresa RMB SATECI con respecto al nuevo acero que se va a usar en las vigas de los semirremolques, se parecía una buena aceptación entre todos los encuestados ya que la empresa desea innovar y realizar nuevos diseños. Esto conlleva que el diseño actual debe presentar mejores características respecto el diseño anterior. Por tal razón fue importante recopilar información referente a lo que la empresa desea y así orientar, el presente trabajo a comprobar el cambio de acero es viable para la empresa.

La aplicación de los líquidos penetrantes fue el primer ensayo realizado para lograr ver discontinuidades en las chapas de soldadura, las cuales a la inspección visual que se dio, no se encontraron observaciones. Este método es fácil de aplicar y los resultados se muestran a los pocos minutos de aplicar los sprays. A pesar de la simplicidad del método el resultado no es el más eficaz.

Los ensayos de Corriente de Eddy nos permitieron ver en un primer instante discontinuidades internas de las soldaduras en las 06 chapas que estudiamos, las cuales se encontraron observaciones internas que no fueron críticas. Este es uno de los ensayos más eficaces que usamos para ver la soldadura de nuestras chapas metálicas, por lo cual se recomienda este ensayo para trabajos críticos.

En los ensayos de ultrasonido se lograron encontrar discontinuidades en las cuales de acuerdo con la norma eran aceptables, uno de los ensayos más fiables que se pudo realizar en las 06 chapas metálicas que estudiamos, para realizar dichos ensayos en empresas o unidades de mayor tamaño, su costo sería elevado, pero tendríamos resultados factibles.

Los ensayos de dureza, nos permitió ver y comparar internamente las chapas metálicas y su soldabilidad en base a tablas que se encuentran en la norma AWS D1.1, de las cuales el acero STREX 700 tenía cierta ventaja sobre los aceros comerciales. Cundo en el ensayo de dureza existe un valor mayor a 350 HV hay de presencia de martensita lo que indicaría que el material tendería a fracturarse y esto

corroborar en la Metalografía. En estos ensayos se obtuvo 290 HV para el Strenx 700 lo que indica buenas propiedades de soldabilidad.

En el ensayo de dobles la cara y raíz de las 6 probetas se pasaron la prueba, no se detectó discontinuidades en ellas. Se uso el mismo soldador, mismo alambre y voltaje para el soldeo de estas.

De los resultados de los ensayos realizados en 4 de ellos (líquidos penetrantes, dobles, dureza Vickers y metalografía) se elaboraron tablas de índices de soldabilidad basada en dos criterios (buena y mala soldabilidad), mientras que para el ensayo de ultrasónico y corrientes de Eddy la soldabilidad es comparada con tablas que se encuentran en la norma AWS D1.1. Condensando todos estos datos en la Tabla 22 se determinó que todos los aceros estudiados presenten una buena soldabilidad, pero en el caso del Strenx 700 sus propiedades son aún mejores en comparación con los otros dos aceros.

Con la intención de demostrar el comportamiento del acero bajo carga se realizó el modelo CAD de la viga del semirremolque y se le aplicó la mitad de la carga total que es capaz de soportar una unidad. La viga fue simulada con los tres aceros y se comparó los resultados en Tabla 23 observándose que el factor de seguridad es mayor para el Strenx 700. Visto desde otro enfoque se realizó la Tabla 24 donde para un mismo factor de seguridad ( $FS = 5$ ) la carga que es capaz de soportar la viga con el Strenx 700 es bastante mayor.

## V. CONCLUSIONES

Para determinar los requerimientos de la empresa respecto al nuevo acero fue indispensable aplicar unas entrevistas a la jefatura de las principales áreas, logrando así, direccionar el desarrollo del presente trabajo.

Empleando la norma AWS D1.1 se pudo determinar que el Acero Strenx 700 tiene buena respuesta al tipo de soldabilidad aplicado proceso GMAW, sus propiedades y ensayos de dureza son mejores que los comerciales ASTM A36/A572.

Disminuyendo el peso bruto en los diseños de los semirremolques, se puede aumentar la carga útil en los transportistas, teniendo un beneficio tanto para la empresa como para el cliente final. Figura 68. Tabla 27. Donde se tiene el diseño de la nueva viga, comparada con las anteriores y en la tabla indica los nuevos pesos de las vigas.

De todos ensayos realizados con lo tintes penetrantes se observó que los cordones de soldadura no mostraron discontinuidades apreciables por lo cual todos los ensayos fueron aceptados.

Se puede realizar el cambio de acero en la fabricación de vigas en los semirremolques, ya que los estudios y análisis de soldabilidad no presentan ningún problema en los resultados.

Según los resultados de las simulaciones la resistencia del acero Strenx 700 es mayor a la de los aceros comerciales.

De acuerdo con los valores del carbono equivalente, nuestro acero STRENX 700 es óptimo en soldabilidad.

## **VI. RECOMENDACIONES**

- A partir del presente trabajo de investigación se da inicio a reducir los pesos en las estructuras metálicas en el sector carroceros, para que, en un futuro no muy lejano, el transportista pueda tener mayor carga útil cuando sus unidades o flota realicen sus operaciones.
- Es un buen inicio para el sector de ingeniería y diseño, ya que puede buscar variantes en diferentes tipos de espesores con el nuevo acero que se va a trabajar. Y así poder crear nuevas estructuras, tanto en los semirremolques, como en otras unidades. Usando el acero Strenx se va a lograr tener unidades de menor peso, más livianas y con mayor resistencia.
- Para la empresa RMB Sateci, como en otras empresas carroceras, se le recomendaría en un futuro, realizar nuevos diseños en los que involucren cambio de aceros comerciales por aceros nuevos que tienden a tener mejor resistencia.
- Al reducir la carga en las estructuras, la carga útil de transportista tiende a aumentar, la cual va a beneficiarlos económicamente, ya que va a tener menores o iguales basculamientos a los que tenía habitualmente, pero mayor carga útil.
- Tener una política con la empresa y sus trabajadores para que se sientan importantes y comprometidos con estos cambios ya que ellos son los que trabajan con el acero día a día.
- Se debe desarrollar de manera paralela la utilización de sistemas modernos de corte e inspección para los aceros. Ya que se podrá vender y será rentable para la empresa si se tienen buenos productos. Es por ello la importancia de los análisis de soldadura en juntas que hemos realizado.

## I. REFERENCIAS

- Agencia de cooperación internacional del Japón, centro de Ingeniería y desarrollo Industrial (2011). 2° Curso Internacional de ensayos no destructivos. Qro. México
- Alacero (2019). [www.alacero.org](http://www.alacero.org)
- Diaz. Alexander (2014). Efecto de la temperatura de precalentamiento sobre la susceptibilidad a fisuración en frío, dureza y tenacidad de entalla en la soldadura de acero Hardox 450, utilizando proceso gmaw.
- American Welding Society, AWS D1.1/D1.1M, STRUCTURAL WELDING CODE-STEEL. 2010.
- ASM International, 2004. ASM HANDBOOK VOLUME 9 Metallography and Microstructures. 10° ed. USA: ASM Handbook Committee.
- Askeland, D.R. & Phulé, P.P., 2004. Ciencia e ingeniería de los materiales
- CALLISTER, William D., Jr. 1995/2007. Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales 1. Barcelona, España : Editorial Reverté S.A., 1995/2007.
- Devedia, L. y Svoboda, H. (2004). Conceptos de Mecánica de la fractura.
- El arte de la ingeniería (2019). Weldom 700. [www.cga.com.co](http://www.cga.com.co)
- END para inspección de soldadura (2011). [endcoatza.blogspot.com](http://endcoatza.blogspot.com) (2019)
- ESAB - Conarco (2007) “Boletín técnico” N° 120-2003 publicación periódica.
- ESAB (2019). Proceso de soldadura.
- Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito (2011). Metalografía – Protocolo, Facultad de Ingeniería Industrial. Laboratorio de producción. II ed.
- EXSA (2014). Manual de Soldadura y Catálogos de productos. [www.exsa.com.pe](http://www.exsa.com.pe)

- Federación de enseñanza de CC.OO. Andalucía (2011). [www.feandalucia.ccoo.es](http://www.feandalucia.ccoo.es)
- Fosca, C. (2003). Introducción a la metalurgia de la soldadura. Lima PUCP, cuarta edición.
- Granja M. Hidalgo V. (2013). Proceso de soldadura GMAW para aceros ordinarios al carbón, aceros inoxidables y aluminio. [www.researchgate.net](http://www.researchgate.net)
- Gherson P. Buitrago Muñoz (2009). Defectos de la Soldadura.
- Hidalgo Diaz, Víctor Hugo (2019). Proceso de soldadura GMAW, para aceros ordinarios al carbón, aceros inoxidables y aluminio. [www.researchgate.net](http://www.researchgate.net)
- Hurtado, Raúl (2011). Estudio de Soldabilidad de Barras Corrugadas de acero para concreto reforzado Belgo 60.
- Internacional Institute of Welding, IIW (2017)
- Ingemecanica (2019). <https://ingemecanica.com/>
- Kyrgiazoglou, A., & Theodoulidis, T. Simulation and experiments on the eddy current method to detect fatigue cracks in welds.
- Lean, Paul, Introducción a la Ingeniería de Materiales, Lima PUCP, 2008. Fondo Editorial.
- Lincoln Electric (2014). Invertec V350 pro. Información del producto.
- Luna Renzo (2015). Evaluación del procedimiento de soldadura de la unión disímil entre aceros API 5L X70 PSL1 y ASTM A707 L5 F65.
- Malishev, G. Nikolaiev, Y. Shuvalov (1985, p. 64-65). “Tecnología de los metales”
- Marin Herrera, Andres Mauricio (2016) Soldadura y Estructuras. [www.soldadurayestructuras.com](http://www.soldadurayestructuras.com)
- NDE (2019). <http://nde-predictivo.com/>
- Oerlikon, BOLETIN TECNICO DE SOLDADURA N° 68, Publicaciones de Servicios Técnicos EXSA S.A. – SETEXSA, Lima, Perú.

- Otiniano (2016), Tesis para obtener el título de Ingeniero Mecánico Electricista en la Universidad Cesar Vallejo: “Análisis y determinación de falla en las uniones soldadas del semirremolque volquete minero de 22 m<sup>3</sup> en la empresa Consermet S.A.C”
- Pajuelo, Jorge (2009). Evaluación de los Procesos de soldadura TIG con y sin material de aporte en planchas de acero estructural.
- Principia Perú (2017). Tecnología de Inspección de Soldadura – M10 Inspección visual
- PUCP (2019). CITE materiales PUCP.
- RODRIGUEZ S., DAVID (2006). “Formulario técnico de soldadura”. Bellisco Ediciones, Madrid.
- Salazar, M (2003). “Evaluación de la soldabilidad de un acero de alta resistencia mediante proceso de protección gaseosa”
- Sepúlveda (2016) Universidad de Santiago de Chile – departamento de Ingeniería Metalurgia. “Tesis de aceros estructurales y de construcción soldados”
- Senocorp S.A (2015) Ensayos No Destructivos. [senocorp.com.ec](http://senocorp.com.ec)
- Sifuentes, P. L. (2008). Introducción a la Ingeniería de Materiales. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú. Estudio de Aceros Estructurales y de Construcción Soldados Universidad de Santiago de Chile Página 5.
- Sindo, (2003) “Welding Metallurgy,” 2nd Edition, John Wiley & Sons, New York,
- SOLDEXA S.A. – Oerlikon, Manual de Soldadura y Catálogos de Productos.
- Soluciones Integrales y soldadura (2008). [www.solysol.com.es](http://www.solysol.com.es)
- SSAB Oxelosund (2019). El arte de la Ingeniería. [www.ssabox.com](http://www.ssabox.com); [www.weldox.com](http://www.weldox.com); [www.domex.com](http://www.domex.com).
- Strenx 700 (2019). Acero estructural de Alta Resistencia.
- Struers Ensuring Certainty (2019). [www.struers.com](http://www.struers.com)

Tecnología de Inspección de Soldadura. [www.academia.edu/14630628/](http://www.academia.edu/14630628/) Tecnología de Inspección de Soldadura Inspección de Soldadura y Certificación

William, C., & Callister, J. (1995). Introducción a la ciencia e ingeniería de los materiales. Ed. Reverté, SA, 15.

Zavaleta Nilthon. (2000). Metalografía de aceros y fundiciones. Perú

Devedia, L. y Svoboda, H. (2004). Introducción a la metalurgia de la soldadura.

**ANEXOS**

**ANEXO 1 – Formato de Entrevista Realizada al Personal de la Empresa RMB SATECI SAC**

**ENTREVISTADO:**

**Apellidos y Nombres:** .....

**Cargo:** .....

**Profesión:** .....

**Empresa:** .....

**ENTREVISTADOR:**

**Apellidos y Nombres:** Flavio Renato Romero Gutiérrez.

**Universidad:** Universidad Cesar Vallejo.

**Escuela:** Ingeniería Mecánica Eléctrica.

- 1) Describa cuál es la relación de su puesto de trabajo con el producto a analizar (viga de semirremolque).

---

---

---

---

- 2) Cuáles son las especificaciones importantes que se consideran para el diseño y fabricación de la estructura del semirremolque.

---

---

---

---

- 3) Qué características debería tener un acero para poder reemplazar y mejorar la performance de los aceros comunes en las vigas de los semirremolques.

