

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Mecánica

Tesis

**Efectos de las soldaduras en las propiedades  
mecánicas de la unión entre los aceros ASTM  
A-36 y CHRONIT T1**

Andre Diego Enriquez Bustamante

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniero Mecánico

Arequipa, 2023

Repositorio Institucional Continental  
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

# EFFECTOS DE LAS SOLDADURAS EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA UNIÓN ENTRE LOS ACEROS ASTM A-36 Y CHRONIT T1

## ORIGINALITY REPORT

19%

SIMILARITY INDEX

20%

INTERNET SOURCES

3%

PUBLICATIONS

%

STUDENT PAPERS

## PRIMARY SOURCES

1	<a href="#">idoc.pub</a> Internet Source	3%
2	<a href="#">hdl.handle.net</a> Internet Source	3%
3	<a href="#">www.repositorio.usac.edu.gt</a> Internet Source	2%
4	<a href="#">repositorio.ucv.edu.pe</a> Internet Source	2%
5	<a href="#">bibdigital.epn.edu.ec</a> Internet Source	2%
6	<a href="#">repositorio.uns.edu.pe</a> Internet Source	2%
7	<a href="#">repositorio.unsa.edu.pe</a> Internet Source	2%
8	<a href="#">tesis.ipn.mx</a> Internet Source	1%

9

Internet Source

1 %

---

10

[caelum.ucv.ve](http://caelum.ucv.ve)

Internet Source

1 %

---

11

[repositorio.continental.edu.pe](http://repositorio.continental.edu.pe)

Internet Source

1 %

---

12

[www.scribd.com](http://www.scribd.com)

Internet Source

1 %

---

Exclude quotes Off

Exclude matches < 1%

Exclude bibliography On

## **AGRADECIMIENTOS**

Le agradezco a Dios por haberme guiado a lo largo de mi vida, quien ha forjado mi camino, por haberme dado la fortaleza para seguir adelante en aquellos momentos de debilidad.

A la empresa TECKTOMETAL SAC por brindarme el apoyo para la realización del siguiente proyecto.

Al Ing. Julio Cárdenas por su apoyo en el proceso de este trabajo.

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo está dedicado a mi familia, gracias a su apoyo y confianza que siempre depositaron en mí, gracias por ser la motivación para lograr mis objetivos.

## ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS .....	ii
DEDICATORIA .....	iii
ÍNDICE GENERAL .....	iv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
ÍNDICE DE TABLAS .....	xii
ÍNDICE DE GRÁFICOS .....	xiii
RESUMEN .....	xiv
ABSTRACT.....	xv
INTRODUCCIÓN .....	xvi
CAPÍTULO I .....	17
PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO .....	17
1.1 Planteamiento y formulación del problema .....	17
1.1.1 Planteamiento del problema.....	17
1.1.2 Formulación del problema.....	19
a) Problema general .....	19
b) Problemas específicos.....	19
1.2 Objetivos.....	19
1.2.1 Objetivo general.....	19
1.2.2 Objetivos específicos .....	19
1.3 Justificación e importancia .....	20
1.3.1 Justificación teórica .....	20
1.3.2 Justificación práctica.....	20
1.3.3 Justificación metodológica .....	20
1.4 Hipótesis y descripción de variables.....	20
1.4.1 Hipótesis General.....	20
1.4.2 Hipótesis específicas.....	21
1.4.3 Variable independiente .....	21
1.4.4 Variable Dependiente .....	21
1.4.5 Operacionalización de variables .....	22

CAPÍTULO II .....	23
MARCO TEÓRICO.....	23
2.1 Antecedentes del problema .....	23
2.1.1 Antecedentes nacionales .....	23
2.1.2 Antecedentes internacionales.....	25
2.2 Bases teóricas.....	27
2.2.1 Soldadura .....	27
2.2.2 Unión soldada .....	27
2.2.3 Procesos de soldadura.....	28
2.2.3.1 Soldadura por arco con electrodo revestido (SMAW) .....	29
a) Parámetros de soldeo .....	30
2.2.3.2 Soldadura por arco con núcleo de fundente (FCAW) .....	32
a) Equipo.....	33
b) Alambre (Electrodo) .....	33
c) Modo de transferencia .....	34
d) Gas de protección.....	35
e) Ventajas y desventajas .....	36
2.2.3.3 Soldadura por arco bajo gas protector con electrodo de tungsteno (GTAW).....	37
a) Equipo.....	37
b) Electrodo.....	38
c) Metal de aporte .....	39
d) Gas de protección.....	39
e) Ventajas del proceso .....	40
2.2.4 Propiedades Mecánicas.....	41
2.2.4.1 La dureza .....	42
2.2.4.2 Esfuerzo y deformación.....	42
a) Esfuerzo .....	42
b) Deformación unitaria .....	43
c) Módulo de elasticidad.....	43
d) Límite Elástico.....	44
e) Resistencia a la fluencia.....	44
f) Resistencia última a la tensión.....	44
2.2.4.3 Ductilidad .....	45
2.2.4.4 Acero ASTM A-36.....	45
2.2.4.5 Acero Chronit T1.....	46
2.2.5 Precalentamiento.....	47

2.3 Definición de términos básicos.....	47
CAPÍTULO III.....	51
METODOLOGÍA.....	51
3.1 Métodos y alcance de la investigación .....	51
3.1.1 Método de investigación.....	51
3.1.2 Alcance de la investigación .....	51
3.2 Diseño de la investigación .....	52
3.3 Población y muestra.....	52
3.3.1 Población .....	52
3.3.2 Muestra .....	52
3.3.2.1 Características de las muestras .....	53
a) Dureza.....	53
b) Elasticidad.....	54
c) Macrografía.....	54
d) Ductilidad.....	54
3.4 Técnica e instrumentos de recolección de datos.....	55
3.4.1 Técnicas de soldeo SMAW.....	55
a) Pre calentamiento.....	55
b) Intensidad de soldeo .....	56
3.4.2 Técnicas de soldeo GTAW.....	58
a) Pre calentamiento .....	58
b) Intensidad de soldeo.....	58
c) Caudal de Gas protector.....	60
3.4.3 Técnicas de soldeo FCAW .....	60
a) Pre calentamiento .....	60
b) Intensidad de soldeo.....	60
c) Caudal de Gas protector.....	60
d) Velocidad de salida de alambre .....	60
3.4.4 Técnicas para la resistencia.....	61
a) Dureza .....	61
b) Discontinuidades.....	62
c) Elasticidad .....	63
d) Ductilidad.....	63
e) Macrografía.....	63

3.4.5 Seguridad en el trabajo .....	64
CAPÍTULO IV.....	65
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	65
4.1 Resultados de tratamiento y análisis de la información.....	65
4.1.1 Soladura de acero ASTM A-36 y CHRONIT T1 mediante proceso de soldadura por arco eléctrico con electrodo revestido (SMAW) .....	65
a) Ensayos no destructivos (END).....	65
b) Dureza.....	67
c) Elasticidad .....	68
d) Ductilidad .....	71
e) Macrografía.....	72
4.1.2 Soladura de acero ASTM A-36 y CHRONIT T1 mediante proceso de soldadura por arco eléctrico con núcleo de fundente (FCAW) .....	72
a) Ensayos no destructivos (END).....	72
b) Dureza.....	74
c) Elasticidad .....	75
d) Ductilidad .....	78
e) Macrografía.....	78
4.1.3 Soladura de acero ASTM A-36 y CHRONIT T1 mediante soldadura por arco bajo gas protector con electrodo de tungsteno (GTAW) .....	79
a) Ensayos no destructivos (END).....	79
b) Dureza.....	80
c) Elasticidad .....	82
d) Ductilidad .....	85
e) Macrografía.....	86
4.1.4 Observaciones de Muestras .....	86
a) Observación 1- Dureza .....	86
b) Observación 2 - Elasticidad.....	88
c) Observación 3 - Macrografía.....	89
d) Observación 4 - Ductilidad.....	90
e) Observación 5- Análisis económico .....	91
4.2 Discusión de resultados .....	92
CONCLUSIONES .....	94

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	96
ANEXOS .....	98
Anexo 1: Plano de distribución de anexos.....	98
Anexo 2: Reportes de ensayos de dobles.....	99
Anexo 3: Informes de ensayos de macrografía.....	102
Anexo 4: Registro fotográfico .....	104
Anexo 5: Gantt de actividades .....	108
Anexo 6: Procedimiento de trabajo seguro (PTS) .....	109
Anexo 7: IPERC .....	117

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Tolva de descarga y de transporte. ....	19
Figura 2. Zonas de la unión soldada. ....	28
Figura 3. Clasificación de los procesos de soldadura. ....	29
Figura 4. Descripción del proceso SMAW. ....	30
Figura 5. Longitud de arco proceso SMAW. ....	31
Figura 6. Descripción del proceso FCAW. ....	32
Figura 7. Descripción equipo FCAW. ....	33
Figura 8. Tipos de alambres tubulares. ....	34
Figura 9. Modos de transferencia. ....	35
Figura 10. Descripción del proceso GTAW. ....	38
Figura 11. Formula de esfuerzo. ....	42
Figura 12. Formula de deformación unitaria. ....	43
Figura 13. Formula de módulo de elasticidad. ....	43
Figura 14. Curvas de ingeniería y de esfuerzo-deformación unitaria. ....	44
Figura 15. Muestra M1, M9, M17 para prueba de dureza. ....	53
Figura 16. Probeta normada de tracción. ....	54
Figura 17. Probeta para macrografía. ....	54
Figura 18. Probeta de doblez de cara. ....	54
Figura 19. Probeta de doblez de raíz. ....	55
Figura 20. Ficha técnica de termómetro Fluke. ....	56
Figura 21. Ficha técnica del electrodo TENACITO 80. ....	57
Figura 22. Propiedades de las especificaciones de la máquina de soldar DAF. ....	58
Figura 23. Especificaciones técnicas máquina de soldar MILLER XMT 350. ....	59

Figura 24. Ficha técnica del electrodo ER70S-6.....	59
Figura 25. Ficha técnica del electrodo dual Shield T-115. ....	61
Figura 26. Imagen referencial durómetro portátil.....	62
Figura 27. Imagen referencial equipo de ultrasonido. ....	63
Figura 28. Probeta de soldadura por arco eléctrico con electrodo revestido SMAW..	66
Figura 29. Inspección de ultrasonido a probeta de soldadura por arco eléctrico con electrodo revestido SMAW.....	66
Figura 30. Puntos donde se tomaron la muestra para prueba de dureza. ....	67
Figura 31. Prueba de dureza SMAW. ....	68
Figura 32. Secciones de probetas para ensayo de tracción, proceso SMAW. ....	68
Figura 33. Informe ensayo de tracción SMAW. ....	69
Figura 33. Informe ensayo de tracción SMAW. ....	69
Figura 33. Informe ensayo de tracción SMAW. ....	70
Figura 34. Gráfica de ensayos de tracción SMAW.....	70
Figura 35. Probetas ensayadas SMAW.....	71
Figura 36. Macrografía de probeta SMAW. ....	72
Figura 37. Probeta de soldadura por arco eléctrico con electrodo de fundente .....	73
Figura 38. Inspección por ultrasonido FCAW. ....	73
Figura 39. Puntos donde se tomaron la muestra para prueba de dureza. ....	74
Figura 40. Prueba de dureza FCAW. ....	75
Figura 41. Probetas para ensayo de tracción, proceso FCAW.....	75
Figura 42. Informe ensayo de tracción FCAW. ....	76
Figura 43. Gráfica de ensayos de tracción FCAW.....	77
Figura 44. Probetas ensayadas FCAW.....	78
Figura 45. Macrografía de probeta FCAW. ....	79
Figura 46. Probeta de soldadura por arco eléctrico con electrodo revestido GTAW. .	79

Figura 47. Inspección de ultrasonido a probeta de soldadura por arco eléctrico con electrodo revestido GTAW. ....	80
Figura 48. Puntos donde se tomaron la muestra para prueba de dureza. ....	81
Figura 49. Prueba de dureza GTAW. Autoría propia .....	82
Figura 50. Secciones de probetas para ensayo de tracción. ....	82
Figura 51. Informe ensayo de tracción GTAW.....	83
Figura 52. Grafica de ensayos de tracción GTAW .....	84
Figura 53. Probetas ensayadas GTAW. ....	85
Figura 54. Macrografía de probeta GTAW. ....	86
Figura 55. Probetas de macrografía .....	89
Figura 56. Distribución de especímenes para ensayos.....	98
Figura 57. Simbología de probetas de soldadura .....	98
Figura 58. Informe ensayo de doblez FCAW. ....	99
Figura 59. Informe ensayo de doblez GTAW.....	100
Figura 60. Informe ensayo de doblez SMAW. ....	101
Figura 61. Informe ensayo de macrografía FCAW. ....	102
Figura 62. Informe ensayo de macrografía GTAW. ....	102
Figura 63. Informe ensayo de macrografía SMAW.....	103
Figura 64. Preparación de probetas.....	104
Figura 65. Apuntalado de probetas. ....	104
Figura 65. Pre calentamiento de probetas. ....	104
Figura 66. Proceso de soldadura de probetas.....	105
Figura 67. Probetas de soldadura. ....	106
Figura 68. Ensayos no destructivos. ....	107
Figura 69. Diagrama de actividades.....	108
Figura 70. Registro de matriz IPERC .....	117

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de variable.....	22
Tabla 2. Relación de diámetro de electrodo e intensidad. ....	31
Tabla 3. Gases de protección. ....	36
Tabla 4. Tipos de electrodos, aplicación geometría.....	39
Tabla 5. Composición química del acero ASTM A-36. ....	45
Tabla 6. Propiedades mecánicas del acero ASTM A-36. ....	46
Tabla 7. Composición química de Chronit t1 .....	46
Tabla 8. Propiedades mecánicas del acero CHRONIT -T1. ....	46
Tabla 9. Distribución de las muestras para cada tipo de proceso de soldadura. ....	53
Tabla 10. Valores de prueba de dureza probeta SMAW. ....	67
Tabla 11. Valores resultados de ensayo a la tracción. ....	69
Tabla 12. Resultados de ensayos de doblez SMAW.....	71
Tabla 13. Resultados de ensayos de doblez, proceso SMAW .....	72
Tabla 14. Valores de prueba de dureza probeta FCAW. ....	74
Tabla 15. Valores resultados de ensayo a la tracción, proceso FCAW. ....	75
Tabla 16. Resultados de ensayos de doblez FCAW. ....	78
Tabla 17. Resultados de ensayos de macrografía, proceso FCAW. ....	79
Tabla 18. Valores de prueba de dureza probeta GTAW.....	81
Tabla 19. Valores resultados de ensayo a la tracción. ....	82
Tabla 20. Resultados de ensayos de doblez GTAW. ....	85
Tabla 21. Resultados de ensayos de macrografía Proceso GTAW.....	86
Tabla 22. Observación de resultados de ensayos de dureza.. ....	87
Tabla 23. Observación de resultados de ensayos de elasticidad.....	88
Tabla 24. Observación de resultados de ensayos de ductilidad.....	90
Tabla 25. Observación de resultados de análisis económico.....	91

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Prueba de dureza probeta SMAW. ....	67
Gráfico 2. Prueba tracción SMAW. ....	69
Gráfico 3. Prueba de dureza probeta FCAW. ....	74
Gráfico 4. Prueba tracción FCAW. ....	76
Gráfico 5. Prueba de dureza probeta GTAW. ....	81
Gráfico 6. Prueba tracción SMAW. ....	83
Gráfico 7. Comparativa prueba de Dureza. ....	87
Gráfico 8 Comparativa ensayos de tracción. ....	89
Gráfico 9. Comparativa de análisis económico. ....	91

## RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo identificar los efectos de las soldaduras en las propiedades mecánicas de la unión entre los aceros ASTM A-36 y CHRONIT T1, analizando las uniones soldadas a través de ensayos destructivos y no destructivos. Estas propiedades se analizan dado que la soldadura es disímil y sus propiedades mecánicas son diferentes. Las uniones se realizan con los procesos: soldadura por arco con electrodo revestido (SMAW), soldadura por arco bajo gas protector con electrodo de tungsteno (GTAW), soldadura por arco con núcleo de fundente (FCAW). Estas uniones están soldadas de acuerdo con las especificaciones del código AWS D1.1:2020. La investigación presenta un método deductivo experimental, el alcance de investigación es descriptiva explicativa, teniendo en cuenta que el diseño a desarrollar es experimental de tipo cuasiexperimental. La población son las empresas donde desarrollan la fabricación de tolvas de descarga, la muestra será no probabilística intencional que están direccionadas para el tipo de características determinadas.

Se analiza con ensayos no destructivos: la inspección visual y por ultrasonido; con los cuales se determina que las probetas de soldadura están libres de discontinuidades; se realizan ensayos de tracción en el cual la rotura se da en el material base ASMT A-36, teniendo un límite de fluencia mínima de 317 Mpa y máxima de 407 Mpa; resistencia a la tracción mínima de 484 Mpa y máxima de 523 Mpa, estos datos están por encima de los ofrecidos por el fabricante; del ensayo doblez de cara y raíz, todas las probetas cumplieron satisfactoriamente el doblez sin tener indicaciones relevantes del ensayo de dureza, estas presentan durezas muy similares, la zona cerca del cordón de soldadura es la que presenta un incremento en su valor; el ensayo de macrografía determina que el proceso GTAW es el que tiene mejor penetración y no distorsiona la geometría original de la junta de soldadura

Palabras claves: soldadura, ensayos no destructivos, ensayos destructivos.

## ABSTRACT

The present research aims to identify the effects of welds on the mechanical properties of the joint between ASTM A-36 and CHRONIT T1 steels, analyzing the welded joints through destructive and non-destructive tests. These properties are analyzed since the welding is dissimilar and their mechanical properties are different. The joints are made with the following processes: coated electrode arc welding (SMAW), gas shielded tungsten arc welding (GTAW), flux cored arc welding (FCAW). These joints are welded in accordance with AWS D1.1:2020 code specifications.

The research presents a deductive experimental method, the scope of the research is descriptive and explanatory, taking into account that the design to be developed is experimental of quasi-experimental type. The population are the companies where they develop the manufacture of unloading hoppers, the sample will be intentional non-probabilistic that are directed for the type of determined characteristics.

It is analyzed with non-destructive tests: visual inspection and ultrasound; with which it is determined that the welding specimens are free of discontinuities; tensile tests are performed in which the breakage occurs in the base material ASMT A-36, having a minimum yield strength of 317 Mpa and maximum of 407 Mpa; minimum tensile strength of 484 Mpa and maximum of 523 Mpa, these data are above those offered by the manufacturer; from the face and root bending test, all the specimens satisfactorily fulfilled the bending test without having relevant indications of the hardness test, these present very similar hardnesses, the zone near the weld seam is the one that presents an increase in its value; the macrography test determines that the GTAW process is the one that has the best penetration and does not distort the original geometry of the weld joint.

Keywords: welding, non-destructive testing, destructive testing.

## INTRODUCCIÓN

El transporte, carga y descarga de minerales conllevan al desgaste de materiales debido a la abrasión, esto es mitigado con ayuda de planchas anti abrasivas que se unen a una estructura a través diferentes métodos, uno estos es la soldadura.

La presente investigación está basada en la soldabilidad entre el acero estructural ASTM A-36 con el acero anti abrasivo CHRONIT T1 determinado los efectos causados por la soldadura mediante los procesos más utilizados en la industria metal mecánica, este estudio sirve de apoyo a empresas del rubro para desarrollar buenas prácticas de soldadura así como elaboración de procedimientos de soldadura; tiene como objetivo identificar los efectos de las soldaduras en las propiedades mecánicas de la unión soldada a través de ensayos destructivos y ensayos no destructivos.

Se tiene como referencia que el proceso de soldadura por arco con núcleo fundente (FCAW) es uno de los procesos que empíricamente se utiliza para esta práctica de unión de estos materiales diferentes por las buenas características de este proceso.

El estudio consigue demostrar que este tipo de unión disímil también se consigue a través de otros procesos de soldadura tales como: soldadura por arco con electrodo revestido (SMAW) y soldadura por arco bajo gas protector con electrodo de tungsteno (GTAW); bajo estos procesos de soldadura se desarrollan probetas de soldadura que luego se reducen a especímenes a los cuales son sometidos a ensayos volumétrico, tracción, dobléz y dureza.

## **CAPÍTULO I**

### **PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO**

#### **1.1 Planteamiento y formulación del problema**

##### **1.1.1 Planteamiento del problema**

La abrasión es un problema muy frecuente que produce fallos prematuros, desgaste de materiales y pérdidas económicas; para este problema la industria ha implementado el uso de planchas anti abrasivas que suprimen de gran medida el desgaste producido por la abrasión, uno de ellos es el acero CHRONIT T1; dicho componente se puede encontrar en diversos equipos, maquinarias, estructuras, componentes; en la minería se encuentra en chutes de descarga, tolvas de volquetes, cucharones de máquinas cargadoras, chancadoras; en la industria agrícola se puede encontrar en maquinaria de arados, en plantas procesadoras de alimentos balanceados; en la industria automotriz es usada en tornamesa para tracto de camiones, carrocería de buses, en el blindaje de unidades contra balas de armas comerciales; estructuralmente lo podemos encontrar en la fabricación que requieren de alta resistencia y buena tenacidad a bajas temperaturas.

Debido a la variedad de aceros resistentes al desgaste, industrias como la minería, la ingeniería civil, la construcción y el reciclaje cuentan con materiales más útiles y eficientes. Las nuevas aleaciones crean metales cada

vez más duros, lo que da como resultado componentes que duran más, funcionan más rápido y cuestan menos. (1 p.20)

Este acero anti abrasivo no conforma la totalidad de un equipo, por el contrario, es utilizado en lugares puntuales donde se presenta la abrasión, desgaste, o donde se requiera su uso. El acero ASTM A-36 por sus buenas características, propiedades y buena soldabilidad es la base estructural en es donde se adicionan las planchas anti abrasivas, como se puede observar en la figura N°1.

La soldadura de aceros disímiles es cada vez más frecuente en la fabricación de equipos y máquinas de conversión de energía. Esto condujo a una cuidadosa investigación y pruebas para descubrir las condiciones óptimas para hacer estas uniones. (2 p.273)

La soldadura de materiales disímiles ha sido un gran reto para la industria, uno de estos es la soldadura entre ASTM A-36 y CHRONIT T1. He aquí donde surge las complicaciones al unir dos materiales diferentes, dado a sus propiedades mecánicas, características, espesores y los procedimientos de soldadura que son diferentes. Los procesos de soldadura también juegan un papel determinante al momento de unir materiales disímiles, proceso como: soldadura eléctrica por electrodo revestido (SMAW), proceso de soldadura por arco con núcleo fundente (FCAW), soldadura por arco con gas tungsteno (GTAW), soldadura por arco metálico con gas (GMAW), etc., presentan diferentes propiedades de acuerdo al material de aporte con el que se realiza la unión de soldadura, además, del determinado procedimiento de trabajo con el que se desarrollan. A menudo los lugares donde se realizan las fabricaciones o los procesos de soldadura no se llevan de acuerdo a un determinado procedimiento (precalentamiento, tipo de soldadura, concentración de calor, etc.) esto conlleva a consecuencias como cambios de propiedades de los materiales, desprendimiento de soldadura, discontinuidades en la unión soldada, fallas microestructurales, etc.; esto conlleva a reprocesos, cambio de materiales y pérdidas económicas.



Figura 1. Tolva de descarga y de transporte, soldadura de materiales abrasivos y acero ASTM. Tomada de página de empresa FERRECORTES S.A.S.

### 1.1.2 Formulación del problema

#### a) Problema general

¿Cuáles son los efectos de las soldaduras en las propiedades mecánicas de la unión entre los aceros ASTM A-36 y CHRONIT T1?

#### b) Problemas específicos

- ¿Qué imperfecciones se producen en las uniones soldadas?
- ¿Cuánta resistencia a la tracción soportan las uniones de soldaduras?
- ¿Las uniones soldadas soportaran ensayo de doblez guiado?
- ¿Se producirá variación metalográfica entre las uniones soldadas?
- ¿Variará la dureza en las zonas de la unión soldada?

## 1.2 Objetivos

### 1.2.1 Objetivo general

Identificar los efectos de las soldaduras en las propiedades mecánicas de la unión entre los aceros ASTM A-36 y CHRONIT T1.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- Analizar las uniones soldadas a través de ensayos no destructivos para determinar si presenta imperfecciones post soldeo.
- Determinar la resistencia a la tracción que presenta las uniones soldadas
- Someter a las uniones soldadas a ensayos de doblez guiado para determinar la ductilidad de la soldadura y de los materiales bases.

- Analizar macrográficamente la unión soldada.
- Determinar el grado de dureza en las zonas de las uniones soldadas.

### **1.3 Justificación e importancia**

#### **1.3.1 Justificación teórica**

La soldadura de materiales disimiles por mucho tiempo se ha desarrollado de una manera empírica, basada en experiencias adquiridas en el tiempo y aprendiendo de errores; el presente estudio se basa en la soldabilidad entre los aceros ASTM A-36 con CHRONIT T1 y los efectos causados por la soldadura mediante diferentes procesos, dado que la información para desarrollar este tipo de trabajos es clasificada y/o limitada, en muchos casos no se tiene en consideración de los efectos que pueda causar la soldadura; sobre todo para desarrollar buenas prácticas de soldadura, prevenir fallas y consecuencias significativas.

#### **1.3.2 Justificación práctica**

Este estudio servirá a empresas de diversos tipos de industrias, que realizan trabajos de fabricación con acero ASTM A-36 y CHRONIT T1, servirá de ayuda para elaborar sus procedimientos de soldadura (WPS) ya que contarán con una base de datos del estudio y además de los cuidados correspondientes para realizar este tipo de unión de materiales disimiles.

#### **1.3.3 Justificación metodológica**

El presente estudio tiene justificación metodológica por que desarrolla relaciones entre los procesos de soldadura y sus correspondientes propiedades mecánicas para cada caso, serán plasmadas en fichas de observación donde se consignarán datos de los experimentos y ensayos de laboratorio.

### **1.4 Hipótesis y descripción de variables**

#### **1.4.1 Hipótesis General**

El proceso de soldadura por arco con núcleo fundente (FCAW) es el que presentará mejores propiedades mecánicas como resistencia a tracción, ductilidad y depósito de soldadura de alta calidad en la unión entre los aceros ASTM A-36 y CHRONIT T1; pero variará la dureza en las zonas afectadas por el calor (ZAC) por el alto suministro de calor.

### **1.4.2 Hipótesis específicas**

- Se producirán discontinuidades superficiales no relevantes como porosidades, socavaciones.
- La resistencia a la tracción será similar a la resistencia ofrecida por el material base estructural, en este caso el acero ASTM A-36.
- Las uniones soldadas si resistirán el ensayo de doblez guiado para cada proceso de soldadura.
- Las variaciones macrográficas serán diferentes debido a que cada tipo de soldadura aporta diferente grado de calor.
- La dureza será diferente en cada zona de la unión soldada.

### **1.4.3 Variable independiente**

Los procesos de soldadura; la principal diferencia entre estos procesos de soldadura es cómo se aplica el calor, la presión o ambos y el tipo de equipo utilizado (7 p.8), los procesos más utilizados en el contexto local son:

- Soldadura por arco con electrodo revestido (SMAW)
- Soldadura por arco bajo gas protector con electrodo de tungsteno (GTAW)
- Soldadura por arco con núcleo de fundente (FCAW)

### **1.4.4 Variable Dependiente**

Propiedades mecánicas de la soldadura; “es la capacidad que presentan los materiales a resistir al efecto de cargas o fuerzas” (8 p. 414), para Hernández se clasifican en:

- Dureza
- Elasticidad
- Ductilidad

### 1.4.5 Operacionalización de variables

Tabla 1. Operacionalización de variable.

Variables	Definición	Dimensión	Indicador
Procesos de soldadura	Los procesos de soldadura se diferencian principalmente en los modos en que se aplica el calor, la presión o ambas cosas y el tipo de equipo utilizado.	Soldadura por arco con electrodo revestido (SMAW)	Pre calentamiento
			Intensidad de soldeo
			Velocidad de desplazamiento
		Soldadura por arco bajo gas protector con electrodo de tungsteno (GTAW)	Pre calentamiento
			Intensidad de soldeo
			Velocidad de desplazamiento
		Soldadura por arco con núcleo de fundente (FCAW)	Caudal Gas protector
			Pre calentamiento
			Intensidad de soldeo
			Velocidad de desplazamiento
			Caudal de Gas protector
		Propiedades mecánicas de la soldadura	Es la capacidad que tiene para resistir al efecto de cargas o fuerzas
Dureza			
Metalografía			
Discontinuidades			
Elasticidad			
			Ductilidad

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 Antecedentes del problema**

##### **2.1.1 Antecedentes nacionales**

Gómez W. y Bello C, desarrollaron la tesis: Procedimiento de soldadura en la unión del acero CHRONIT T1-500 y el acero ASTM A 36 bajo la norma AWS D1.1/D1.1:2015 para la reparación de arados de maquinaria agrícola; Esta investigación utilizó una metodología experimental descriptiva, el cual toma como muestra al acero CHRONIT T1 500, tiene un diseño experimental donde hay un alto grado de control de las variables; tiene por objetivo de investigación calificar un procedimiento de soldadura para unión del acero CHRONIT T1-500 y ASTM A 36, para mejorar la reparación de arados de maquinaria agrícola. Luego de la experimentación de autor muestra los resultados del ensayo de dureza del acero en investigación, dichos resultados dieron una dureza promedio de 454 HV. Que está en los rangos de dureza del acero CHRONIT T1 450; además de los resultados del ensayo de dureza que se realizaron al metal investigación ASTM A-36, lo que se puede observar que la dureza promedio es 120 HV que está dentro los rangos de dureza del acero. En sus ensayos de tracción el resultado fue de 580 Mpa y la rotura se dio en el acero estructural A-36. (3)

Aspilicueta A, desarrollo la tesis, determinación de la temperatura de precalentamiento utilizando el método Tekken a fin de prevenir la fisuración en frío en la unión de planchas CHRONIT T-1; en la presente investigación se estudia la soldabilidad del acero Chronit T-1 entre sí para la reparación de tolvas de camiones mineros. Tiene como objetivo general determinar la temperatura de precalentamiento a fin de prevenir la fisuración en frío del acero CHRONIT T-1 400 aplicando el método Tekken.; y como objetivos específicos, determinar experimentalmente la temperatura de precalentamiento, determinar discontinuidades y/o defectos (fisuras) por END, identificar las microestructuras formadas en los cupones soldados.

