



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**ELÉCTRICA**

**“Efecto del tiempo de revenido post soldadura sobre la resistencia  
a la tracción en uniones de acero Hadfield ASTM A128”**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**Ingeniero Mecánico Electricista**

**AUTOR:**

**Limay Quispe, Leopoldo Daniel (ORCID: 0000-0002-3710-8643)**

**ASESOR:**

**Dr. Villarreal Albitres, William Fernando (ORCID: 0000-0001-9027-6358)**

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

**Modelamiento y Simulación de Sistemas Electromecánicos**

**CHICLAYO – PERÚ**

**2020**

## **Dedicatoria**

A Dios por todas las bendiciones concedidas a lo largo de mi vida.

A mis padres, quienes, con su paciencia y sabiduría, han guiado e inspirado siempre en mí, la perseverancia de superación en mi vida.

A mis familiares y amigos por su apoyo y confianza a lo largo de este proceso.

***Limay Quispe, Leopoldo Daniel***

## **Agradecimiento**

Al Dr. Ing. William Fernando Villarreal Albitres, quien con su buena voluntad me supo brindar enseñanzas, su confianza y oportunidad para el desarrollo de este presente informe de tesis.

Al laboratorio de la Universidad Nacional de Trujillo por la credibilidad de sus resultados en los ensayos realizados.

Finalmente, mi sincero agradecimiento a la Universidad Privada César Vallejo y a cada uno de los docentes, por el apoyo a lo largo de la carrera.

***Limay Quispe, Leopoldo Daniel***

## Índice de contenidos

Carátula.....	i
Dedicatoria .....	ii
Agradecimiento .....	iii
Índice de contenidos .....	iv
índice de tablas .....	v
Índice de figuras .....	vi
Resumen.....	viii
Abstract.....	ix
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. MARCO TEÓRICO. ....	4
III. METODOLOGÍA .....	15
3.1. Tipo y diseño de investigación.....	15
3.2. Variables y operacionalización. ....	15
3.3. Población, muestra y muestreo .....	17
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	18
3.5. Procedimiento.....	19
3.6. Métodos y análisis de datos .....	22
3.7. Aspectos éticos .....	23
IV. RESULTADOS.....	24
V. DISCUSIÓN .....	36
VI. CONCLUSIONES .....	38
VII. RECOMENDACIONES.....	39
REFERENCIAS.....	40
ANEXOS: .....	45

## índice de tablas

<b>Tabla 01.</b> <i>Ficha técnica del Tenacito 80</i> .....	9
<b>Tabla 02.</b> <i>Clasificación de los aceros Hadfield</i> .....	10
<b>Tabla 03.</b> <i>Definición operacional de las variables</i> .....	16
<b>Tabla 04.</b> <i>Niveles de la variable independiente</i> .....	17
<b>Tabla 05.</b> <i>Composición química del acero ASTM A128</i> .....	19
<b>Tabla 06.</b> <i>Cuadro resumen del análisis de varianza para la resistencia a la tracción</i> .....	23
<b>Tabla 07.</b> <i>Cuadro de dimensiones de probetas</i> .....	24
<b>Tabla 08.</b> <i>Cuadro de datos generales de probetas ensayadas</i> .....	24
<b>Tabla 09.</b> <i>Resistencia a la tracción promedio con 1 hora de revenido</i> .....	26
<b>Tabla 10.</b> <i>Resistencia a la tracción promedio con 2 horas de revenido</i> .....	27
<b>Tabla 11.</b> <i>Resistencia a la tracción promedio con 3 horas de revenido</i> .....	28
<b>Tabla 12.</b> <i>Cuadro de datos de grado de elongación de cada probeta ensayada</i> . 29	
<b>Tabla 13.</b> <i>Registro resumen del ensayo de tracción a las probetas</i> .....	30
<b>Tabla 14.</b> <i>Registro de ductilidad a las muestras de estudio</i> .....	31
<b>Tabla 15.</b> <i>Niveles de la variable independiente completa</i> . .....	32
<b>Tabla 16.</b> <i>Niveles de la variable independiente de resistencia a la tracción</i> .....	33
<b>Tabla 17.</b> <i>Puntos porcentuales de la distribución <math>F_{0.05, v1, v2}</math></i> .....	34
<b>Tabla 18.</b> <i>Cuadro resumen del análisis de varianza de la resistencia a la tracción</i> .....	35