---

---

---

---

4) Qué incremento de carga útil debido a cambio de material de la estructura significaría una ganancia adecuada para la empresa.

---

---

---

---

5) A qué tipo de cargas está sometida la estructura.

---

---

---

---

6) En cuánto tiempo piensa usted debería recuperarse la inversión debido al cambio de acero en la estructura llegaría a recuperar la inversión del cambio de acero.

---

---

---

---

## ANEXO 2 - FICHA TECNICA ACERO ASTM A36

Acero ASTM A36.

Es un acero estructural al carbono, utilizado en construcción de estructuras metálicas, puentes, torres de energía, torres para comunicación y edificaciones remachadas, atornilladas o soldadas, herrajes eléctricos y señalización.

Composición química de la colada.

Carbono (C)	0,26% máx
Manganeso (Mn)	No hay requisito
Fósforo (P)	0,04% máx
Azufre (S)	0,05% máx
Silicio (Si)	0,40% máx
* Cobre (Cu)	0,20% mínimo

\*Cuando se especifique

Propiedades

Como la mayoría de los aceros, el A36, tiene una densidad de 7850 kg/m<sup>3</sup> (0.28 lb/in<sup>3</sup>). El acero A36 en barras, planchas y perfiles estructurales con espesores menores de 8 pulg (203,2 mm) tiene un límite de fluencia mínimo de 250 MPa (36 ksi), y un límite de rotura mínimo de 410 MPa (58 ksi). Las planchas con espesores mayores de 8 plg (203,2 mm) tienen un límite de fluencia mínimo de 220 MPa (32 ksi), y el mismo límite de rotura.

Propiedades Mecánicas

Límite de fluencia mínimo		Resistencia a la Tracción			
Mpa	Psi	Psi		Mpa	
		Min	Máx	Min	Máx
250	36000	58000	80000	400	550

Formas

El acero A36 se produce en una amplia variedad de formas, que incluyen:

Planchas, Perfiles estructurales, Tubos, Láminas.

Métodos de unión

Las piezas hechas a partir de acero A36 son fácilmente unidas mediante casi todos los procesos de soldadura. Los más comúnmente usados para el A36 son los menos costosos y rápidos como la Soldadura por arco metálico protegido (SMAW, Shielded metal arc welding), Soldadura con arco metálico y gas (GMAW, Gas metal arc welding), y soldadura oxiacetilénica. El acero A36 es también comúnmente atornillado y remachado en las aplicaciones estructurales: edificios, puentes, torres, etc.

## ANEXO 3 - FICHA TECNICA ACERO ASTM A572

### Acero estructural de alta resistencia y baja aleación de columbio-Vanadio de acuerdo con la norma ASME/ASTM A 572/A 572M

#### Uso:

Esta especificación comprende cinco grados de alta-resistencia y baja aleación para secciones de acero estructural, placas (laminas), tablestacas (laminas para muros de contención), y barras.

Los Grados 42 [290], 50 [345] y 55 [380] son destinados para estructuras remachadas, atornilladas, o en estructuras soldadas.

Los Grados 60 [415] y 65 [450] están destinados para construcción de puentes remachados o atornillados, o para construcción de otras aplicaciones donde sean remachados, atornillados, soldados.

#### Composición química acero A572

	Grado 42 [290]	Grado 50 [345]	Grado 60 [415]	Grado 65 [450]thick>1/2 in.	Grado 65 [450]thick<=1/2 in.
Carbono, max	0.21	0.23	0.26	0.23	0.26
Manganeso, max	1.35	1.35	1.35	1.65	1.35
Fósforo, max	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Azufre, max	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Silicio				N/A	N/A
Placas hasta 1-1/2 in. espesor	0.40	0.40	0.40		
Placas sobre 1-1/2 in. espesor	0.15-0.40	0.15-0.40	0.15-0.40		

- Nota: Para cada reducción de 0,01% por debajo del máximo especificado de carbono, un aumento del 0,06% de manganeso por encima de la cantidad máxima prevista será permitido, hasta el máximo de 1,35%.

#### Propiedades mecánicas acero A572

	Grado 42 [290]	Grado 50 [345]	Grado 60 [415]	Grado 65 [450]
Resistencia a la tracción:	60,000 psi [415 MPa]	65,000 psi [450 MPa]	75,000 psi [520 MPa]	80,000 psi [550 MPa]
Min. Punto de fluencia:	42,000psi [290 MPa]	50,000psi [345 MPa]	60,000psi [415 MPa]	65,000psi [450 MPa]
Elongación en 8":	20% min	18% min	16% min	15% min
Elongación en 2":	24% min	21% min	18% min	17% min

# ANEXO 4 - FICHA TECNICA ACERO STRENX 700



100  
Data Sheet 2008en Strenx 700 MC 2015-04-08

## Strenx 700 MC Advanced High Strength steel

### General Product Description

Strenx 700 MC is a hot-rolled structural cold-forming steel with a minimum yield strength of 700 MPa intended to give stronger and lighter structures. Strenx 700 MC meet or exceed the requirements of S700MC in EN 10149-2. Typical applications are a wide range of components and parts for example demanding load bearing structures.

#### Available dimensions

Strenx 700 MC is available in thicknesses of 2.00-10.00 mm and widths up to 1600 mm as coils, slit coils or cut to length sheets in lengths up to 16 meters.

### Mechanical Properties

Yield strength $R_{eL}$ Min MPa	Tensile strength $R_m$ MPa	Elongation $A_{50}$ Min % Sheet thickness $t < 3$ mm	Elongation $A_1$ Min % Sheet thickness $t \geq 3$ mm
700 <sup>1)</sup>	750 - 950	10	12

The mechanical properties are tested in the longitudinal direction.

<sup>1)</sup> If  $R_{eL}$  is not applicable then  $R_{eH}$  is used.

<sup>2)</sup> On thicknesses  $\geq 8$  mm the minimum yield strength may be 20MPa lower.

Impact properties	700 MC D -20°C	700 MC E -40°C
Minimum energy for test on longitudinal Charpy V 10x10 mm test specimens (J)	40	27

Impact testing according to EN ISO 148-1 is performed on thicknesses  $\geq 6$ mm. The specified minimum value corresponds to a full-size specimen.

Bending properties	$t \leq 3$ mm	$3$ mm $< t \leq 6$ mm	$t > 6$ mm
Min. inner bending radius for a 90° bend	0.8xt	1.2xt	1.6xt

For both longitudinal and transverse direction.

### Chemical Composition (ladle analysis)

C % Max	Si % Max	Mn % Max	P % Max	S % Max	Al % Min	Nb % Max	V % Max	Ti % Max
0.12	0.21 <sup>2)</sup>	2.10	0.020	0.010	0.015	0.09 <sup>2)</sup>	0.20 <sup>2)</sup>	0.15 <sup>2)</sup>

1) If the material is to be hot-dip galvanized according to category A or category B in EN 10149-2 this must be specified at the time of order.

2) Sum of Nb, V and Ti = max 0.22%

The steel is grain refined.

#### Carbon equivalent

2 mm $\times$ t $\times$ 10 mm
CET / CEV Typical

$$CET = C + \frac{Mn+Mo}{10} + \frac{Cr+Cu}{20} + \frac{Ni}{40} \quad CEV = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr+Mo+V}{5} + \frac{Ni+Cu}{15}$$

www.ssab.com



# ANEXO 5 - FICHA TÉCNICA DE ELECTRODO MIG-MAG MERIT S - 6

LINCOLN ELECTRIC CHINA

GMAW SOLID WIRE

## MERIT™ S-6



### CONFORMANCE

- AWS A5.18 ASME SFA5.18: ER70S-6
- GB/T 8110: ER50-6
- JIS Z3312: YGW12
- ISO 14341-A-G 38 3 M G3Si1

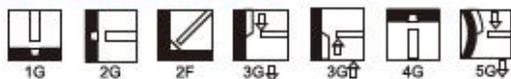
### APPROVALS

- ABS: N4YSA
- BV: SA4YM
- CCS: 4YSM
- DNV: IV YMS
- GL: 4YS
- LR: 4YS H15

### APPLICATIONS

- Automotive
- Heavy machinery
- Steel structure
- Pipeline
- Container
- Robotic welding

### WELDING POSITIONS



### PRODUCT FEATURES

- GMAW solid wire for mild steels
- Use with CO<sub>2</sub> or Ar/CO<sub>2</sub> mixed shielding gas
- Manufactured from high quality, pure and consistent raw rod
- Excellent weldability  
Stable arc, low spatter, low clean up, and suitable for both short-circuit transfer and high current spray transfer. Very consistent wire placement, particularly good for pipe welding or robotic welding which requires very precise weld location.
- Superb feedability  
Unique manufacturing technology that results in a clean wire surface, smooth copper coating layer and an even amount of feeding lubricant. These advantages ensure lower friction during wire feeding and better electrical conductivity.

### DIAMETERS AVAILABLE

- 0.8mm • 0.9mm • 1.0mm • 1.2mm
- 1.32mm (0.052in) • 1.4mm • 1.6mm

### STANDARD PACKAGING

- Plastic Spool Pack: 15KG, 20KG
- Drum Pack: 150KG, 200KG, 300KG, 350KG

\* Please contact your local Lincoln Electric sales office for alternative types of packaging.

CC9.003.EN 11/12

**LINCOLN**  
**ELECTRIC**  
THE WELDING EXPERTS®

# ANEXO 6 - FICHA TÉCNICA DE MAQUINA DE SOLDAR LINCOLN S 350

ADVANCED PROCESS WELDERS

## Power Wave® S350

### Processes

Stick, DC TIG, Pulsed DC TIG, MIG, Pulsed MIG, Flux-Cored

### Product Number

K2823-3 Power Wave® S350  
K3005-3 Power Wave® S350 Ready-Pak® (Steel)

### Input Voltage

208/230/380-415/460/575/1/3/50/60

### Input Current @ Rated Output

3 Ph / 40% Duty Cycle: 39/35/19/17/14A  
1 Ph / 40% Duty Cycle: 60/61/NA/NA/NA A

### Output Range

5-350 Amps

### Rated Output

GMAW: 350A/31.5W/40%  
GMAW: 300A/29W/100%

### Weight/Dimensions (H x W x D)

85 lbs. (38.6 kg)  
20.40 x 14 x 24.80 in.  
(518 x 356 x 630 mm)

See back for complete specs

### Portable, Powerful, Multi-Process.

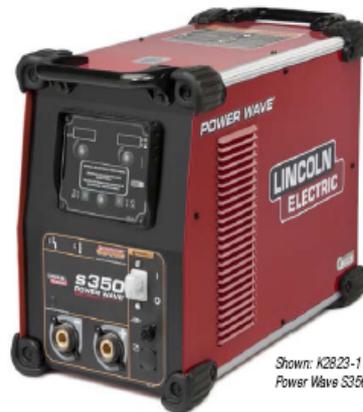
The multi-process Power Wave® S350 is packed with Lincoln Electric performance technology on both the input and output side. It provides an extremely fast arc response, includes over 65 standard welding waveforms for optimized performance on almost any application and efficiently converts input power to reduce operational costs – all in a compact, rugged case.

### FEATURES

- ▶ **PowerConnect™ Technology (Patent-Pending)** – Automatically adjusts to input power from 200-600V, 50 or 60 Hz, single phase or three phase. Welding output remains constant through the entire input voltage range.
- ▶ **Tribrid™ Power Module** – Exceptional welding performance with high power factor and efficiency.
- ▶ **CheckPoint™** – A cloud-based data collection tool allows customers to view and analyze welding data on almost any device – desktop, laptop, iPhone® or iPad®, Blackberry® and others. Track equipment usage, store weld data, configure fault limits and more.
- ▶ **Optional 115V (10A) AC Duplex Auxiliary Power Receptacle** – Features patent-pending Surge Blocker™ Technology to ensure simultaneous welding performance is not compromised by high starting current devices such as grinders (typically requiring 60A or more peak surge current).
- ▶ **Compact and Durable Case** – IP23 rated to withstand harsh environments.
- ▶ **Standard Ethernet** – Allows for effortless software upgrades through [powerwavesoftware.com](http://powerwavesoftware.com)

### APPLICATIONS

- ▶ Construction
- ▶ Aerospace
- ▶ Fabrication
- ▶ Automotive
- ▶ Production
- ▶ Weld Training



Shown: K2823-1  
Power Wave S350

### WHAT'S INCLUDED

- K2823-3 Base Unit Includes:**
- ▶ 10 ft. (3.0 m) input power cord

### RECOMMENDED WIRE FEEDERS

- ▶ Power Feed® 84 Bench and Boom models
- ▶ Power Feed® 25M

### WAVEFORM CONTROL TECHNOLOGY® PROCESS CAPABILITIES

- ▶ Pulse
- ▶ Pulse-on-Pulse®
- ▶ Power Mode®
- ▶ RapidArc®
- ▶ Rapid X™ (with STT® Module)
- ▶ Upgradeable for additional processes to be developed in the future.

### INPUT



### OUTPUT



Two Year Extended Warranty available in the U.S.A. and Canada.



Publication E5.110 | Issue Date 05/16  
© Lincoln Global, Inc. All Rights Reserved.