El autor utilizó probetas de soldadura para las diferentes condiciones de aplicación de temperatura de precalentamiento para el proceso SMAW: 18 °C, 104.3 °C, 170.7 °C y 191.25 °C. El autor tuvo las siguientes conclusiones, los valores teóricos obtenidos de la temperatura de precalentamiento por el método Seferian han sido los más adecuados a comparación de otros métodos; Por Inspección visual y ensayo por líquidos penetrantes observó que el cordón depositado sin temperatura de precalentamiento presentó fisura longitudinal a lo largo del condón y con precalentamiento no se encontró fisuras en las probetas ensayadas, debido a que probablemente las temperaturas de precalentamiento fueron las adecuadas; progresivamente con el incremento de la temperatura de precalentamiento el ancho de la ZAC aumentó. Las durezas obtenidas en el cordón, fueron inferiores al material base, debido al tratamiento térmico que se dio en el soldeo y por el tipo de metal de aporte. (4)

Oruna P y Fernández J., desarrollo la tesis que consiste en el estudio del área afectada por el calor en los aceros al carbono, por efecto de precalentamiento y soldadura, en esta investigación se estudió el área afectada por el calor en los aceros al carbono ASTM A36, analizando el efecto del precalentamiento en sus propiedades, tiene como objetivo, estudiar el área afectada por el calor en los aceros al carbono por efecto de precalentamiento y soldadura, además de estudiar el área afectada por el calor en los aceros al carbono por efecto de precalentamiento y soldadura, analizar la influencia del precalentamiento a la microestructura. El autor concluyó que la temperatura de precalentamiento optima es de 145°C, presentando una buena soldabilidad en el proceso de

soldadura, implicando que no presentará riesgos de fisuraciones en frío, debido a la importancia sobre el efecto de precalentar las juntas soldadas, para evitar la velocidad de enfriamiento de forma rápida en el cordón de soldadura, mayores niveles de endurecimiento en el área afectada por el calor, y con esto no existiría la necesidad de un tratamiento post-soldadura; además, si el precalentamiento es menor ocasionará una velocidad de enfriamiento mayor, posteriormente el ancho del área afectada por el calor será menor, mientras que si el precalentamiento es mayor, la velocidad de enfriamiento será menor, y se tendrá un ancho mayor. Se determina que la influencia del precalentamiento sobre la microestructura es indispensable para reducir la cantidad de martensita mediante un enfriamiento lento, para no provocar niveles de endurecimiento en el área afectada por el calor con el fin de no generar riesgos de fisuraciones en frío. (22)

### **2.1.2 Antecedentes internacionales**

Hernández V., desarrolló la tesis análisis de la soldabilidad y propiedades mecánicas de una plancha de acero anti abrasivo grado 450 mediante el proceso GMAW, en este trabajo trata sobre el análisis de la soldabilidad de aceros anti abrasivo mediante el proceso GMAW utilizando transferencia por corto circuito. Tiene como objetivo analizar la soldabilidad y propiedades mecánicas del acero anti abrasivo grado 450; los objetivos específicos fueron: caracterizar las propiedades mecánicas del acero anti abrasivo grado 450 en la junta soldada, analizar la soldabilidad del acero anti abrasivo grado 450, realizar un análisis metalográfico en la junta soldada. El estudio se realizó desde el punto de vista estructural y metalúrgico para la etapa experimental se consideran diferentes variables de intensidad de corriente, y la consideración del precalentamiento. El autor concluyo que el análisis de soldabilidad se realizó mediante el ensayo de Houldcroft, en dos escenarios el primero sin precalentamiento y el segundo con precalentamiento, del cual se obtuvieron criterios de aceptación buenos, debido a que no presenta agrietamientos en caliente en ninguna de las dos muestras. Las microestructuras identificadas en las diferentes placas, en las diferentes zonas, corroboran las propiedades mecánicas de la junta soldada, la muestra sin precalentamiento tiene un comportamiento cercano al material base, debido a que presenta microestructura de martensita y ferrita en la zona

afectada por el calor, mientras que la muestra con precalentamiento tiene mejor comportamiento en la junta soldada debido a su microestructura de bainita.

En los ensayos de tracción de la junta soldada muestra que todas las muestras presentan un valor de deformación más elevado al valor establecido por el material base, y es mayor su resistencia que la resistencia del metal de aporte. El barrido de dureza en la probeta sin precalentamiento tiene un cambio brusco, 41 HRC en comparación con la probeta con precalentamiento las cuales tienen un valor de 48 HRC que está más cercano al valor del metal base 50 HRC. (5)

En la tesis de Leo D., desarrollo la caracterización microestructural y mecánica de una soldadura disímil de aceros inoxidable y aceros al carbono. En este trabajo presenta la soldabilidad de los aceros y soldadura de metales disímiles. Tiene como objetivo determinar la relación microestructura/propiedades en la soldadura GTAW entre acero inoxidable y acero al carbono. La metodología que desarrolló es experimental. Tuvo como resultado resaltante que con los ensayos de tracción se pudo determinar los valores correspondientes a la resistencia máxima y otras propiedades mecánicas, los resultados de esta prueba como era de esperarse se dieron en la junta del lado del acero estructural y no del metal de soldadura ni del otro metal base de acero inoxidable, para el autor esto es positivo ya que se garantiza que el metal de soldadura no constituirá el punto débil de la junta. El autor observó que, en la zona afectada por el calor del acero estructural, el valor de la dureza se va incrementando conforme está más cerca del cordón de soldadura; por otro lado, no se observó una variación de dureza en la zona afectada por el calor en el material de acero inoxidable. (6) LOPEZ, S.

En la tesis de López S., desarrollo el diseño de una metodología de soldadura al arco eléctrico con electrodo revestido para aleaciones de aceros disímiles; tiene como objetivos diseñar una metodología de soldadura al arco eléctrico con electrodo revestido para unir aleaciones de aceros disímiles, establecer los parámetros que intervienen en la soldadura al arco eléctrico con electrodo revestido en aleaciones de aceros disímiles, determinar una metodología de inspección de las microestructuras resultantes de las soldaduras de aleaciones de aceros disímiles, además de evaluar las propiedades mecánicas de

probetas soldadas de aleaciones de aceros disimiles por medio de normativas internacionales. La metodología de la investigación tiene un enfoque mixto con un diseño experimental teniendo alcance y tipo descriptivo. Tuvo las siguientes conclusiones, se seleccionó un proceso de soldadura por medio de arco eléctrico con electrodo revestido debido a su disponibilidad, adaptabilidad y gran aplicación a nivel industrial, se utilizó junta a tope, una de las uniones fue de acero simple al carbono 1018 + acero para herramienta DF 2; como metal de aporte dos tipos de electrodos, ambos de clase austenítica siendo los tipos E 309L-16 y E 312-16 de 3/32 de pulgada de diámetro, este material de aporte garantiza la suficiente cantidad de níquel y cromo equivalente en el cordón durante la soldadura, reduciendo la presencia de los efectos de la sensitización y formación de carburos de níquel durante el proceso; se descartan los tratamientos térmicos en la ejecución de la experimentación, en el ensayo a tracción la probeta se fracturó a 131,97 Mpa, lo cual se considera muy bajo, el tipo de falla es de comportamiento frágil orientada hacia el sentido del bisel, fue posible observar un leve comportamiento dúctil en dirección central de la falla, la fractura ocurrió en el lado del acero DF 2, no fue posible apreciar algún tipo de estricción en el lado del acero 1018. La presencia de estructuras duras en el acero DF 2 por su alta cantidad de contenido de carbono y la aplicación de alta temperatura durante el proceso de soldadura propicio la aparición de las mismas, dándole un comportamiento de fragilidad a la unión, y en el ensayo de dobléz la junta solo soportó un ángulo en la prueba de dobléz de 20 grados, la presencia de estructuras duras y por lo mismo frágiles en el acero DF 2 propicio la aparición prematura de la fractura. Como material de aporte se usó el electrodo E 309 L-16. (23)

## **2.2 Bases teóricas**

### **2.2.1 Soldadura**

El proceso de unir materiales calentándolos a una temperatura de soldadura, con o sin presión o solo con presión, y con o sin metal de aporte. (12 p.67)

### **2.2.2 Unión soldada**

Es el proceso de soldeo por fusión, en donde se distingue tres zonas en la unión, figura N°2. (8 p.422)

- **Metal de soldadura:** El área formada por el cordón y la zona de fusión, esta última compuesta por una mezcla de metal base fundido y material de aporte.
- **Zona afectada por el calor (ZAC o ZAT):** Es el área adyacente a la soldadura, que se calienta mucho y se ve afectada por el calor, pero no se funde y las propiedades metalográficas y mecánicas de esta área cambian, lo que puede ser propenso a las grietas.
- **Metal base:** zona donde no se produce ninguna transformación durante la soldadura.

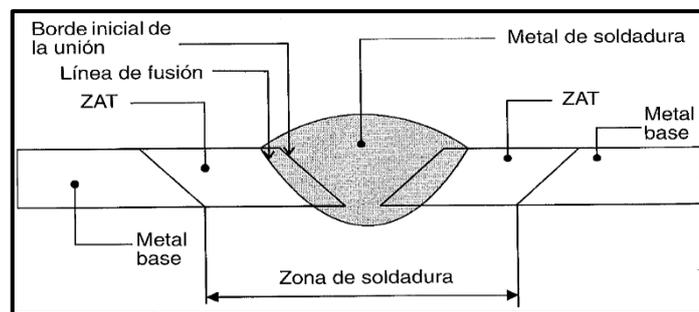


Figura 2. Zonas de la unión soldada. Tomada de "manual del soldador" (8 p. 422)

### 2.2.3 Procesos de soldadura

La principal diferencia en los procesos de soldadura es cómo se aplica el calor, la presión o ambos y el tipo de equipo utilizado. (7 p.8)

En la actualidad, debido al rápido desarrollo de la ciencia y la tecnología, se han perfeccionado y desarrollado varios procesos de soldadura. El objetivo principal de estos procesos de soldadura es lograr una unión irrompible de dos o más partes, y se dividen en tres grandes grupos según el tipo de energía, soldadura por fusión, soldadura por termocompresión y soldadura por presión, como se puede observar en la figura N°3. (10 p.30)

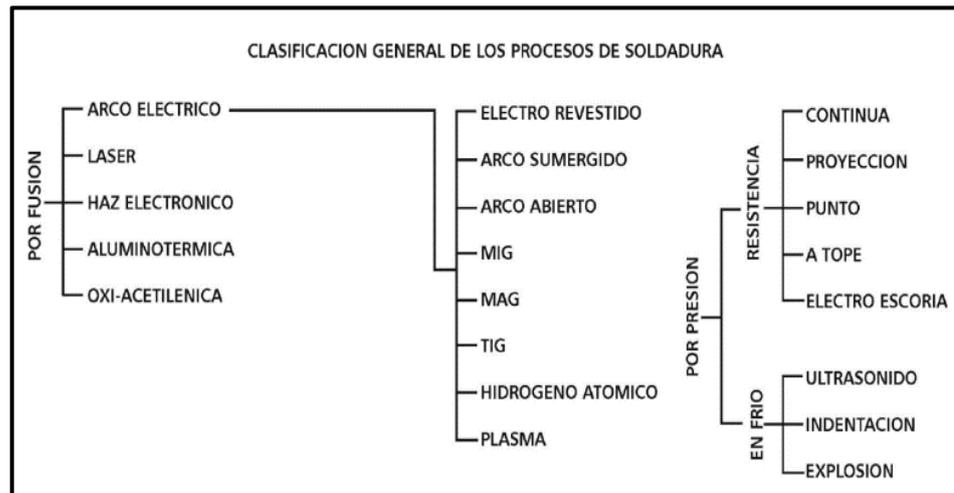


Figura 3. Clasificación de los procesos de soldadura. Tomada de “manual de soldadura OERLIKON”. (11 p.23)

### 2.2.3.1 Soldadura por arco con electrodo revestido (SMAW)

Proceso de soldadura por arco que utiliza un arco eléctrico entre el electrodo revestido y el charco de soldadura. El proceso se utiliza el revestimiento del electrodo como protector de daños sin aplicar presión y utiliza metal de aporte del electrodo. (12 p.48)

Se pasa una corriente eléctrica a través de la abertura entre la punta del electrodo y la pieza de trabajo para crear un arco. El arco genera suficiente calor para fundir los dos componentes. El metal fundido del electrodo pasa a través del arco hacia el baño de metal fundido base en donde se mezcla. La punta del electrodo y el baño de fusión están rodeados, limpios y protegidos por la nube gaseosa y la capa de escoria que se produce cuando el fundente protector del electrodo se quema o se evapora. A medida que el arco se propaga, la mezcla de electrodos fundidos y el metal base se solidifican y forman un todo, como se puede observar en la figura N°4. (7 p.49)

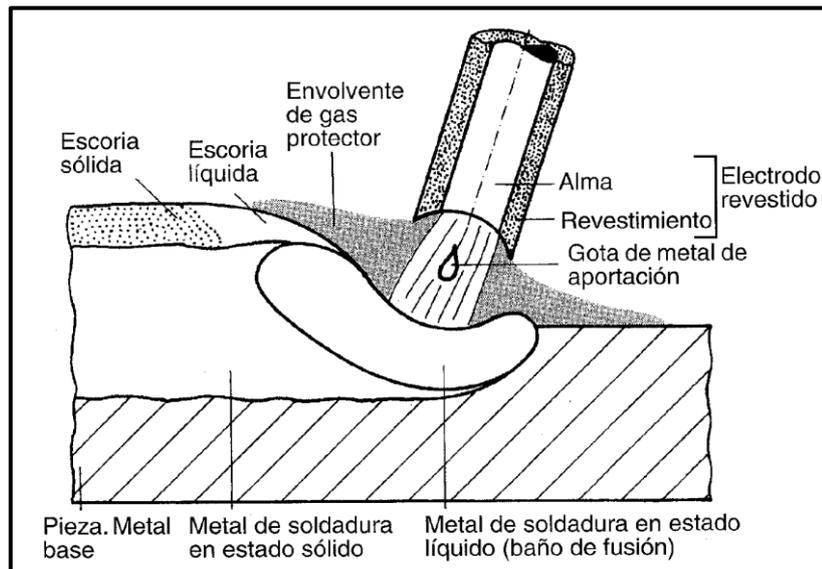


Figura 4. Descripción del proceso SMAW. Tomada de “manual del soldador” (8 p. 193)

#### a) Parámetros de soldeo

##### • Diámetro del electrodo

En general, se debe seleccionar el diámetro más grande posible en función de la posición, espesor del material y el tipo de junta para garantizar los requisitos de suministro y la facilidad de uso, estos son los parámetros para la selección del diámetro. La entrada de calor dependerá directamente de la intensidad, el voltaje del arco y la velocidad de desplazamiento, estos parámetros dependen del electrodo, y la entrada de calor es mayor cuando el diámetro del electrodo es mayor, para una entrada de calor baja se debe usar un electrodo de diámetro pequeño, como se muestra en la figura N°5. (8p.211)

##### • Intensidad de soldeo

Cada electrodo, según su diámetro tiene un rango de resistencias que se pueden utilizar, Tabla N°2, y en ningún caso se debe utilizar una intensidad superior a este rango, ya que provocará defectos de soldadura. La intensidad utilizada depende de la posición de la soldadura, el tipo de unión y el espesor del material base. (8 p. 210)

Tabla 2. Relación de diámetro de electrodo e intensidad.

GROSOR DEL METAL	DIÁMETRO DEL ELECTRODO	INTENSIDAD EN AMPERIOS
0,8 a 1,5 mm	1,6 mm	35 a 50 A
1 a 2 mm	2 mm	50 a 75 A
2 a 3 mm	2,5 mm	75 a 100 A
3 a 4 mm	2,5 ó 3,15 mm	100 a 135 A
4 a 10 mm	3,15 ó 4 mm	135 a 175 A

Tomada de "Soldadura, herramientas". (13 p95)

### • Longitud de arco

La longitud del arco es la distancia desde la punta del electrodo hasta la superficie de la pieza de trabajo (7 p. 69), ver la figura N°5, si el arco es demasiado largo, el metal se derretirá en la punta del electrodo, creando una amplia salpicadura, y el cordón de soldadura muy irregular que la fusión entre los depósitos es pobre. Si el arco es demasiado corto y no tiene suficiente calor para derretir correctamente el metal base, el electrodo a menudo se adherirá a la pieza de trabajo, creando cordones de soldadura irregularmente ondulados, escoria y porosidad. (14 p.13)

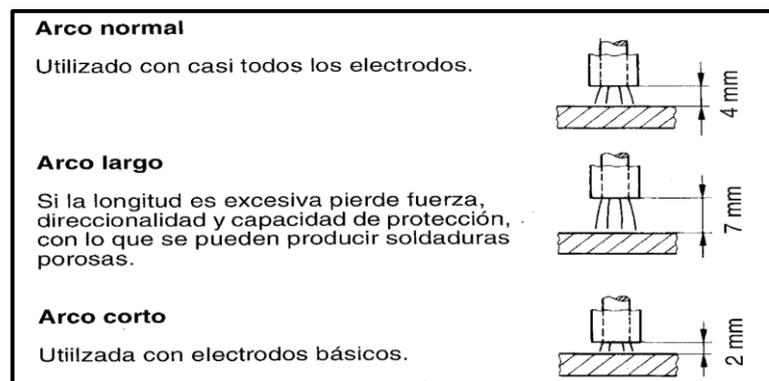


Figura 5. Longitud de arco proceso SMAW. Tomada de "Manual del soldador" (8 p. 214)

- **Velocidad de desplazamiento**

La velocidad de avance del desplazamiento durante la soldadura debe ajustarse de forma que el arco avance ligeramente hacia el baño de fusión, cuanto mayor sea la velocidad de desplazamiento, menor será el ancho del cordón de soldadura, menor el aporte de calor y más rápido el enfriamiento de la soldadura. Si la velocidad es demasiado rápida, se formarán marcas de mordidas, lo que dificultará la eliminación de la escoria, lo que favorece la retención de gas y produce poros. (8 p. 2015)

### 2.2.3.2 Soldadura por arco con núcleo de fundente (FCAW)

Es un proceso de soldadura por arco con electrodo tubular, que se logra por el calor del arco que se forma entre un electrodo de alambre consumible continuo y la pieza a soldar. El blindaje se obtiene del fundente en el alambre tubular y puede usarse con o sin gas de protección adicional, ver figura N°6. (8 p.332)

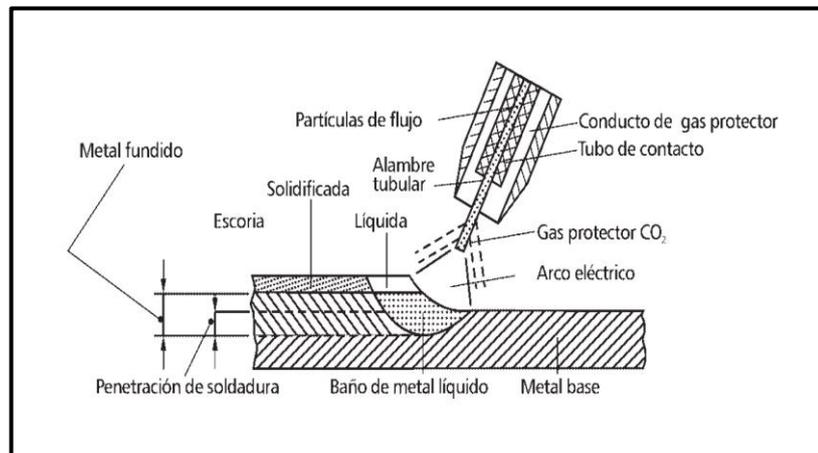


Figura 6. Descripción del proceso FCAW. Tomada de “Manual del soldador” (11 p.33)

El proceso presenta dos variantes (12 p.47):

- FCAW – G (gas shielded flux cored arc welding), proceso en el que se suministra gas protector a través de la tobera además del obtenido dentro del fundente del electrodo, estos gases suelen ser CO<sub>2</sub> o mezcla de CO<sub>2</sub> y Argón.

- FCAW – S (self shielded flux cored arc welding), proceso en el que el gas protector se obtiene exclusivamente del fundente dentro del electrodo

### a) Equipo

En la figura N°7 se puede observar los componentes del equipo básico de FCAW.

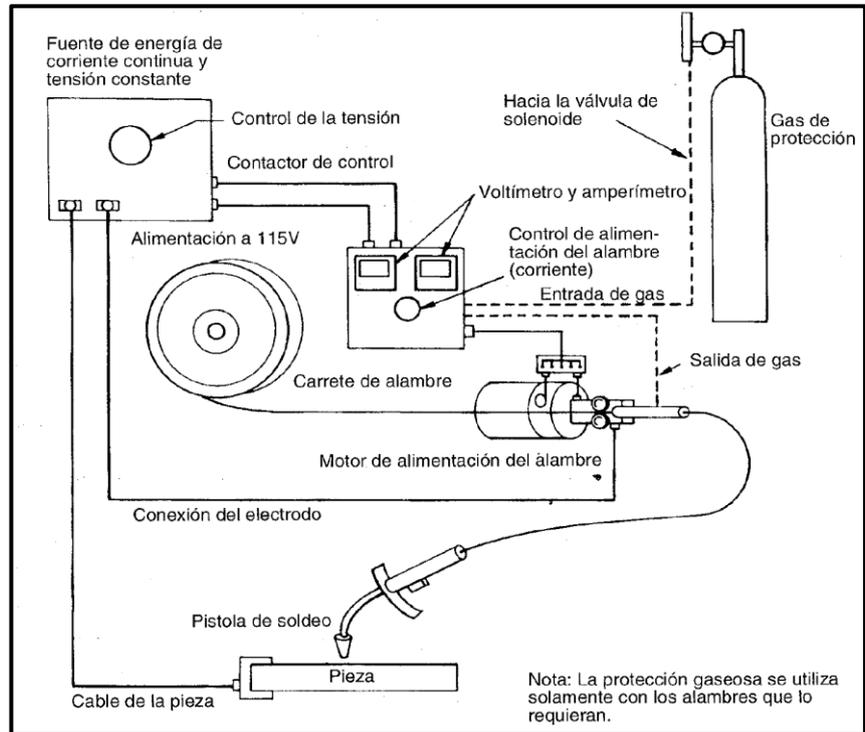


Figura 7. Descripción equipo FCAW. Tomada de "Manual del soldador" (8 p.334)

### b) Alambre (Electrodo)

La versatilidad de FCAW se debe en gran medida a la variedad de elementos que se pueden incluir en el relleno de alambre tubular. Las varillas de soldadura generalmente consisten en varillas de acero dulce o acero aleado que contienen un relleno de fundente y elementos de aleación. (15 p.9) este alambre fundente presenta varios diámetros desde 0.8 mm hasta 2.8 mm.

Existen dos tipos de alambres tubulares, con junta y sin junta, ver figura N°8.

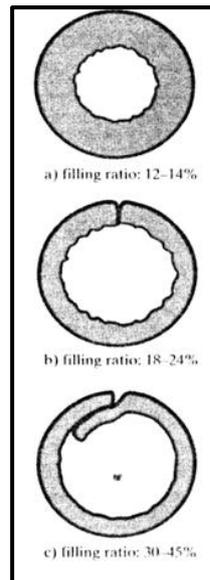


Figura 8. Tipos de alambres tubulares. Tomada de “introducción a la metalurgia de la soldadura” (15 p.9)

### c) Modo de transferencia

La transferencia del metal puede realizarse básicamente de cuatro maneras, figura N°9. (8 p. 307):

- Cortocircuito, cuando el electrodo está en contacto con el metal fundido depositado por soldadura, obtenido cuando la intensidad y la tensión de soldeo son bajas, teniendo parámetros característicos: voltaje 16 a 22 v; intensidad 50 a 150 A.
- Globular, cae en el charco fundido por su propio peso en forma de gotas grandes más grandes que el tamaño del alambre, debido a la dificultad para controlar adecuadamente el metal de aporte y, a menudo, resulta en una penetración insuficiente no suele tener aplicaciones. Parámetros característicos: voltaje de 20 a 35V; intensidad de 70 a 255A.
- Spray, se liberan gotitas de alambre que se mueven a través del arco hasta llegar a la pieza de trabajo, este tipo de transferencia se obtiene con alta intensidad y alto voltaje. Parámetros típicos: voltaje 24 a 40V; intensidad de 150 a 500A.

- Arco pulsado, modo de transferencia tipo spray, Ocurre en pulsos regularmente espaciados, no al azar como en un arco spray, que ocurre cuando se usan corrientes pulsadas, que son corrientes de baja intensidad que siempre están presentes (llamadas corrientes de fondo) y un conjunto de corrientes de alta intensidad de pulsos (llamados picos).

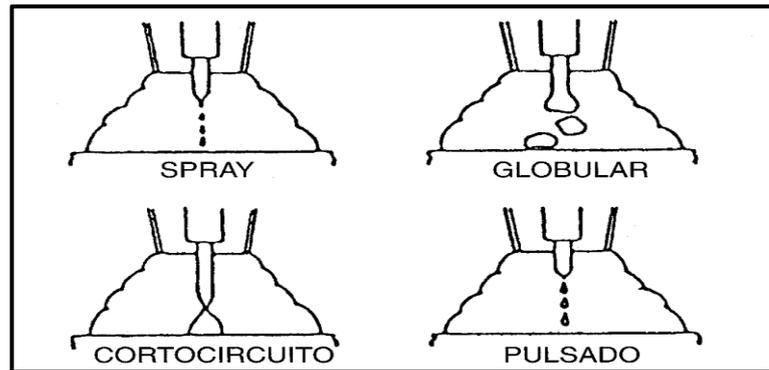


Figura 9. Modos de transferencia. Tomada de "Manual del soldador" (8 p.307)

#### d) Gas de protección

El propósito básico del gas de protección es proteger el metal fundido de la contaminación de la atmósfera circundante, ver tabla N°3, los gases utilizados para el proceso FCAW son (8 p.340):

- $\text{CO}_2$ 
  - Ventajas: bajo costo, gran penetración, alta velocidad de soldeo.
  - Desventajas: produce gran cantidad de salpicadura, la superficie de los cordones queda ligeramente oxidada.
- $\text{CO}_2 + \text{Argón (25\% CO}_2)$ 
  - Utilizado para disminuir para inconvenientes producidos por el  $\text{CO}_2$ .
- Argón +2% de Oxígeno.
- Estabiliza el arco, permite transferencia spray, mejora aspectos del cordón, consigue baño de fusión más fluido.

Tabla 3. Gases de protección.

Gas de protección	Proceso	Material
Argón (Ar)	TIG	Todos los materiales
Helio (He)	MIG	Todos los materiales no féreos y aceros inoxidable
Argón + Helio		
Ar + O <sub>2</sub> (Ar+ CO <sub>2</sub> )	MAG	Aceros altamente aleados
Ar + CO <sub>2</sub>		Aceros no aleados y de baja y media aleación
Ar + CO <sub>2</sub> + Oxígeno		
CO <sub>2</sub>		
Ar + CO <sub>2</sub> + Oxígeno	FCAW	Aceros al carbono, de baja aleación y aceros inoxidable
CO <sub>2</sub>		
Ar + Oxígeno		
Ar + He	Protección de raíz	Metales afines con el oxígeno, titanio
Argón		
Nitrógeno + Hidrógeno		Otros metales
Nitrógeno		
Argón + Nitrógeno		
Argón + Hidrógeno		

Tomada de "Manual del soldador" (8 p.237)

#### e) Ventajas y desventajas

El proceso FCAW presenta las siguientes bondades (16):

- En varias aplicaciones el FCAW genera uniones de alta calidad a bajo costo y con menos habilidad del soldador que el SMAW.
- Metal de soldadura depositado de alta calidad.
- Excelente aspecto visual. (soldaduras con superficies lisas y regulares)
- Soldadura en amplia variedad de espesores.
- Elevada velocidad de deposición.
- Arco visible.
- Alta tolerancia de agentes contaminantes que puedan generar fisuras.
- Resistencia al agrietamiento subsuperficiales.
- El aporte tipo metal-cored crea muy baja escoria con buenas propiedades.
- Económicamente mejor que GMAW, sobre todo para soldadura en posición a pesar del costo elevado del alambre tubular.
- Menos salpicaduras y sensibilidad a la porosidad que GMAW.

- Los fundentes auto protegidos eliminan la necesidad del gas de protección o del fundente externo.

El proceso FCAW tiene limitaciones (16):

- Está limitado a la unión de aleaciones ferrosas y aleaciones a base níquel.
- El alambre tubular tiene más costo por peso que el alambre sólido.
- La fuente de poder es más costosa y compleja que el utilizado en SMAW.
- La fuente de poder y el alimentador de alambre necesitan estar cerca del lugar de la producción.
- Para FCAW-G, la protección exterior suele ser afectada adversamente por corrientes de viento.

### **2.2.3.3 Soldadura por arco bajo gas protector con electrodo de tungsteno (GTAW)**

También conocido como TIG (Tungsten Inert Gas) es un proceso en el que la fusión se produce por el calor de un arco establecido entre un electrodo de tungsteno no consumible y la pieza de trabajo, la protección se obtiene mediante gas inerte (argón o helio), el material de aporte se aplica manualmente con varillas de metal desnudo, que se introducen en el arco y en el baño de fusión, ver figura N°10. (11 p.36)

#### **a) Equipo**

El equipo para soldeo GTAW consta de una fuente de poder, un porta electrodos, cables de soldeo, botella de gas inerte y mangueras para la conducción del gas, en algunos casos el sistema de refrigeración es por agua, ver figura N°10. (8 p.249)

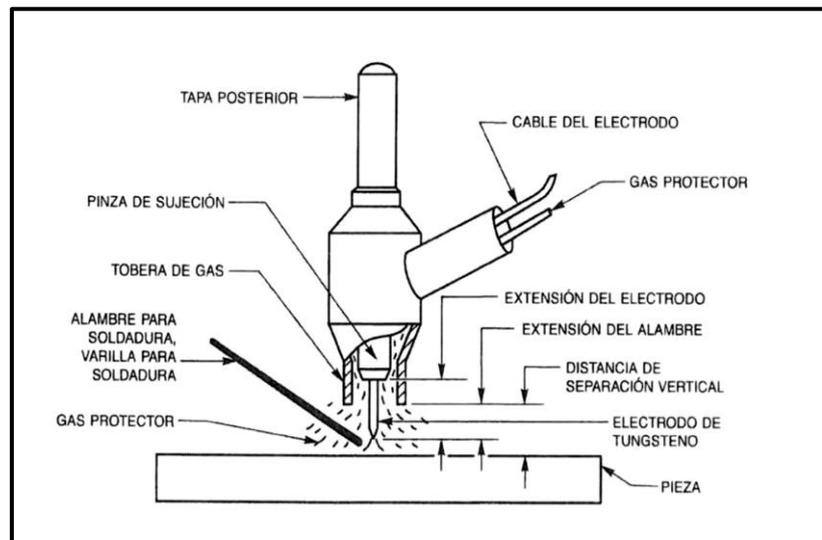


Figura 10. Descripción del proceso GTAW. Tomada de "AWS A3.0" (12 p.125)

- **Máquina de soldar**

Se emplea una fuente de poder de diseño peculiar, puede ser un generador de corriente continua CC con una unidad de alta frecuencia o un rectificador con CA/CC. La elección del tipo de fuente varía de acuerdo al material a soldar, usualmente la fuente de poder opera con un amperaje de 3 a 350A, con 10-35V y un ciclo de servicio del 60%. (11 p.36)

- **Antorcha**

Elemento encargado de sujetar al electrodo no consumible y dirigir al gas protector, además de la energía de soldar al arco, pueden ser enfriadas por sistema de agua o de aire, lo que depende del amperaje con se desarrolle la soldadura. (11 p.37)

**b) Electrodo**

La tarea del electrodo en este proceso es simplemente mantener el arco sin agregar material al baño de fusión, por lo que es importante que tenga una temperatura de fusión alta para evitar el desgaste. Generalmente se utilizan tres tipos de electrodos, clasificados según su composición: (8 p. 259)

- Tungsteno puro, cuyo punto de fusión es 3400°C.