## Índice de figuras

<i>Figura 01.</i> Esquema proceso SMAW (Tecnoderecho, 2014). .....	8
<i>Figura 02.</i> Representación de temple y revenido en un acero (Molera, 2009). ....	11
<i>Figura 03.</i> Proceso de templado y revenido (Molera, 2009). .....	12
<i>Figura 04.</i> Efecto de la temperatura del proceso de revenido en la dureza de diferentes aceros (Molera, 2009). .....	13
<i>Figura 05.</i> Curva de esfuerzo deformación resumen (Meca, 2011). .....	14
<i>Figura 06.</i> Dimensiones de la probeta para el ensayo de Tracción. ....	17
<i>Figura 07.</i> Elaboración de probetas para prueba experimental. ....	21
<i>Figura 08.</i> Horno para revenido. ....	22
<i>Figura 09.</i> Máquina Universal para Ensayo de tracción .....	22
<i>Figura 10.</i> Gráfico de esfuerzo deformación para la probeta sin tratamiento térmico. ....	25
<i>Figura 11.</i> Gráfico de esfuerzo deformación para la probeta con 1 hora de revenido .....	26
<i>Figura 12.</i> Gráfico de esfuerzo deformación para la probeta con 2 horas de revenido .....	27
<i>Figura 13.</i> Gráfico de esfuerzo deformación para la probeta con 3 horas de revenido .....	28
<i>Figura 14.</i> Curva de esfuerzo deformación resumen. ....	30
<i>Figura 15.</i> Datos resumen de Resistencia a la tracción .....	31
<i>Figura 16.</i> Datos resumen de ductilidad .....	32
<i>Figura 17.</i> Probetas maquinadas .....	53
<i>Figura 18.</i> Horno para tratamiento térmico .....	53
<i>Figura 19.</i> Colocación de probeta en el horno para tratamiento térmico .....	54
<i>Figura 20.</i> Adecuación de probeta para ensayo de tracción .....	54
<i>Figura 21.</i> Lectura de datos de esfuerzo – deformación .....	55

## Índice de abreviaturas

SCT: Suma de Cuadrados Totales.....	32
SC <sub>trat</sub> : Suma de Cuadrados del tratamiento A. ....	32
SCE: Suma de Cuadrados del Error .....	32
$\alpha$ : Nivel de significancia.....	34
n: Número de pruebas experimentales.....	34
V <sub>1</sub> : Grado de libertad.....	34

## RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo determinar el efecto del tiempo de revenido post soldadura sobre la resistencia a la tracción en uniones de acero Hadfield ASTM A128., para la cual estuvo enmarcada en realizar una investigación del tipo, aplicada - experimental. Como muestra a cuatro placas soldadas tres de ellas con diferentes tiempos de revenido y una sin tratamiento térmico, con lo cual se determinaron, para cada valor de tiempo de revenido, su respectiva resistencia que ofrecía a la tracción. Se concluye afirmando que con la determinación de un buen proceso de tratamiento térmico post soldadura SMAW se logró obtener uniones de acero Hadfield ASTM A128 con una resistencia a la tracción, encontrándose valores de 503 MPa e incrementar la ductilidad del material desde un 27.50 % hasta un 37.56 %. Finalmente se concluye afirmando que, para los datos de resistencia a la tracción, el  $F_0 = 127.96$  es mayor a  $F_{\alpha, v1, v2} = F_{0.05, 2, 6} = 5.14$ , obteniendo de manera tabular, afirmando de este modo la hipótesis alterna. Esto significa que el tiempo de revenido afecta significativamente a la resistencia a la tracción en uniones de acero Hadfield ASTM A128.

**Palabras Clave:** Revenido, Soldadura SMAW, Tracción

## ABSTRACT

The objective of this research was to determine the effect of post weld tempering time on tensile strength in Hadfield ASTM A128 steel joints, for which it was framed to carry out an applied - experimental research. As a sample of four welded plates, three of them with different tempering times and one without heat treatment, which determined, for each tempering time value, their respective resistance that it offered to the traction. It concludes by stating that with the determination of a good SMAW post-weld heat treatment process it was possible to obtain Hadfield ASTM A128 steel joints with optimum tensile strength, finding values of 503 MPa and increasing the ductility of the material from 27.50% to 37.56%. Finally, it concludes by stating that for the tensile strength data,  $F_0 = 127.96$  is greater than  $F_{\alpha, v_1, v_2} = F_{0.05, 2.6} = 5.14$ , obtaining in a tabular way, thus affirming the alternative hypothesis. This means that the tempering time significantly affects the tensile strength in Hadfield ASTM A128 steel joints.

**Keywords:** Tempering, SMAW Welding, Traction

## I. INTRODUCCIÓN

En muchos procesos de manufactura y fabricación de los diferentes tipos de acero, el tratamiento térmico es el que se maneja con especial interés para los ingenieros, profesionales e investigadores, debido a que la aplicación para un determinado equipo de servicio tiene un efecto directo con la disponibilidad y la producción del producto final. En el caso particular de las empresas mineras donde una de las primeras etapas para su proceso productivo es la obtención de concentrado, se necesita de una etapa de chancado, siendo fundamental este proceso el cual sirve para lograr los planteamientos de mejora en la empresa, los cuales se miden por Toneladas Métricas al Día (TMD) de mineral procesado.