THE LINCOLN ELECTRIC COMPANY  
22801 St. Clair Avenue • Cleveland, OH • 44117-1199 • U.S.A.  
PH: 216-481-8100 • [www.lincolnelectric.com](http://www.lincolnelectric.com)

**LINCOLN®  
ELECTRIC**  
THE WELDING EXPERTS™

# ANEXO 7 - FICHA TÉCNICA DE GASES PROECTORES AR – CO2

Producto: STARGOLD C-25

W-0046A



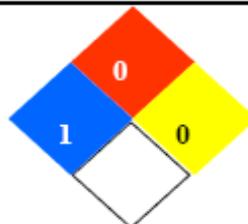
Hoja de Seguridad  
del Producto

## Producto Gaseoso

**Emergencia:** Llame a cualquier hora del día al teléfono 0800-11- 521 / 01517-2341  
Para mayores informaciones de rutina consulte Praxair Perú mas cercano.

### 1 – Identificación de Producto

**Producto:** STARGOLD (W-0046)  
UN 1956  
**Nombre(s) Comercial (es):** MISTURA STARGOLD C-25  
**Empresa:** Praxair Peru S.R.L.  
Av. Venezuela 2597 Bellavista-Callao



### 2 – Composición e Informaciones sobre los ingredientes

Este producto es una mezcla. Para mayores informaciones sobre los componentes de esta mezcla, se requiere la Hoja de Seguridad del Producto de cada componente.

**Nombre Químico:** Mistura de argón y dióxido de carbono

**Sinónimos:** Gas comprimido No especificado

Ingredientes	CAS	Concentración (%)	LT(TLV) Limite de Tolerancia
Argón	7440-37-1	50 - 90	Asfixiante simple
Dióxido de Carbono	124-38-9	10 - 50	3900 ppm

**Grupo Químico:** Mistura de Argón y Dióxido de Carbono

### 3 – Identificación de peligros

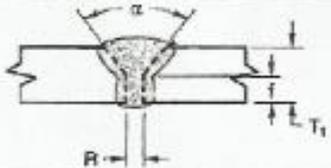
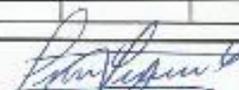
#### EMERGENCIA

**¡PELIGRO!** Gas bajo presión.  
Puede causar rápido sofocamiento.  
Puede causar aumento del ritmo cardiaco.  
Puede causar daños a l sistema nervioso.  
Puede causar mareos y somnolencia.  
Máscara de protección autónoma puede ser necesario como equipo de rescate .  
Olor: Inodoro

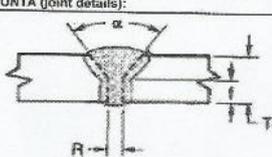
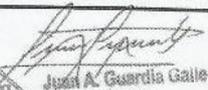
Fecha de revisión: Noviembre 2014

Página 1 de 7

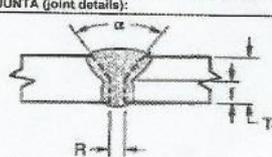
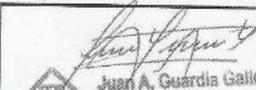
**ANEXO 8 - PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA ACERO Strenx 700**

	<b>ESPECIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)</b> (De acuerdo a AWS B2.1 - 2005) <b>WPS-RMBSATECI-002</b>		Versión: 01				
			Fecha: 03-04-13				
<b>ESPECIFICACION DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)</b> PRECALIFICADA: _____ CALIFICADA: <u>X</u> o REGISTRO DE CALIFICACION DEL PROCEDIMIENTO (PQR): _____							
Proceso de Soldadura (s): <u>GMAW</u> Nº del PQR de soporte: <u>PQR-RMBSATECI-002</u> No. de identificación del WPS: <u>WPS-RMBSATECI-002</u>		Revisión: <u>0</u> Fecha: <u>16/08/2013</u> Por: <u>Green León</u>					
<b>DISEÑO DE JUNTA USADO (joint design used):</b> Tipo: <u>A tope en V</u> Simple: <u>X</u> Doble: _____ Si: _____ No: <u>X</u>		Autorizado por: <u>Frank Salas</u> Fecha: <u>16/08/2013</u> Tipo: Manual: _____ Mecanizado: _____ Semi Automático: <u>X</u> Automático: _____					
Plancha de respaldo: _____ Material de plancha respaldo: _____ Separación de raíz: <u>2mm - 3mm</u> Cara de la raíz: <u>2mm-3mm</u> Ángulo de bisel: <u>60° - 70°</u> Radio (R): _____ Limpieza posterior en la raíz: Si: _____ No: <u>X</u> Método: _____		<b>POSICIÓN (position):</b> Posición en bruto: <u>VERTICAL</u> Posición en filete: _____ Progresión Ascendente: <u>X</u> Vertical: Descendente: _____					
<b>METALES BASE (base metals):</b> Especificaciones de Material: <u>DOMEX 700</u> Tipo o Grado: _____ Espesor: <u>Bisel 3mm - 10.45 mm</u> Filete: _____ Diámetro (Pipe): _____		<b>CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS (e.ch.):</b> Modo de transferencia (GMAW): Corriente: <u>X</u> Global: _____ Spray: _____ Corriente: AC: _____ DCEN: _____ DCEP: <u>X</u> Pulsado: _____ Cerc: _____					
<b>METALES DE APORTE (filler metals):</b> Especificación AWS: <u>A6.28 N° F = 6</u> Clasificación AWS: <u>ER80S-D2 N°A = A2</u> Nombre Comercial: <u>SOLDEX S.A</u> Espesor de metal depositado: <u>Hasta 10.45mm</u>		Electrodo de tungsteno (GTAW): Diámetro: _____ Tipo: _____					
<b>PROTECCIÓN (shielding):</b> Fuente: _____ Gas: <u>Air / CO2</u> Composición: <u>80% / 20%</u> Electrodo Fund (Clasificación): <u>15 l/min</u> Caudal: _____ Diam. Tobera: <u>18mm</u>		<b>TÉCNICA (technique)</b> Control: <u>La requerida</u> Paso múltiple o único (x ardo): <u>Múltiple</u> Número de electrodos: <u>1</u> Espaciamiento: Longitudinal: _____ Ángulo: _____ Distancia tubo de protección: <u>12mm-15mm</u> Martillo: _____ Limpieza interpose: <u>Si</u> Escobillado: _____					
<b>PRECALENTAMIENTO (preheat):</b> Temperatura Mínima: <u>15°C</u> Temp. entre pases: <u>15°C</u>							
<b>DETALLE DE JUNTA (joint details):</b> 							
<b>PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (welding procedure)</b>							
Número de Pases	Proceso	Material de aporte		Tipo y Polaridad	Corriente Intenidad (A)	Voltaje (V)	Velocidad de Avance (cm/min)
		Clasificación AWS	Diámetro (mm)				
1	GMAW	ER80S-D2	1.20	DCEP	100 - 125	17 - 18	8 - 12
2-4	GMAW	ER80S-D2	1.20	DCEP	105 - 130	18 - 20	7 - 14
FRANCO ROLAND SALAS SANTIAGO INGENIERO MECANICO Reg. CIP Nº 127863 RMB-SATECI		 <b>Juan A. Guardia Gallegos</b> CWI 05080061 QC1 EXP. 8/1/2014 INSPECTOR CWI					

# ANEXO 9 - PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA ACERO ASTM A36

	<b>ESPECIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)</b> (De acuerdo a AWS D1.1 - 2010) <b>WPS-RMBSATECI-003</b>		Versión: 01				
			Fecha: 03-04-13				
<b>ESPECIFICACION DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)</b> PRECALIFICADA: _____ CALIFICADA: <b>X</b> o REGISTRO DE CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO (PQR): _____							
Proceso de Soldadura (s): <b>GMAW</b> N° del PQR de soporte: <b>PQR-RMBSATECI-003</b> No. de identificación del WPS: <b>WPS-RMBSATECI-003</b>	Revisión: <b>0</b> Fecha: <b>23/07/2013</b> Por: <b>Green Leon</b>						
<b>DISEÑO DE JUNTA USADO (joint design used):</b> Tipo: <b>A tope en V</b> Simple: <b>X</b> Doble: _____ Plancha de respaldo: Si: _____ No: <b>X</b> Material de plancha respaldo: _____ Separación de raíz: <b>2mm - 3mm</b> Cara de la raíz: <b>2mm-3mm</b> Ángulo de bisel: <b>60° - 70°</b> Radio(J-U): _____ Limpieza posterior en la raíz: Si: _____ No: <b>X</b> Método: _____		Autorizado por: <b>Franck Salas</b> Fecha: <b>23/07/2013</b> Tipo: Manual: _____ Mecanizado: _____ Semi-Automát: <b>X</b> Automático: _____					
<b>METALES BASE (base metals):</b> Especificaciones de Materiales: <b>ASTM A36</b> Tipo o Grado: _____ Espesor: Bisel: <b>3mm - 19mm</b> Filete: _____ Diámetro (Pipe): _____		<b>POSICIÓN (position):</b> Posición en bisel: <b>VERTICAL</b> Posición en filete: _____ Progresión: Acendente: <b>X</b> Vertical: Descendente: _____					
<b>METALES DE APORTE (filler metals):</b> Especificación AWS: <b>A6.18</b> Clasificación AWS: <b>ER70S-6</b> Nombre Comercial: <b>CARBOFIL PS6-GG</b>		<b>CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS (e.ch.):</b> Modo de transferencia: (GMAW) Corto circuito: <b>X</b> Globular: _____ Spray: _____ Corriente: AC: _____ DCEN: _____ DCEP: <b>X</b> Pulsado: _____ Otro: _____					
<b>PROTECCIÓN (shielding):</b> Fundente: _____ Gas: <b>Ar / CO2</b> Composición: <b>80% / 20%</b> Electrodo Fund (Clasificación): Caudal: <b>15 - 18 l/min</b> Diam. Tobera: <b>16mm</b>		Electrodo de tungsteno: (GTAW) Diámetro: _____ Tipo: _____					
<b>PRECALENTAMIENTO (preheat):</b> Temperatura Mínima: <b>Ambiente [Ver tabla 3.2-Anexo I]</b> Temp. entre pasos Mínima: <b>Ambiente [Ver tabla 3.2-Anexo I]</b>		<b>TECNICA (technique):</b> Cordón: <b>La requerida</b> Pase múltiple o único (x lado): <b>Múltiple</b> Número de electrodos: <b>1</b> Especificamiento: Longitudinal: _____ Ángulo: _____ Distancia tubo de contacto/pieza: <b>12mm-15mm</b> Martilleo: _____ Limpieza interfase: <b>Si</b> Escobillado: _____					
<b>DETALLE DE JUNTA (joint details):</b> 							
<b>PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (welding procedure)</b>							
Número de Pases	Material de aporte		Corriente		Voltaje (V)	Velocidad de Avance (cm/min)	
	Proceso	Clasificación AWS	Diámetro (mm)	Tipo y Polaridad			Intensidad (A)
1	GMAW	ER70S-6	1.00	DCEP	100 - 125	17 - 19	6 - 10
2-r	GMAW	ER70S-6	1.00	DCEP	105 - 130	18 - 21	7 - 12
<b>FRANCK ROLAND SALAS SANTIAGO</b> INGENIERO MECÁNICO Reg. CIP N° 127863 RMB-SATECI				 <b>Juan A. Guardia Gallegos</b> CWI 05980061 QC1 EXP. 8/1/2014 INSPECTOR CWI			

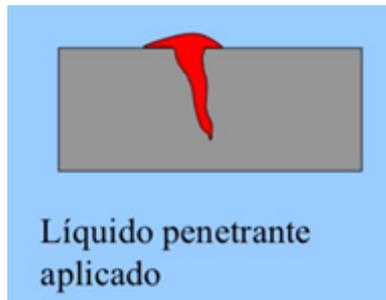
**ANEXO 10 - PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA ACERO ASTM A572**