- Tungsteno aleado con torio, cuyo punto de fusión es 4000°C.
- Tungsteno aleado con circonio cuyo punto de fusión es 3800°C.

Estos electrodos varían de acuerdo a su aplicación, tipo de corriente y la geometría de su punta, ver tabla N°4. Diámetros más utilizados: 1,6mm; 2,4mm; 3,2mm. Largos estándar: 76 y 178mm.

Tabla 4. Tipos de electrodos, aplicación geometría.

Tipo de electrodo	Tipo de corriente con la que se utiliza	Aplicación común	Geometría del extremo del electrodo
Volframio puro	c.a.	Aluminio y magnesio	Redondeada
Volframio con torio o volframio con cerio o con lantano	c.c.	Aceros al carbono, baja aleación, inoxidable, cobre, titanio	Afilado
Volframio con circonio	c.a. (generalmente) c.c.	Aluminio y magnesio con c.a. Aceros, cobre, titanio con c.c.	Redondeada con c.a. Afilada con c.c.

Tomada de “manual del soldador” (8 p.265)

### c) Metal de aporte

Cuando se preparan piezas delgadas para soldar con bordes rectos o elevados, no siempre se requiere metal de aporte, y cuando se requiere material de aporte, se puede alimentar de forma manual o automática. Para obtener una junta perfecta, es importante mantener el metal de aporte libre de contaminación, ya sea humedad, polvo o suciedad. Normalmente se presentan Varillas de diámetros: 1.1mm, 1.6mm, 2mm, 2.4mm, 3.2mm, 4.8mm con una longitud de 900 mm. (8 p.267)

### d) Gas de protección

Para el proceso GTAW se pueden utilizar los siguientes gases: (8 p.270)

- Helio

- Potencial de ionización elevado.
- Alta conductividad por la columna de plasma.
- Muy baja densidad.

- Aporte térmico elevado.
- Cordones anchos y buena penetración.
- Se puede realizar el soldeo a grandes velocidades.

- Argón

- Eficiente protección debido a su alta densidad.
- Cebado fácil.
- Buena estabilidad de arco.
- Económico.
- Buena forma de cordón y buena penetración.

- Argón + helio

- Recomendado para aceros inoxidable no compatibles con ARGÓN, metales y aleaciones de alta conductividad térmica (aluminio y cobre). La adición de helio proporciona una soldadura más rápida que con argón

- Argón + hidrogeno

- Recomendado para soldadura manual o automática de acero inoxidable, cobre-níquel y aleaciones de níquel.

- Argón + hidrogeno + helio

**e) Ventajas del proceso**

Tiene las siguientes ventajas: (17 p.121)

- De ser el caso no se requiere de fundente, y no requiere limpieza.
- No hay chispas ni salpicaduras, al no transferir metal de aporte a través del arco.
- Buena calidad de soldadura en todas las posiciones.
- Al igual que todos los sistemas de soldadura con protección gaseosa, el área de soldadura es claramente visible.
- Puede ser automatizado, controlando mecánicamente la antorcha y/o el metal de aporte.

## 2.2.4 Propiedades Mecánicas

La primera propiedad mecánica para considerar la resistencia. La resistencia de un material indica su capacidad para resistir una carga, y a menudo, se considera sinónimo de esfuerzo. Más específicamente, se considera el esfuerzo máximo que un material puede soportar antes de que ocurra la falla. Otra propiedad interesante, especialmente con respecto a consideraciones de flexibilidad, es la rigidez. Una parte estructural se denomina parte rígida y está sujeta a una cantidad relativamente grande de tensión con una deformación relativamente pequeña. El módulo elástico de un material es una medida de su rigidez. (18 p.436)

Las propiedades mecánicas de los materiales establecen la capacidad para resistir los efectos de cargas o fuerzas, estas propiedades dependen de la composición química del material, su estructura, el método de moldeo y muchos otros factores como la temperatura o el tipo de carga a aplicar. (8 p.414)

Se puede clasificar las propiedades en dos grupos: (8 p.414)

- Acorde con la resistencia, que miden la capacidad del material para resistir cargas estáticas.:
  - La resistencia, que es capacidad de un material para resistir las fuerzas que tienden a su rotura o a causar deformaciones permanentes.
  - La dureza, que es la resistencia que oponen los metales a ser penetrados superficialmente.
- Acorde con la deformabilidad, determina en gran medida su capacidad para soportar cargas dinámicas sin llegar a la rotura, y, por otro lado, su capacidad para aceptar la profunda deformación plástica requerida para determinados procesos de conformado sin fisurarse ni romperse. Se distinguen:
  - La elasticidad, que es la capacidad de un metal para volver a su forma y tamaño original después de eliminar las fuerzas que causaron la deformación elástica.
  - La tenacidad, que es la capacidad de un metal para deformarse sin romperse. Los metales son generalmente materiales tenaces que exhiben un comportamiento completamente diferente al de otros materiales.

- La resiliencia, que es la capacidad que tienen los materiales para resistir a impactos.

#### 2.2.4.1 La dureza

La resistencia de un material a la penetración es un indicador de su dureza. La dureza se mide utilizando una variedad de equipos, procedimientos e indentadores; los probadores de dureza Brinell y Rockwell son los más utilizados. Para el probador de dureza Brinell, use una bola de acero endurecido con un diámetro de 10 mm como indentador bajo una carga de 3000 kg de fuerza. El probador de dureza Rockwell utiliza una bola de acero endurecido con un diámetro de 1/16 de pulgada para materiales blandos bajo una carga de 100 kg de fuerza, y para materiales duros, un indentador de diamante cónico esférico con una carga de 150 kg de fuerza, que se medirá en Rockwell C. (19 p.37)

#### 2.2.4.2 Esfuerzo y deformación

##### a) Esfuerzo

Se define como la carga por unidad de área (o unidad de carga), donde, para el esfuerzo de la probeta,  $P$  es la carga aplicada en cualquier instante y  $A_o$  es el área de la sección transversal original de la probeta. Se supone que la tensión se distribuye uniformemente en toda la sección transversa. Las unidades de esfuerzo son en psi o Pa. (24 p.877)

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

Figura 11. Fórmula de esfuerzo. Tomada de “Diseño de máquinas” (24 p.877)

### b) Deformación unitaria

Es el cambio de longitud por unidad de longitud, donde  $l_o$  es la longitud de referencia original y  $l$  es la longitud de referencia para cualquier carga  $P$ . Longitud dividida por longitud, la deformación es adimensional. (24 p.877.)

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

Figura 12. Formula de deformación unitaria. Tomada de “Diseño de máquinas” (24 p.877)

### c) Módulo de elasticidad

La curva de esfuerzo-deformación en tensión proporciona varios parámetros útiles. En la figura N°14 se observa el punto "pl" que es el límite proporcionalidad, donde el esfuerzo es proporcional a la deformación unitaria, expresada en una forma unidimensional de la ley de Hooke, donde  $E$  define la pendiente de la curva de esfuerzo-deformación unitaria hasta el límite proporcionalidad, y se denomina módulo de Young o módulo de elasticidad del material.  $E$  mide la rigidez del material en el rango elástico, en las mismas unidades que el esfuerzo. (24 p.878.)

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

Figura 13. Formula de módulo de elasticidad. Tomada de “Diseño de máquinas” (24 p.877)

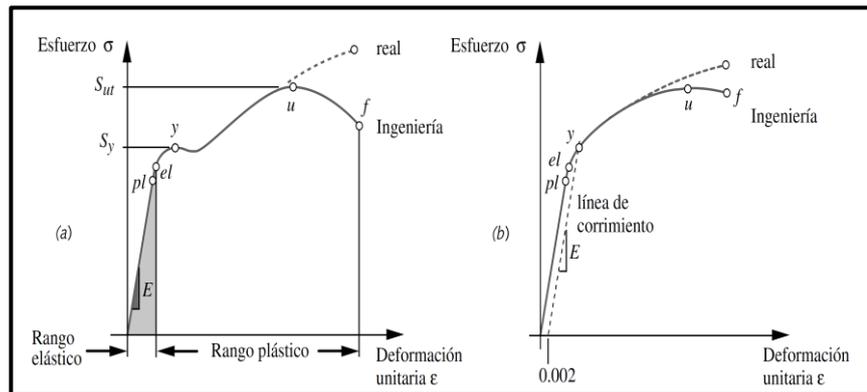


Figura 14. Curvas de ingeniería y de esfuerzo-deformación unitaria real para materiales dúctiles: a) acero al bajo carbono, b) acero templado al alto carbono. Tomada de “Diseño de máquinas” (24 p.878)

#### d) Límite Elástico

El punto identificado como “*el*”, de la figura N°14, es el límite elástico, es decir, pasado este punto, el material desarrolla una deformación plástica permanentes. El límite elástico marca la frontera entre las regiones del comportamiento elástico y el comportamiento plástico del material. Los puntos *el* y *pl* usualmente están tan cerca que a menudo suelen considerarse uno mismo. (24 p.878.)

#### e) Resistencia a la fluencia

Este es el punto representado por “*y*”, y está ubicado arriba del límite elástico, en este punto el material comienza a ceder con más simplicidad a los esfuerzos sometidos, y aumenta la deformación (observe la pendiente más baja, figura N°14). Lo anterior se conoce como el punto de fluencia, cuyo valor del esfuerzo define la resistencia a la fluencia  $S_y$  del material. (24 p.878)

#### f) Resistencia última a la tensión

El esfuerzo continúa creciendo de manera no lineal, hasta un valor máximo  $S_{ut}$  o resistencia final a la tensión en el punto *u*. Se considera

que éste es el máximo esfuerzo de tensión que el material soporta antes de la ruptura. (24 p.879)

### 2.2.4.3 Ductilidad

La ductilidad de un material se mide por su porcentaje de alargamiento a la rotura o porcentaje de reducción en el área de rotura. Los materiales con un alargamiento a la rotura superior al 5% se consideran dúctiles. Los mismos metales pueden ser dúctiles o quebradizos, según cómo se fabriquen, procesen o traten térmicamente. Los metales forjados (lo que significa que se moldean sólidos cuando están calientes o fríos) son más dúctiles que los metales fundidos al verter metal fundido en moldes. El trabajo en frío de un metal generalmente reduce su ductilidad y aumenta su fragilidad. El tratamiento térmico también tiene un efecto significativo en la ductilidad del acero. Por lo tanto, es difícil generalizar acerca de la ductilidad o fragilidad relativa de varios materiales. (24 p.879)

### 2.2.4.4 Acero ASTM A-36

Los aceros a ASTM A-36 son aceros al carbono estructurales más utilizados, su contenido de carbono es hasta 0.29%, es considerado un acero suave. En la tabla N°5, se ve la composición química según ASTM (20)

Tabla 5. Composición química del acero ASTM A-36.

Producto	Perfil	Planchas				
		Hasta 20	De 20 a 40	De 40 a 65	De 65 a 100	De 100 a más
Espesor mm	Todos					
Carbón máx %	0.26	0.25	0.25	0.26	0.27	0.29
Manganeso %	...	...	0.8-1.2	0.8-1.2	0.85-1.2	0.85-1.2
Fósforo máx %	0.04	0.04	0.04	0.04	0.4	0.04
Azufre máx %	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Silicio %	0.40 máx	0.04 máx	0.04 máx	0.15-0.4	0.15-0.40	0.15-0.40
Cobre min %	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2

Tomada de "Norma ASTM A36" (20)

Las propiedades mecánicas las podemos ver en la tabla N° 6.

La dureza para el acero ASTM A-36: 120-135 HB

Tabla 6. Propiedades mecánicas del acero ASTM A-36.

Planchas, perfiles y barras	
Resistencia a la tracción, ksi [MPa]	58-80 [400-550]
Resistencia a la fluencia min, ksi [MPa]	36 [250]
Planchas y barras	
Elongación en 8 pulgadas [200 mm] min, %	20
Elongación en 2 pulgadas [50 mm] min, %	23
Perfiles	
Elongación en 8 pulgadas [200 mm] min, %	20
Elongación en 2 pulgadas [50 mm] min, %	21

Tomada de "Norma ASTM A36" (20)

#### 2.2.4.5 Acero Chronit T1

Planchas micro aledas para de gran resistencia al desgaste por abrasión, impacto y deslizamiento. Tiene por composición química: C, Si, Mn, Mo, Ni, V, Nb, B, ver tabla N°7. En la tabla N°8 se puede observar las propiedades mecánicas. (21 p.34)

Tabla 7. Composición química de Chronit t1

Composición	C	Mn	Si	P+S	Cu	Mo	Ni	B	Ti
Química % Max.	0.21	1.70	0.60	0.04	0.20	0.40	0.30	0.007	0.20

Tomada de "Manual de aceros especiales" (21)

La soldabilidad de estos aceros es con procedimientos bajos en hidrogeno, electrodos completamente secos, la plancha debe estar seca y libre de aceites y grasa. El precalentamiento es de 150 – 250 °C. (21 p.34)

Tabla 8. Propiedades mecánicas del acero CHRONIT -T1.

CARACTERISTICAS MECANICAS	CHRONIT T1 400	CHRONIT T1 500
Dureza de sumistros HB	360-440	450-530
Resistencia a la tracción N/mm2	1300	1650
Límite de nuencia N/mm2	1000	1300
Elongación mínimo %	12	8
Tenacidad (londitudinal) JOULES	30	25

Tomada de "Manual de aceros especiales" (21 p.34)

### 2.2.5 Pre calentamiento

Ciertamente se precisa calentar a una determinada temperatura las piezas que se van a soldar, este se realiza solamente cuando es imprescindible, en aquellos materiales que tiene baja en a soldabilidad. Los objetivos del pre calentamiento son (8 p.426):

- Disminuir la velocidad de enfriamiento de las piezas.
- Bajar la perdida de calor en aquellos materiales muy conductores de calor, de esta forma se consiguen más fácilmente baños de fusión adecuados.
- Suprimir la humedad que puedan tener los materiales a soldar.

### 2.3 Definición de términos básicos

- Acero al carbono  
Es la aleación entre hierro y carbono, con un contenido de carbono entre 0.03% y 1.75% (13 p.124)
- Acero suave  
El grado de dureza en un buen indicador de contenido de carbono presente en el acero. Mientras más duro, más cantidad de carbono.
- Agrietamiento  
Fractura o fisura de uno de los componentes de la unión soldada (12 p.18)
- Amperaje  
Medida de unida eléctrica que indica el flujo de energí que pasa a través de un circuito (13 p.125)
- ASTM  
Sociedad americana para la prueba de materiales
- Abrasión  
Acción de quitar o arrancar algo mediante fricción.
- Discontinuidad  
Interrupción de la estructura típica de un material, ausencia de homogeneidad en sus características mecánicas, metalúrgicas o físicas. (12 p.28)
- Soldabilidad  
La capacidad que tienen los materiales para ser unidos mediante procesos de soldadura

- Disímil  
Cuando dos metales diferentes o aleaciones se unen entre sí
- SMAW  
Soldadura por arco con electrodo metálico revestido. (12 p.48)
- FCAW  
Soldadura por arco con núcleo de fundente. (12 p.48)
- GTAW  
Soldadura por arco bajo gas protector con electrodo de tungsteno. (12 p.47)
- GMAW  
Soldadura por arco con electrodo metálico con gas. (12 p.48)
- Procedimiento  
Un procedimiento es un conjunto de acciones que tienen que realizarse todas igualmente, para obtener los mismos resultados bajo las mismas circunstancias y bajo una norma.
- Metalografía  
Es la ciencia que estudia las características microestructurales de metales o aleaciones, las cuales están relacionadas con las propiedades químicas y mecánicas.
- WPS  
Especificación de procedimiento de soldadura; documento que provee las variables de soldadura requeridas para una aplicación específica a fin de asegurar la repetibilidad por parte de soldadores y operarios de soldadura debidamente capacitados. (12 p.16)
- ZAC  
Zona afectada por el calor en una unión soldada. (12 p.59)
- Unión  
Cualquier proceso que se utiliza para conectar materiales. (12 p.58)
- END  
Ensayos no destructivos; acción de determinar la idoneidad de un material o componente para su propósito previsto, que utiliza técnicas que no afectan su capacidad de servicio. (12 p.16)
- Probetas

Llamado cupón de soldadura es donde se desarrolla el empalme son de diferentes espesores, y diferentes biseles.

- **Aporte**  
Normalmente son metales similares a los de las piezas a unir, presentados en forma de varillas o hilos continuos, que se incorporan a la soldadura manual o automáticamente.
- **Revestimiento**  
Variación de recubrimiento que deposita o aplica material para recubrimiento generalmente para mejorar la resistencia a la corrosión o al calor. (12 p.38)
- **Arco eléctrico**  
Se define como la corriente eléctrica que se establece a través del aire ionizado gracias a la diferencia de potencial inducida entre las partes (entre electrodo y pieza, o entre piezas a soldar).
- **Escoria**  
Producto resultante de la acción de un flujo sobre los constituyentes no metálicos de un metal a la hora de fundirlo. (13 p.128)
- **Porosidad**  
Es la contaminación del metal de soldadura en forma de un gas atrapado. (13 p.131)
- **Consumible**  
Contienen el metal de aporte en la soldadura con arco eléctrico; están disponibles en dos formas principales: varillas y alambres.
- **Electrodo de soldadura**  
Componente del circuito de soldadura a través del cual se conduce la corriente y que termina en el arco, la escoria fundida conductora o el metal base (12 p.14)
- **Dureza Brinell**  
Dureza de un metal en función de los valores aportados en la escala Brinell. (13 p.127)
- **Dureza rockwell**  
Dureza de un metal en función de los valores aportados en la escala rockwell.
- **Baño de fusión**  
Consiste en una varilla de metal de aportación licuado metal fundido. (13 p.125)
- **Ensayo de tracción**

Prueba que consiste en aplicar cada vez fuerza aun a muestra estándar registrando los resultados a medida que la fuerza es mayor y la pieza termina por romperse. (13 p.128)

- Planchas

Láminas de acero con diferentes características y propiedades mecánicas.

- Perfiles

Son un tipo de productos que se crean por laminación en caliente de acero. Entre sus propiedades clave destacan su forma o perfil, su peso, sus particularidades y la composición química del material con que está hecho y su longitud.

- Metal base

Metal de origen en el cual se va a soldar o cortar. (13 p.130)

- Pre calentamiento

Calor aplicado a la(s) pieza(s) para alcanzar y mantener la temperatura de pre calentamiento antes de la unión, el corte térmico. (12 p.31)

## **CAPÍTULO III METODOLOGÍA**

### **3.1 Métodos y alcance de la investigación**

#### **3.1.1 Método de investigación**

El método deductivo es el camino lógico para encontrar una solución al problema que nos planteamos. Consiste en formular hipótesis sobre posibles soluciones al problema planteado y comprobar si los datos disponibles son consistentes con dichas hipótesis. (26 p.86)

La presente investigación presentó un método deductivo experimental, dado que se emite una hipótesis para obtener los resultados esperados, este fue contrastado con los resultados obtenidos experimentalmente.

#### **3.1.2 Alcance de la investigación**

La investigación descriptiva busca especificar los atributos, características y perfiles de una persona, grupo, comunidad, proceso, objeto o cualquier otro fenómeno que necesite ser analizado. Es decir, solo pretenden medir o recopilar información sobre los conceptos o variables a los que se refieren, de forma independiente o conjunta, es decir, su objetivo no es mostrar cómo se relacionan. (25 p.92)

Los estudios interpretativos van más allá de la descripción de conceptos o fenómenos o del establecimiento de relaciones entre conceptos, es decir, pretenden dar respuesta a los acontecimientos y las causas de los fenómenos

físicos o sociales. Como su nombre lo indica, su interés se centra en explicar por qué ocurre un fenómeno y en qué condiciones se manifiesta o por qué se relacionan dos o más variables. (25 p.95)

El alcance de la investigación es descriptiva explicativa dado se describió todas las características de los procesos, así como el análisis de sus nuevas propiedades mecánicas explicando como inciden los factores de soldadura en la unión soldada.

### **3.2 Diseño de la investigación**

Los diseños cuasi-experimentales también manipulan intencionalmente al menos una variable independiente para observar su efecto sobre una o más variables dependientes, excepto que se diferencian de los experimentos "puros" por su confianza en la equivalencia inicial de los grupos. En un diseño cuasi-experimental, los sujetos no son aleatorizados ni emparejados, sino que los grupos se forman antes del experimento: son grupos intactos (por qué aparecen y cómo se integran son independientes o separados entre sí). (25 p.152)

El diseño de la investigación se desarrolló de forma experimental de tipo cuasiexperimental dado que se manipulo intencionalmente la variable independiente (procesos de soldadura) y analizó el efecto causado en la variable dependiente (propiedades mecánicas), luego se realizó una comparación de los resultados obtenidos.

### **3.3 Población y muestra**

#### **3.3.1 Población**

La población para esta investigación fueron todas las empresas donde se realizan trabajos de soldadura en la fabricación de tolvas de descarga con aceros ASTM A-36 y CHRONIT T1.

#### **3.3.2 Muestra**

En una muestra no probabilística, la selección de elementos no depende de probabilidad, pero por razones relacionadas con las características de la investigación o el propósito del investigador. (24 P.176)

La muestra para este trabajo fue no probabilística intencional porque las muestras están direccionadas para un tipo de característica determinado,

teniendo un total de 24 probetas de muestra distribuidas de la siguiente manera:

Tabla 9. Distribución de las muestras para cada tipo de proceso de soldadura.

SMAW: Soldadura de acero A-36 con Chronit T1	Dureza	M1	O-1
	Elasticidad	M2	O-2
		M3	
	Macrografía	M4	O-3
	Ductilidad	M5	O-4
		M6	
		M7	
		M8	
FCAW: Soldadura de acero A-36 con Chronit T1	Dureza	M9	O-1
	Elasticidad	M10	O-2
		M11	
	Macrografía	M12	O-3
	Ductilidad	M13	O-4
		M14	
		M15	
		M16	
GTAW: Soldadura de acero A-36 con Chronit T1	Dureza	M17	O-1
	Elasticidad	M18	O-2
		M19	
	Macrografía	M20	O-3
	Ductilidad	M21	O-4
		M22	
		M23	
		M24	
M: muestras			
O: Observación			

### 3.3.2.1 Características de las muestras

- a) **Dureza:** se tomó en 7 puntos cercanos a cordón de soldadura y a la zona ZAC, ver figura N°15.

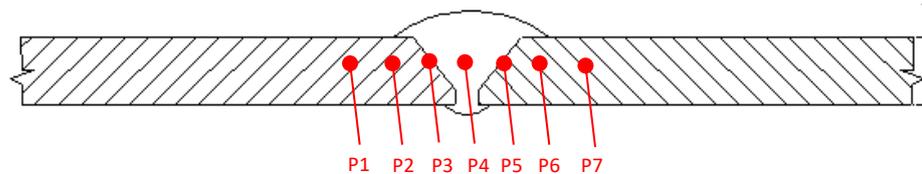


Figura 15. Muestra M1, M9, M17 para prueba de dureza.

**b) Elasticidad:** las muestras fueron probetas normadas de acuerdo al código AWS D1.1:2020 secc. 6. (9 p.167), estas se sometieron a ensayo de tracción. Las muestras serán M2, M3, M10, M11, M18, M19.

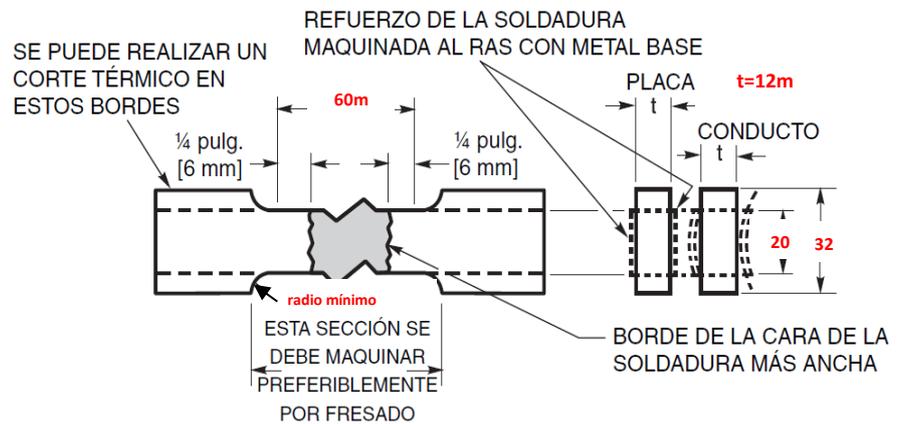


Figura 16. Probeta normada de tracción. Tomada de AWS D1.1:2020 (9 P.169)

**c) Macrografía:** las muestras son M4, M12, M20

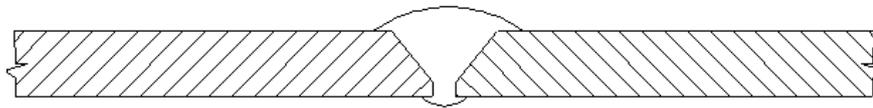


Figura 17. Probeta para macrografía.

**d) Ductilidad:** se realizaron probetas para ensayo de doblado; M5, M6, M13, M14, M21 y M22 fueron para doblado de cara; M7, M8, M15, M16, M23 y M24 fueron para doblado de raíz.

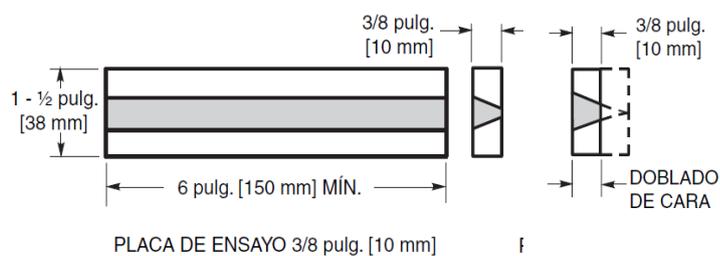


Figura 18. Probeta de doblado de cara. Tomada de AWS D1.1:2020 (9 P.167)

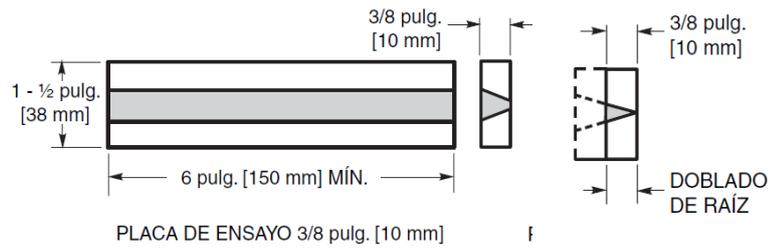


Figura 19. Probeta de doblez de raíz. Tomada de AWS D1.1:2020 (9 P.167)

### 3.4 Técnica e instrumentos de recolección de datos

#### 3.4.1 Técnicas de soldeo SMAW

##### a) Pre calentamiento

- El calentamiento de la pieza se realizó antes del soldeo, se utilizó el método Seferian, que se basa en el carbono equivalente:

Formulas:

$$T^{\circ} = 350\sqrt{CT - 0.25} C^{\circ}$$

$$CT = Cq + Ce$$

$$Cq = C + \frac{Mn + Cr}{9} + \frac{Ni}{18} + \frac{Mo}{13}$$

$$Ce = 0.005 \times e \times cq$$

$CT$  = equivalente total de carbono

$Cq$  = equivalente químico

$Ce$  = equivalente del carbono del espesor

$e$  = espesor

Datos:

- Para el caso del CHRONIT T1  
 $C=0.21$ ;  $Mn=1.7$ ;  $Si=0.6$ ;  $Ni=0.3$ ;  $Mo=0.40$ ;  $Cr=0$   
 $e=12$  mm

Reemplazando

$$Cq = 0.21 + \frac{1.7 + 0}{9} + \frac{0.30}{18} + \frac{0.40}{13}$$

$$Cq = 0.4463$$

$$C_e = 0.005 \times 12.7 \times 0.4463$$

$$C_e = 0.02834$$

$$CT = 0.4463 + 0.02834$$

$$CT = 0.4746$$

$$T^\circ = 350\sqrt{0.4746 - 0.25} \text{ } C^\circ$$

$$T^\circ = 165^\circ C$$

- La temperatura de precalentamiento para el acero CHRONIT T1 fue de 165°C; en cuanto al acero ASTM A-36 se basó en el código AWS D1.1:2020 (9 P78), en el cual indica que la temperatura mínima es de 0°C; dado esto la temperatura para el cupón de soldadura fue de 165°C.
- La medición se hizo con un pirómetro marca FLUKE, ver figura N°20.
- Se realizó el control respectivo de temperatura pre-soldeo y entre pasadas
- Para el calentamiento se usó una antorcha y un equipo oxiacetilénico.



Especificaciones	
Rango de temperatura	-30 °C a 650 °C (-22 °F a 1202 °F)
Precisión	±1.0 °C o ±1.0 % de lectura, el valor mayor de los dos -10 °C a 0 °C: ±2.0 -30 °C a -10 °C: ±3.0
Tiempo de respuesta (95 %)	< 500 ms (95 % de la lectura)
Respuesta espectral	8 a 14 micrones
Emisividad	0.10 a 1.00
Resolución óptica	12:1 (calculado al 90 % de energía)
Resolución de la pantalla	0.1 °C (0.2 °F)
Repetibilidad de lecturas	±0.5 % de la lectura o <±0.5 °C (1 °F), el mayor valor
Alimentación	Batería AA
Duración de la batería	8 horas con el láser y retroalimentación de pantalla activados

Figura 20. Ficha técnica de termómetro Fluke, Tomada de página del fabricante.

## b) Intensidad de soldeo

- El soldeo se realizó con electrodo E8018-C3 conocido como TENACITO 80 de 3.2mm x 350mm, esta selección está basada en la norma AWS A5.5 por sus características similares al material base.

-La intensidad de soldeo se graduó en la máquina multiprocesos DAF 450 XTREME, ver figura N°22, para este caso se siguió las recomendaciones del fabricante del electrodo TENACITO 80 que indica que el parámetro es de 90 -140A, ver figura N°21.

**SMAW**

**Aceros al Carbono y Baja Aleación**



TENACITO 80

Electrodo revestido de tipo básico para soldar acero de alta resistencia, cuyo depósito es un acero de baja aleación al níquel (1% Ni). El metal depositado posee muy buena resistencia a los fenómenos de fisuración en frío y en caliente, además de tener muy buena tenacidad. Ideal para aplicaciones que implican alta resistencia a bajas temperaturas hasta -40°C.

Clasificación	
AWS A5.5 / ASME-SFA 5.5	E8018-C3

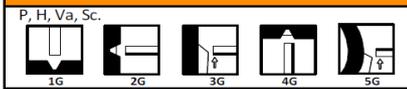
**Análisis Químico del Metal Depositado (valores típicos) [%]**

C	Mn	Si	P	S	Mo	Ni	Cr	Cu	Otros
0,06	1,20	0,30	máx. 0,020	máx. 0,020	0,10	1,10	0,05	-	-

**Propiedades Mecánicas del Metal Depositado**

Tratamiento Térmico	Resistencia a la Tracción [MPa (psi)]	Límite de Fluencia [MPa (psi)]	Elongación en 2" [%]	Energía Absorbida ISO-V [°C (°F)] [J (Ft-Lbf)]
Sin tratamiento	560 - 650 (81 200 - 94 250)	mín. 470 (68 150)	mín. 24	[-40°C (-40°F)] mín. 70 (53)

Conservación del Producto
<ul style="list-style-type: none"> <li>Mantener en un lugar seco y evitar humedad.</li> <li>Almacenamiento en horno: 125 a 150°C.</li> <li>Resecado de 400°C a 420°C por 1 hora.</li> </ul>

Posiciones de Soldadura
P, H, Va, Sc. 

**Parámetros de Soldeo Recomendados**

Para corriente alterna(AC) o continua (DC): Electrodo al polo positivo DCEP							
Diámetro	[mm]	1,60	2,50	3,25	4,00	5,00	6,30
	[pulgadas]	1/16	3/32	1/8	5/32	3/16	1/4
Amperaje mínimo	-	60	90	120	180	-	-
Amperaje máximo	-	100	140	180	270	-	-

**Aplicaciones**

- Para soldar aceros tipo T1; T1A; T1B en ciertas aplicaciones.
- Aceros de construcción de grano fino y altamente resistente (hasta 550 MPa de resistencia a la tracción).
- Aceros COR-TEN en sus diferentes grados.
- Aceros N-A-XTRA 30, N-A-XTRA 75; HSB 77 V.
- Como cojín amortiguador o capa de base para recubrimientos protectores.

Nota: El precalentamiento está en función al tipo y espesor del material a soldar.

Figura 21. Ficha técnica del electrodo TENACITO 80. Tomada de la página del fabricante.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
CICLO DE TRABAJO (40°C)	390 amps al 100% / 500 amps al 60%
RANGO DE AMPERAJE	25 - 500amps
PROCESOS DE SOLDADURA	STICK - MIG/MAG - TIG - TUBULAR
CONECTOR RAPIDO	dinse 50/70mm
PESO	50kgs
VOLTAJE DE ENTRADA	3phz 220/380/440V Regulación Automática
FRECUENCIA	50/60Hz
VOLTAJE EN VACIO	85OCV
MEDIDAS ( Largo/Ancho/Alto )	640 x 330 x 530
PROTECCION IP	IP 21
AISLAMIENTO	F

Figura 22. Propiedades de las especificaciones técnicas de la máquina de soldar DAF. Tomada de la página del fabricante.

### 3.4.2 Técnicas de soldeo GTAW

#### a) Pre calentamiento

- El calentamiento de la pieza se realizó previo al soldeo fue por método Seferian, dando como resultado 165°C.
- La medición se hizo con un pirómetro marca FLUKE, ver figura N°20.
- Se realizó el control respectivo de temperatura entre pasada y pasada.
- Para el calentamiento se usó una antorcha y un equipo oxiacetilénico

#### b) Intensidad de soldeo

- El soldeo se realizó con electrodo de tungsteno con torio de Ø 1/8".
- La intensidad de soldeo se graduó en la máquina multiprocesos MILLER XMT 350, ver imagen de la figura N°23, para este caso se siguió las recomendaciones del fabricante del electrodo que indica un paramero de 30-180A, 10-20V, en corriente continua, electrodo al negativo, ver la imagen de la figura N°24.
- El aporte fue de varilla ER70S-6 conocido comercialmente como TIGFIL ST6 de Ø3.25 mm x 1000mm, la selección se basa en la norma AWS A5.18, ver la imagen de la figura N°24.

**Especificaciones** (Sujetas a cambios sin previo aviso.)

Range de voltaje en modo CV	Range de amperaje en modo CC	Salida nominal	Clase de protección (IP)	Entrada en A con la salida nominal, 50/60 Hz	Máximo voltaje de circuito abierto	Peso Neto
10-38 V	5-425 A	275 A a 21 VDC, ciclo de trabajo 100% 350 A a 34 VDC, ciclo de trabajo 60%	IP23	38,1 20,6 17,8 14,1 14,2 13,6	75 V	36,3 kg (80 lb.) sin potencia auxiliar 43 kg (94,8 lb.) con potencia auxiliar



Figura 23. Especificaciones técnicas máquina de soldar MILLER XMT 350. Tomada de su ficha técnica.

**GTAW**  
Aceros al Carbono y Baja Aleación

**SOLDEXA**  
**TIGFIL St6**  
(Antes EGSATIG St6)

Varilla sólida para el proceso TIG (GTAW) cuyo depósito es un acero al carbono con mediano contenido de manganeso y silicio, presenta buena soldabilidad proporcionando un charco limpio con buena visibilidad, su depósito es libre de poros y fisuras, ideal para soldar desde el pase de raíz en toda posición.

Clasificación		Aprobaciones	Grados
AWS A5.18 / ASME SFA-5.18	ER70S-6	ABS	3Y SA

Análisis Químico del Alambre Sólido (valores típicos) [%]

C	Mn	Si	P	S	Mo	Ni	Cr	Cu	Otros
0,06 0,12	1,40 1,60	0,8 1,15	máx. 0,025	máx. 0,025	-	-	-	-	-

Propiedades Mecánicas del Metal Depositado

Tratamiento Térmico	Resistencia a la tracción [MPa (psi)]	Límite de Fluencia [MPa (psi)]	Elongación en 2" [%]	Energía Absorbida ISO-V (-30°C) [J]
Sin tratamiento	500 - 640 (78 300 - 92 800)	> 420 (60 900)	> 22	> 80

Conservación del Producto	Posiciones de Soldadura
<ul style="list-style-type: none"> <li>Mantener en un lugar seco y evitar humedad.</li> <li>No requiere almacenamiento bajo horno.</li> </ul>	P, H, Va, Sc. 

Parámetros de Soldeo Recomendados

Diámetro [mm (pulg.)]	2,50 (3/32")	3,25 (1/8")
Polaridad	Corriente continua electrodo al negativo (DCEN)	
Gas protector	100% Ar	
Amperaje [A]	20 - 150	30 - 250
Voltaje [V]	9 - 15	10 - 20
Stick out [mm]	-	-
Flujo de Gas [l / min]	5 - 15	5 - 15

Figura 24. Ficha técnica del electrodo ER70S-6. Tomada de la página del fabricante,

#### **c) Caudal de Gas protector**

- Este caudal se graduó en el flujómetro del cilindro del gas Argón 100%.
- El caudal para realizar este trabajo estuvo entre 15-30 l/min.

### **3.4.3 Técnicas de soldeo FCAW**

#### **a) Pre calentamiento**

- El calentamiento de la pieza se realizó antes del soldeo y este fue por método Seferian, dando como resultado 165°C desarrollada anteriormente.
- La medición se hizo con un pirómetro marca FLUKE, ver imagen de la figura N°20.
- Se realizó el control respectivo de temperatura entre pasada y pasada.
- Para el calentamiento se usó una antorcha y un equipo oxiacetilénico.

#### **b) Intensidad de soldeo**

- La intensidad de soldeo se reguló en la máquina multiprocesos y alimentador de alambre MILLER XMT 350, para este caso se sigue las recomendaciones del fabricante, ver figura N°23; el electrodo de fundente DUAL SHIELD T-115 de 1.2mm esta selección está basada en la norma AWS A5.27; la intensidad de este comprende de 140-190 A, con una tensión de 19V a 28V, ver imagen de la figura N°25.
- Tipo de corriente es continua con electrodo al positivo

#### **c) Caudal de Gas protector**

- Este caudal se graduó en el flujómetro del cilindro del gas CO<sub>2</sub>
- El caudal para este trabajo estuvo entre 6 y 12 litros/ min.

#### **d) Velocidad de salida de alambre**

- Este se reguló en el alimentador de alambre MILLER XMT 350 y este estuvo entre 180-250 in/min.

ALAMBRES TUBULARES ACERO BAJA ALEACIÓN		ESAB					
<b>Dual Shield T-115</b>							
Dual Shield T-115 is a basic slag flux cored electrode designed for applications requiring a high strength weld deposit. Dual Shield T-115 produces weld deposits which are resistant to cracking in heavy sections or under high restraint. It has good usability with a minimum amount of spatter and easy slag removal. It can be used for welding steels such as: T-1, HY-80, HY-90, N-A, XTRA 90, 100 and 110, and the SSS 100 series. The weld metal analysis is similar to an E11018-M low hydrogen electrode. A 100% CO <sub>2</sub> shielding gas is recommended for the 3/32" (2.4) size and a 75% Ar / 25% CO <sub>2</sub> gas for the .045" (1.2) and 1/16" (1.6) sizes.							
<b>Clasificaciones</b>	AWS A5.29 : E111T5-K4M-H4 (.045") AWS A5.29 : E110T5-K4C (3/32") AWS A5.36 : E110T5-C1A6-K4-H4 (3/32") AWS A5.36 : E111T5-M21A6-K4-H4 (.045") ASME SFA 5.36 ASME SFA 5.29 .032" 1/16" .052" 1/16"						
<b>Aprobaciones</b>	CWB CSA W48 E111T5-K4M-H4 (.045") .052" 1/16" E110T5-K4C-H4 (3/32")						
<b>Industria o segmento</b>	Fabricación industrial en general Equipos móviles						
<small>Las aprobaciones se basan en la ubicación de la planta de fabricación. Por favor, contactase con ESAB para obtener más información.</small>							
<b>Propiedades típicas de Tensión</b>							
<b>Condición</b>	<b>Límite de flujo</b>	<b>Resistencia a la tracción</b>	<b>Reducción en el área</b>	<b>Alargamiento</b>			
<b>75% Ar - 25% CO<sub>2</sub></b>							
Stress Relieved 1hr 566°C	660 MPa	750 MPa	65 %	23 %			
As Welded	761 MPa	815 MPa	43 %	20 %			
<b>100% CO<sub>2</sub></b>							
As Welded	810 MPa	662 MPa	57 %	22 %			
<b>Typical Charpy V-Notch Properties</b>							
<b>Condition</b>	<b>Testing Temperature</b>		<b>Impact Value</b>				
<b>75% Ar - 25% CO<sub>2</sub></b>							
As Welded	-29 °C		68 J				
As Welded	-51 °C		49 J				
Stress Relieved 1hr 566°C	-29 °C		65 J				
Stress Relieved 1hr 566°C	-51 °C		43 J				
<b>Typical Weld Metal Analysis %</b>							
<b>C</b>	<b>Mn</b>	<b>Si</b>	<b>S</b>	<b>P</b>	<b>Ni</b>	<b>Cr</b>	<b>Mo</b>
0.06	1.86	0.56	0.012	0.011	2.11	0.25	0.44
<b>Deposito</b>							
<b>Diámetro</b>	<b>Corriente</b>	<b>Tensión</b>	<b>Velocidad de Alimentación</b>	<b>Tasa de Deposición</b>	<b>Dist. TTW</b>	<b>Eficiencia</b>	
<b>75% Ar - 25% CO<sub>2</sub></b>							
<b>Parámetros de soldadura</b>							
<b>Diámetro del Alambre</b>	<b>Current</b>	<b>Voltage</b>	<b>TTW Dist.</b>	<b>Wire Feed Speed</b>			
<b>75% Ar - 25% CO<sub>2</sub></b>							
1.2 mm	140-190 A	19-29 V	19-25.4 mm	635-889 cm/min			
1.2 mm	240-300 A	29-32 V	19-25.4 mm	1143-1651 cm/min			
1.6 mm	220-280 A	29-30 V	19-25.4 mm	457-635 cm/min			
1.6 mm	280-380 A	31-32 V	25.4-31.75 mm	635-1016 cm/min			
2.4 mm	240-370 A	30-32 V	25.4-31.75 mm	254-508 cm/min			
2.4 mm	370-460 A	32-33 V	31.75-38 mm	508-813 cm/min			

Figura 25. Ficha técnica del electrodo dual Shield T-115. Tomada de la página del fabricante,

### 3.4.4 Técnicas para la resistencia

#### a) Dureza

- Se realizó mediante un ensayo destructivo a través de un durómetro SONOHARD modelo: SH 21, figura N°26; las mediciones se realizaron el área transversal en la zona del cordón de soldadura y zona afectada por el calor.



Figura 26. Imagen referencial durómetro portátil. Tomada de su ficha técnica.

### **b) Discontinuidades**

- Se realizaron pruebas no destructivas, para certificar que no exista discontinuidades abiertas a la superficie.
- Ensayo de inspección visual, dicho proceso se realizó en las probetas de soldadura después de 72 horas de realizar el soldeo debido a la composición del material y acorde a la tabla 8.1 de AWS D1.1: 2020, este estuvo a cargo de un inspector de soldadura VT nivel II bajo la practica recomendada ASNT SNT TC-1A.
- Ensayo de ultrasonido, dicho ensayo se hizo a las probetas de soldadura después de las 72 horas de realizar el soldeo debido a la composición del material y acorde a las tablas 6.1 y 8.1 de AWS D1.1:2020, este estuvo a cargo de un inspector de soldadura UT nivel II bajo la practica recomendada ASNT SNT TC-1A. Se utilizó equipo de ultrasonido marca SIUI modelo SCAN A, imagen N°27.



Figura 27. Imagen referencial equipo de ultrasonido. Tomada de página del fabricante

#### **c) Elasticidad**

Para esta prueba se realizó ensayo de tracción a probetas normadas, figura N°16, en un laboratorio donde se determinó grados de elasticidad, fluencia. Estas cumplieron los parámetros establecidos en la norma AWS D1.1M:2020.

#### **d) Ductilidad**

Se realizó ensayos de doblez guiado de cara y de raíz de manera longitudinal, este se realizó en un laboratorio con equipo hidráulico con punzón de 38mm. Este debe cumplir los parámetros establecidos en la norma AWS D1.1M:2020. Las probetas para la prueba de ductilidad están basadas en código AWS D1.1M:2020.

#### **e) Macrografía**

Se realizó esta técnica para verificar la ausencia de defectos de soldadura, así como la geometría de la unión soldada, además el grado de penetración de los cordones de soldadora en el metal base, permitió identificar la zona ZAC, este se realizó en el área transversal del cordón de soldadura, la preparación fue de forma mecánica con una reacción química de Nital al 10% con agua regia.

### **3.4.5 Seguridad en el trabajo**

Todos los trabajos se realizaron cumpliendo estándares de seguridad, teniendo en cuenta el procedimiento de trabajo seguro (PETS), anexo 5, el cual indica la prevención que se tuvo que considerar en el desarrollo del proceso de soldadura. Se evaluó los riesgos y peligros además de las medidas de control, los cuales se plasmaron en el formato de IPERC, anexo 6.

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **4.1 Resultados de tratamiento y análisis de la información**

Se realizó de soldeo de probetas entre los aceros ASTM A-36 y CHRONIT T1, bajo procedimientos de soldadura basados en el código AWS D1.1:2020; mediante tres procesos de soldadura (SMAW, GTAW, FCAW) teniendo en cuenta los parámetros descritos anteriormente, a dichas probetas se les realizaron ensayos destructivos y ensayos no destructivos para analizar su salubridad, sus propiedades mecánicas y defectos producidos.

##### **4.1.1 Soldadura de acero ASTM A-36 y CHRONIT T1 mediante proceso de soldadura por arco eléctrico con electrodo revestido (SMAW)**

###### **a) Ensayos no destructivos (END)**

Los ensayos no destructivos son los primeros ensayos que se realizaron, algunos de ellos se dan en el mismo proceso de soldeo ya que este tipo de pruebas no alteran las propiedades de los materiales actuantes y se puede determinar fallas o discontinuidades prematuras.

- La inspección visual (VT) se realizó antes, durante y después del soldeo, este tipo de ensayo se utilizó para detectar discontinuidades superficiales o abiertas a la superficie, para este caso se realizó en todo el proceso de soldeo y después de las 72 horas, no se detectaron

discontinuidades relevantes, de esta manera cumple los criterios de aceptación de AWS D1.1M:2020 en el punto 6.10.1.1 (9 P.128)

- Otro método utilizado es el ensayo de ultrasonido (UT) el cual identifica discontinuidades a través del uso de ondas acústicas, en donde se estudia la propagación de la onda por el material. La inspección por ultrasonido se realizó después de las 72 horas de realizado el soldeo de planchas, se realizó con un equipo SIUI modelo SCAN -A; se obtuvo resultados satisfactorios cuya probeta estaba libre de discontinuidades, ver figura N°29, cumpliendo los criterios de aceptación establecido en la tabla 8.2 de la sección 8 de AWS D1.1M:2020 (9 P.240)



Figura 28. Probeta de soldadura por arco eléctrico con electrodo revestido SMAW.



Figura 29. Inspección de ultrasonido a probeta de soldadura por arco eléctrico con electrodo revestido SMAW.

**b) Dureza**

Las mediciones se realizaron en el área transversal en la zona del cordón en una porción de muestra de la probeta de soldadura y zona afectada por el calor, figura N°30, dando los siguientes valores, tabla N°10.

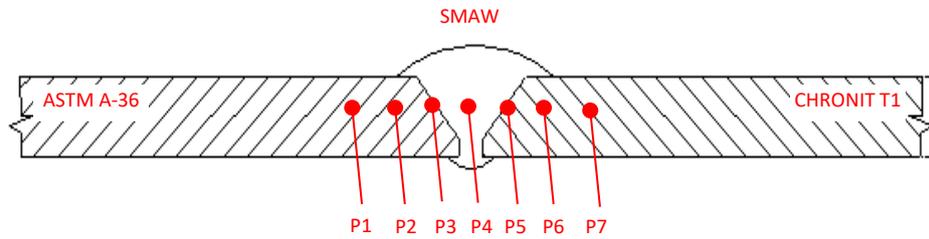


Figura 30. Puntos donde se tomaron la muestra para prueba de dureza.

Tabla 10. Valores de prueba de dureza probeta SMAW.

DUREZA - SMAW	
N° DE PRUEBA	VALOR (HB)
P1	130
P2	136
P3	150
P4	167
P5	179
P6	395
P7	390

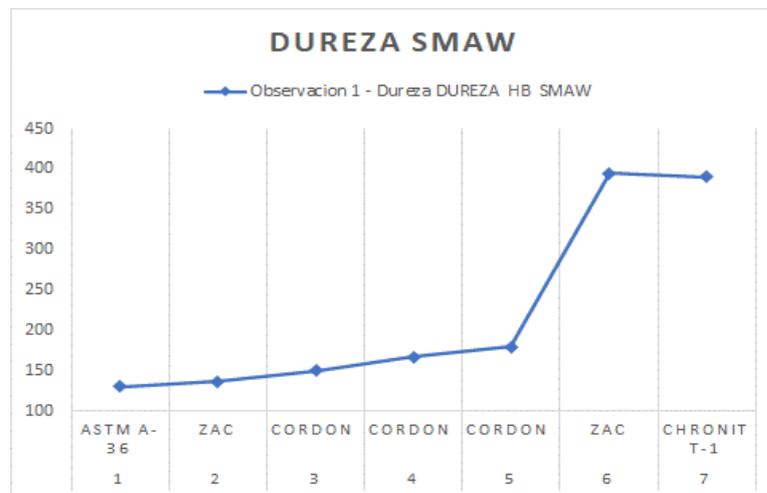


Gráfico1. Prueba de dureza probeta SMAW.



Figura 31. Prueba de dureza SMAW.

### c) Elasticidad

Se realizó el ensayo de tracción a dos secciones de probeta (M2, M3), figura N°32; estas se sometieron a una fuerza de tracción en dirección al eje de la probeta, aplicando dicha fuerza hasta llegar a la ruptura para determinar grados de elasticidad y fluencia. En estas probetas la ruptura se dio en el lado del acero ASTM A-36 dado que este es el material más dúctil cumpliendo el criterio de aceptación de AWS D1.1M:2020 en el punto 6.10.3.5 (9 P.129) El ensayo se realizó en el laboratorio de Soldexa-Lima. Dando los siguientes resultados, tabla N°11:



Figura 32. Secciones de probetas para ensayo de tracción, proceso SMAW. Autoría propia

Tabla 11. Valores resultados de ensayo a la tracción. Autoría propia basada en resultado de laboratorio.

Identificación de probetas (SMAW)	Sección Transversal			Límite de fluencia		Resistencia a la tracción	
	Ancho mm	Espesor mm	Área M m2	Fluencia N	Fluencia Mpa	Máxima N	Máxima Mpa
M2	19.35	12.10	234.10	90871	388	121841	520
M3	19.34	12.12	234.40	87408	373	122083	521

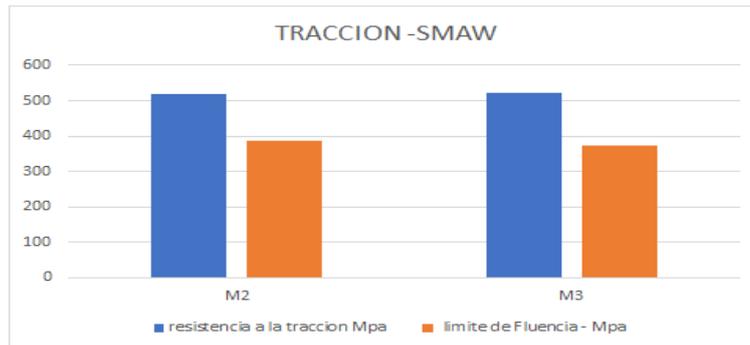
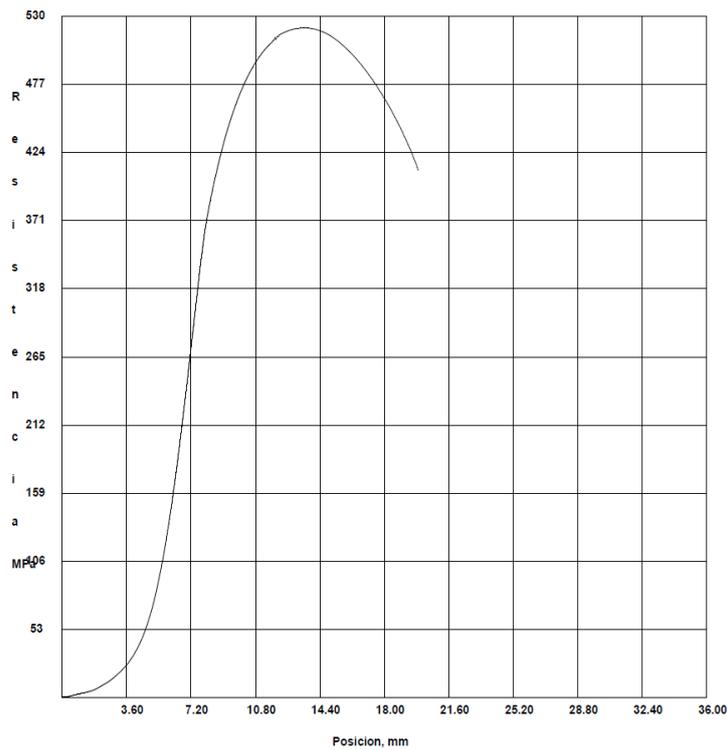


Gráfico 2. Prueba tracción SMAW.

SOLDEXA		INFORME DE ENSAYO DE TRACCIÓN		LAB-F-12						
UNA COMPAÑÍA ESAB				Edición 08						
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE-062										
Razón Social (Nombre Cliente) :	Departamento Técnico de Arequipa 1			 <p>Registro N° LE-062 Norma NTP-ISO/IEC 17025-2017</p>						
Dirección :	Calle Cayetano Arenas # 142 - Arequipa									
Teléfono :	054-234441 - Rpc 991-372-923									
Contacto :	Luis Ramos									
Referencia:	TECKTOMETAL S.A.C.									
Descripción de la Muestra:	Probetas PLANAS									
Fecha de Informe :	2021-10-20									
Informe de Ensayo N° :	ET-2021-348									
Identificación de las Probetas	Sección Transversal				Límite de Fluencia		Resistencia a la Tracción		% Elongación	
	Ancho mm	Espesor mm	Diámetro mm	Area mm²	Fluencia N	Fluencia Mpa	Máxima N	Máxima MPa		
T1	19.35	12.10	No Aplica	234.14	90871	388	121841	520	No Aplica	
T2	19.34	12.12	No Aplica	234.40	87408	373	122083	521	No Aplica	
Observaciones :										
Material Base: CHRONIT T1 400 - ASTM A 36										
Material de Aporte: AWS A5.5 E8018-C3										
Proceso: SMAW										
Posición: 3G										
Para la roturas ver gráfica adjunta.										
Las Dimensiones de las Probetas Si (X) / No ( ) Cumplen con la Norma:					AWS D1.1 - 2020					
Método de Ensayo :					ASTM A370-20					
Equipo Usado :					Marca Timus Oisen Super L 120 - N° Serie 173635					
Código Interno del Equipo :					LAB-E-041					
Temperatura de Ensayo (°C) :					21.8°C					
Nombre del Analista :					José Soto					
Fecha de Recepción de las Probetas :					2021-10-13					
Fecha de Ejecución de Ensayo :					2021-10-13					
<p>1.- Los datos del cliente, la identificación de las probetas e información adicional proporcionada por el cliente, queda bajo su responsabilidad.</p> <p>2. La Incertidumbre Expandida es 5 MPa (Tracción y Fluencia) y 1% (Elongación) para un Nivel de Confianza al 95% y un K=2.</p> <p>3. Prohibida la Reproducción Total o Parcial del Informe sin la Autorización escrita del Laboratorio de Soldexa.</p> <p>4. Los Resultados de este Informe solo son válidos para las Probetas Ensayadas.</p> <p>5. Los Resultados no deben ser utilizados como una Certificación de Conformidad con Norma de Producto o Certificación del Sistema de Calidad.</p>										
Antigua Panamericana Sur Km 38.5 - Lurin - Lima - Perú					Correo: jose.soto@esab.com.pe			Teléfono: 619-9600 Anexos 2240 - 2233		 <p>Jefe de Aseguramiento y Desarrollo de la Calidad Ing. Ronald Requejo Villanueva CIP: 101024</p>
										

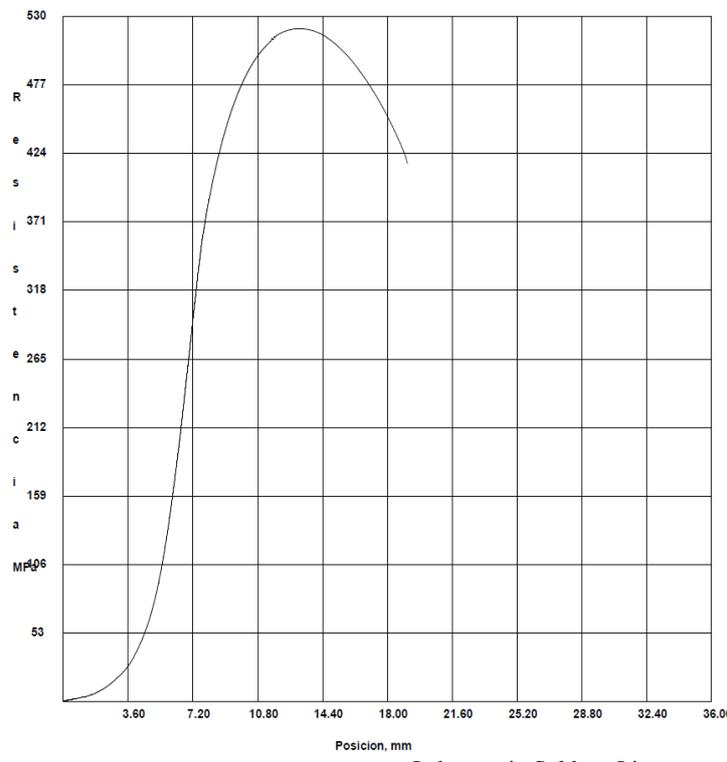
Figura 33. Informe ensayo de tracción SMAW. Laboratorio Soldexa Lima



**SOLDEX S.A.**  
**LAB-F-34 Edición 02**  
**Reporte y Gráfica Ensayo Tracción**  
**Lurín-Lima-Perú**

**ASTM A370-20**

Nº Ensayo:	ET-2021-348
Id. Probeta:	T2
a) Ancho, mm:	19.34
b) Espesor, mm:	12.12
Area, mm <sup>2</sup> :	234.40
c) Lon. Sec. Reducida, mm:	62.15
d) Lon. Sec. Agarre, mm:	140.00
e) Lon. Total Probeta, mm:	360.00
f) Radio, mm:	15.00
L. Fluencia, N:	87408
L. Fluencia, MPa:	373
Fuerza Máxima, N:	122083
R. Tracción, MPa:	521
Lo, mm:	0.00
Lf, mm:	0.00
% Elongación, %:	0
Fecha de Ensayo:	2021/10/13
Hora:	16:00
Tº Ensayo (°C):	21.8
Rotura:	Material Base
La Probeta:	Si Cumple
Norma Calificación:	AWS D1.1-2020
Analista:	José Soto
Revisado por:	Ing. Requejo



**SOLDEX S.A.**  
**LAB-F-34 Edición 02**  
**Reporte y Gráfica Ensayo Tracción**  
**Lurín-Lima-Perú**

**ASTM A370-20**

Nº Ensayo:	ET-2021-348
Id. Probeta:	T1
a) Ancho, mm:	19.35
b) Espesor, mm:	12.10
Area, mm <sup>2</sup> :	234.14
c) Lon. Sec. Reducida, mm:	62.85
d) Lon. Sec. Agarre, mm:	140.00
e) Lon. Total Probeta, mm:	360.00
f) Radio, mm:	15.00
L. Fluencia, N:	90871
L. Fluencia, MPa:	388
Fuerza Máxima, N:	121841
R. Tracción, MPa:	520
Lo, mm:	0.00
Lf, mm:	0.00
% Elongación, %:	0
Fecha de Ensayo:	2021/10/13
Hora:	15:58
Tº Ensayo (°C):	21.8
Rotura:	Material Base
La Probeta:	Si Cumple
Norma Calificación:	AWS D1.1-2020
Analista:	José Soto
Revisado por:	Ing. Requejo

Laboratorio Soldexa Lima

Figura 34. Gráfica de ensayos de tracción SMAW. Laboratorio Soldexa Lima

#### d) Ductilidad

Se realizó los ensayos correspondientes a las propiedades de ductilidad, los cuales son pruebas de doblez de cara (M5, M6) y doblez de raíz (M7, M8); consiste en someter a una probeta una carga aplicada por medio de un punzón de 38 mm, hasta obtener un doblez de 180°. El resultado obtenido en el ensayo es que en las probetas ensayadas no presentan ninguna discontinuidad relevante, dado esto, cumple satisfactoriamente el criterio de aceptación de la AWS D1.1M:2020 en el punto 6.10.3.3 (9 P.129)

El ensayo se realizó de en el laboratorio de Soldexa- Arequipa los resultados se describen en la tabla N°12 y se observan en la figura N°35.