	<b>ESPECIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)</b> (De acuerdo a AWS D1.1 - 2010) <b>WPS-RMBSATECI-004</b>		Versión: 01				
			Fecha: 03-04-13				
<b>ESPECIFICACION DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)</b> PRECALIFICADA: _____ CALIFICADA: <input checked="" type="checkbox"/> X o REGISTRO DE CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO (PQR): _____							
Proceso de Soldadura (s): <u>GMAW</u> N° del PQR de soporte: <u>PQR-RMBSATECI-004</u> No. de identificación del WPS: <u>WPS-RMBSATECI-004</u>	Revisión: <u>0</u> Fecha: <u>23/07/2013</u> Por: <u>Green Leon</u>						
<b>DISÑO DE JUNTA USADO (joint design used):</b> Tipo: <u>A tope en V</u> Simple: <input checked="" type="checkbox"/> X      Doble: _____ Plancha de respaldo: <u>Si</u> No: <input checked="" type="checkbox"/> X Material de plancha respaldo: _____ Separación de raíz: <u>2mm - 3mm</u> Cara de la raíz: <u>2mm-3mm</u> Ángulo de bisel: <u>60° - 70°</u> Radio(J-U): _____ Limpieza posterior en la raíz: <u>Si</u> No: <input checked="" type="checkbox"/> X Método: _____		Autorizado por: <u>Franck Salas</u> Fecha: <u>23/07/2013</u> Tipo: Manual: _____ Mecanizado: _____ Semi-Automát.: <input checked="" type="checkbox"/> X Automático: _____					
<b>METALES BASE (base metals):</b> Especificaciones de Materiales: <u>ASTM A572</u> Tipo o Grado: <u>50</u> Espesor: <u>Bisel: 3mm - 19mm</u> Filete: _____ Diámetro (Pipa): _____		<b>POSICIÓN (position):</b> Posición en bisel: <u>VERTICAL</u> Posición en filete: _____ Progresión: <u>Acendente</u> <input checked="" type="checkbox"/> X Vertical: <u>Decendente</u> _____					
<b>METALES DE APORTE (filler metals):</b> Especificación AWS: <u>A5.18</u> Clasificación AWS: <u>ER70S-6</u> Nombre Comercial: <u>SOLDEX S.A</u>		<b>CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS (e.ch.):</b> Modo de transferencia: (GMAW) Corto circuito: <input checked="" type="checkbox"/> X Globular: _____ Spray: _____ Corriente: <u>AC</u> _____ DCEN: _____ DCEP: <input checked="" type="checkbox"/> X Pulsado: _____ Otro: _____ Electrodo de tungsteno: (GTAW) Diámetro: _____ Tipo: _____					
<b>PROTECCIÓN (shielding):</b> Fuente: _____      Gas: <u>Ar / CO2</u> Composición: <u>90% / 20%</u> Electrodo-Fund (Clasificación): _____      Caudal: <u>15 - 18 l/min</u> Diarn. Tobera: <u>16mm</u>		<b>TÉCNICA (technique):</b> Cordón: <u>La requerida</u> Pase múltiple o único (x lado): <u>Múltiple</u> Número de electrodos: <u>1</u> Especificamiento: Longitudinal: _____ Ángulo: _____ Distancia tubo de contacto/pieza: <u>12mm-15mm</u> Martillo: _____ Limpieza interfase: <u>Si</u> Escobillado: _____					
<b>PRECALENTAMIENTO (preheat):</b> Temperatura Mínima: <u>Ambiente [Ver tabla 3.2-Anexo I]</u> Temp. entre peses Mínima: <u>Ambiente [Ver tabla 3.2-Anexo I]</u>		<b>TRATAMIENTO TÉRMICO POST-SOLDADURA:</b> Temperatura: _____ Tiempo: _____					
<b>DETALLE DE JUNTA (joint details):</b> 							
<b>PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (welding procedure)</b>							
Número de Pases	Proceso	Material de aporte		Corriente		Voltaje (V)	Velocidad de Avance (cm/min)
		Clasificación AWS	Diámetro (mm)	Tipo y Polaridad	Intensidad (A)		
1	GMAW	ER70S-6	1.00	DCEP	100 - 125	17 - 19	6 - 10
2-n	GMAW	ER70S-6	1.00	DCEP	105 - 130	18 - 21	7 - 12
FRANCIS SALAS SANTIAGO INGENIERO MECANICO Reg. CIP N° 127883 RMB-SATECI				 Juan A. Guardia Gallegos CWI 05090061 CCI EXP 8/1/2014 INSPECTOR CWI			

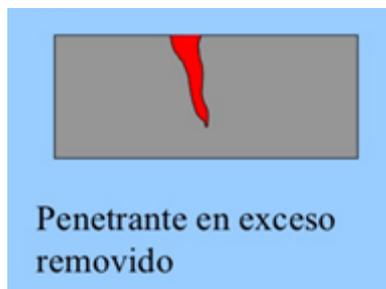
## ANEXO 11 - PROCEDIMIENTOS DE ENSAYO DE LÍQUIDOS PENETRANTES

Establecer el procedimiento para la aplicación de ensayo no destructivo por medio de líquido penetrante para la detección de discontinuidades en la junta soldada, porosidad, socavación grietas superficiales y garantizas las uniones de soldadura según la norma ASTM E165. Standard Test Method for Liquid Penetrant examination.

**Paso 1.** Se limpia la superficie de la probeta de manera de que quede limpia, sin escorias, aplicar el líquido penetrante de modo que cubra toda la junta soldada. Tiempo mínimo de permanencia del penetrante es de 5 minutos.



**Paso 2.** Después de los 5 minutos, remover el exceso del penetrante con el limpiador de solvente.



**Paso 3.** El revelador debe de agitarse antes de aplicarse a la junta soldada, extraer el líquido penetrante de las discontinuidades estas las hace visibles en el caso haya discontinuidades, la inspección se realiza mediante el ojo humado con luz visible.



## ANEXO 12 - PROCEDIMIENTOS DE ENSAYO CORRIENTE EDDY

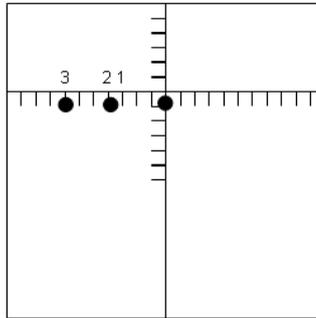
Solamente se puede detectar indicaciones superficiales y subsuperficiales que estén conectadas a la superficie, no se puede detectar indicaciones internas, ya que este tipo de ensayo no penetra la junta soldada, esta norma (ISO 16743:2015) Non-destructive testing of welds - Eddy current examination of welds by complex plane analysis internacional define o se utiliza para ver agrietamientos superficiales y discontinuidades planas.

### **Paso 1.** Medición de conductividad s.

Calibrar el equipo con un patrón de cobre de s1 100%

Punto de correlación con el patrón de referencia de s2 conocida

Punto determinado por el patrón de prueba s3 desconocida

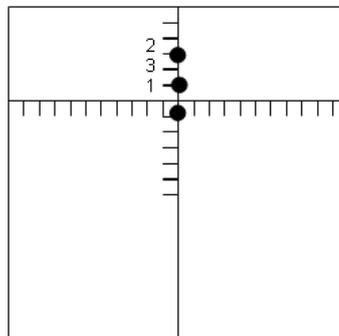


### **Paso 2.** Medición de espesores

Ajuste con el patrón de medición (Se realiza sobre la placa del material sin recubrimiento).

Punto de correlación con el patrón de referencia (Recubrimiento de espesor conocido).

Punto determinado por el espesor del recubrimiento de prueba (Recubrimiento de espesor desconocido).



## ANEXO 13 - PROCEDIMIENTOS DE ENSAYO DE ULTRASONIDO

Mediante nuestra norma AWS D1.1

**Paso 1.** Medir el espesor de la pared, calcular el espesor promedio y error cometido en la medida, limpiar la superficie a medir, así mismo acoplar una gota de gel en la superficie del metal, y colocar el palpador en contacto con la zona a trabajar.



**Paso 2.** Medir espesor de pintura, galvanizado, calcular el espesor promedio y error cometido en la medida.



**Paso 3.** En la pantalla nos aparecerá el espesor y el valor de rastreo que según nuestro barrido vamos a comparar con la norma y veremos si las discontinuidades son o no aceptadas.



## ANEXO 14 - PROCEDIMIENTOS DE ENSAYO DE DUREZA VICKERS

La dureza Vickers (HV) se calcula midiendo ópticamente las longitudes diagonales de la impresión dejada por el penetrador. Las mediciones se convierten en HV mediante una tabla o fórmula. Rango de carga: Desde 10 gf hasta 100 kgf.

Equipos y materiales utilizados “Micro durómetro digital INNOVATEST FALCON 500” – Laboratorio escuela Ingeniería Metalurgia – Universidad Nacional de Trujillo. Norma ASTM E384 – 17.

**Paso 1.** utilice una máquina de ensayo de dureza Falcon 500. Coloque la muestra en la mesa.

**Paso 2.** Haga clic y arrastre el ratón para mover la muestra a su posición.



**Paso 3.** Desplácese para enfocar correctamente.

**Paso 4.** Seleccione el método de ensayo y la carga.

**Paso 5.** Elija un objetivo y un nombre para el trabajo.

**Paso 6.** Utilice la cámara de visión general para colocar el penetrador.

**Paso 7.** Inicie el ensayo.



## ANEXO 15 - PROCEDIMIENTOS DE ENSAYO DE DUREZA METALOGRAFIA

Equipos y materiales utilizados “Microscopio Metalográfico invertido AXIO ZEISS” – Laboratorio escuela Ingeniería Metalurgia – Universidad Nacional de Trujillo. Se usa las normas ASTM en este ensayo. La cual se determinará el tamaño de límite de grano de los aceros que vamos a estudiar.

**Paso 1.** Se tendrá que sacar un cupón de la probeta soldada, marcar en la cara de la probeta que no será pulida 2 líneas perpendiculares que se crucen en el centro de la superficie.

**Paso 2.** Empezar a trabajar con la lija de 180 en la cara que será pulida, realizando el esfuerzo en la misma dirección (seguir la dirección de la recta trazada).

**Paso 3.** Repetir el paso anterior con las lijas de 360, 600, 800, 1000 y 1500 cambiando de dirección a seguir cuando se cambie de lija.



**Paso 4.** Una vez terminado de lijar la probeta, se empieza a pulir con alúmina sobre el paño de billar haciendo un movimiento radial.

**Paso 5.** Se ataca químicamente con el compuesto indicado para cada tipo de probeta, se seca luego de haber sido atacada por un tiempo de 20 a 25 segundos.

**Paso 6.** Ingresar el cupón al microscopio para poder observar las características estructurales de los 3 metales que vamos a trabajar y sacar fotografías de cada una de ellas.



## ANEXO 16 - PROCEDIMIENTOS DE ENSAYO DE DOBLES

Mediante nuestra norma AWS D1.1 Maquina de ensayo, Prensa de 5000 kg en la Empresa RMB Sateci Lima. Doblez.

Se tiene que sacar tiras en formas perpendiculares a la sección soldada, 2 tiras por cada probeta, en 1 de ellas se hará el dobles por la parte de la cara y en la otra probeta por la parte de la raíz.



**Paso1.** La superficie convexa de las muestras para ensayo de doblez deberá ser inspeccionada visualmente para verificar discontinuidades superficiales.

**Paso 2.** Para su aceptación, la superficie no debe tener discontinuidades que excedan las siguientes dimensiones: (1) 1/8 Pulg. (3mm) medida en cualquier dirección sobre la superficie. (2) 3/8 Pulg. (10mm). La suma de las mayores dimensiones de todas las discontinuidades que excedan en 1/32 Pulg. (1mm), pero menores ó igual a 1/8 Pulg. (3mm) (3) 1/4 Pulg. (6mm) - la máxima dimensión de la grieta en el borde, excepto cuando dicha grieta sea el resultado de una visible inclusión de escoria u otros tipos de discontinuidades por fusión, entonces solo se permite 1/8 Pulg. (3mm) como máximo.

**Paso3.** Las muestras con grietas en el borde que exceden 1/4 Pulg. (6mm) con evidencia de que no hay inclusiones de escoria u otras discontinuidades por falta de fusión, deben ser descartadas y reemplazadas por otras de la misma junta soldada.



# ANEXO 17 - FICHA TÉCNICA DE LÍQUIDOS PENETRANTES



Denominación: E 165 - 95

Norma nacional americana

## Método de prueba estándar para el examen de líquido penetrante<sup>1</sup>

El presente estándar está publicado bajo la denominación fija E 165, el número que sigue inmediatamente a dicha denominación indica el año de adopción original o, en el caso de revisión, el año de la última revisión. Un número entre paréntesis indica el año de la última reaprobación. El superíndice epsilon ( $\epsilon$ ) indica un cambio editorial desde la última revisión o reaprobación.

### 1. Objetivo<sup>1</sup>

1.1 El presente método<sup>2</sup> abarca procedimientos para la examinación penetrante de materiales. Existen métodos de prueba no destructivos para detectar discontinuidades que se abren en las superficies como grietas, vetas, tumultos, cierres frios, laminaciones, goteos directos o falta de fusión y son aplicables a lo largo del proceso, al final y el examen de mantenimiento. Se pueden usar efectivamente en la examinación de materiales no porosos, metálicos, ferrosos y no ferrosos, no metálicos como cerámicas barnizadas o plenamente densificadas, ciertos plásticos no porosos y vidrio.

1.2 Este método también proporciona una referencia:

1.2.1 Por la cual un proceso de examinación de líquido penetrante, recomendado o requerido por organizaciones individuales, puede revisarse para determinar su aplicabilidad y qué tan completo es.

1.2.2 Para el uso en la preparación de especificaciones de proceso relacionadas con la examinación de líquido penetrante de materiales y partes. Se recomienda indudablemente el acuerdo entre el usuario y el proveedor con respecto a las técnicas específicas.

1.2.3 Para el uso en la organización de los medios y el personal de la examinación de líquido penetrante.

1.3 Este método de prueba no indica ni sugiere criterios de evaluación de las indicaciones obtenidas. Debe señalarse, sin embargo, que una vez que se hayan producido las indicaciones, tiene que interpretarse o clasificarse y después sí evaluarse. Para lograrlo, se necesitaría un código o especificación separados, o bien, un acuerdo para definir el tipo, el tamaño, la ubicación y la dirección de indicaciones consideradas como aceptables y aquellas consideradas como inaceptables.

1.4 Los valores determinados en unidades de pulgada-libra se considerarán el estándar. Las unidades del SI se tendrán solo como información.

**1** Este método de prueba se encuentra bajo la jurisdicción del Comité E-7 ASTM para Ensayos no Destructivos y es responsabilidad directa del Subcomité E07.03 para Métodos de Líquido Penetrante y Partícula Magnéticas.

Edición actual aprobada el 15 de enero de 1995. Publicado en marzo de 1995. Publicado originalmente como E 165-60 T. Última edición previa E 165-94

### 2

Para las aplicaciones del Código ASMN de Calderas y Vasijas a Presión ver el Método de Prueba Recomendado SE-165 relacionado en el Código.