Tabla 12. Resultados de ensayos de doblez SMAW. Autoría propia basada en reporte de laboratorio Soldexa Arequipa

N°	Dimensiones de muestra (SMAW)					Resultados
	Tipo de doblez	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Longitud (mm)	Discontinuidad	Resultados
M5	CARA	38	12.7	250	No Presenta	Conforme
M6	CARA	38	12.7	250	Grieta puntual <3mm	Conforme
M7	RAIZ	38	12.7	250	No Presenta	Conforme
M8	RAIZ	38	12.7	250	No Presenta	Conforme



Figura 35. Probetas ensayadas SMAW. Autoría propia, tomada como referencia de resultado de laboratorio.

#### e) Macrografía

Este ensayo nos indica la salubridad de la unión de soldadura, y se realizó el ensayo de macrografías a la cara transversal de la unión soldada, figura N°36, para determinar discontinuidades como fisuras, falta de fusión, geometría de la soldadura, y se obtuvo el siguiente resultado, tabla N°13.

Tabla 13. Resultados de ensayos de doblé, proceso SMAW. Autoría propia basada en reporte de laboratorio Soldexa Arequipa

N°	Proceso	Preparación	Solución reveladora	Pases	Resultado	Observaciones
M4	SMAW	Mecánica - pulido	Nital 10% - agua regia	Multipase	Aceptable	No se observan defectos en la soldadura ni en la zona ZAC

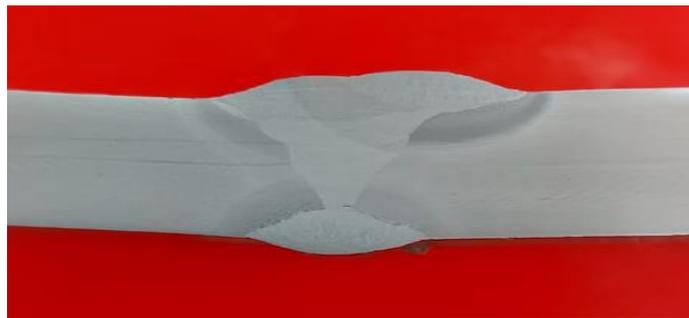


Figura 36. Macrografía de probeta SMAW. Resultado de laboratorio.

#### 4.1.2 Soldadura de acero ASTM A-36 y CHRONIT T1 mediante proceso de soldadura por arco eléctrico con núcleo de fundente (FCAW)

##### a) Ensayos no destructivos (END)

- La inspección visual (VT) se realizó antes, durante y después del soldeo, este tipo de ensayo se utilizó para detectar discontinuidades superficiales o abiertas a la superficie, para este caso se realizó en todo el proceso de soldeo y después de las 72 horas. Se detectaron pequeñas socavaciones, pero son consideradas como no relevantes por consiguiente se determina soldadura aceptable, de esta manera cumple los criterios de aceptación de AWS D1.1M:2020 en el punto 6.10.1.1 (9 P.128)



Figura 37. Probeta de soldadura por arco eléctrico con electrodo de fundente FCAW.

- El ensayo de ultrasonido (UT) en el cual identifica discontinuidades a través del uso de ondas acústicas, en donde se estudia la propagación de la onda por el material. La inspección por ultrasonido se realizó después de las 72 horas de realizado el soldeo de planchas, se realizó con un equipo SIUI modelo SCAN -A; se obtuvo resultados satisfactorios cuya probeta estaba libre de discontinuidades relevantes, como se muestra en la figura N°38, cumpliendo los criterios de aceptación establecido en la tabla 8.2 de la sección 8 de AWS D1.1M:2020 (9 P.240)



Figura 38. Inspección por ultrasonido - FCAW.

**b) Dureza**

Las mediciones se realizaron en el área transversal en la zona del cordón en una porción de muestra de la probeta de soldadura y zona afectada por el calor, figura N°39, dando los siguientes valores:

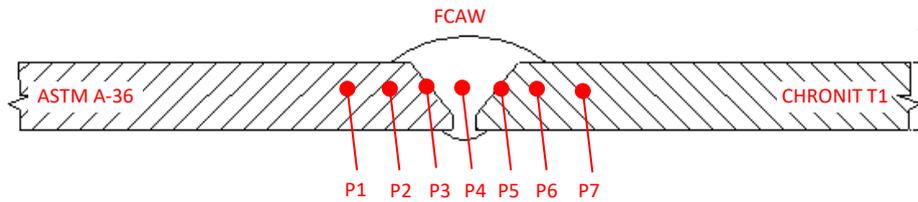


Figura 39. Puntos donde se tomaron la muestra para prueba de dureza.

Tabla 14. Valores de prueba de dureza probeta FCAW.

DUREZA -FCAW	
N° DE PRUEBA	VALOR (HB)
P1	125
P2	138
P3	145
P4	170
P5	175
P6	420
P7	410

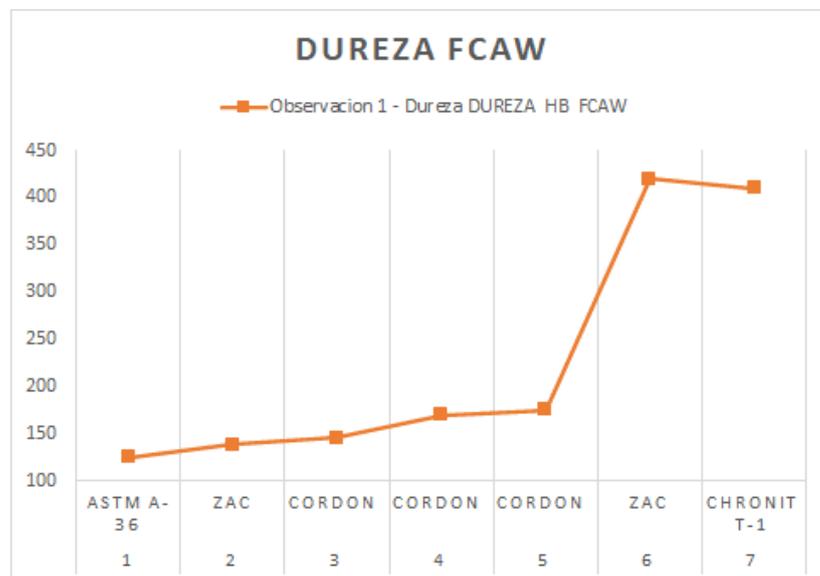


Gráfico 3. Prueba de dureza probeta FCAW.



Figura 40. Prueba de dureza FCAW.

### c) Elasticidad

Se realizó el ensayo de tracción a dos secciones de probeta (M10, M11), figura N°41; estas están sometidas a una fuerza de tracción en dirección al eje de la probeta, aplicando dicha fuerza hasta llegar a la ruptura para determinar grados de elasticidad, fluencia. En estas probetas la ruptura se dio en el lado del acero ASTM A-36 dado que este es el material más dúctil cumpliendo el criterio de aceptación de AWS D1.1M:2020 en el punto 6.10.3.5 (9 P.129) El ensayo se realizó en el laboratorio de Soldexa-Lima. Dando los siguientes resultados, tabla N°15:



Figura 41. Probetas para ensayo de tracción, proceso FCAW.

Tabla 15. Valores resultados de ensayo a la tracción, proceso FCAW. Autoría propia basada en resultado de laboratorio

Identificación de probetas (FCAW)	Sección Transversal			Límite de fluencia		Resistencia a la tracción	
	Ancho mm	Espesor mm	Área Mm <sup>2</sup>	Fluencia N	Fluencia Mpa	Máxima N	Máxima Mpa
M10	19.75	12.95	255.76	94615	370	123860	484
M11	19.95	12.12	240.40	97797	407	125803	523

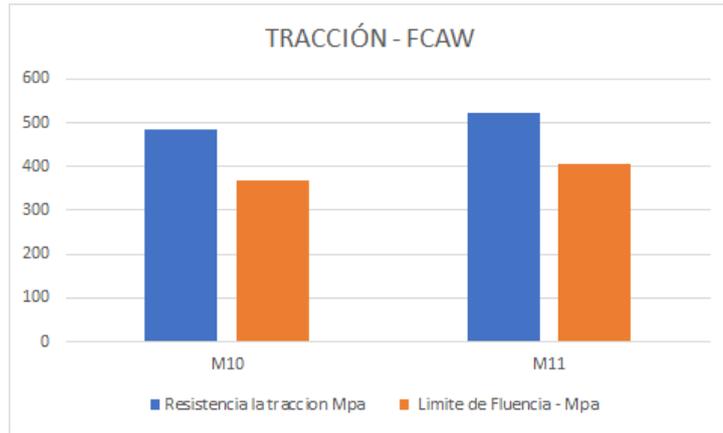
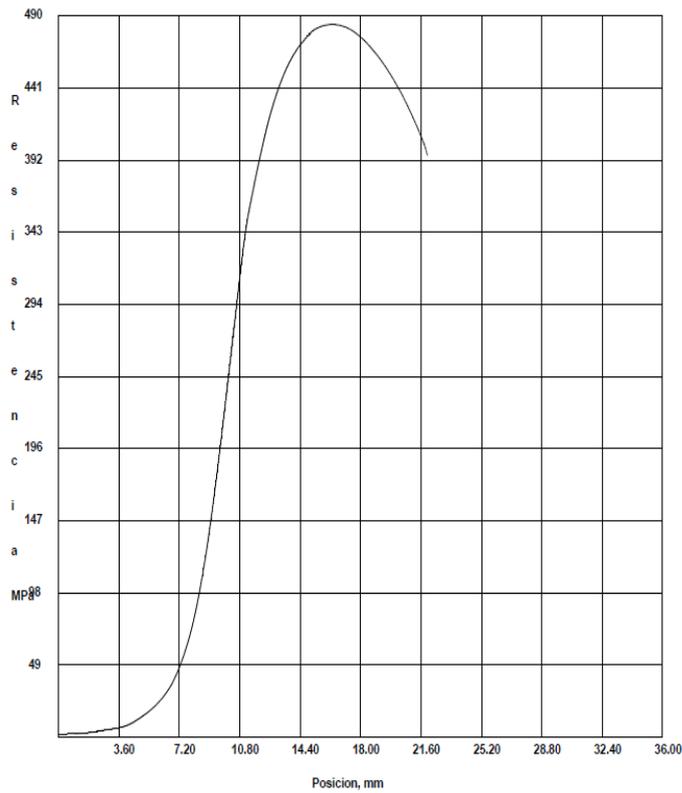


Gráfico 4. Prueba tracción FCAW.

SOLDEXA UNA COMPANIA ESAB		INFORME DE ENSAYO DE TRACCIÓN		LAB-F-12						
				Edición 08						
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE-052										
Razón Social (Nombre Cliente):		Departamento Técnico de Arequipa 1		 <p>INACAL DA - Perú Laboratorio de Ensayo Acreditado</p> <p>Registro N° LE - 052 Norma NTP-ISO/IEC 17025-2017</p>						
Dirección:		Calle Cayetano Arenas # 142 - Arequipa								
Teléfono:		054-234441 - Rpc 991-372-923								
Contacto:		Luis Ramos								
Referencia:		TECKTOMETAL S.A.C.								
Descripción de la Muestra:		Probetas Planas								
Fecha de Informe:		2021-10-20								
Informe de Ensayo N°:		ET-2021-350								
Identificación de las Probetas		Sección Transversal		Limite de Fluencia		Resistencia a la Tracción		% Elongación		
		Ancho mm	Espesor mm	Diámetro mm	Area mm²	Fluencia N	Fluencia Mpa		Máxima N	Máxima MPa
T1		19.75	12.95	No Aplica	255.76	94615	370	123800	484	No Aplica
T2		19.95	12.05	No Aplica	240.40	97797	407	125803	523	No Aplica
Observaciones:										
Material Base: CHRONIT T1 400 - ASTM A 36										
Material de Aporte: AWS A5.29 E81T1-Ni1C / E81T1-Ni1M										
Proceso: FCAW										
Posición: 3G										
Para la roturas ver gráfica adjunta.										
Las Dimensiones de las Probetas Si (X) / No ( ) Cumplen con la Norma:						AWS D1.1 - 2020				
Método de Ensayo:		ASTM A370-20								
Equipo Usado:		Marca Timius Olsen Super L 120 - N° Serie 173635								
Código Interno del Equipo:		LAB-E-041								
Temperatura de Ensayo (°C):		21.8°C								
Nombre del Analista:		José Soto								
Fecha de Recepción de las Probetas:		2021-10-13								
Fecha de Ejecución de Ensayo:		2021-10-13								
						 <p>Jefe de Aseguramiento y Desarrollo de la Calidad Ing. Ronald Requejo Villanueva CIP: 101024</p>				
<p>1.- Los datos del cliente, la identificación de las probetas e información adicional proporcionada por el cliente; queda bajo su responsabilidad.</p> <p>2. La Incertidumbre Expandida es 5 MPa (Tracción y Fluencia) y 1% (Elongación) para un Nivel de Confianza al 95% y un K=2.</p> <p>3. Prohibida la Reproducción Total o Parcial del Informe sin la Autorización escrita del Laboratorio de Soldexa.</p> <p>4. Los Resultados de este Informe solo son válidos para las Probetas Ensayadas.</p> <p>5. Los Resultados no deben ser utilizados como una Certificación de Conformidad con Norma de Producto o Certificación del Sistema de Calidad.</p>										
Antigua Panamericana Sur Km 38.5 - Lurin - Lima - Perú				Correo: jose.soto@esab.com.pe				Teléfono: 619-9600 Anexos 2240 - 2233		
										

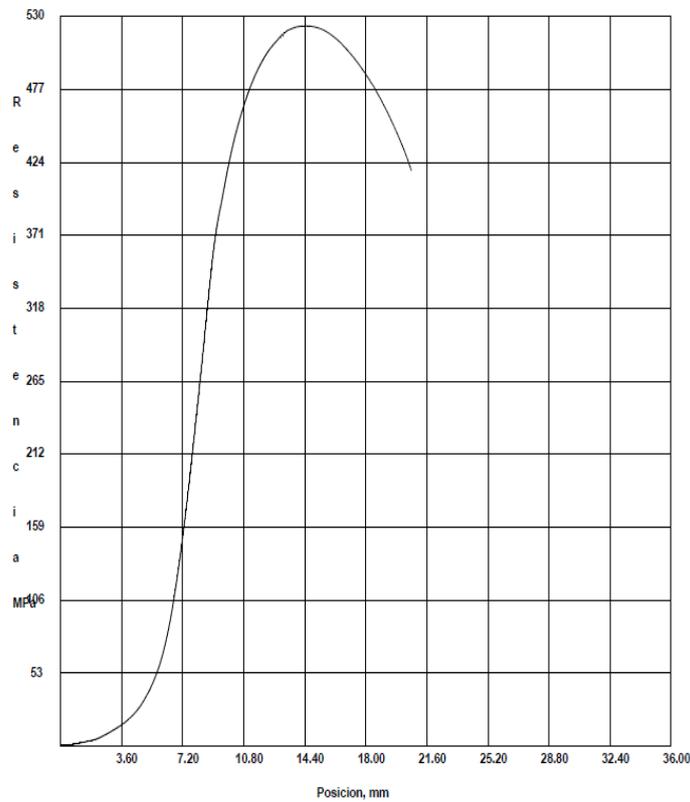
Figura 42. Informe ensayo de tracción FCAW. Elaboración propia, desarrollado en laboratorio Soldexa Lima



**SOLDEX S.A.**  
**LAB-F-34 Edición 02**  
**Reporte y Gráfica Ensayo Tracción**  
**Lurín-Lima-Perú**

**ASTM A370-20**

N° Ensayo:	ET-2021-350
Id. Probeta:	T1
a) Ancho, mm:	19.75
b) Espesor, mm:	12.95
Area, mm²:	255.76
c) Lon.Sec.Reducida, mm:	62.30
d) Lon.Sec.Agarre, mm:	140.00
e) Lon.Total Probeta, mm:	360.00
f) Radio, mm:	15.00
L. Fluencia, N:	94615
L. Fluencia, MPa:	370
Fuerza Máxima, N:	123860
R. Tracción, MPa:	484
Lo, mm:	0.00
Lf, mm:	0.00
% Elongación, %:	0
Fecha de Ensayo:	2021/10/13
Hora:	16:08
T° Ensayo (°C):	21.8
Rotura:	Material Base
La Probeta:	Si Cumple
Norma Calificación:	AWS D1.1-2020
Analista:	José Soto
Revisado por:	Ing.Requejo



**SOLDEX S.A.**  
**LAB-F-34 Edición 02**  
**Reporte y Gráfica Ensayo Tracción**  
**Lurín-Lima-Perú**

**ASTM A370-20**

N° Ensayo:	ET-2021-350
Id. Probeta:	T2
a) Ancho, mm:	19.95
b) Espesor, mm:	12.05
Area, mm²:	240.40
c) Lon.Sec.Reducida, mm:	59.30
d) Lon.Sec.Agarre, mm:	140.00
e) Lon.Total Probeta, mm:	360.00
f) Radio, mm:	15.00
L. Fluencia, N:	97797
L. Fluencia, MPa:	407
Fuerza Máxima, N:	125803
R. Tracción, MPa:	523
Lo, mm:	0.00
Lf, mm:	0.00
% Elongación, %:	0
Fecha de Ensayo:	2021/10/13
Hora:	16:10
T° Ensayo (°C):	21.8
Rotura:	Material Base
La Probeta:	Si Cumple
Norma Calificación:	AWS D1.1-2020
Analista:	José Soto
Revisado por:	Ing.Requejo

Figura 43. Gráfica de ensayos de tracción FCAW. laboratorio Soldexa Lima

#### d) Ductilidad

Se realizó los ensayos correspondientes a las propiedades de ductilidad, los cuales son pruebas de doblez de cara (M13, M14) y doblez de raíz (M15, M16); consiste en someter a una probeta una carga aplicada por medio de un punzón de 38 mm, hasta obtener un doblez de 180°. El resultado obtenido en el ensayo es que en las probetas ensayadas no presentan ninguna discontinuidad relevante, dado esto, cumple satisfactoriamente el criterio de aceptación de la AWS D1.1M:2020 en el punto 6.10.3.3 (9 P.129)

El ensayo se realizó de en el laboratorio de Soldexa- Arequipa los resultados se describen en la tabla N°16 y se observan en la figura N°44.

Tabla 16. Resultados de ensayos de doblez FCAW. Elaboración propia basada en reporte de laboratorio Soldexa Arequipa

N°	Dimensiones de muestra (FCAW)				Resultados	
	Tipo de doblez	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Longitud (mm)	Discontinuidad	Resultados
M13	CARA	38	12.7	250	No Presenta	Conforme
M14	CARA	38	12.7	250	No Presenta	Conforme
M15	RAIZ	38	12.7	250	No Presenta	Conforme
M16	RAIZ	38	12.7	250	No Presenta	Conforme



Figura 44. Probetas ensayadas FCAW. Autoría propia tomada como referencia de resultado de laboratorio

#### e) Macrografía

Este ensayo nos indica la salubridad de la unión de soldadura, se realizó el ensayo de macrografías a la cara transversal de la unión soldada, ver la

figura N°45, para determinar discontinuidades como fisuras, falta de fusión dando el resultado siguiente, tabla N°17:

Tabla 17. Resultados de ensayos de macrografía, proceso FCAW. Autoría propia basada en reporte de laboratorio Soldexa Arequipa

N°	Proceso	Preparación	Solución reveladora	Pases	Resultado	Observaciones
M4	FCAW	Mecánica - pulido	Nital 10% - agua regia	Multipase	Aceptable	No se observan defectos en la soldadura ni en la zona ZAC



Figura 45. Macrografía de probeta FCAW. Elaboración propia tomada como referencia de resultado de laboratorio

#### 4.1.3 Soldadura de acero ASTM A-36 y CHRONIT T1 mediante soldadura por arco bajo gas protector con electrodo de tungsteno (GTAW)

##### a) Ensayos no destructivos (END)

- La inspección visual (VT) se realizó antes, durante y después del soldeo, este tipo de ensayo se utiliza para detectar discontinuidades



Figura 46. Probeta de soldadura por arco eléctrico con electrodo revestido GTAW.

superficiales o abiertas a la superficie; para este caso se realizó en todo el proceso de soldeo y después de las 72 horas, no se detectaron discontinuidades relevantes, de esta manera cumple los criterios de aceptación de AWS D1.1M:2020 en el punto 6.10.1.1 (9 P.128)

- El otro método utilizado es el ensayo de ultrasonido (UT), identifica discontinuidades a través del uso de ondas acústicas, en donde se estudia la propagación de la onda por el material. La inspección por ultrasonido se realizó después de las 72 horas de realizado el soldeo de planchas, se realizó con un equipo SIUI modelo SCAN -A; se obtuvo resultados satisfactorios cuya probeta estaba libre de discontinuidades, figura N°47, cumpliendo los criterios de aceptación establecido en la tabla 8.2 de la sección 8 de AWS D1.1M:2020 (9 P.240)



Figura 47. Inspección de ultrasonido a probeta de soldadura por arco eléctrico con electrodo revestido GTAW.

#### **b) Dureza**

Las mediciones se realizaron en el área transversal, en la zona del cordón en una porción de muestra de la probeta de soldadura y zona afectada por el calor, figura N°48, dando los siguientes valores:

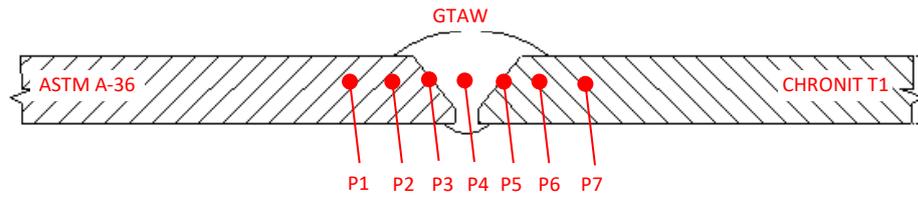


Figura 48. Puntos donde se tomaron la muestra para prueba de dureza.

Tabla 18. Valores de prueba de dureza probeta GTAW. A.

DUREZA - GTAW	
N° DE PRUEBA	VALOR (HB)
P1	126
P2	140
P3	149
P4	172
P5	174
P6	403
P7	395

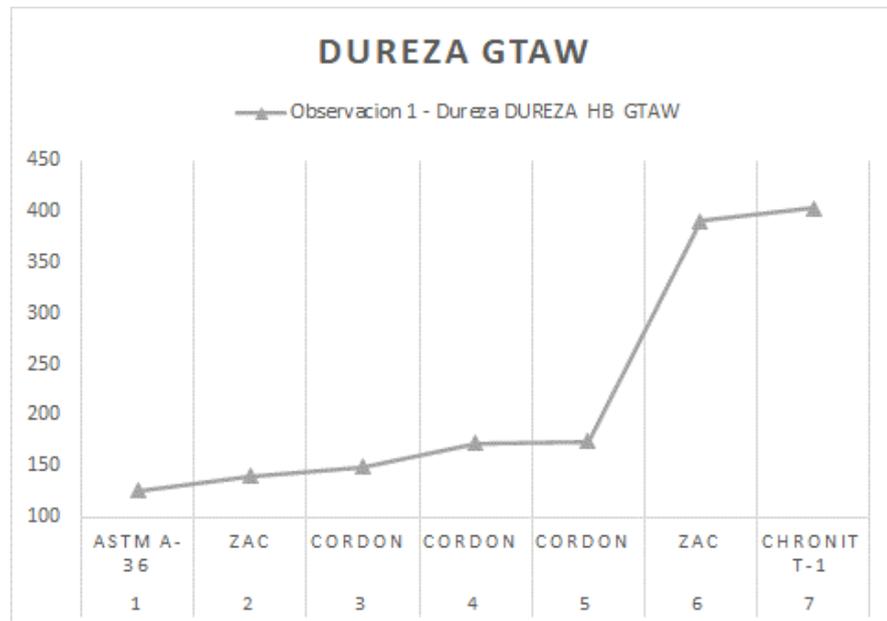


Gráfico 5. Prueba de dureza probeta GTAW.



Figura 49. Prueba de dureza GTAW. Autoría propia

### c) Elasticidad

Se realizó el ensayo de tracción a dos secciones de probeta (M18, M19), figura N°50, estas están sometidas a una fuerza de tracción en dirección al eje de la probeta, aplicando dicha fuerza hasta llegar a la ruptura para determinar grados de elasticidad y fluencia. En estas probetas la ruptura se dio en el lado del acero ASTM A-36 dado que este es el material más dúctil cumpliendo el criterio de aceptación de AWS D1.1M:2020 en el punto 6.10.3.5 (9 P.129). El ensayo se realizó en el laboratorio de Soldexa-Lima. Dando los siguientes resultados, tabla N°19:



Figura 50. Secciones de probetas para ensayo de tracción.

Tabla 19. Valores resultados de ensayo a la tracción. Autoría propia basada en resultado de laboratorio

Identificación de probetas (GTAW)	Sección Transversal			Límite de fluencia		Resistencia a la tracción	
	Ancho mm	Espesor mm	Área Mm <sup>2</sup>	Fluencia N	Fluencia Mpa	Máxima N	Máxima Mpa
M18	19.20	12.9	247.68	78635	317	120640	487
M19	19.95	12.9	250.97	90480	361	121709	485

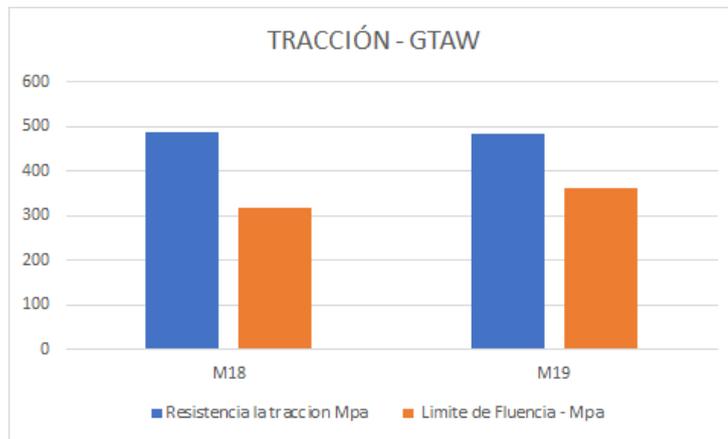
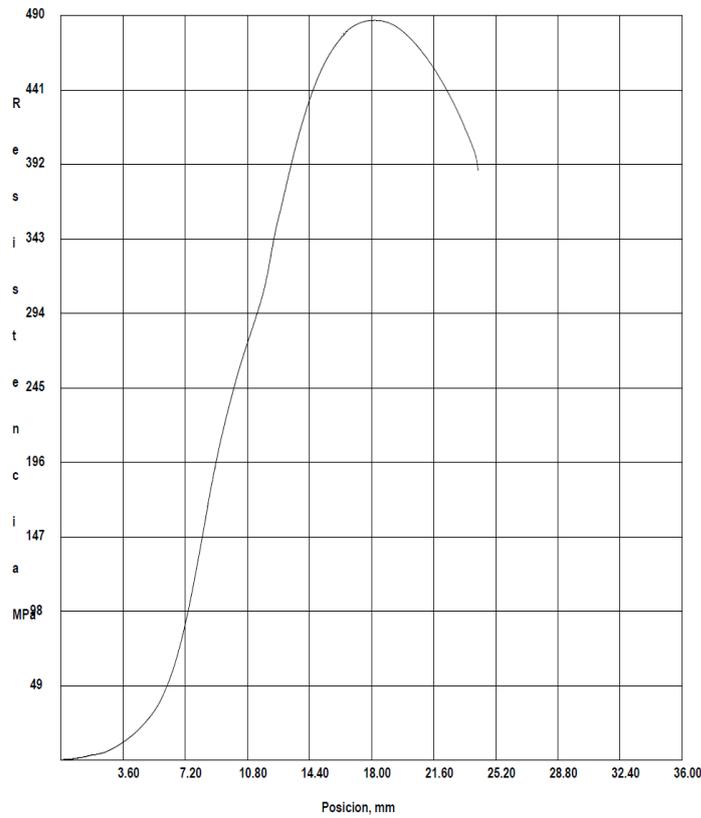


Gráfico 6. Prueba tracción SMAW.

SOLDEXA		INFORME DE ENSAYO DE TRACCIÓN		LAB-F-12					
UNA COMPAÑIA ESAB				Edición 08					
<b>LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE-062</b>									
Razón Social (Nombre Cliente):	Departamento Técnico de Arequipa 1		 INACAL DA - Perú Laboratorio de Ensayo Acreditado Registro N° I.F. - 052 Norma NTP-ISO/IEC 17025-2017						
Dirección:	Calle Cayetano Arenas # 142 - Arequipa								
Teléfono:	054-234441 - Rpc.991-372-923								
Contacto:	Luis Ramos								
Referencia:	TECKTOMETAL S.A.C.								
Descripción de la Muestra:	Probetas Planas								
Fecha de Informe:	2021-10-20								
Informe de Ensayo N°:	ET-2021-349								
Identificación de las Probetas	Sección Transversal				Límite de Fluencia		Resistencia a la Tracción		% Elongación
	Ancho mm	Espesor mm	Diámetro mm	Area mm²	Fluencia N	Fluencia Mpa	Máxima N	Máxima MPa	
T1	19.20	12.90	No Aplica	247.68	78635	317	120640	487	No Aplica
T2	19.38	12.95	No Aplica	250.97	90480	361	121709	485	No Aplica
Observaciones:									
Material Base: CHRONIT T1 400 a ASTM A 36									
Material de Aporte: AWS A 5.18 ER70S-6									
Proceso: GTAW									
Posición: 3G									
Para la roturas ver gráfica adjunta.									
Las Dimensiones de las Probetas <b>Si (X) / No ( )</b> Cumplen con la Norma:					AWS D1.1 - 2020				
Método de Ensayo:	ASTM A370-20								
Equipo Usado:	Marca Tinius Olsen Super L 120 - N° Serie 173635								
Código Interno del Equipo:	LAB-E-041								
Temperatura de Ensayo (°C):	21.8°C								
Nombre del Analista:	José Soto								
Fecha de Recepción de las Probetas:	2021-10-13								
Fecha de Ejecución de Ensayo:	2021-10-13								
 Jefe de Aseguramiento y Desarrollo de la Calidad Ing. Ronald Requejo Villanueva CIP: 101024									
1.-Los datos del cliente, la identificación de las probetas e información adicional proporcionada por el cliente; queda bajo su responsabilidad. 2. La Incertidumbre Expandida es 5 MPa (Tracción y Fluencia) y 1% (Elongación) para un Nivel de Confianza al 95% y un K=2. 3. Prohibida la Reproducción Total o Parcial del Informe sin la Autorización escrita del Laboratorio de Soldexa. 4. Los Resultados de este Informe solo son válidos para las Probetas Ensayadas. 5. Los Resultados no deben ser utilizados como una Certificación de Conformidad con Norma de Producto o Certificación del Sistema de Calidad.									
Antigua Panamericana Sur Km 38.5 - Lurín - Lima - Perú			Correo: jose.soto@esab.com.pe			 Teléfono: 619-9600 Anexos 2240 - 2233			

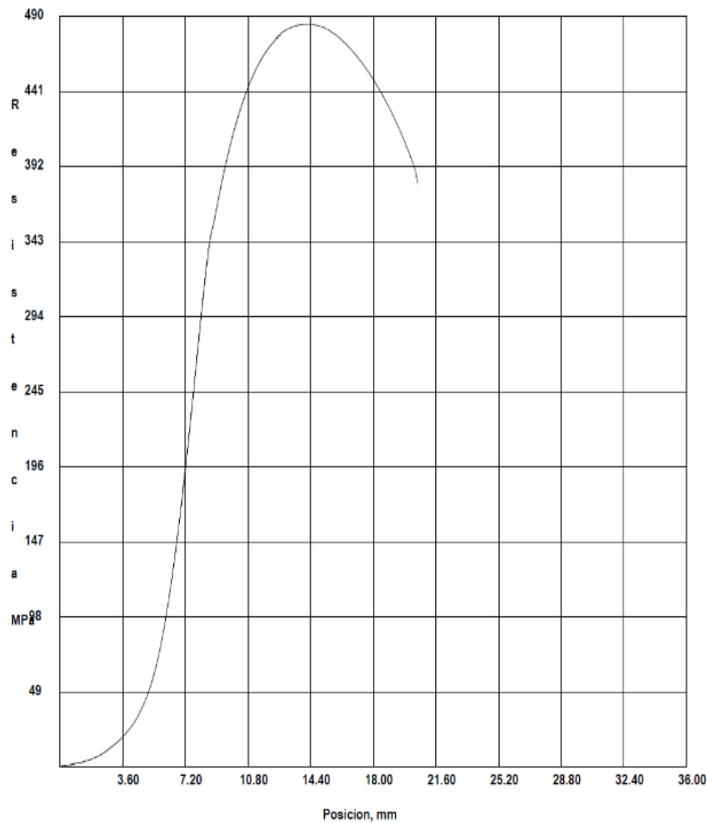
Figura 51. Informe ensayo de tracción GTAW. Laboratorio Soldexa Lima



**SOLDEX S.A.**  
**LAB-F-34 Edición 02**  
**Reporte y Gráfica Ensayo Tracción**  
**Lurín-Lima-Perú**

**ASTM A370-20**

Nº Ensayo: ET-2021-349  
 Id. Probeta: T1  
 a) Ancho, mm: 19.20  
 b) Espesor, mm: 12.90  
 Area, mm<sup>2</sup>: 247.70  
 c) Lon.Sec.Reducida, mm: 62.70  
 d) Lon.Sec.Agarre, mm: 140.00  
 e) Lon.Total Probeta, mm: 360.00  
 f) Radio, mm: 15.00  
 L. Fluencia, N: 78635  
 L. Fluencia, MPa: 317  
 Fuerza Máxima, N: 120640  
 R. Tracción, MPa: 487  
 Lo, mm: 0.00  
 Lf, mm: 0.00  
 % Elongación, %: 0  
 Fecha de Ensayo: 2021/10/13  
 Hora: 16:03  
 Tº Ensayo (°C): 21.8  
 Rotura: Material Base  
 La Probeta: Si Cumple  
 Norma Calificación: AWS D1.1-2020  
 Analista: José Soto  
 Revisado por: Ing.Requejo



**SOLDEX S.A.**  
**LAB-F-34 Edición 02**  
**Reporte y Gráfica Ensayo Tracción**  
**Lurín-Lima-Perú**

**ASTM A370-20**

Nº Ensayo: ET-2021-349  
 Id. Probeta: T2  
 a) Ancho, mm: 19.38  
 b) Espesor, mm: 12.95  
 Area, mm<sup>2</sup>: 250.97  
 c) Lon.Sec.Reducida, mm: 61.00  
 d) Lon.Sec.Agarre, mm: 140.00  
 e) Lon.Total Probeta, mm: 360.00  
 f) Radio, mm: 15.00  
 L. Fluencia, N: 90480  
 L. Fluencia, MPa: 361  
 Fuerza Máxima, N: 121709  
 R. Tracción, MPa: 485  
 Lo, mm: 0.00  
 Lf, mm: 0.00  
 % Elongación, %: 0  
 Fecha de Ensayo: 2021/10/13  
 Hora: 16:05  
 Tº Ensayo (°C): 21.8  
 Rotura: Material Base  
 La Probeta: Si Cumple  
 Norma Calificación: AWS D1.1-2020  
 Analista: José Soto  
 Revisado por: Ing.Requejo

Figura 52. Grafica de ensayos de tracción GTAW. laboratorio Soldexa Lima

#### d) Ductilidad

Se realizó los ensayos correspondientes a las propiedades de ductilidad, los cuales son pruebas de doblez de cara (M21, M22) y doblez de raíz (M23, M24); consiste en someter a una probeta una carga aplicada por medio de un punzón de 38 mm, hasta obtener un doblez de 180°. El resultado obtenido en el ensayo es que en las probetas ensayadas no presentan ninguna discontinuidad relevante, dado esto, cumple satisfactoriamente el criterio de aceptación de la AWS D1.1M:2020 en el punto 6.10.3.3 (9 P.129).

El ensayo se realizó de en el laboratorio de Soldexa- Arequipa los resultados se describen en la tabla N°20 y se observa en la figura N°53.



Figura 53. Probetas ensayadas GTAW. Autoría propia tomada como referencia de resultado de laboratorio

Tabla 20. Resultados de ensayos de doblez GTAW. Autoría propia basada en reporte de laboratorio Soldexa Arequipa

N°	Dimensiones de muestra (SMAW)				Resultados	
	Tipo de doblez	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Longitud (mm)	Discontinuidad	Resultados
M21	CARA	38	12.7	250	Grieta puntual <3mm	Conforme
M22	CARA	38	12.7	250	No Presenta	Conforme
M23	RAIZ	38	12.7	250	Grieta puntual <3mm	Conforme
M24	RAIZ	38	12.7	250	No Presenta	Conforme

### e) Macrografía

Este ensayo nos indica la salubridad de la unión de soldadura, se realizó el ensayo de macrografías a la cara transversal de la unión soldada, ver figura N°54, para determinar discontinuidades como fisuras y falta de fusión dando el resultado siguiente, tabla N°21.

Tabla 21. Resultados de ensayos de macrografía Proceso GTAW.

N°	Proceso	Preparación	Solución reveladora	Pases	Resultado	Observaciones
M4	GTAW	Mecánica - pulido	Nital 10% - agua regia	Multipase	Aceptable	No se observan defectos en la soldadura ni en la zona ZAC

Autoría propia basada en reporte de laboratorio Soldexa Arequipa.



Figura 54. Macrografía de probeta GTAW. Autoría propia tomada como referencia de resultado de laboratorio

#### 4.1.4 Observaciones de Muestras

##### a) Observación 1- Dureza

Respecto a la dureza se observó que el valor de la dureza para el acero ASTM A-36 está dentro del rango de dureza otorgados por el fabricante de aceros, en cambio la dureza para el CHRONIT T1-400 estuvo por debajo de los datos otorgados por el fabricante. La dureza en los cordones de soldadura es muy similar en los diferentes procesos, teniendo un poco más de dureza el proceso FCAW. Se observó que en zonas de fusión y zona ZAC de los diferentes procesos presentan un mínimo incremento en la dureza.

Tabla 22. Observación de resultados de ensayos de dureza. Elaboración propia.

DATOS DEL FABRICANTE	
MATERIAL	DUREZA HB
ASTM A-36	120-135
CHRONIT T-1	420-480

OBSERVACIÓN 1 - Dureza				
Punto de muestra	Zona de muestra	DUREZA HB		
		SMAW	FCAW	GTAW
1	ASTM A-36	130	125	126
2	ZAC	136	138	140
3	FUSIÓN	150	145	149
4	CORDON	167	170	172
5	FUSIÓN	179	175	174
6	ZAC	395	415	403
7	CHRONIT T-1	390	410	395

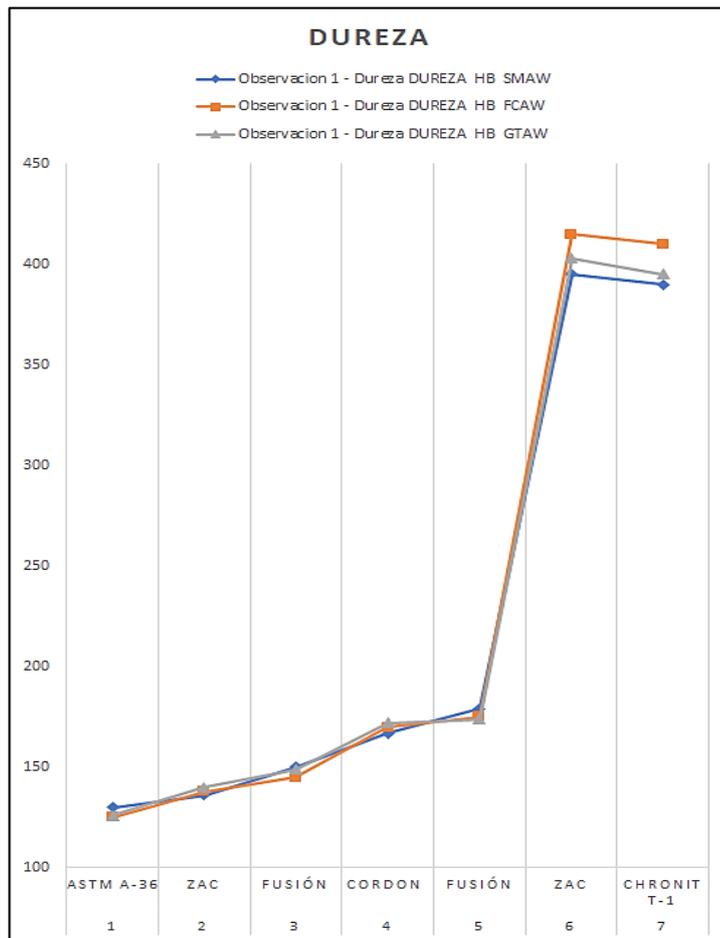


Gráfico 7. Comparativa prueba de Dureza.

Como se puede observar en la tabla N°22, las tomas de dureza en las probetas nos muestran resultados similares para los tres tipos de proceso, además de apreciar que hay un fenómeno en la zona ZAC de las tres probetas, un ligero incremento de dureza.

### b) Observación 2- Elasticidad

Se observó que en la elasticidad o pruebas de tracción la rotura de todas las probetas se dio en el lado del ASTM A-36, esto para los tres procesos; la resistencia a la tracción está dentro el rango de valores otorgados por el fabricante, la probeta que obtuvo más resistencia a la tracción fue en el proceso FCAW.

El límite de fluencia en todos los casos fue mayor que el precisado por el fabricante siendo una probeta de FCAW la cual presentó mayor límite de fluencia con respecto a los otros procesos.

Tabla 23. Observación de resultados de ensayos de elasticidad. Autoría propia basada en reporte de laboratorio Soldexa Lima

DATOS DEL FABRICANTE		
	Límite de fluencia Mpa	Resistencia a la tracción Mpa
ASTM A-36	>250	400-550
CHRONIT T-1	>1163	1316
SMAW (E8018)	>470	560-650
FCAW (T-115)	>420	500-640
GTAW (ER70S-6)	810	662

Observación 2 - Elasticidad						
	Procesos					
	SMAW		FCAW		GTAW	
	M2	M3	M10	M11	M18	M19
Área - mm <sup>2</sup>	234.1	234.4	255.76	240.4	247.68	250.97
Límite de Fluencia - Mpa	388	373	370	407	317	361
Resistencia a la tracción - Mpa	520	521	484	523	487	485
Zona de rotura	ASTM A-36					

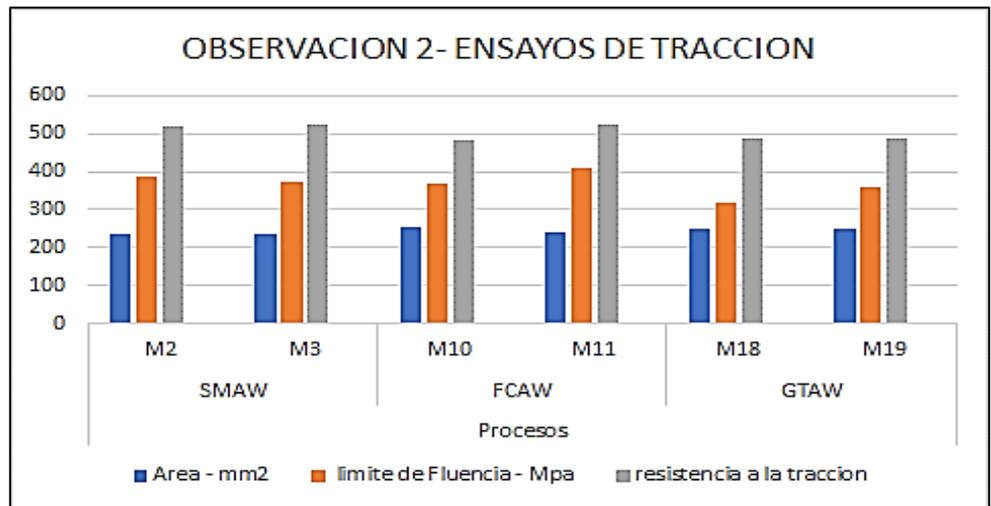


Gráfico 8 Comparativa ensayos de tracción.

### c) Observación 3 - Macrografía

Como se observa en la figura N°55, en los tres procesos se tuvo penetración y fusión completa en los pases de relleno, así como en el cordón de respaldo, en la probeta de SMAW tuvo una penetración de 2mm con una ZAC que

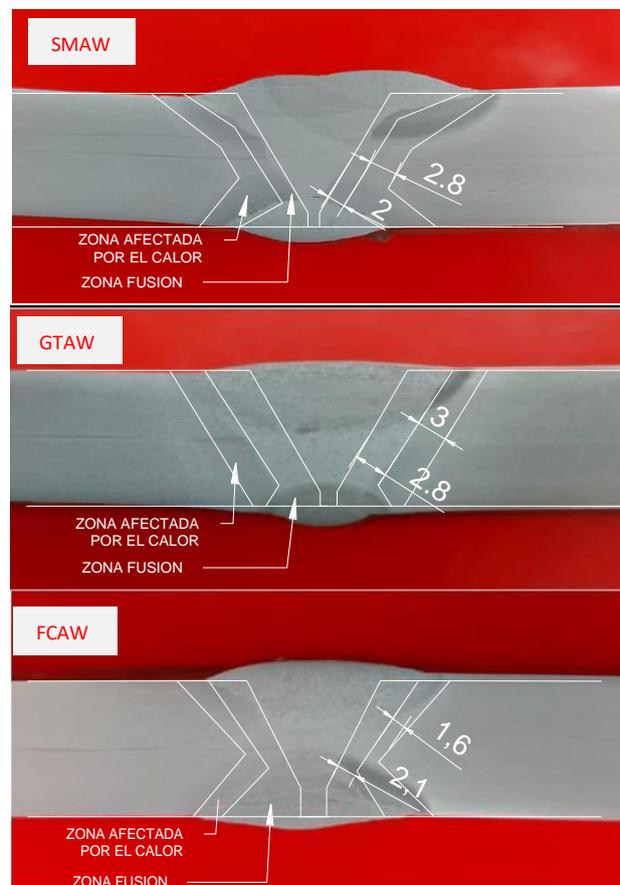


Figura 55. Probetas de macrografía. Autoría propia tomada como referencia de resultado de laboratorio

alcanza aproximadamente 4.8mm, se observó que uno de los cordones de acabado no está simétrico al eje de la probeta. La probeta de GTAW presenta una penetración de 2.8 mm con una ZAC que alcanza aproximadamente a 5.8 mm. La probeta de FCAW presenta una penetración de 2.1 mm con una ZAC de has 3.7 mm, se observó que la probeta FCAW es la que menos penetración presentó con relación a la geometría original de la probeta, pero la que más penetración presentó en el cordón de respaldo.

**d) Observación 4 - Ductilidad**

Se observó que los resultados de las probetas de los tres procesos tuvieron diferencias en cuanto a las discontinuidades, la probeta GTAW presentó dos discontinuidades a comparación de la probeta de SMAW que tan solo presento una discontinuidad y la probeta de FCAW no presentó discontinuidad alguna; dichas discontinuidades son grietas que no superan los 3mm, medida necesaria que indica la norma para poder ser rechazados, por consiguiente, se da su conformidad, ver tabla N°24.

Tabla 24. Observación de resultados de ensayos de ductilidad. Autoría propia basada en reporte de laboratorio Soldexa Arequipa.

Observación 3 - Ductilidad				
	PROBETA	TIPO DE DOBLEZ	DISCONTINUIDAD	RESULTADO
SMAW	M5	CARA	NO PRESENTA	CONFORME
	M6	CARA	GRIETA PUNTUAL < 3mm	CONFORME
	M7	RAIZ	NO PRESENTA	CONFORME
	M8	RAIZ	NO PRESENTA	CONFORME
FCAW	M13	CARA	NO PRESENTA	CONFORME
	M14	CARA	NO PRESENTA	CONFORME
	M15	RAIZ	NO PRESENTA	CONFORME
	M16	RAIZ	NO PRESENTA	CONFORME
GTAW	M21	CARA	GRIETA PUNTUAL <3mm	CONFORME
	M22	CARA	NO PRESENTA	CONFORME
	M23	RAIZ	GRIETA PUNTUAL <3mm	CONFORME
	M24	RAIZ	NO PRESENTA	CONFORME

### e) Observación 5- Análisis económico

Se realizó un comparativo económico entre los tres procesos de soldadura, en donde se observó que los costos del proceso GTAW está por encima de los procesos SMAW y FCAW, dado al elevado costo de sus materiales y mano de obra, observar tabla N°25.

Tabla 25. Observación de resultados de análisis económico.

MATERIAL	SMAW		FCAW		GTAW	
	CANTIDAD	PRECIO	CANTIDAD	PRECIO	CANTIDAD	PRECIO
Plancha Chronit T1 750mm x 180mm x 1/2"	1 ud	S/ 195.00	1 ud	S/ 195.00	1 ud	S/ 195.00
Placha ASTM A-36 750mm x 181 mm x 12mm	1 ud	S/ 90.00	1 ud	S/ 90.00	1 ud	S/ 90.00
Electrodo de tungsteno	--	--	--	--	3 ud	S/ 54.00
Material de aporte	2 kg	S/ 70.00	1.6 kg	S/ 50.00	2 kg	S/ 50.00
Corte de material	1 ud	S/ 40.00	1 ud	S/ 40.00	1 ud	S/ 40.00
Gas portector	--	--	0.5 m <sup>3</sup>	S/ 30.00	2.5 m <sup>3</sup>	S/ 105.00
Refuerzos pl 3/8"	6 uds	S/ 60.00	6 uds	S/ 60.00	6 uds	S/ 60.00
Disco de corte de 7"	1 ud	S/ 10.00	1 ud	S/ 10.00	1 ud	S/ 10.00
Disco de desbaste de 7"	1 ud	S/ 12.50	1 ud	S/ 12.50	1 ud	S/ 12.50
Disco de corte de 4"	4 uds	S/ 20.00	4 uds	S/ 20.00	4 uds	S/ 20.00
Disco de desbaste de 4"	1 ud	S/ 10.00	1 ud	S/ 10.00	1 ud	S/ 10.00
Horas máquina	2.5 h	S/ 80.00	1.5 h	S/ 120.00	4 h	S/ 250.00
Horas hombre	2.5 h	S/ 100.00	1.5 h	S/ 80.00	4 h	S/ 160.00
Inspeccion visual	1 ud	S/ 300.00	1ud	S/ 300.00	1ud	S/ 300.00
Inspeccion por ultrasonido	1 ud	S/ 1,000.00	1 ud	S/ 1,000.00	1 ud	S/ 1,000.00
Ensayo de doblez	4 uds	S/ 600.00	4 uds	S/ 600.00	4 uds	S/ 600.00
Ensayo de Traccion	2 uds	S/ 1,200.00	2 uds	S/ 1,200.00	2 uds	S/ 1,200.00
Ensayo de Macrografia	1 ud	S/ 800.00	1 ud	S/ 800.00	1 ud	S/ 800.00
Ensayo de dureza	1 ud	S/ 300.00	1 ud	S/ 300.00	1 ud	S/ 300.00
Maquinado de especimenes par ensayos	7 uds	S/ 550.00	7 uds	S/ 550.00	7 uds	S/ 550.00
		S/ 5,437.50		S/ 5,467.50		S/ 5,806.50

**Nota:** los montos considerado son el prorrateo de acuerdo a cantidad y/o tiempo utilizado especificamente para el desarrollo de las probetas de soldadura

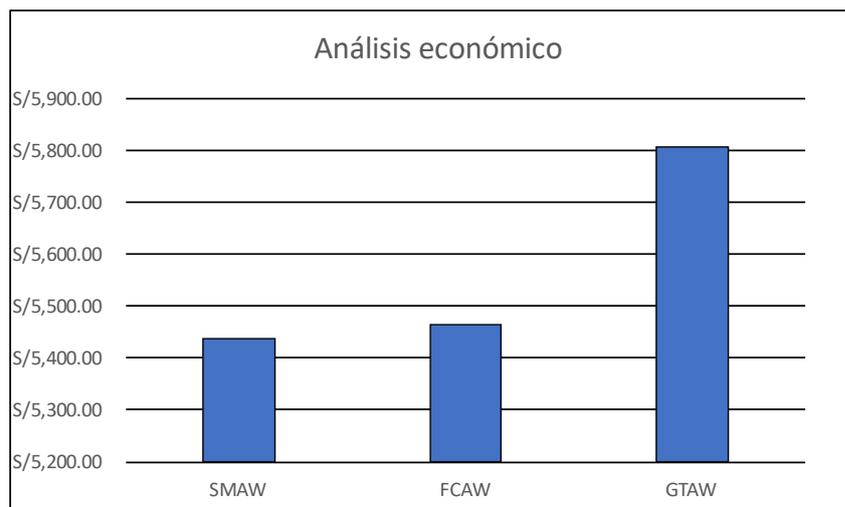


Gráfico 9. Comparativa de análisis económico.

## 4.2 Discusión de resultados

De acuerdo con los resultados obtenidos, se corrobora la hipótesis planteada, que el proceso de soldadura por arco con núcleo fundente (FCAW) es el que presentó mejores propiedades mecánicas como resistencia a tracción, ductilidad y depósito de soldadura de alta calidad en la unión entre los aceros ASTM A-36 y CHRONIT T1.

Estos resultados guardan relación con los resultados que sostuvieron León (2016) concerniente a la dureza, indica que, en la zona afectada por el calor del acero estructural, el valor de la dureza se va incrementando conforme está más cerca del cordón de soldadura; además con Gómez Y Bello (2020) que su resultado de sus pruebas de dureza son muy similares a las estipuladas por el fabricante. Al igual que en los trabajos descritos el incremento de la dureza en la zona de soldadura no es muy acrecentada, pero si es considerable dado las características del acero anti abrasivo, estos datos están plasmados en la tabla N°22 del presente trabajo

En lo concerniente al precalentamiento, los resultados guardan relación con Aspilicueta (2014) donde indicó que valores teóricos obtenidos de la temperatura de precalentamiento por el método Seferian, fueron los más adecuados a comparación de otros métodos de cálculos de temperatura de precalentamiento; y con Oruna, Fernández (2020) donde concluyó que la temperatura de precalentamiento optima es de 145°C, presentando una buena soldabilidad en el proceso de soldadura, implicando que no presentará riesgos de fisuraciones en frío, debido a la importancia sobre el efecto de precalentar las juntas soldadas para evitar la velocidad de enfriamiento alta en el cordón de soldadura, mayores niveles de endurecimiento en el área afectada por el calor, y con esto no existiría la necesidad de un tratamiento post-soldadura. Todo esto es acorde al presente trabajo dado la importancia del precalentamiento, se optó por el método Seferian y se precalentó las probetas de soldeo a una temperatura aproximada de 165°C, el precalentamiento como en los trabajos descritos es un factor determinante para las propiedades mecánicas por eso de su control adecuado en todo el proceso de soldadura.

En el trabajo de León (2016) concerniente a las pruebas de tracción, los resultados de esta prueba como era de esperarse se dieron en la junta del lado del acero

estructural, al igual que Gómez Y Bello (2020) donde concluyó que en sus ensayos de tracción el resultado fue de 580 Mpa y la rotura se dio en el acero estructural A-36; de la misma manera con Hernández (2019) que en el ensayo de tensión de la junta soldada muestra que todas las muestras presentaron un valor de deformación superior al valor establecido por el material base, todo está acorde al presente trabajo que al igual que en los trabajos descritos, la rotura del ensayo de tracción se dio en la plancha estructural en este caso en el acero ASTM A-36. Pero no concuerda el presente trabajo con el de Gómez Y Bello (2020), es que utilizan probetas de tracción que no están normadas para la calificación de procedimiento bajo código AWS D1.1 con el que están trabajando.

Con respecto a las pruebas de ductilidad, no concuerda con el de Gómez Y Bello (2020) en el cual especifica que las pruebas de dobléz de cara y de raíz, se realizan transversalmente cuando el código AWS D1.1 en el que se está basando sugiere que, para para materiales de bases disimiles con propiedades mecánicas diferentes las pruebas de dobléz se tiene realizar de forma longitudinal como se desarrolló en el presente trabajo y los resultados están plasmado en la tabla N°24.

## CONCLUSIONES

- 1.- En esta tesis se identificó los efectos de las soldaduras en las propiedades mecánicas de la unión entre los aceros ASTM A-36 y CHRONIT T1, a través de ensayos no destructivos tales como: inspección visual, inspección por ultrasonido y ensayos destructivos como ensayos de tracción, ensayo de doblez, ensayo de metalografía y ensayo de dureza; todos estos ensayos fueron basados en el código AWS D1.1. Se confirmó la hipótesis donde el proceso FCAW es el que presenta mejores propiedades mecánicas.
- 2.- Se analizó las uniones soldadas a través de ensayos no destructivos aplicando inspección visual (VT) e inspección por ultrasonido (PT), para este trabajo los resultados fueron aceptables, no se encontraron discontinuidades; se concluye que estos tipos de ensayos no destructivos son básicos y primordiales, dado que si no superan estas primeras pruebas no se podrá realizar los ensayos destructivos.
- 3.- Se determinó la resistencia a la tracción que presenta las uniones soldadas de cada uno de los procesos, en todos estos la ruptura se suscitó en el lado del metal base el ASTM A-36, tenido como máximo valor en la resistencia a la tracción de 523 Mpa en el proceso FCAW, este valor por encima de los valores establecido por el fabricante.
- 4.- Se realizaron las pruebas de doblez para determinar la ductilidad de los materiales bases y de la soldadura, se concluye que las probetas de doblez sean de manera longitudinal; en este trabajo el proceso de soldadura FCAW estuvo excepta de discontinuidades de ningún tipo, por el contrario, donde se presentaron más discontinuidades fue el proceso GTAW esto fue por la concentración de calor que tiene este proceso.
- 5.- Se analizó macro gráficamente las probetas de soldadura para cada tipo de proceso, en donde se analizó la penetración y geometría de la soldadura, siendo el proceso GTAW el cual muestra tener mejores propiedades de penetración y a su vez el respeta mejor la geometría de diseño.

6.- Se determinó la dureza en las zonas de las uniones soldadas, los cuales tiene mucha similitud entre ellas, pero en las zonas contiguas al cordón de soldadura se tuvo un leve incremento de la dureza tanto en el ASTM A-36 como el CHRONIT T1.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 MARIN, C. *Aceros Especiales Antiabrasion*. Una Batalla Contra El Desgaste. Revista Metal Actual. Edicion 2009, Vol. 13. 20-26 pp.
- 2 OSPINA, R; Aguirre, H, Parra, H. *Soldabilidad en aceros inoxidable y aceros disimiles*. Scientia Et Technica. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira, 2007, 273-278 pp. [fecha de consulta: 29 de junio de 2021]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84934046>
- 3 GÓMEZ, W; BELLO, C. *Procedimiento de soldadura en la unión del acero CHRONIT T1-500 y el acero ASTM A 36 bajo la norma AWS D1. 1/D1. 1: 2015 para la reparación de arados de maquinaria agrícola*. Lima: Universidad Cesar Vallejo, 2020. 89pp.
- 4 ASPILCUETA, A. *Determinación de la temperatura de precalentamiento utilizando el método TEKKEN a fin de prevenir la figuración en frio en la unión de planchas Cronit T – 1*. Arequipa: Universidad San Agustín, 2014. 156 pp.
- 5 HERNÁNDEZ, V. *Análisis de la soldabilidad y propiedades mecánicas de una plancha de acero anti abrasivo grado 450 mediante el proceso GMAW*. Quito: Escuela Politécnica Nacional, 2019. 107pp
- 6 LEO, D. *Caracterización microestructural y mecánica de una soldadura disímil de aceros inoxidable y aceros al carbono*. CDMX: Instituto Politécnico Nacional, 2016. 87 pp.
- 7 LARRY, J. *Soldadura, principios y aplicaciones*. 5ª Ed. Madrid, 2009. 918pp. ISBN:978-84-283-2937-8.
- 8 HERNÁNDEZ, G. *Manual del soldador*, 15ª ed. Madrid CESOL, 2006.
- 9 AWS D.1. *Código de soldadura Estructural. D1.1M:2020*. Estados Unidos de América. 2019. 698pp
- 10 RODRIGUEZ, H. *Metodología de la soldadura*. La Habana. Editorial Universitaria, 2013. 196 pp. SBN 978-959-16-2101-6.
- 11 OERLIKON. *Manual de soldadura*. Lima
- 12 AWS A3.0. *Definiciones y términos estándar de las soldaduras*. A3.0:2010 Estados Unidos de América. 2009. 174 pp.