1.5 Este estándar no pretende direccionar todo lo concerniente a la seguridad, si acaso, se asocia con su uso. Es responsabilidad del usuario de la norma establecer la apropiada seguridad y las prácticas de salud así como determinar la aplicabilidad de las limitaciones reglamentarias antes de usarlo. Para declaraciones de riesgo específicas, ver las notas 5, 12 y 20.

### 2. Documentos referenciados

2.1 Estándares ASTM:

Método de prueba D 129 para sulfuro en productos de petróleo (método de bomba general)<sup>3</sup>

Método de prueba D 516 para sulfato de hierro en agua<sup>4</sup>

Método de prueba D 808 para oro en productos de petróleo nuevo y usado (método de bomba)<sup>3</sup>

Especificación D 1193 para el agua del reactivo<sup>4</sup>

Método de prueba D 1552 para sulfuro en productos de petróleo (método de alta temperatura)<sup>3</sup>

Método de prueba D 4327 para aniones en agua por cromatografía de hierro suprimido químicamente<sup>4</sup>

Fotografías de referencia E 433 para inspección de líquido penetrante<sup>5</sup>

Práctica E 543 para evaluar organizaciones que realizan ensayos no destructivos<sup>5</sup>

Método de prueba E 1208 para examinación de líquido penetrante fluorescente usando el proceso posemulsificación lipofílica<sup>3</sup>

Método de prueba E 1209 para examinación de líquido penetrante fluorescente usando el proceso lavable con agua<sup>3</sup>

Método de prueba E 1210 para examinación de líquido penetrante fluorescente usando el proceso posemulsificación hidrofílica<sup>3</sup>

Método de prueba E 1219 para examinación de líquido penetrante fluorescente usando el proceso de solvente removedor<sup>2</sup>

Método de prueba E 1220 para la examinación penetrante visible usando el proceso de solvente removible<sup>2</sup>

Terminología E 1316 para ensayos no destructivos<sup>5</sup>

### 3

Libro anual de Estándares ASTM, vol. 05.01.

### 4

Libro anual de Estándares ASTM, vol. 11.01.

### 5

Libro anual de Estándares ASTM, vol. 03.03.

## ANEXO 18- FICHA TÉCNICA DE ENSAYO CORRIENTE DE EDDY

	Irish Standard I.S. EN ISO 17643:2015
<p>Non-destructive testing of welds - Eddy current examination of welds by complex plane analysis (ISO 17643:2015)</p>	
<p>© CEN 2015 No copying without NSAI permission except as permitted by copyright law.</p>	

This is a free 13 page sample. Access the full version online.

**ANEXO 19 - Código para Soldadura Estructural - Acero ANSI/AWS D1.1 2000**

AWS D1.1/D1.1M:2010

**Código de  
Soldadura  
Estructural—Acero**

Traducción de:

**Structural  
Welding Code—  
Steel**



**American Welding Society®**

ANEXO 20 - Norma AWS D1.1 2010 Sección V – Tabla 5.2

**Tabla 6.2**  
**Criterio UT de Aceptación-Rechazo (Conexiones No-Tubulares Estáticamente Cargadas)**  
**(ver 6.13.1 y C-6.26.6)**

Clase de Severidad de Discontinuidad <sup>a</sup>	Tamaño de Soldadura <sup>a</sup> en pulgadas [mm] y Ángulo de Unidad de Búsqueda												
	5/16 hasta 3/4 [8–20]		> 3/4 hasta 1-1/2 [20–38]		> 1-1/2 hasta 2-1/2 [38–65]			> 2-1/2 hasta 4 [65–100]			> 4 hasta 8 [100–200]		
	70°	70°	70°	60°	45°	70°	60°	45°	70°	60°	45°		
Clase A	+5 & menor	+2 & menor	-2 & menor	+1 & menor	+3 & menor	-5 & menor	-2 & menor	0 & menor	-7 & menor	-4 & menor	-1 & menor		
Clase B	+6	+3	-1 0	+2 +3	+4 +5	-4 -3	-1 0	+1 +2	-6 -5	-3 -2	0 +1		
Clase C	+7	+4	+1 +2	+4 +5	+6 +7	-2 a +2	+1 +2	+3 +4	-4 a +2	-1 a +2	+2 +3		
Clase D	+8 & mayor	+5 & mayor	+3 & mayor	+6 & mayor	+8 & mayor	+3 & mayor	+3 & mayor	+5 & mayor	+3 & mayor	+3 & mayor	+4 & mayor		

<sup>a</sup> El espesor de la soldadura debe definirse como el espesor nominal del elemento estructural de menor espesor a ser unido.

Notas:

- Las discontinuidades de Clase B deben estar separadas al menos por 2L, siendo L la longitud de la mayor discontinuidad, excepto cuando dos o más de tales discontinuidades no están separadas por al menos 2L, pero la longitud de las discontinuidades y su separación es igual o menor que la longitud máxima permisible bajo las disposiciones de las Clases B o C, la discontinuidad debe considerarse como una única discontinuidad aceptable.
- Las discontinuidades de Clase B y C no deben comenzar a una distancia menor que 2L desde los finales de las soldaduras que soportan esfuerzos de tracción principales, siendo L el largo de la discontinuidad.
- Las discontinuidades detectadas en el área de la cara de la raíz en una soldadura con CJP con bisel doble, deben ser evaluadas usando una clasificación de la indicación 4 dB más sensible, que la descrita en 6.26.6.5, cuando tales soldaduras son indicadas como "soldadura bajo tracción" en los planos (restar 4 dB para el nivel de referencia "b").
- Soldaduras por electro escoria o electrogas: en las discontinuidades que exceden las 2 pulg. [50 mm] se deben sospechar que son de porosidad vermicular y deberá ser examinada adicionalmente mediante radiografía.
- Para indicaciones que se mantienen en el monitor, cuando el palpador se mueve, referirse a 6.13.1.

**Clase A (discontinuidades grandes)**

Cualquier indicación en esta categoría debe ser rechazada (sin tener en cuenta la longitud).

**Clase B (discontinuidades medias)**

Cualquier indicación en esta categoría que tenga una longitud mayor que 3/4 pulg. [20 mm] debe ser rechazada.

**Clase C (discontinuidades pequeñas)**

Cualquier indicación en esta categoría que tenga una longitud mayor que 2 pulg. [50 mm] debe ser rechazada.

**Clase D (discontinuidades menores)**

Cualquier indicación en esta categoría debe ser aceptada sin tener en cuenta la longitud o ubicación en la soldadura.

**Niveles de Escaneo/Exploración**

Trayectoria <sup>b</sup> en pulg. [mm]	Referencia por Encima de Cero, dB
hasta 2-1/2 [65 mm]	14
> 2-1/2 hasta 5 [65–125 mm]	19
> 5 hasta 10 [125–250 mm]	29
> 10 hasta 15 [250–380 mm]	39

<sup>b</sup> Esta columna se refiere a la distancia recorrida por el haz, NO al espesor del material.

ANEXO 21 - Hoja de análisis de ensayos de dureza en las chapas ASTM A36



Innovatest Europe BV  
 Borgharenweg 140  
 6222 AA - Maastricht  
 The Netherlands  
 +31 43 3520960

Tester Info

Type FALCON 501  
 Date 06 de diciembre de 2018  
 Operator admin  
 Test HV0.5  
 Dwell time 15 sec.

Statistics

Nr of measurements 34  
 Max 198.0  
 Min 140.9  
 Average 168.8  
 Std.dev 14.1

TESIS MECANICA SOLDABILIDAD DE ACERO ASTM A  
 36  
 AUTOR: RENATO ROMERO



1 (1/1) 10:41:13

abs X:0.000mm	Y:0.000mm	dist:
d1:0.0790mm	d2:0.0775mm	
151.4 HV0.5		
---	---	---

Comment

2 (1/1) 10:45:14

abs X:0.000mm	Y:0.000mm	dist:
d1:0.0805mm	d2:0.0790mm	
144.8 HV0.5		
---	---	---

Comment

ANEXO 22 - Hoja de análisis de ensayos de dureza en las chapas ASTM A572



Tester Info

Type FALCON 501  
 Date 05 de diciembre de 2018  
 Operator admin  
 Test HV0.5  
 Dwell time 15 sec.

Statistics

Nr of measurements 28  
 Max 209.8  
 Min 165.9  
 Average 183.7  
 Std.dev 11.2

TESIS MECANICA SOLDABILIDAD DE ACERO ASTM A 572  
 AUTOR: RENATO ROMERO



1 (1/1) 16:50:17  
 abs X:0.000mm Y:0.000mm dist:  
 d1:0.0734mm d2:0.0758mm  
 166.6 HV0.5  
 --- ---  
 Comment

2 (1/1) 16:53:36  
 abs X:0.000mm Y:0.000mm dist:  
 d1:0.0711mm d2:0.0711mm  
 183.6 HV0.5  
 --- ---  
 Comment

ANEXO 23 - Hoja de análisis de ensayos de dureza en STRENX/DOMEX 700



Innovatest Europe BV  
 Borgharenweg 140  
 6222 AA - Maastricht  
 The Netherlands  
 +31 43 3520560

Tester Info

Type FALCON 501  
 Date 06 de diciembre de 2018  
 Operator admin  
 Test HV0.5  
 Dwell time 15 sec.

Statistics

Nr of measurements 32  
 Max 284.0  
 Min 187.0  
 Average 223.2  
 Std.dev 26.7

TESIS MECANICA SOLDABILIDAD DE ACERO  
 DOMEX  
 AUTOR: RENATO ROMERO



1 (1/1) 19:04:21  
 abs X:0.000mm Y:0.000mm dist:  
 d1:0.0579mm d2:0.0605mm  
 264.3 HV0.5  
 --- --- ---  
 Comment

2 (1/1) 19:08:30  
 abs X:0.000mm Y:0.000mm dist:  
 d1:0.0645mm d2:0.0654mm  
 216.3 HV0.5  
 --- --- ---  
 Comment

### Distribución de durezas en los diferentes tipos de acero estudiados.

Se realizaron los gráficos comparativos de dureza de los tres tipos de acero

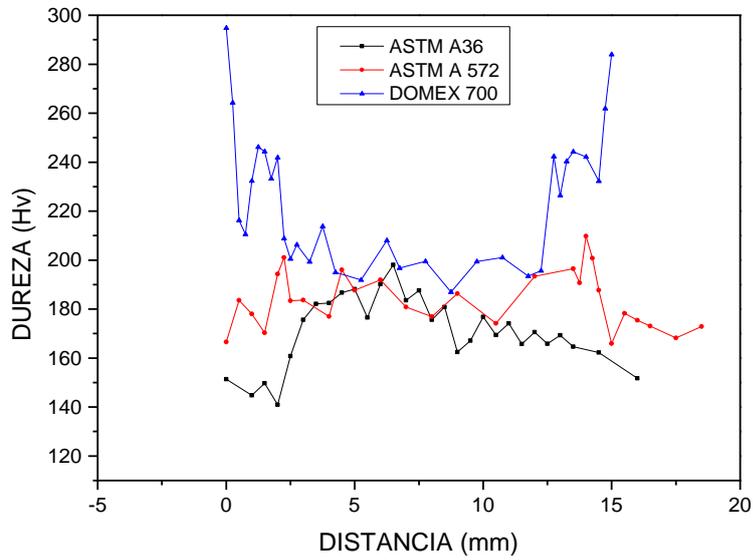


Figura 72. Muestra los gráficos de los 3 tipos de acero en el diagrama dureza vs distancia

Fuente: Elaboración propia

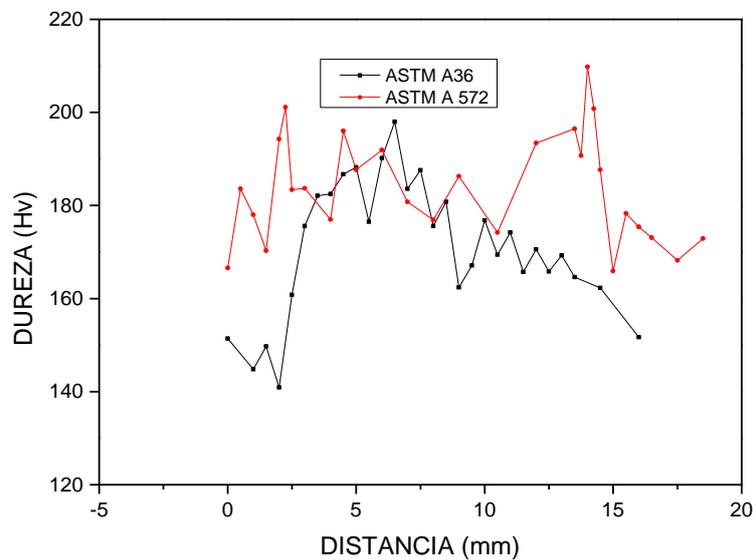
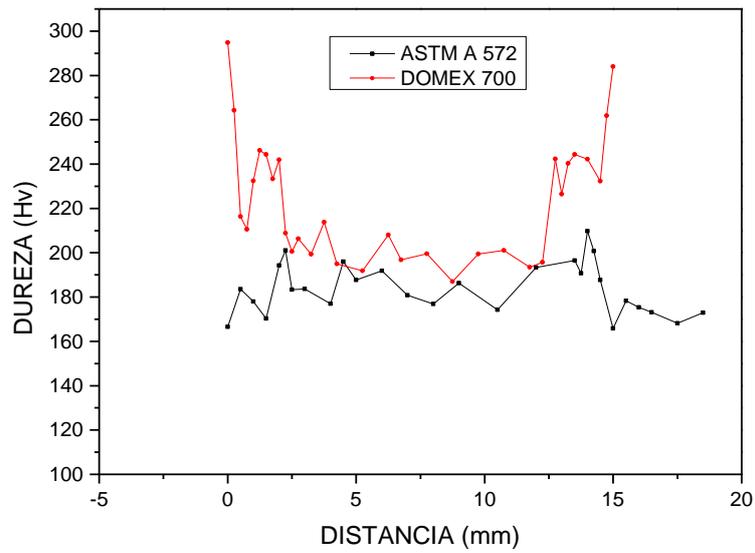