- 13 SANCHEZ, M. *Soldadura: herramientas tipos y más*. Lima. Editorial Mirbet. 2006. 136pp. ISBN 978-9972-2738-3-4
- 14 OXGASA. *Manual del soldador*. 2000. 88pp
- 15 De Vedia, L; Svoboda, H. *INTRODUCCIÓN A LA METALURGIA DE LA SOLDADURA*. 2004
- 16 SOLDEXA. *Proceso de soldadura FCAW*. [En línea]. Soldexa. [fecha de consulta: 30 de Julio de 2021] [www.soldexa.com.pe/soldexa/sp/education/blog/proceso-de-soldadura-fcaw-bondades-limitaciones-comparacion-con-otros-procesos-de-soldadura.cfm](http://www.soldexa.com.pe/soldexa/sp/education/blog/proceso-de-soldadura-fcaw-bondades-limitaciones-comparacion-con-otros-procesos-de-soldadura.cfm)
- 17 INDURA. *Manual de sistemas y materiales de soldadura*. Chile. Ograma. 2007. 175pp.
- 18 FITZGERAL, R. *Mecánica de Materiales*. México. Alfaomega. 2007. 576pp. ISBN 970-15-0154-3.
- 19 MOTT, R. *Diseño de elementos de máquinas*. 4ta Edición. México. Pearson educación. 2006. 944pp. ISBN 970-26-0812-0.
- 20 AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. *Standard Specification for Carbon Structural Steel*. American Society for Testing and Materials West Conshohocken. 2014. 3pp
- 21 BOHLER. *Manual de aceros especiales*. Aceros Bohler del Perú. 29pp
- 22 ORUNA, P; FERNANDEZ, J. *Estudio del área afectada por el calor en los aceros al carbono, por efecto de precalentamiento y soldadura*. Nuevo Chimbote: Universidad Nacional del Salta, 2020. 95pp
- 23 LOPEZ, S. *Diseño de una metodología de soldadura al arco eléctrico con electrodo revestido para aleaciones de aceros disímiles*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, 2019. 210pp.
- 24 NORTON, R. *Diseño de máquinas*. Cuarta edición. México. Pearson educación. 2011. 88pp. ISBN: 978-607-32-0589-4
- 25 HERNADEZ, R. *Metodología de la investigación*. Sexta edición. México D.F. MCGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES. 2014. 634pp. ISBN: 978-1-4562-2396-0.
- 26 CEGARRA, J. *Metodología de la Investigación Científica y Tecnológica*. Madrid, Diaz de Santos, 2004.

## ANEXOS

### Anexo 1: Plano de distribución de anexos.



Figura 56. Distribución de especímenes para ensayos. Autoría propia basado en código AWS D1.1

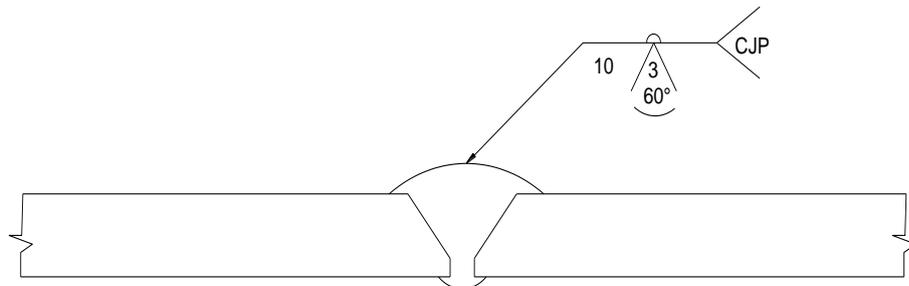


Figura 57. Simbología de probetas de soldadura. Autoría propia basado en código AWS D1.1

## Anexo 2: Reportes de ensayos de dobles

<b>Reporte de Ensayo de Doble, Nick Break, Fractura y Macro-ataque</b>	Página 1 de 1
--	---------------

Nro de reporte: REP-DG-02

Contratista: TECKTOMETAL SAC

Lugar de ensayo: Instalaciones Soldexa, Arequipa

Fecha de ensayo: 04/10/21

Realizado por: Luis Ramos Huacán

Cantidad de muestras y ensayos:	Doble de cara (DC)	2	Doble de raíz (DR)	2
	Doble de lado (DL)	-	Nick break (NB)	-
	Fractura (F)	-	Macro-ataque (MA)	-

DIMENSIONES DE LAS MUESTRAS						RESULTADOS DE ENSAYO	
N°	Código de muestra	Tipo de muestra	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Longitud (mm)	Discontinuidades	Resultado
1	D1	DC	38	12.7	250	No presenta	C
2	D2	DC	38	12.7	250	No presenta	C
3	D3	DR	38	12.7	250	No presenta	C
4	D4	DR	38	12.7	250	No presenta	C

### REGISTRO FOTOGRÁFICO DE MUESTRAS ENSAYADAS



Conforme = C      No conforme = NC

### OBSERVACIONES:

- Las muestras ensayadas fueron proporcionadas por TECKTOMETAL SAC
- Especificación del metal base de la muestra CHRONIT T1 400 & ASTM A36
- Para los ensayos de doblez, se utilizó punzón de 38mm de diámetro.
- 
- 
- 
- Los ensayos fueron realizados y evaluados conforme a los requerimientos del código o especificación AWS D1.1, 2020, Structural Welding Code - Steel
- La contratista declara que las muestras ensayadas corresponden a probetas para la calificación del procedimiento de soldadura, soldador, operador de soldadura o apuntalador según requerimientos del código o especificación aplicable.

Figura 58. Informe ensayo de doblez FCAW.  
Laboratorio Soldexa Arequipa

<b>Reporte de Ensayo de Doble, Nick Break, Fractura y Macro-ataque</b>	Página 1 de 1
--	---------------

Nro de reporte: **REP-DG-03**

Contratista: **TECKTOMETAL SAC**

Lugar de ensayo: **Instalaciones Soldexa, Arequipa**

Fecha de ensayo: **04/10/21**

Realizado por: **Luis Ramos Huacán**

Cantidad de muestras y ensayos:	Doble de cara (DC)	<b>2</b>	Doble de raíz (DR)	<b>2</b>
	Doble de lado (DL)	-	Nick break (NB)	-
	Fractura (F)	-	Macro-ataque (MA)	-

DIMENSIONES DE LAS MUESTRAS						RESULTADOS DE ENSAYO	
N°	Código de muestra	Tipo de muestra	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Longitud (mm)	Discontinuidades	Resultado
1	D1	DC	38	12.7	250	Grietas puntuales < 3mm	C
2	D2	DC	38	12.7	250	No presenta	C
3	D3	DR	38	12.7	250	Grietas puntuales < 3mm	C
4	D4	DR	38	12.7	250	No presenta	C

REGISTRO FOTOGRÁFICO DE MUESTRAS ENSAYADAS



Conforme =C    No conforme = NC

**OBSERVACIONES:**

1. Las muestras ensayadas fueron proporcionadas por TECKTOMETAL SAC
2. Especificación del metal base de la muestra CHRONIT T1 400 & ASTM A36
3. Para los ensayos de doble, se utilizó punzón de 38mm de diámetro.
4. Muestras D1 y D3 presentan grietas puntuales < 3mm en cara exterior.
5. -
6. -
7. Los ensayos fueron realizados y evaluados conforme a los requerimientos del código o especificación AWS D1.1, 2020, Structural Welding Code - Steel
8. La contratista declara que las muestras ensayadas corresponden a probetas para la calificación del procedimiento de soldadura, soldador, operador de soldadura o apuntalador según requerimientos del código o especificación aplicable.

Figura 59. Informe ensayo de doble GTAW. laboratorio Soldexa Arequipa

Nro de reporte: REP-DG-01

Contratista: TECKTOMETAL SAC

Lugar de ensayo: Instalaciones Soldexa, Arequipa

Fecha de ensayo: 04/10/21

Realizado por: Luis Ramos Huacán

Cantidad de muestras y ensayos:	Doble de cara (DC)	2	Doble de raíz (DR)	2
	Doble de lado (DL)	-	Nick break (NB)	-
	Fractura (F)	-	Macro-ataque (MA)	-

DIMENSIONES DE LAS MUESTRAS						RESULTADOS DE ENSAYO	
N°	Código de muestra	Tipo de muestra	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Longitud (mm)	Discontinuidades	Resultado
1	D1	DC	38	12.7	250	No presenta	C
2	D2	DC	38	12.7	250	Grieta puntual < 3mm	C
3	D3	DR	38	12.7	250	No presenta	C
4	D4	DR	38	12.7	250	No presenta	C

REGISTRO FOTOGRÁFICO DE MUESTRAS ENSAYADAS



Conforme =C      No conforme = NC

**OBSERVACIONES:**

1. Las muestras ensayadas fueron proporcionadas por TECKTOMETAL SAC
2. Especificación del metal base de la muestra CHRONII T1 400 & ASTM A36
3. Para los ensayos de doblez, se utilizó punzón de 38mm de diámetro.
4. Muestra D2 presenta grieta puntual < 3mm en cara lateral.
5. -
6. -
7. Los ensayos fueron realizados y evaluados conforme a los requerimientos del código o especificación AWS D1.1, 2020, Structural Welding Code - Steel
8. La contratista declara que las muestras ensayadas corresponden a probetas para la calificación del procedimiento de soldadura, soldador, operador de soldadura o apuntalador según requerimientos del código o especificación aplicable.

Figura 60. Informe ensayo de doblez SMAW. Laboratorio Soldexa Arequipa

### Anexo 3: Informes de ensayos de macrografía

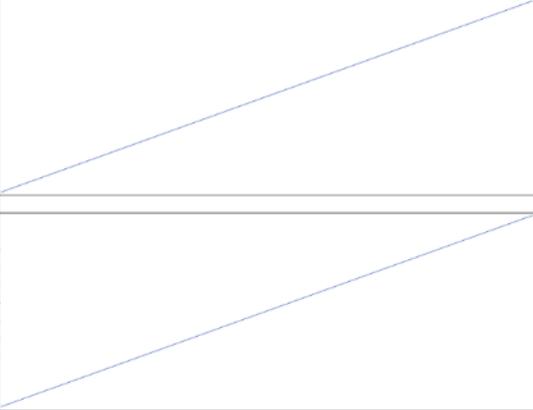
SOLDEXA LIMA, COLOMBIA Y BARRANCO		INFORME DE ENSAYO DE MACROGRAFÍA				LAB-F-56
1. Informe de Ensayo N°:		EM-2021-012	2. Fecha de Informe:	2021-10-20	3. Descripción de Ensayo:	Edición 02
4. Nombre de Cliente:		Departamento Técnico de Arequipa	5. Referencia:	TECKTOMETAL S.A.C.	6. Persona de Contacto:	Macrografía
7. Descripción de Muestra:		Probeta Soldada	8. Material Base:	CHRONIT T1 400-ASTM A36	9. Material de Aporte:	Luis Ramos
10. Proceso de Soldadura:		FCAW	11. Posición:	3G	12. Soldador:	Ver. Obs.
13. Normas de Ensayo Aplicadas:		AWS D1.1 - 2020	14. Analista:	José Solo	15. T° Ensayo (°C):	No Indica
16. Fecha-Recepción de Muestra:		2021-10-13	17. Fecha Ensayo:	2021-03-05	18. Solución Reveladora:	21.1°C
19. Fotografías		M1				
						
<p>20. Equipos Empleados:</p> <p>Equipos de desbaste y pulido (abrasivos), Pie de Rey Digital CC-M-063 Cámara Fotográfica Digital.</p>						
21. Resultados:						
Muestra	Penetración	Resultados				
M1	Fusión Completa - No Presenta Defectos	Aceptable				
22. Observaciones:						
Material Aporte: AWS A5.29-E81T1-NiC-E81T1-Ni1M		 Jefe de Aseguramiento y Desarrollo de la Calidad. Ing. Ronald Requejo Villanueva CIP-101024				
Prohibida la Reproducción total o parcial del Informe sin la autorización escrita del Laboratorio de SOLDEXA. Antigua Panamericana Sur Km 38.5 Lurin - Lima - Perú - Teléfono : 619-9600 Anexo 2240-2233 - Rpc 987-530-549						

Figura 61. Informe ensayo de macrografía FCAW. Laboratorio Soldexa Lima

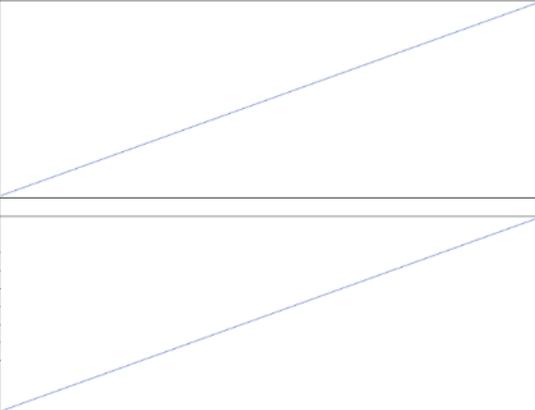
SOLDEXA LIMA, COLOMBIA Y BARRANCO		INFORME DE ENSAYO DE MACROGRAFÍA				LAB-F-56
1. Informe de Ensayo N°:		EM-2021-010	2. Fecha de Informe:	2021-10-20	3. Descripción de Ensayo:	Edición 02
4. Nombre de Cliente:		Departamento Técnico de Arequipa	5. Referencia:	TECKTOMETAL S.A.C.	6. Persona de Contacto:	Macrografía
7. Descripción de Muestra:		Probeta Soldada	8. Material Base:	CHRONIT T1 400-ASTM A36	9. Material de Aporte:	Luis Ramos
10. Proceso de Soldadura:		GTAW	11. Posición:	3G	12. Soldador:	AWS A5.18-ER70S-6
13. Normas de Ensayo Aplicadas:		AWS D1.1 - 2020	14. Analista:	José Solo	15. T° Ensayo (°C):	No Indica
16. Fecha-Recepción de Muestra:		2021-10-13	17. Fecha Ensayo:	2021-03-05	18. Solución Reveladora:	21.1°C
19. Fotografías		M1				
						
<p>20. Equipos Empleados:</p> <p>Equipos de desbaste y pulido (abrasivos), Pie de Rey Digital CC-M-063 Cámara Fotográfica Digital.</p>						
21. Resultados:						
Muestra	Penetración	Resultados				
M1	Fusión Completa - No Presenta Defectos	Aceptable				
22. Observaciones:						
		 Jefe de Aseguramiento y Desarrollo de la Calidad. Ing. Ronald Requejo Villanueva CIP-101024				
Prohibida la Reproducción total o parcial del Informe sin la autorización escrita del Laboratorio de SOLDEXA. Antigua Panamericana Sur Km 38.5 Lurin - Lima - Perú - Teléfono : 619-9600 Anexo 2240-2233 - Rpc 987-530-549						

Figura 62. Informe ensayo de macrografía GTAW. Laboratorio Soldexa Lima

<b>SOLDEXA</b> <small>LIMAS COOPERATIVA S.A.S.</small>		<b>INFORME DE ENSAYO DE MACROGRAFÍA</b>				LAB-F-56
						Edición 02
1. Informe de Ensayo N°:	EM-2021-011	2. Fecha de Informe:	2021-10-20	3. Descripción de Ensayo:	Macrografía	
4. Nombre de Cliente:	Departamento Técnico de Arequipa	5. Referencia:	TECKTOMETAL S.A.C.	6. Persona de Contacto:	Luis Ramos	
7. Descripción de Muestra:	Probeta Soldada	8. Material Base:	CHRONIT T1 400-ASTM A36	9. Material de Aporte:	AWS A5.5-E9018-C3	
10. Proceso de Soldadura:	SMAW	11. Posición:	3G	12. Soldador:	No Indica	
13. Normas de Ensayo Aplicadas:	AWS D1.1 - 2020	14. Analista:	José Soto	15. T° Ensayo (°C):	21 °C	
16. Fecha-Recepción de Muestra:	2021-10-13	17. Fecha Ensayo:	2021-03-06	18. Solución Reveladora:	Nital 10% - Agua Regia	
19. Fotografías	<b>M1</b>					
						
20. Equipos Empleados:						
Equipos de desbaste y pulido (abrasivos), Pie de Rey Digital CC-M-063						
Cámara Fotográfica Digital.						
21. Resultados:						
Muestra	Penetración	Resultados				
M1	Fusión Completa - No Presenta Defectos	Aceptable				
22. Observaciones:						
 Jefe de Aseguramiento y Desarrollo de la Calidad. Ing. Ronald Requejo Villanueva CIP-101024						
Prohibida la Reproducción total o parcial del Informe sin la autorización escrita del Laboratorio de SOLDEXA. Antigua Panamericana Sur Km 38.5 Lurin - Lima - Perú - Teléfono : 619-9600 Anexo 2240-2233 - Rpc 987-530-549						

Figura 63. Informe ensayo de macrografía SMAW. Laboratorio Soldexa Lima

#### Anexo 4: Registro fotográfico



Figura 64. Preparación de probetas.



Figura 65. Apuntalado de probetas.

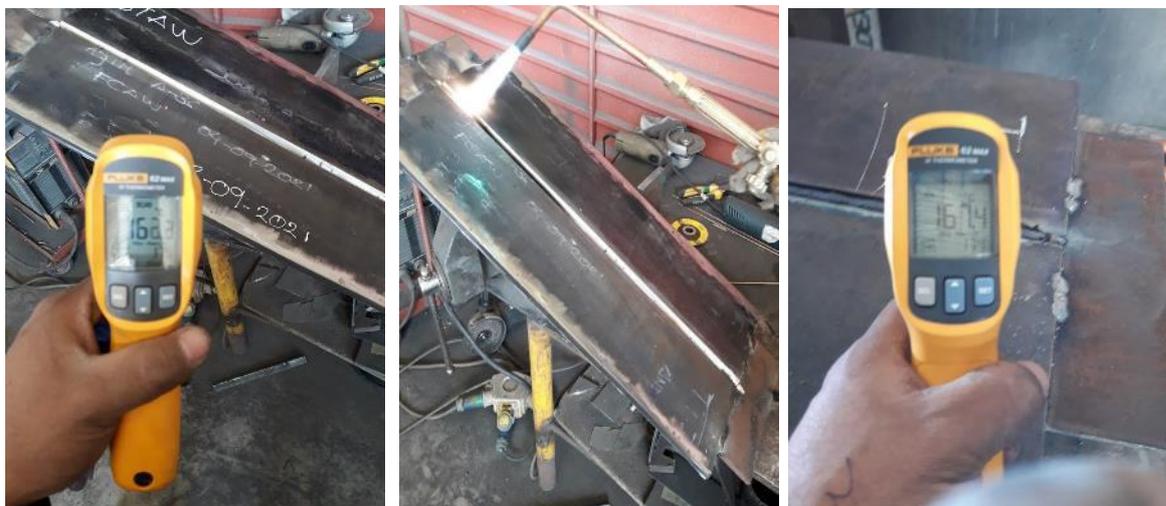


Figura 66. Pre calentamiento de probetas.

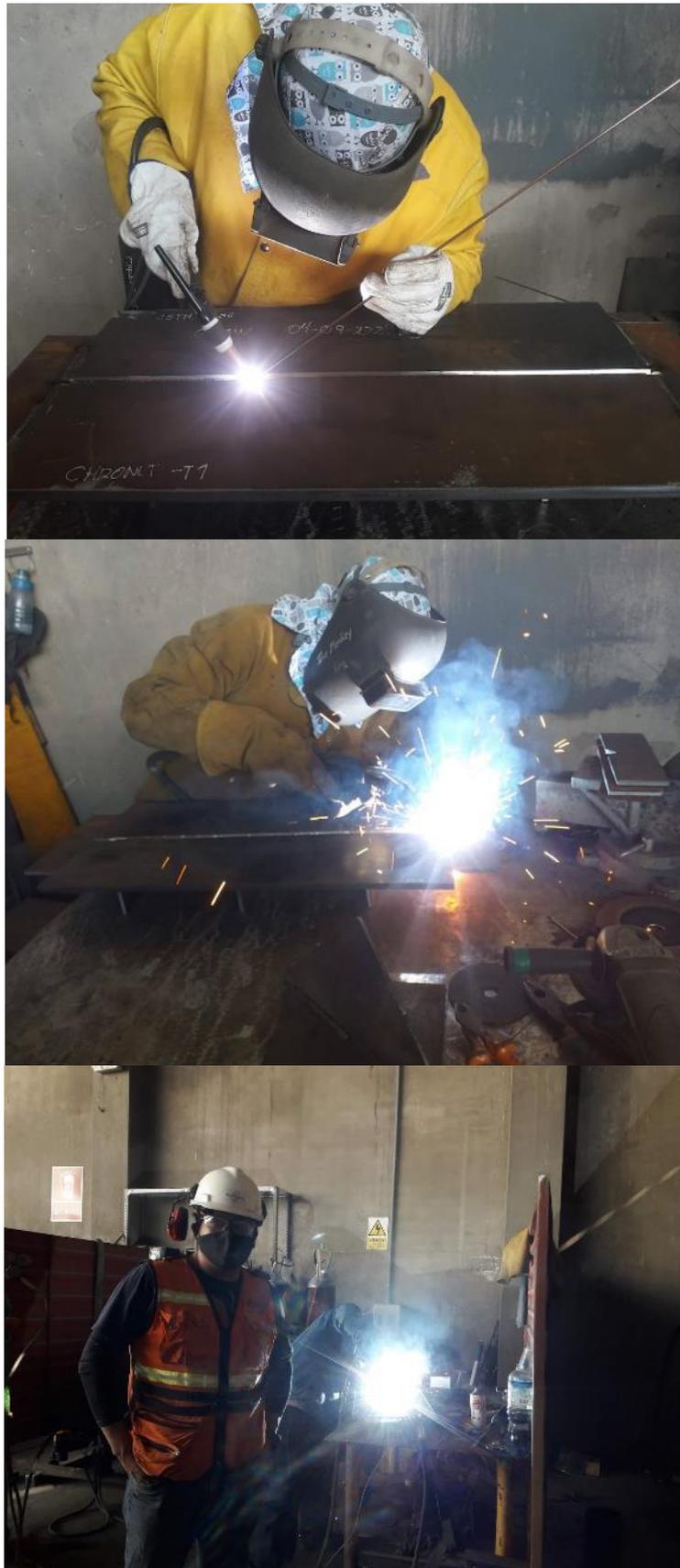


Figura 67. Proceso de soldadura de probetas.



Figura 68. Probetas de soldadura.

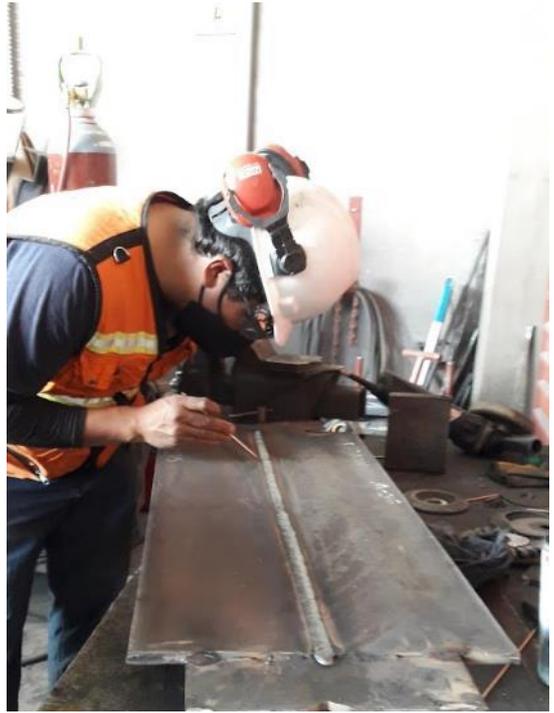


Figura 69. Ensayos no destructivos.

## Anexo 5: Gantt de actividades

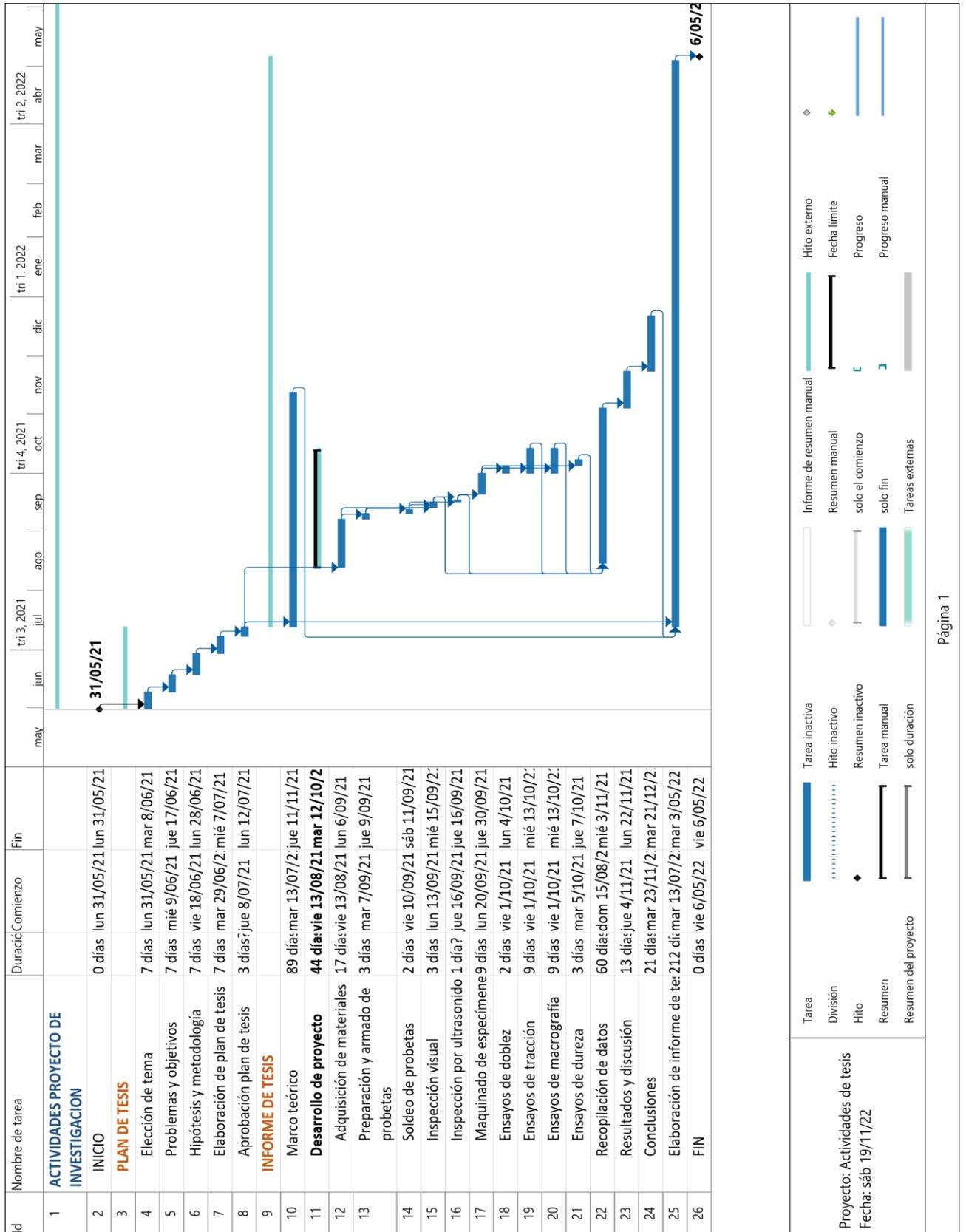


Figura 70. Diagrama de actividades.

## Anexo 6: Procedimiento de trabajo seguro (PTS)

	PROCEDIMIENTO ESCRITO DE TRABAJO SEGURO "PROCESO DE SOLDADURA" <b>COPIA CONTROLADA</b>	PETS-SST-007 Versión: 01 Página 1 de 15
---	---	---



### PROCEDIMIENTO ESCRITO DE TRABAJO SEGURO (PETS)

#### "PROCESO DE SOLDADURA EN TALLER"

	PROCEDIMIENTO ESCRITO DE TRABAJO SEGURO "PROCESO DE SOLDADURA" <b>COPIA CONTROLADA</b>	PETS-SST-007 Versión: 01 Página 2 de 15
--	---	---

#### 1. REVISIÓN Y CONTROL DE CAMBIOS 1.1. REVISIÓN DE CAMBIOS

	Elaborado Por:	Revisado Por:	Aprobado Por:
Cargo:	Jefe de proyecto	Supervisor SSOMA	Gerente General
Nombre:	Roger E. Tito Quispe	Katherine L. Vargas Castillo	Cristian Alfredo Pari Hallasi
Fecha:	Lun,07Feb21	Lun,07Feb21	Lun,07Feb21
Firma:			

Nro. De Copia	Entregado a:
01	Coordinador Sistema Integrado de Gestión

#### 1.2. CONTROL DE CAMBIOS

Fecha	No. De Versión	Cambios Realizados
		• Actualización de formato

CONFIDENCIAL – Este documento no debe ser alterado ni reproducido total o parcialmente sin el consentimiento previo de la Jefatura de TECKTOMETAL.

	<b>PROCEDIMIENTO ESCRITO DE TRABAJO SEGURO "PROCESO DE SOLDADURA"</b>	<b>PETS-SST-007</b>
	<b>COPIA CONTROLADA</b>	<b>Versión: 01</b> <b>Página 3 de 15</b>

## 2. OBJETIVO

- Establecer un procedimiento detallado para realizar los trabajos de soldadura que se desarrollan en las instalaciones de TECKTOMETAL SAC, con medidas de control que eviten cualquier tipo de incidente.
- Controlar todas las fuentes de energía "peligrosa", incluida la conducta humana y riesgos existentes para prevenir lesiones que puedan generar daños personales a los trabajadores de TECKTOMETAL SAC.
- Minimizar y controlar todos los riesgos en las diferentes actividades a realizar.
- Preservar el medio ambiente de acuerdo a las normas del cliente en el lugar donde se ejecuten actividades por parte de TECKTOMETAL SAC.