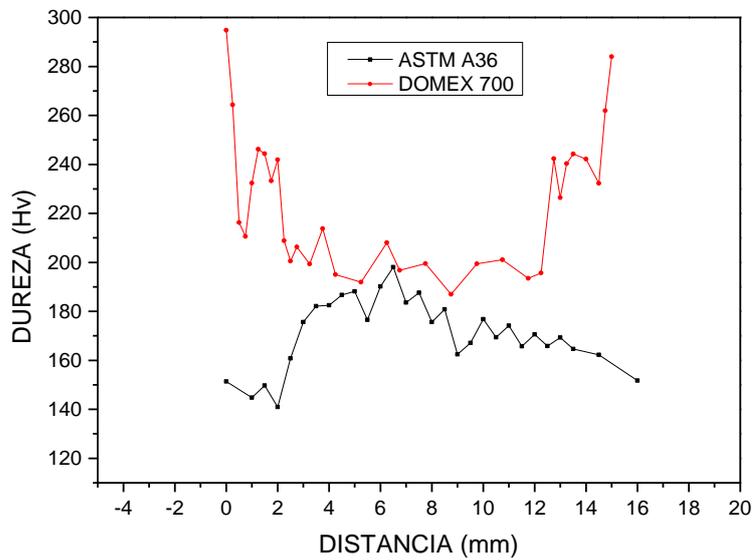
Figura 73. Se comparó el acero A36 y A 572.

Fuente: Elaboración propia



Se comparó el acero ASTM A572 y Strenx/Domex 700

Fuente: Elaboración propia

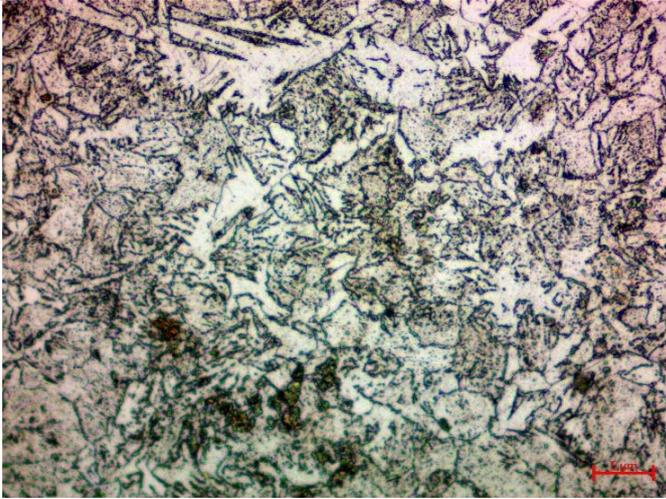
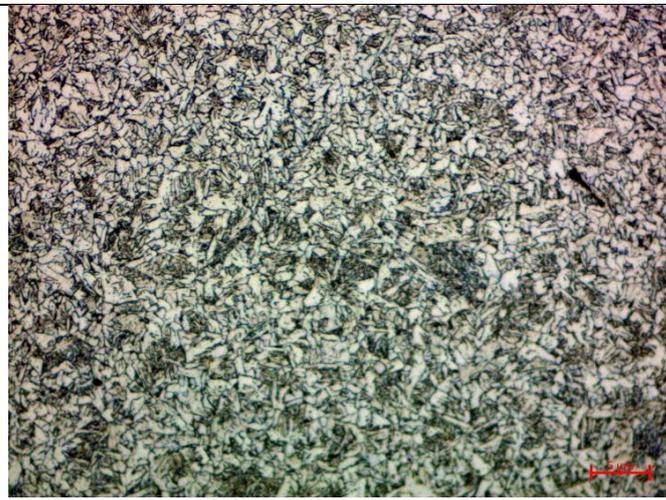
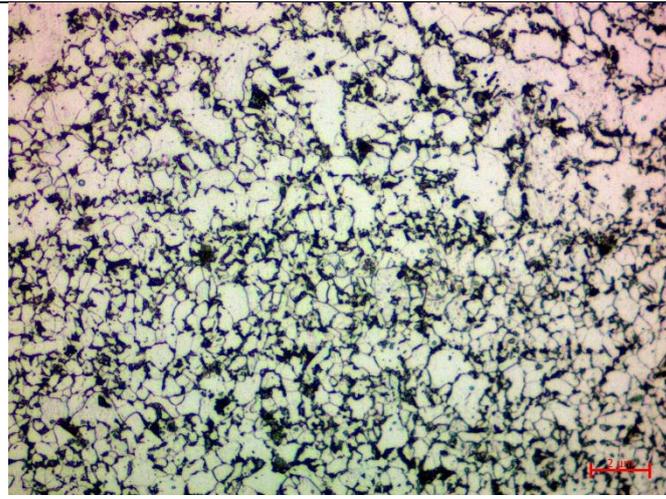


Se comparó el acero ASTM A32 y Strenx 700

Fuente: Elaboración propia

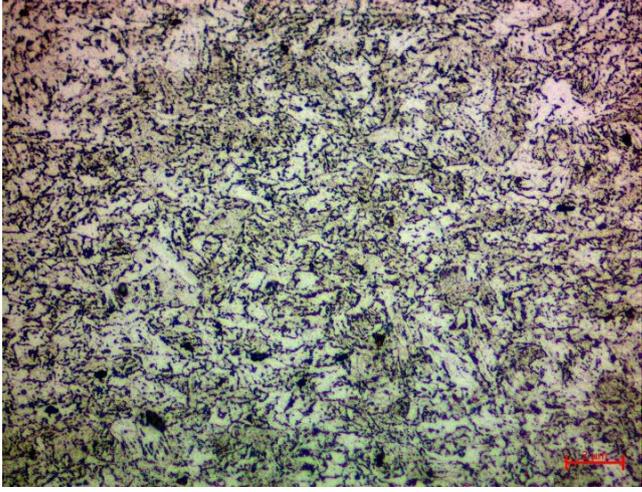
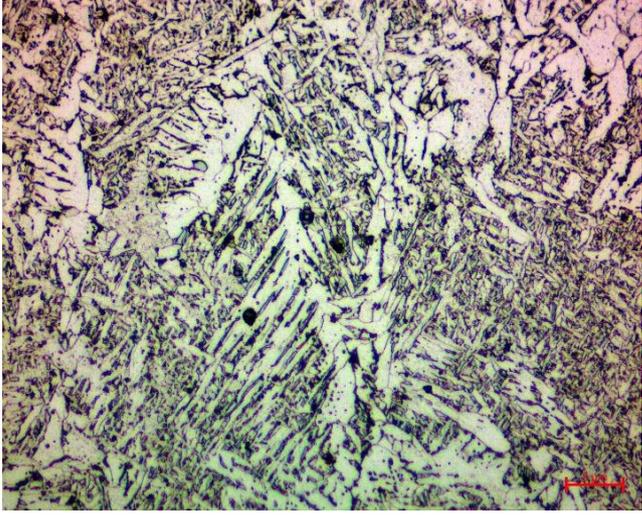
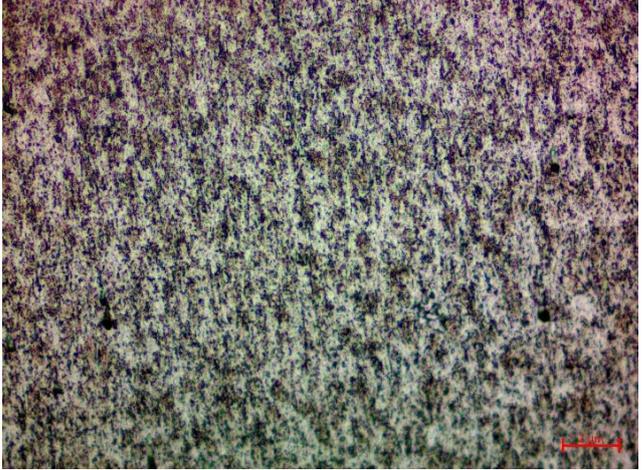
## ANEXO 24 - Resultados de ensayos de Metalografía

- Acero ASTM A36

	<p>Microestructura característica del cordón de soldadura, se aprecia granos columnares, con ferrita en borde de grano, ferrita witmansttaten, y acicular.</p>
	<p>Microestructura en la línea de fusión, y zona ZAC, característica de granos grandes con presencia de estructura fina dentro de los granos típica de la martensita, y bainita.</p>
	<p>Zona esferoidizada en la parte superior y en la parte inferior estructura ferrítica perlítica correspondiente al metal base no afectado.</p>

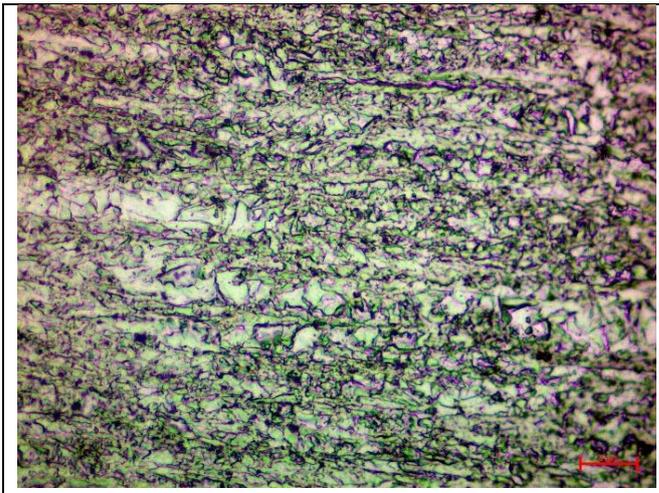
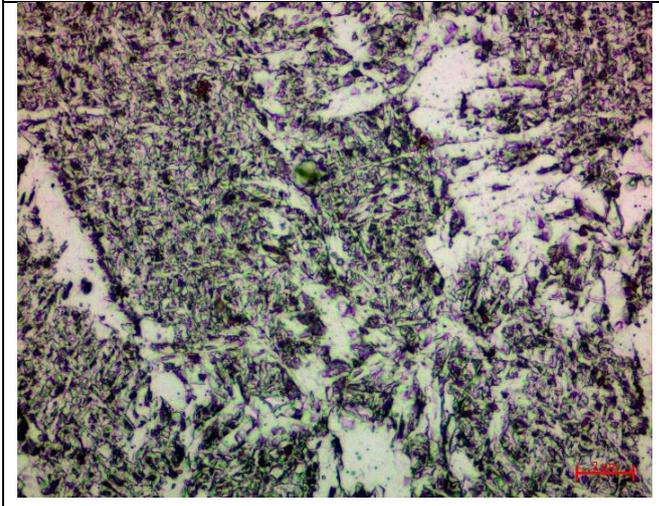
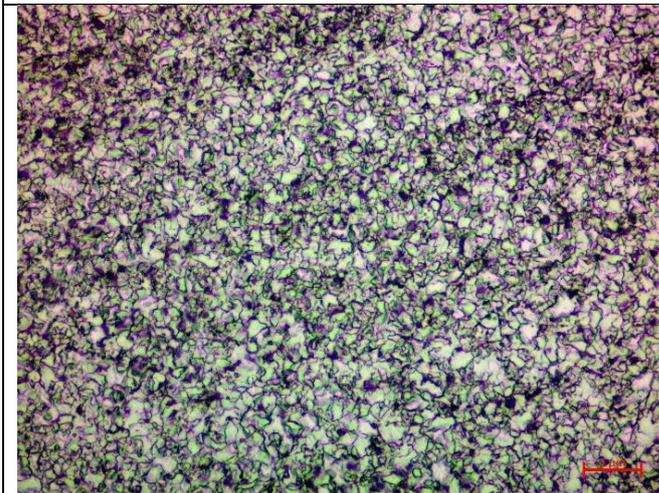
Ensayo metalográfico acero ASTM A36

- Acero ASTM A572

	<p>Zona afectada por el calor adyacente a la línea de fusión.</p>
	<p>Microestructura característica del cordón de soldadura, se aprecia granos columnares, con ferrita en borde de grano, ferrita witmansttaten, y mayor proporción de ferrita acicular dentro de los granos.</p>
	<p>Zona de perlita esferoidizada en el material base</p>

Ensayo metalográfico acero ASTM A572

- Acero Strenx 700

	<p>Microestructura ferrítica perlítica en el metal base, observándose las bandas de laminación.</p>
	<p>Microestructura característica del cordón de soldadura, se aprecia granos columnares, con ferrita en borde de grano, ferrita witmansttaten, y mayor proporción de ferrita acicular dentro de los granos, comparativamente en mayor proporción a vista que los aceros ASTM A 36 Y ASTM A 572.</p>
	<p>Estructura ferrítica perlítica fina en el metal base, tamaño de grano refinado por efecto del calentamiento, típico de un acero normalizado.</p>

Ensayo metalográfico acero Strenx 700

**ANEXO 25 -Resultados de ensayo de Corriente Eddy  
Acero ASTM A36 Probeta 01**



- Se realizó la prueba a la primera probeta, no presenciando discontinuidades, se mantenía el rango de frecuencia.

Probetas ASTM A 36 (1) ACCEPTABLE

Ensayo corriente Eddy de probeta N°1 ASTM A36

Fuente: Elaboración propia

**Acero ASTM A36 Probeta 02**



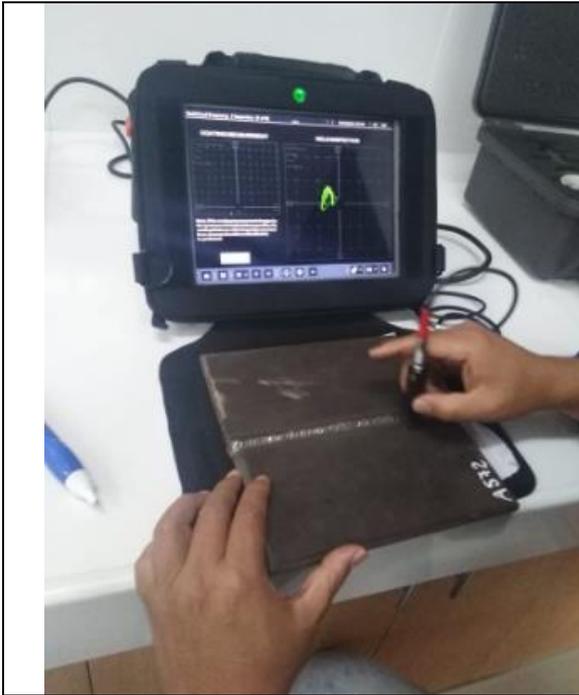
- Se realizó la prueba a la primera probeta, no presenciando discontinuidades, se mantenía el rango de frecuencia.

Probetas ASTM A 36 (2) ACCEPTABLE

Ensayo corriente Eddy de probeta N°2 ASTM A36

Fuente: Elaboración propia

### Acero ASTM A572 Probeta 01



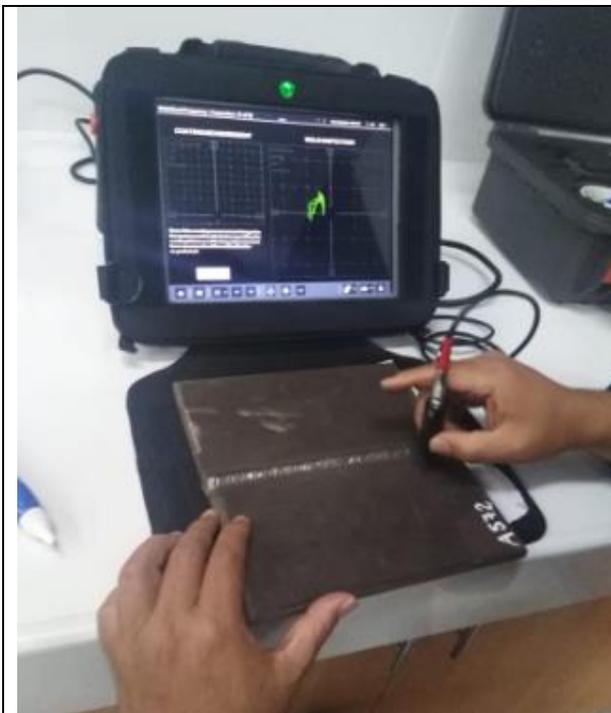
- Se realizó la prueba a la primera probeta, no presenciando discontinuidades, se mantenía el rango de frecuencia.

Probetas ASTM A 572 (1) ACEPTABLE

Ensayo corriente Eddy de probeta N°1 ASTM A572

Fuente: Elaboración propia

### Acero ASTM A572 Probeta 02



- Se realizó la prueba a la primera probeta, no presenciando discontinuidades, se mantenía el rango de frecuencia.

Probetas ASTM A 572 (2) ACEPTABLE

Ensayo corriente Eddy de probeta N°2 ASTM A572

Fuente: Elaboración propia

### Acero Strenx 700 Probeta 01



- Se realizó la prueba a la primera probeta, no presenciando discontinuidades, se mantenía el rango de frecuencia.

Probetas Strenx 700 (1) ACEPTABLE

Ensayo corriente Eddy de probeta N°1 Strenx 700

Fuente: Elaboración propia

### Acero Strenx 700 Probeta 02



- Se realizó la prueba a la primera probeta, no presenciando discontinuidades, se mantenía el rango de frecuencia.

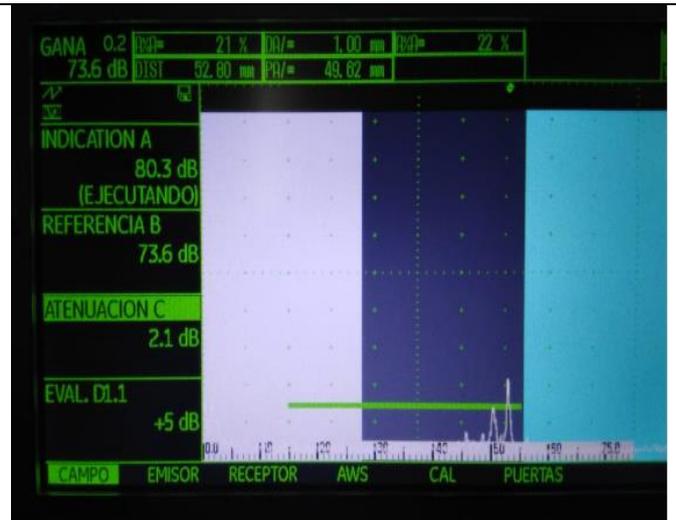
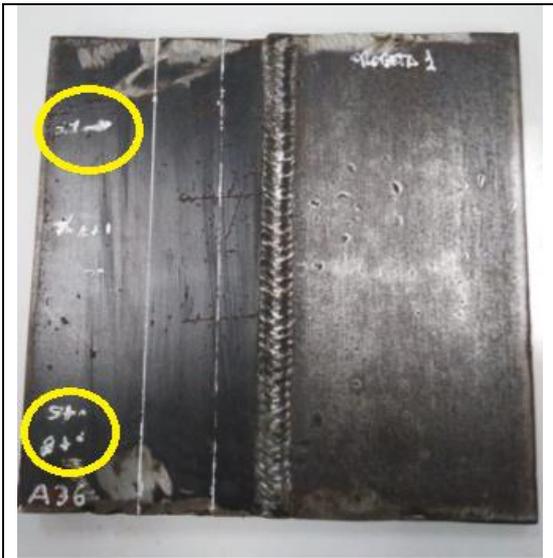
Probetas Domex700 (2) ACEPTABLE

#### D.1.1 – UNIONES SOLDADAS

Ensayo corriente Eddy de probeta N°2 Domex 700

Fuente: Elaboración propia

**ANEXO 26 - Resultados de ensayo de Ultrasonido  
Acero ASTM A36 Probeta 01**



Se realizó el trazo según el cálculo hallado desde el centro de la junta 52.34mm. y 26.16mm. (Sd – Sd/2)

**Según norma AWS D1.1M – 2010 (+5Db) es clase D=discontinuidades menores, cualquier aceptación debe de ser aceptada sin tener en cuenta la longitud**

Prueba ultrasonido Probeta 01 ASTM A36

Fuente: Elaboración propia

**Acero ASTM A36 Probeta 02**



Se realizó el trazo según el cálculo hallado desde el centro de la junta 52.34mm. y 26.16mm. (Sd – Sd/2)

**Según norma AWS D1.1M – 2010 (+8Db) es clase D=discontinuidades menores, cualquier aceptación debe de ser aceptada sin tener en cuenta la longitud**

Prueba de ultrasonido Probeta 02 ASTM A36

Fuente: Elaboración propia

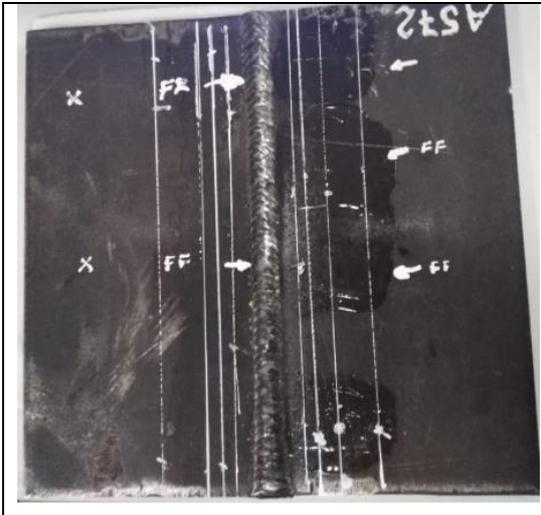
**Acero ASTM A572 Probeta 01**

	
<p>Se realizó el trazo según el cálculo hallado desde el centro de la junta 52.34mm. y 26.16mm. (Sd – Sd/2)</p>	<p><b>Según norma AWS D1.1M – 2010 (+7Db) es clase D=discontinuidades pequeñas, cualquier indicación que tenga una longitud mayor de 2 pulg, debe de ser rechazada</b></p>

Prueba de ultrasonido Probeta 01 ASTM A572

Fuente: Elaboración propia

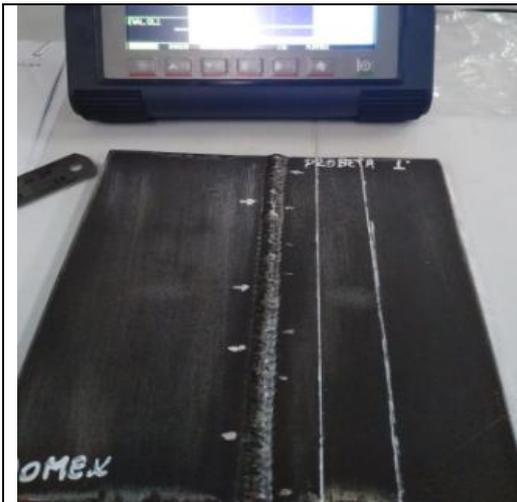
**Acero ASTM A572 Probeta 02**

	
<p>Se realizó el trazo según el cálculo hallado desde el centro de la junta 52.34mm. y 26.16mm. (Sd – Sd/2)</p>	<p><b>Según norma AWS D1.1M – 2010 (+8Db) es clase D=discontinuidades menores, cualquier aceptación debe de ser aceptada sin tener en cuenta la longitud</b></p>

Prueba de ultrasonido Probeta 02 ASTM A572

Fuente: Elaboración propia

### Acero Strenx 700 Probeta 01



Se realizó el trazo según el cálculo hallado desde el centro de la junta 52.34mm. y 26.16mm. (Sd – Sd/2)

Según norma AWS D1.1M – 2010 (+8Db) es clase D=discontinuidades menores, cualquier aceptación debe de ser aceptada sin tener en cuenta la longitud

Prueba de ultrasonido Probeta 01 Strenx 700

Fuente: Elaboración propia

### Acero Domex 700 Probeta 02



Se realizó el trazo según el cálculo hallado desde el centro de la junta 52.34mm. y 26.16mm. (Sd – Sd/2)

Según norma AWS D1.1M – 2010 (+9Db) es clase D=discontinuidades menores, cualquier aceptación debe de ser aceptada sin tener en cuenta la longitud

Prueba de ultrasonido Probeta 02 Strenx 700

Fuente: Elaboración propia

# ANEXO 27 – Hoja de análisis de ensayos de dureza ASTM A572

This international standard was developed in accordance with internationally recognized principles on standardization established in the Decision on Principles for the Development of International Standards, Guides and Recommendations issued by the World Trade Organization Technical Barriers to Trade (TBT) Committee.



Designation: E384 – 17

## Standard Test Method for Microindentation Hardness of Materials<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation E384; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last approval. A superscript epsilon ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or approval.

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

### 1. Scope<sup>a</sup>

1.1 This test method covers determination of the microindentation hardness of materials.

1.2 This test method covers microindentation tests made with Knoop and Vickers indenters under test forces in the range from  $9.8 \times 10^{-3}$  to 9.8 N (1 to 1000 gf).

1.3 This test method includes an analysis of the possible sources of errors that can occur during microindentation testing and how these factors affect the precision, bias, repeatability, and reproducibility of test results.

1.4 Information pertaining to the requirements for direct verification and calibration of the testing machine and the requirements for the manufacture and calibration of Vickers and Knoop reference hardness test blocks are in Test Method E92.

Note 1—While Committee E04 is primarily concerned with metals, the test procedures described are applicable to other materials.

1.5 *Units*—The values stated in SI units are to be regarded as standard. No other units of measurement are included in this standard.

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

1.7 *This international standard was developed in accordance with internationally recognized principles on standardization established in the Decision on Principles for the Development of International Standards, Guides and Recommendations issued by the World Trade Organization Technical Barriers to Trade (TBT) Committee.*

<sup>1</sup> This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee E04 on Metallography and is the direct responsibility of Subcommittee E04.05 on Microindentation Hardness Testing. With this revision the test method was expanded to include the requirements previously defined in E28.02, Standard Test Method for Vickers Hardness Testing of Metallic Material that was under the jurisdiction of E28.08.