## 3. ALCANCE:

Este procedimiento es aplicable a todo personal de TECKTOMETAL SAC, y/o personas inmersas en proyectos que se desarrollan en las dentro de las instalaciones de la empresa

## 4. RESPONSABLES

"Sin perjuicio de lo desarrollado en el presente documento de gestión de Seguridad y Salud Ocupacional que establece condiciones y especificaciones mínimas que los trabajadores deben cumplir, todo trabajador tiene como responsabilidad la identificación de peligros y evaluación de los riesgos, cumpliendo con implementar los controles previos al inicio de cada trabajo, de acuerdo con lo establecido en el AT. 44 del D.S. 024-2016-EM."

### 4.1 JEFE DE PROYECTO

- Garantiza la correcta ejecución de los trabajos del presente PETS con los Estándares de Seguridad, Medio Ambiente.
- Es el responsable de la implementación y cumplimiento del presente PETS. Proporcionar al personal las instalaciones y otros recursos necesarios para ejecutar

CONFIDENCIAL – Este documento no debe ser alterado ni reproducido total o parcialmente sin el consentimiento previo de la Jefatura de TECKTOMETAL. **3**

	<b>PROCEDIMIENTO ESCRITO DE TRABAJO SEGURO "PROCESO DE SOLDADURA"</b>	<b>PETS-SST-007</b>
	<b>COPIA CONTROLADA</b>	<b>Versión: 01</b> <b>Página 4 de 15</b>

efectivamente este PETS.

- Es responsable de proveer los recursos económicos necesarios, disponer de tiempo para la implementación, capacitación, entre otros, con el fin de capacitar al personal que desarrollará este trabajo.
- Tiene responsabilidad general del programa de seguridad de la empresa y reafirma su apoyo a las actividades dirigidas a la prevención de accidentes

### 4.2. SUPERVISOR DE CAMPO

- Coordinar diariamente con el representante de las labores a realizar
- Monitorear el buen desempeño en seguridad y productividad de la labor.
- Es el responsable de la coordinación, dirección del trabajo, cumplir, hacer cumplir las normas de seguridad y el procedimiento respectivo.
- Revisar los planos, metrados, volúmenes, áreas, histograma de horas hombre y horas máquina ya asegurar la oportuna intervención de personal y equipo.
- Asegurar que todo el personal tenga acceso a la información y a la capacitación necesaria para realizar sus actividades involucradas.
- Verificar que todos los trabajos hayan sido señalizados adecuadamente.
- Garantiza el suministro de equipos, herramientas mano de obra e implementos de seguridad que sean necesarios de acuerdo que los trabajos se ejecuten para que se lleven a cabo en el tiempo establecido.
- Coordinar con el jefe de Seguridad para la puesta en marcha y seguimiento del Programa de Seguridad en obra, reportando a la Gerencia del Proyecto y Gerencia General todo lo concerniente a la marcha del mismo.
- Facilitar toda la documentación, programas, estudios y planos inherentes al proyecto, al responsable de Seguridad, a fin de que este evalúe y organice todos los elementos necesarios para la implementación del Plan y Programa de Seguridad
- Realizar el seguimiento y asegurar que todas las observaciones realizadas durante las inspecciones sean levantadas y corregidas oportunamente
- Establecer y mantener condiciones de trabajos seguros y saludables citándose al Programad de Seguridad y desarrollando procedimientos para controlar los riesgos en el lugar de trabajo.
- Coordinar con el responsable/supervisor de Seguridad la puesta en marcha y seguimiento correspondiente de las actividades en el lugar de trabajo, reportando al residente de obra todo lo concerniente a la marcha del mismo y el cumplimiento del programa de seguridad.

CONFIDENCIAL – Este documento no debe ser alterado ni reproducido total o parcialmente sin el consentimiento previo de la Jefatura de TECKTOMETAL. **4**

	<b>PROCEDIMIENTO ESCRITO DE TRABAJO SEGURO "PROCESO DE SOLDADURA"</b>	<b>PETS-SST-007</b>
	<b>COPIA CONTROLADA</b>	<b>Versión: 01</b> <b>Página 5 de 15</b>

- Dirigir y asegurar que todas las observaciones realizadas durante las inspecciones de seguridad serán levantadas antes de continuar con las actividades.
- Elaborar procedimientos de trabajo PETS de las diferentes tareas a realizar en el proyecto.
- Coordinación diaria con los capataces y líderes de grupo respecto a las actividades a ejecutarse durante la jornada cumpliendo los requisitos de seguridad establecidos en los documentos.
- Capacitar y evaluar al personal respecto a los PETS requeridos para el desarrollo de la actividad.
- Ser responsable por su seguridad y la de los trabajadores que laboran en el área de trabajo.
- Elaborar procedimientos de trabajo de las diferentes tareas a realizar en el proyecto.
- Asegurar que todas las observaciones realizadas durante las inspecciones de seguridad que atenten contra los trabajadores sean levantadas antes de continuar las actividades.
- Poseer conocimiento de los procedimientos de comunicación de emergencia, estándares y procedimientos de seguridad.
- Explicar todas las normas aplicables, prácticas seguras, reglamentos y procedimientos, a todos los trabajadores de su responsabilidad y asegurar que cada trabajador lo entienda y comprenda.
- Tomar toda precaución para proteger a los trabajadores, verificando y analizando que se haya dado cumplimiento al IPERC continuo realizada por los trabajadores en su área de trabajo, a fin de eliminar o minimizar los riesgos.
- Paralizar las operaciones o labores en situaciones de alto riesgo hasta que se haya eliminado o minimizado dichas situaciones riesgosas.

#### 4.3. SUPERVISOR DE SEGURIDAD

- Asesorar en la elaboración e implementación del Manual de Seguridad, Salud Ocupacional y Medio Ambiente de la obra y el programa de capacitación e inspecciones en SSOMA.
- Asesorar a la línea de mando en temas relacionados a la prevención de riesgos laborales y ambientales y participar activamente en la planificación de los trabajos.
- Elaborar los reportes estadísticos requeridos por el sistema de gestión y analizar los resultados obtenidos.
- Identificar y evaluar el cumplimiento de los requisitos legales en SSOMA, aplicables

CONFIDENCIAL – Este documento no debe ser alterado ni reproducido total o parcialmente sin el consentimiento previo de la Jefatura de TECKTOMETAL. **5**

	<b>PROCEDIMIENTO ESCRITO DE TRABAJO SEGURO "PROCESO DE SOLDADURA"</b>	<b>PETS-SST-007</b>
	<b>COPIA CONTROLADA</b>	<b>Versión: 01</b> <b>Página 6 de 15</b>

- al proyecto.
- Asegurar que todo el personal que ingrese al proyecto lo haga solo después de contar con la aptitud médica y el entrenamiento de inducción.
- Elaborar y mantener actualizada la evaluación de riesgos y aspectos ambientales del Proyecto.
- Proponer mejoras continuas inmediatas, acciones correctivas sustentadas, con el fin de mejorar las condiciones seguras, mediante inspecciones visuales en campo.
- Conocer los alcances y características de la obra, así como también las obligaciones.
- Paralizar los trabajos cuando exista un riesgo latente durante la ejecución de estos.
- Identificar y evaluar los riesgos de trabajo a realizar y tomar las acciones correctivas necesarias para minimizarlos.
- Paralizar los trabajos cuando exista un riesgo latente durante la ejecución de estos.
- Es el responsable del seguimiento y cumplimiento de los estándares de seguridad.
- Supervisar, apoyar y asegurarse que se cumpla el presente procedimiento, en las actividades para los cuales se ha generado como parte de la ejecución.
- Estar presente en todas las actividades de alto riesgo en las áreas de trabajo.
- Verificar y asesorar en el control de los riesgos, previa identificación de los peligros registrados en el IPERC continuo.
- Verificar la aplicación y efectividad de las medidas de control necesarias.
- Verificar y asesorar el correcto llenado de los permisos de trabajo correspondientes.
- Verificar la aplicación de los permisos de trabajo.
- Paralizar las actividades cuando las condiciones de trabajo se tornen peligrosas y existapotencial de pérdida.
- Inspeccionar el cumplimiento del presente procedimiento.

#### 4.4. DEL LIDER DE GRUPO

- Planificar y asegurar que se dispongan de todos los recursos humanos y materiales necesarios para una correcta ejecución de los trabajos programados de manera segura cumpliendo todos los requisitos establecidos en el procedimiento.
- Reportar a su jefe inmediato y supervisor de seguridad la ocurrencia de incidentes, actos y condiciones sub estándares y/o desviaciones en el proceso

CONFIDENCIAL – Este documento no debe ser alterado ni reproducido total o parcialmente sin el consentimiento previo de la Jefatura de TECKTOMETAL. **6**

	<b>PROCEDIMIENTO ESCRITO DE TRABAJO SEGURO "PROCESO DE SOLDADURA"</b>	<b>PETS-SST-007</b>
	<b>COPIA CONTROLADA</b>	<b>Versión: 01</b> <b>Página 7 de 15</b>

- previsto.
- Supervisar la ejecución de todas y cada una de las actividades programadas, de acuerdo con el IPERC CONTINUO elaborado a fin de verificar el cumplimiento seguro; caso contrario ordenar paralizar su ejecución hasta que se adopten las medidas correctivas que garanticen un trabajo seguro.
  - Verificar el correcto estado de operación de todos los equipos y herramientas.
  - Asegurar que todo el personal haga uso de todos los EPP asignados.
  - Paralizar las actividades cuando las condiciones de trabajo se tornen peligrosas y exista potencial de pérdida.

#### 4.5. DEL PERSONAL TÉCNICO

- Cumplir estrictamente el contenido del presente procedimiento para la actividad.
- Elaborar el IPERC en conjunto con todos los involucrados y establecer medidas de control.
- No realizar ninguna actividad ni operar ningún equipo si no está debidamente capacitado y autorizado para ello.
- Ejecutar todas las actividades encomendadas de acuerdo con lo señalado en el presente procedimiento.
- Informar inmediatamente a su jefe inmediato y supervisor de seguridad sobre la ocurrencia de incidentes, actos y condiciones subestándares y/o desviaciones en el proceso.
- Utilizar correctamente y en forma permanente sus EPPs.
- Señalizar y demarcar sus áreas de trabajo previo al inicio de las actividades.
- Proveer información a la supervisión para mejorar las condiciones de seguridad.
- Obedecer las normas, reglamentos, procedimientos e instrucciones de seguridad que se le han entregado.
- Comunicar a su supervisor inmediato la paralización de las actividades cuando las condiciones de trabajo se tornen peligrosas y exista potencial de pérdida.

#### 5. REFERENCIAS

- Ley 29783: Ley de seguridad y salud en el trabajo y sus modificatorias.
- DS-024-2016-EM: Reglamento de seguridad y salud ocupacional.

CONFIDENCIAL – Este documento no debe ser alterado ni reproducido total o parcialmente sin el consentimiento previo de la Jefatura de TECKTOMETAL. 7

	<b>PROCEDIMIENTO ESCRITO DE TRABAJO SEGURO "PROCESO DE SOLDADURA"</b>	<b>PETS-SST-007</b>
	<b>COPIA CONTROLADA</b>	<b>Versión: 01</b> <b>Página 8 de 15</b>

- Ley N° 28611. Ley General del Ambiente
- D.L. N° 1278
- D.S. 040-2014 EM.
- RM N°972-2020 MINSA

#### 6. REQUERIMIENTOS

##### 6.1. REQUERIMIENTO DE PERSONAL

Descripción
5.1.1 Supervisor de seguridad
5.1.2 Supervisor de planta / Inspector de soldadura
5.1.3 Soldador
5.1.4 Ayudante soldador

##### 6.2. REQUERIMIENTO DE EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL

Descripción
5.2.1 Cascos de seguridad ((ANSI/ISEA Z89.1-2014).
5.2.2 Lentes de seguridad (ANSI Z87.1.)
5.2.3 Zapatos de Seguridad (ASTM F 2412 Y F 2413).
5.2.4 Tapones de oído (ANSI S3.19).
5.2.5 Guantes de soldare de caña alta
5.2.6 Respirador de silicona (ANSI Z.88.2).
5.2.7 Filtro 2097 NIOSH P100.
5.2.8 Ropa de cuero
5.2.9 Careta de soldar
5.2.10 Careta facial - ANSI Z87

CONFIDENCIAL – Este documento no debe ser alterado ni reproducido total o parcialmente sin el consentimiento previo de la Jefatura de TECKTOMETAL. 8

	<b>PROCEDIMIENTO ESCRITO DE TRABAJO SEGURO "PROCESO DE SOLDADURA"</b>	<b>PETS-SST-007</b>
	<b>COPIA CONTROLADA</b>	<b>Versión: 01</b> <b>Página 9 de 15</b>

5.2.11 Escarpines

### 5.3 REQUERIMIENTO DE EQUIPOS / HERRAMIENTAS

Descripción
5.3.1 Máquina de soldar
5.3.2 Esmerti angular 7"
5.3.3 Esmerti angular 4 ½"
5.3.4 Equipo oxicorte
5.3.5 Pirómetro
5.3.6 Escobillas de acero

### 5.3 REQUERIMIENTO DE MATERIALES

Descripción
Soldadura
Argón o mezcla
Blombos de seguridad
Conos de señalización
Discos de corte

## 7. CONSIDERACIONES GENERALES

### 7.1. Está Prohibido:

- Realizar tarea Sin permiso en Callente y altura.

CONFIDENCIAL – Este documento no debe ser alterado ni reproducido total o parcialmente sin el consentimiento previo de la Jefatura de TECKTOMETAL.

	<b>PROCEDIMIENTO ESCRITO DE TRABAJO SEGURO "PROCESO DE SOLDADURA"</b>	<b>PETS-SST-007</b>
	<b>COPIA CONTROLADA</b>	<b>Versión: 01</b> <b>Página 10 de 15</b>

- Está prohibido retirar la guarda de seguridad de los equipos.
- Trabajar Sin IPERC

### 7.2. Es Obligatorio:

- Check list de equipos/ herramientas previas al desarrollo del trabajo
- No retirar la guarda de protección de amoladora.
- Cumplir Con protocolo COVID 19

## 8. DESARROLLO

TAREA	RIESGO	MEDIDAS DE CONTROL
<b>INSTALACIÓN DE CABLES ELÉCTRICOS DE 480 Y 220 V</b> Se trasladan e instalan extensiones y/o cables de máquinas eléctricas ya sea de monofásico o trifásico	<ul style="list-style-type: none"> <li>Caidas al mismo nivel</li> <li>Shock eléctrico por contacto directo a energía eléctrica</li> <li>Amago de incendio.</li> <li>Exposición a agentes biológicos "virus SARS-CoV-2".</li> <li>Contacto directo entre personas, contacto con objetos contaminados).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Identificar en el área la zona más próxima de donde se pueda alimentar con energía eléctrica a los equipos de trabajo.</li> <li>Realizar la inspección del cable y la toma de conexión las mismas deben estar en buen estado, de identificar deterioro no usar el cable.</li> <li>Realizar el tendido de las extensiones eléctricas por zonas seguras, las mismas deben evitar obstaculizar los accesos.</li> <li>Colocar pasa cables en accesos peatonales, de no contar con ello señalizar y encintar con cinta roja el cable por donde cruza la extensión con la finalidad que tenga mayor visibilidad.</li> <li>En el área de trabajo contar con un extintor de tipo ABC de 06 Kg como mínimo para hacer frente en caso de un posible amago de incendio, la cual estará ubicada en un lugar visible y accesible.</li> <li>El personal involucrado deberá tener conocimiento acerca del uso de extintores en amago de incendio</li> <li>Para realizar la conexión a una fuente de 220 vol debe tener las manos secas, así</li> <li>como sus implementos de seguridad.</li> <li>Para las tomas de conexión de 480 vol. Coordinar con el eléctrico de turno para el</li> <li>apoyo de conexión y desconexión de las tomas 480 vol.</li> </ul>
<b>CORTE Y DESBASTE DE ESTRUCTURA METÁLICA CON ESMERIL.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cortes en manos por esmeril.</li> <li>Golpes con equipo. –contra</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Debe de asegurarse que el cable de alimentación eléctrica del equipo siempre este ubicado por parte</li> </ul>

CONFIDENCIAL – Este documento no debe ser alterado ni reproducido total o parcialmente sin el consentimiento previo de la Jefatura de TECKTOMETAL.

	<b>PROCEDIMIENTO ESCRITO DE TRABAJO SEGURO "PROCESO DE SOLDADURA"</b>	<b>PETS-SST-007</b>
	<b>COPIA CONTROLADA</b>	<b>Versión: 01</b> <b>Página 11 de 15</b>

<p>Previo al proceso de soldadura se realizan los biseles correspondientes a la preparación del tipo de junta, así como los despuñetes del armado</p>	<p>de atrás del operador para evitar cortes al cable.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cuando se tenga las condiciones se procede a encender el esmeril.</li> <li>• Aproximar el esmeril a la estructura metálica, solamente cuando está en funcionamiento.</li> <li>• Usar permanentemente mascarilla para gases con filtro.</li> <li>• La posición adecuada que debe emplear para el corte de estructura metálica es que el disco de esmeril se encuentre en un ángulo de 90°.</li> <li>• Durante la operación del equipo realizar el sostenimiento con ambas manos. La mano (derecha) tendrá el control del avance y dispositivos de encendido y la otra (izquierda) guiará la dirección del avance.</li> <li>• Se debe evitar en todo momento someter el disco a sobre esfuerzos, cuando el disco se trabaje se procederá a apagar de inmediato el equipo.</li> <li>• La cubierta protectora deberá estar direccionada adecuadamente para que la proyección de partículas de metal caliente no se dirija hacia el operador.</li> <li>• La operación y sujeción del equipo se debe realizar como máximo a la altura del abdomen, no se debe levantar el equipo a una altura que esté por encima del abdomen.</li> <li>• Para evitar la proyección de partículas de metal o disco hacia el rostro se deberá emplear una careta facial de alto impacto y demarcar área con bombos ignífugos.</li> <li>• Hacer uso de protección auditiva al realizar el corte u operación de la amoladora.</li> <li>• Para evitar quemaduras por la proyección de partículas calientes se debe hacer uso de ropa de cuero completo (casaca de cuero, pantalón de cuero, escarpines y guante de cuero ¾).</li> <li>• Realizar el check list de esmeriles y cables de extensión.</li> <li>• Evitar posturas prolongadas podrían causar problemas lumbares. Realice práctica de ejercicios ergonómicos en las estaciones de trabajo.</li> <li>• Cada vez que se necesite cambiar de posición o cortar otra estructura metálica deberá hacer lo siguiente: <ul style="list-style-type: none"> <li>o Se apagará el equipo.</li> <li>o Se esperará hasta que el disco deje de girar.</li> <li>o Se procederá a cambiar la posición de corte o</li> </ul> </li> </ul>	<p>fuera</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Inhalación de partículas sólidas (neumocoelosis)</li> <li>• Proyección de partículas calientes.</li> <li>• Shock eléctrico Exposición a superficies calientes.</li> <li>• Contacto con equipos y herramientas.</li> <li>• Amago de incendio.</li> <li>• Exposición a ruido generado por el equipo al realizar corte y desbaste.</li> <li>• Exposición a agentes biológicos virus SARS-Cov2.</li> <li>• Contacto directo entre personas contacto con objetos contaminados).</li> <li>• Exposición a posturas inadecuadas sobreesfuerzos.</li> <li>• Exposición a vibraciones al operar equipo.</li> <li>• Generación de residuos sólidos no peligrosos(metálicos)</li> </ul>
---	---	---

CONFIDENCIAL – Este documento no debe ser alterado ni reproducido total o parcialmente sin el consentimiento previo de la Jefatura de TECKTOMETAL.

	<b>PROCEDIMIENTO ESCRITO DE TRABAJO SEGURO "PROCESO DE SOLDADURA"</b>	<b>PETS-SST-007</b>
	<b>COPIA CONTROLADA</b>	<b>Versión: 01</b> <b>Página 12 de 15</b>

<p>desbaste.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>o Se reniciara el corte, encendiendo nuevamente la amoladora.</li> <li>o De cambiar el disco, desconectar la fuente de energía</li> <li>• Disponer los residuos generados en obra en los tachos de residuos instalados en obra, dicha disposición se realizará previa clasificación según el plan de manejo ambiental de la empresa. (Desechos de acero y discos de corte).</li> <li>• Se deberá realizar la tarea de orden y limpieza con calma sin apresurarse, la prisa podría causarle algún incidente</li> <li>• <b>CONSIDERACIONES EN LA OPERACIÓN DEL EQUIPO.</b></li> <li>• Está totalmente prohibido retirar la cubierta protectora (guarda) del equipo, podría causarle un incidente (corte de manos).</li> <li>• Se debe de contar en obra con un extintor del tipo ABC para hacer frente a la presencia del inicio de un incendio.</li> <li>• A medida que se realiza el trabajo, deberá de revisar el estado del disco, de presentar rajaduras o fracturas proceder a desechar y cambiarlo por uno nuevo.</li> <li>• Nunca retire la protección de goma del interruptor, esta pieza evita la entrada de agua y polvo en el interruptor de conexión y desconexión.</li> <li>• Si el disco llegara a bloquearse repentinamente, deberá desconectarse inmediatamente la fuente de energía que alimenta a la amoladora</li> </ul>	<p>de</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Calida de personas de diferente nivel</li> <li>• Calida de herramientas y materiales</li> <li>• Calida de personas en el mismo nivel</li> <li>• Quemaduras</li> <li>• Explosiones</li> <li>• Incendio</li> <li>• Daño a la vista</li> </ul>	<p><b>USO DE EQUIPO OXICORTE</b></p> <p>Se utilizará el equipo oxicorte para hacer el pre calentamiento antes de la especificación de soldadura lo requiera.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Incendio</li> <li>• Daño a la vista</li> </ul>
--	--	--

CONFIDENCIAL – Este documento no debe ser alterado ni reproducido total o parcialmente sin el consentimiento previo de la Jefatura de TECKTOMETAL.

	<b>PROCEDIMIENTO ESCRITO DE TRABAJO SEGURO "PROCESO DE SOLDADURA"</b>	<b>PETS-SST-007</b>
	<b>COPIA CONTROLADA</b>	<b>Versión: 01</b>  <b>Página 13 de 15</b>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Utilizar lentes oscuros de seguridad</li> <li>• Para realizar el encendido de la máquina de soldar se debe primero realizar la conexión a una toma de 480 V, el equipo debe estar instalado correctamente.</li> <li>• Verificar que la perilla de variador de amperaje este operativo la misma se verifica en el indicador de la máquina.</li> <li>• El equipo se ubica en un lugar visible y señalizado con el fin de que personas ajenas a la tarea interactúen con el equipo.</li> <li>• Cuando realice trabajos con máquina de soldar a arco eléctrico es indispensable contar con un extintor tipo POS de 06 Kg como mínimo en el área de trabajo.</li> <li>• Oport posturas adecuadas al realizar tarea. Evitar posturas prolongadas podría ocasionar problemas lumbares.</li> <li>• Recoger los restos metálicos de toda el área, evitar dejar en el área las colillas de los electrodos, posterior a ello disponer en los tachos correspondientes.</li> <li>• Cuando no se esté trabajando con el equipo, mantener el equipo apagado.</li> <li>• Contar con personal capacitado en trabajo mecánica empleando esmeril.</li> <li>• Antes de realizar el soldo se debe realizar limpieza</li> <li>• Sujetar el esmeril con ambas manos en todo momento.</li> <li>• La vestimenta que utiliza el soldador (y también su ayudante) debe reducir el potencial riesgo de quemado o atrapado de chispas. Se evitará la ropa rasgada, arremangada, de fibra sintética con residuos de grasa y pantalones con basta exterior. Las mangas y los cuellos estarán abotonados.</li> <li>• Usar mascarilla para gases con cartucho de sílicona.</li> <li>• Se recomienda el uso de zapatos con caña, porque los elementos incandescentes penetran con mayor facilidad en zapatos bajos. Para mayor seguridad, cubriremos con escarpines resistentes a la llama.</li> <li>• Usar delantales de cuero, guantes y protecciones de cabeza resistentes a las llamas.</li> <li>• Por ningún motivo, utilizar guantes engrasados.</li> <li>• Para proteger los ojos usar careta de soldador, antes de cada jornada deberá de realizar la inspección de las lunas de la careta, así también se debe hacer uso de barreras protectoras (bombos) para no afectar a</li> </ul>
<p><b>INHALACIÓN DE LOS HUMOS DE SOLDADURA</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Irritación de los ojos por radiación de arco a los ojos.</li> <li>• Proyección de partículas calientes.</li> <li>• Shock eléctrico.</li> <li>• Quemaduras</li> <li>• Arreglo de incendio.</li> </ul> <p><b>UNIÓN DE ESTRUCTURAS METÁLICAS POR ARCO ELÉCTRICO</b></p> <p>Se desarrolla el proceso de soldadura por arco eléctrico ya sea con varilla, alambre soldado o material de aporte ya sea con o sin gas protector.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Exposición a agentes biológicos "virus SARS-CoV2".</li> <li>• Contacto directo entre personas, contacto con objetos contaminados).</li> <li>• Exposición a radiación UV.</li> </ul>	

## 9. ANEXOS

- ✓ Anexo N° 1 - Contactos TECKTOMETAL SAC en caso de emergencia

Nombre	Cargo	Teléfono
CRISTIAN PARI HALLASI	Gerente general	945421367
ROGER TTITO QUISEP	Jefe de proyecto	959214116
KATHERINE VARGAS	SSOMA	928432122

	<b>PROCEDIMIENTO ESCRITO DE TRABAJO SEGURO "PROCESO DE SOLDADURA"</b>	<b>PETS-SST-007</b>
	<b>COPIA CONTROLADA</b>	<b>Versión: 01</b>  <b>Página 14 de 15</b>

	<p>las personas que trabajan en el entorno.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Nunca soldar en las proximidades de líquidos inflamables, gases, vapores, metales en polvo o combustibles.</li> <li>• Advertir al resto de los trabajadores, a través de letreros, cuál es la zona de soldadura y sus peligros.</li> <li>• Proceder al soldo respectivo optando una postura favorable, según al ambiente de trabajo que se encuentra.</li> <li>• Para ello debe regular el amperaje de la máquina para evitar inconvenientes con el equipo.</li> <li>• Posterior a ello esperar a que entrie el cordón de soldadura y no tocar las superficies calientes.</li> <li>• Para el lavado de manos antes de adquirir alimentos uso frecuente de jabón líquido (mínimo 20 segundos) o con alcohol en gel.</li> <li>• Contar con las 3 dosis de vacunación para contraer el COVID-19</li> <li>• Protocolo Vigilancia Médica Específica COVID-19.</li> <li>• Protocolo Medidas Preventivas del trabajador COVID-19.</li> </ul>
--	--

	<p align="center"><b>POLITICA DE GESTION INTEGRADA DE CALIDAD, SEGURIDAD, SALUD OCUPACIONAL Y MEDIO AMBIENTE</b></p>	<p align="center"><b>POL-SIG-001</b></p> <hr/> <p align="center"><b>VERSION:01</b></p>
--	--	--

"TECKTOMETAL S.A.C." tiene como propósito brindar soluciones integrales de diseño, fabricación, montaje y mantenimiento de estructuras metálicas para el sector minero e industrial, buscando la satisfacción de nuestros clientes entregándoles productos y servicios de calidad con el más alto grado de confiabilidad, compromiso en seguridad, salud y medioambiente.

Es así que nos comprometemos a:

- Satisfacer los requisitos de nuestros clientes y partes interesadas.
- Velar por la seguridad y salud ocupacional de nuestro personal y todo personal que ingrese a nuestro predio, proporcionando los medios apropiados para la reducción de riesgos y eliminación de peligros, orientados a prevenir accidentes y enfermedades ocupacionales.
- Promover el desarrollo, consulta y participación activa de todo el personal y sus representantes, en el Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el trabajo.
- Ser responsables con el medio ambiente, previniendo la contaminación ambiental y controlando los aspectos ambientales generados en nuestras actividades.
- Cumplir con los requisitos legales y otros requisitos aplicables a nuestras actividades.
- Trabajar en un marco de mejora continua, a través de la identificación de oportunidades que permitan mejorar el desempeño de seguridad, salud y medio ambiente y avanzar hacia la excelencia operativa.

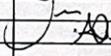


Cristian Alfredo Pari Hallasi  
Gerente General

Anexo 7: IPERC

	<b>MATRIZ IPERC</b>	RE-SST-014 VERSIÓN: 03
---	---------------------	---------------------------

FECHA, LUGAR Y DATOS DE TRABAJADORES:				
FECHA	HORA	NOMBRES Y APELLIDOS	NIVEL/ÁREA	FIRMA
12-09-21	07:00	Orlando Chembilla	-	
12-9-21	07:00	JULIO CASARENAS	-	
12-09-21	07:00	André Enriquez	-	

DESCRIPCIÓN DEL PELIGRO	RIESGO	EVALUACIÓN IPER			MEDIDAS DE CONTROL A IMPLEMENTAR	EVALUACIÓN RIESGO RESIDUAL		
		A	M	B		A	M	B
Uso de máquina de soldar	Electrocución - Quemaduras		13		Revisión de cables y conexiones, uso ropa de cuero, lentes negras			18
	Irritación piel							
Polvo Metálico	Infecciones Respiratorias		13		Uso adecuado de respirador medida cara con filtros 2097			18
	Subconjuntos				Uso correcto de equipo No sacar guarda			
Uso de Simenid	Mutilaciones, cortes, atropello		12					17
Ruido	Sordera		13		uso tapones auditivos			18
Uso herramientas manuales	Golpes, contusiones		15		uso adecuado de herramienta			19
Trabajos con oxígeno	Quemaduras, explosiones	8			Uso adecuado de equipo oxígeno, ropa de cuero extintor cerca	13		
Posiciones ergonómicas								
Posuras ergonómicas	Lesiones lumbares		13		Riesgos activos			18
Covid - 19	Confagio - Pandemia	8			Distanciamiento Social		13	

**SECUENCIA PARA CONTROLAR EL PELIGRO Y REDUCIR EL RIESGO**

1.- El equipo/vehículo se encuentra en condiciones operativas:  Si

2.- Las herramientas/materiales se encuentran en buenas condiciones:  Si

3.- Se capacitó al personal:  Si

4.- Tema de capacitación: Trabajos Calientes

DATOS DE LOS SUPERVISORES			
HORA	NOMBRE SUPERVISOR	MEDIDA CORRECTIVA	FIRMA
07:00	Ray Ato		

Figura 71. Registro de matriz IPERC