Current edition approved June 1, 2017. Published August 2017. Originally approved in 1969. Last previous edition approved in 2016 as E384 – 16. DOI: 10.1520/E0384-17

### 2. Referenced Documents

2.1 *ASTM Standards:*<sup>2</sup>

E1326 Test Method for Knoop Indentation Hardness of Advanced Ceramics

E1327 Test Method for Vickers Indentation Hardness of Advanced Ceramics

E3 Guide for Preparation of Metallographic Specimens

E7 Terminology Relating to Metallography

E92 Test Method For Vickers Hardness of Metallic Materials

E140 Hardness Conversion Tables for Metals Relationship Among Brinell Hardness, Vickers Hardness, Rockwell Hardness, Superficial Hardness, Knoop Hardness, Scleroscope Hardness, and Leeb Hardness

E175 Terminology of Microscopy

E177 Practice for Use of the Terms Precision and Bias in ASTM Test Methods

E691 Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method

E766 Practice for Calibrating the Magnification of a Scanning Electron Microscope

E1268 Practice for Assessing the Degree of Banding or Orientation of Microstructures

E2554 Practice for Estimating and Monitoring the Uncertainty of Test Results of a Test Method Using Control Chart Techniques

E2587 Practice for Use of Control Charts in Statistical Process Control

2.2 *ISO Standard:*<sup>3</sup>

ISO/IEC 17025 General Requirements for the Competence of Testing and Calibration Laboratories

### 3. Terminology

3.1 *Definitions*—For definitions of terms used in this test method, see Terminology E7.

3.2 *Definitions of Terms Specific to This Standard:*

<sup>2</sup> For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, [www.astm.org](http://www.astm.org), or contact ASTM Customer Service at [service@astm.org](mailto:service@astm.org). For Annual Book of ASTM Standards volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

<sup>3</sup> Available from International Organization for Standardization (ISO), 1, ch. de la Voie-Croix, Case postale 56, CH-1211, Geneva 20, Switzerland. <http://www.iso.org>

<sup>a</sup>A Summary of Changes section appears at the end of this standard

Copyright © ASTM International, 100 Bar Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19380-0200, United States

## ANEXO 28 - Hoja de análisis de ensayos de Metalografía según norma ASTM



### Normas ASTM:

- ✚ ASTM A 240 /A 240M  
"Standard Specification for Chromium and Chromium-Nickel Stainless Steel Plate, Sheet, and Strip for Pressure Vessels and for General Applications"
- ✚ ASTM A 1020 / A 1020M  
"Standard Specification for Steel Tubes, Carbon and Carbon Manganese, Fusion Welded, for Boiler, Superheater, Heat Exchanger and Condenser Applications"
- ✚ ASTM E 3  
"Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens"
- ✚ ASTM E 7  
"Standard Terminology Relating to Metallography"
- ✚ ASTM E 10  
"Standard Test Method for Brinell Hardness of Metallic Materials"
- ✚ ASTM E 18  
"Standard Test Methods for Rockwell Hardness and Rockwell Superficial Hardness of Metallic Materials"
- ✚ ASTM E 112  
"Standard Test Methods for Determining Average Grain Size"
- ✚ ASTM E 930  
"Standard Test Methods for Estimating the Largest Grain Observed in a Metallographic Section (ALA Grain Size)"
- ✚ ASTM E 1181  
"Standard Test Methods for Characterizing Duplex Grain Sizes"
- ✚ ASTM E 1558  
"Standard Guide for Electrolytic Polishing of Metallographic Specimens"

## **ANEXO 29 - FICHA TECNICA DE MAQUINA DE CORRIENTE EDDY**

El Mentor EM le permite acceder fácilmente a las aplicaciones de flujo de trabajo en el dispositivo que orientan de manera eficiente al inspector durante la captura de datos de inspección (Corrientes Inducidas) electromagnéticas. La colaboración en tiempo real con los expertos a distancia permite la confirmación indicación rápida y precisa. Esta nueva y poderosa tecnología hace que las inspecciones de soldadura por corrientes sean más fácil, más preciso y más rápido. Al permitir que los flujos de trabajo sean accesibles instantáneamente en el dispositivo, Mentor EM ayuda a asegurar el estricto cumplimiento de los códigos, directrices y prácticas estándar. Personalizar las aplicaciones de flujo de trabajo en el dispositivo. Pantalla táctil de fácil comprensión, que trabaja con guantes. Acceso inmediato a sus boletines de servicio. Descarga actualizaciones de software. Soluciones de soldadura. Frecuencia doble soldadura. La soldadura de una sola frecuencia. Soldar dos entradas y dos sondas. Aeroespacial (Rotary y conductividad) Soluciones Ver modos de base de tiempo y lugar en el mismo momento. Excelente relación señal-ruido. Totalmente personalizable. Soluciones de uso general de END Mentor de entrada única. Mentor doble frecuencia. Mentor de medición recubrimiento. Mentor absoluta. Mentor de entrada dual. Mentor diferencial. Mentor reflexión.

- Personalice las aplicaciones de flujo de trabajo en el dispositivo.
- Pantalla táctil de fácil lectura que funciona con guantes.
- Sondas para todas las inspecciones.
- Conectar al instante con otros expertos.



## ANEXO 30 - FICHA TECNICA DE MAQUINA DE ULTRASONIDO

El USM 36 es el último desarrollo en la serie USM de GE en detectores de fallas. Combina la plataforma operativa siglo 21 con hardware robusto y fiable de los instrumentos de detección de defectos portátiles de GE desarrollados desde el inicio por Krautkramer. Incorpora una serie de características innovadoras, para garantizar cualquier trabajo realizado por Inspectores END a nivel mundial. Pantalla más grande. Operación simple y eficiente. Disponible en tres versiones. Puede ser utilizado en los entornos más duros. Conectividad integral.

- Gran pantalla de 7 pulgadas, con una resolución de 800x480 píxeles.
- Las señales se ven fácilmente y se interpretan con precisión.
- Utiliza las perillas giratorias familiares de los modelos anteriores.
- Teclas de función minimizadas en un teclado simple e intuitivo de 6 teclas.



## ANEXO 31 - FICHA TÉCNICA DE MÁQUINA DE DUREZA VICKERS

La serie FALCON 500, las máquinas de prueba de dureza Micro Vickers, Vickers y Micro Brinell son una nueva generación de instrumentos, que mejoran los métodos de prueba de dureza convencionales y se centran en eliminar la influencia del usuario en los resultados de la prueba.

### Características

- Sistema completamente automático de Micro / Macro Vickers, Knoop y Brinell
- Celda de carga, retroalimentación de fuerza, sistema de circuito cerrado
- Rango de carga 1 gf hasta 62.5 kgf
- Ajuste automático de fuerza de prueba
- Escalas de Vickers:  
HV0.001, 0.002, 0.003, 0.004, 0.005, 0.006, 0.007, 0.008, 0.009, 0.010, 0.015, 0.020, 0.025, 0.050, 0.1, 0.2, 0.3, 0.5, 1, 2, 2.5, 3, 4, 5, 10, 20, 25, 30, 40, 50
- Escalas Knoop:  
HK / 0.001, 0.003, 0.005, 0.01, 0.015, 0.02, 0.025, 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.5, 1, 2, 5, 10, 20, 30, 50
- Escalas Brinell:  
HB1 / 1 kgf, 1.25 kgf, 2.5 kgf, 5 kgf, 10 kgf, 30 kgf;  
HB2.5 / 6.25 kgf, 7.8125 kgf, 15.625 kgf, 31.25 kgf, 62.5 kgf  
HB5 / 25 kgf, 62.5 kgf
- Resistencia a la fractura KIC
- Tolerancia de la fuerza de prueba  
<0,5% para la fuerza de prueba de 100 gr a 62,5 kg,  
<1% para la fuerza de prueba por debajo de 100 gr
- Pantalla táctil HD industrial de 15", controlador de sistema potente sin ventilador incorporado, unidad de almacenamiento de datos SSD de 80GB, Windows 7 integrado, LAN RJ45, WLAN, USB, RS-232, HDMI y VGA
- IMPRESSIONS™, control de configuración y probador completo, simulación de sangría gráfica, configuración del programa de prueba para programas de prueba definidos por el usuario, almacenamiento de resultados de prueba grande, 5 conversiones simultáneas a otras escalas de dureza, configuración de límites, generador avanzado de informes de prueba, exportación CSV, motor de visualización de gráficos y muchas más funciones
- Cumple o supera los estándares ISO, ASTM y JIS
- Control automático de brillo, contraste y nitidez
- Enfoque automático
- Medición automática de sangría
- Descripción general del zoom CAM 2 (opcional)
- Sistema ZOOM Indent calibrado y continuo
- Guardado automático, configuración del programa, almacenamiento de datos
- Eje Z motorizado con control dinámico Intelli
- 2 puestos de penetración, 4 puestos objetivos
- Sistema óptico de calidad
- Cámara de 5Mpx HD
- Sistema de detección de colisión y retracción del eje z, evita daños en la torreta
- Conexión para etapas motorizadas XY (estándar)
- Controlador CNC integrado de 5 ejes (estándar)



## ANEXO 32 - FICHA TECNICA DE MAQUINA DE METALOGRAFIA

Microscopio Binocular con iluminación LED. Marca Zeiss, modelo Primo Star Pack 1

Son microscopios ópticos de aplicación universal, que sirven ante todo para examinar cortes histológicos de células y tejidos, células animales y/o vegetales, examen de sangre.

Son ergonómicos, ocupan poco espacio.

Van provistos de objetivos de un alto poder resolutivo, con óptica corregida a infinito y permiten el trabajo microscópico para campo claro, campo oscuro y contraste de fases en luz transmitida.(opcional)

Presenta salida para cámara o video y para PC.

Especificaciones:

Sistema de iluminación con LED, halógena 6V/30W o espejo de iluminación para luz transmitida.

Alojamiento integrado para unidad alimentadora externa y cable (incl. unidad de cable con ficha múltiple y adaptadores específicos para cada país).

Asa revestida de plástico que está integrada en el estativo, para montaje, desmontaje y transporte.

Indicadores de la intensidad luminosa en azul instalados en ambos lados que están bien visibles aún a cierta distancia. Estantivo en ejecución "Fixed-Köhler". Mando macro y micrométrico coaxial de manejo cómodo, suavidad del mando macrométrico ajustable.

Platina de desplazamientos en cruz 75 x 30 para el manejo desde la derecha/izquierda con sujetaobjetos, mando de la platina opcionalmente a la derecha o izquierda.

Iluminación incorporada de pequeñas dimensiones, continuamente regulable, opcionalmente con lámpara halógena o con LED.

Condensador fijo Abbe 0,9/1,25 para campo claro, con montura para correderas de campo oscuro y contraste de fases Ph 1, 2 y 3.

Revólver portaobjetivos apoyado en rodamiento de bolillas, inclinado hacia atrás, para 4 objetivos con rosca W 0,8.

Objetivos con óptica corregida a infinito del tipo "PLAN-ACHROMAT" con aumentos de 4x, 10x, 40x, y 100x/Oil así como para aplicaciones con aceite de inmersión.

Lámpara halógena: 6V, 30 W.

Regulación de la fuente luminosa: continua, 1,5 a 6 V DC.

Temperatura de color con 6 V: 2800 K

Rayo luminoso: 280 lm.

Vida media: 1000 h

Superficie luminosa: 1,5 x 3 mm

Iluminación LED: LED de luz blanca, longitud de onda pico 440 nm, LED clase 2.

Temperatura de color constante, independiente de la luminosidad 7480 K

Apropiada para objetivos con aumentos de 4x a 100x

Regulación analógica de la luminosidad de aprox. 15 a 100 %

Estantivo con enfoque mediante platina con mando macrométrico 45 mm/rev y mando micrométrico 0,5 mm/rev.

Carrera completa 15 mm

Revólver de 4 objetivos inclinado hacia atrás.

Objetivos: corregidos a infinito con rosca W 0,8.

PLAN-ACHROMAT 4X/0,10

PLAN-ACHROMAT 10X/0,25

PLAN-ACHROMAT 40X/0,65

PLAN-ACHROMAT 100X/1,25 OIL

Oculares (diámetro de inserción 30 mm)

Par de oculares PL 10x/18 Br. foc. enfocables. con puntero.

Con un ángulo de observación ergonómico de 30°, con ajuste de distancia interpupilar y altura de observación regulable, de las siguientes características:

Distancia entre oculares (distancia interpupilar) regulable de 48 a 75 mm

Ángulo de observación 30°

Se provee: set de filtros azul, verde y amarillo; funda; iluminador de luz transmitida por HAI, repuesto de lámpara halógena, frasco de aceite de inmersión por 5 ml, tacos de goma para la base.

Permite la incorporación de accesorios tales como: epifluorescencia iLED, contraste de fase Ph1, Ph2 y Ph3, campo oscuro seco, medición.

Dimensiones/ Peso del embalaje: 59.0 x 39.2 x 29.4 cm (profundidad, ancho, altura)/ 11.33 kg

Dimensiones/ Peso del equipo: 46.0 x 17.5 x 40.5 cm/ 8.22 kg

Origen: Alemania

Garantía: 1 año