En el área de chancado constantemente se pueden presentar problemas por mal diseño de las trituradoras como pueden ser por mala soldadura, tamaños inadecuados, por deterioro de sus dientes y posteriormente alto costo en la posterior etapa molienda (About, 2016).

En Chile, Rodrigo Miranda (Gerente de Moly-Cop), manifiesta que en el proceso de chancado, en muchas ocasiones existe poca posibilidad de controlar el trabajo proveniente de propiedades intrínsecas de dureza proporcionadas por la diversidad de minerales puestas en planta y que generan grandes gastos a la empresa debido a que minerales de mayor dureza necesitarán procesos más eficientes y de mayor control, ello puede generar diversos problemas en las estructuras de las trituradoras y en varios casos se pueden presentar pérdidas grandes en la empresa por paradas de planta, por un inadecuado análisis preventivo y predictivo en el área de chancado y en otras áreas de la empresa puede ocurrir situaciones similares (Editec, 2018).

Arias (2014) manifiesta que en la empresa minera denominada ICM Perú, la planta concentradora no se encontraba en óptimas condiciones, debido a que el tonelaje de mineral que se obtenía en la sección de chancado no era el suficiente para mantener la capacidad de producción de los equipos de las etapas posteriores presentándose problemas como atoro en la zaranda vibratoria, sobrecarga de mineral grueso en la chancadora desgaste y rotura de sus componentes que debían ser soldadas y no se llegaba a un óptimo trabajo.

Cajamarca destaca como una de las principales regiones con una gran cantidad de empresas mineras dedicadas al rubro de la extracción de este metal valioso y para ello realizan diversos procesos. Uno de estos procesos es el conocido como el área de chancado en donde aparecen múltiples problemas como deterioro de los dientes de las diversas, tipos de chancadoras, producto de la variedad de durezas de minerales que en esta área son tratados (CM-Perú, 2018).

GoldFields (2018), manifiesta que después del proceso de minado, los minerales obtenidos pasan a un proceso de triturado, es en esta etapa que las chancadoras sufren múltiples desperfectos producto de la diversidad de durezas minerales que entran a proceso.

Todo lo anteriormente expuesto conlleva a una pérdida económica por la duplicidad de esfuerzos en el trabajo de reparaciones, bajo rendimiento, y en muchos de los casos paralización del equipo, viéndose afectada la producción final.

Así mismo, surge la necesidad de realizar un estudio técnico – experimental que permita alargar la vida útil de la trituradora de mineral, comúnmente conocida como chancadora, empleando para ello soldadura, para unir en mucho de los casos piezas, y después realizando un tratamiento post soldadura como aliviador de tensiones.

Si bien es cierto que la problemática acerca de alargar la vida útil de los componentes de las trituradoras ha sido investigada por muchos autores, sin embargo, el efecto o influencia del tiempo de revenido postsoldadura en aceros Hadfield para unir piezas de trituradoras de mineral no hay estudios; por lo que se plantea la siguiente pregunta de investigación: ¿De qué manera afecta el tiempo de revenido post soldadura sobre la resistencia a la tracción en uniones de acero Hadfield ASTM A128?

La presente investigación se justifica debido a que: después de realizar la experimentación, la presente tesis proporcionará a la comunidad científica y tecnológica datos de tiempo de revenido post soldadura que permita una óptima resistencia a la tracción en uniones de acero Hadfield ASTM A128.

Industrialmente se justifica debido a que se logrará incrementar la vida útil de componentes en diferentes tipos de trituradoras de mineral; y socialmente se justifica porque se podrá reducir la contaminación ambiental mediante un proceso acorde a las normativas estatales vigentes.

La presente investigación pretende determinar la correlación existe entre el tiempo de revenido postsoldadura y la resistencia a la tracción del acero; por lo que se propone establecer el siguiente objetivo general: determinar el efecto del tiempo de revenido post soldadura sobre la resistencia a la tracción en uniones de acero Hadfield ASTM A128.

Como objetivos específicos se plantea: elaborar las pruebas experimentales según norma ASTM E8, identificar el efecto del tiempo de revenido post soldadura sobre la resistencia a la tracción en 1 h, 2h y 3h, realizar el análisis de varianza (ANOVA) que permita identificar la influencia significativa entre el tiempo de revenido post soldadura y su relación con la resistencia a la tracción del acero ASTM A128.

En la siguiente investigación como hipótesis se plantea que el tiempo de revenido post soldadura influirá significativamente en la resistencia a la tracción del acero ASTM A128

## II. MARCO TEÓRICO.

El problema sobre las propiedades mecánicas como resistencia a la tracción han sido estudiados por varios investigadores los cuales manifiestan los siguientes antecedentes:

En la ciudad de Coruña, Rio (2013), investigó sobre tratamientos térmicos aplicados a aceros aleados de bajo manganeso. Concluye afirmando que el acero puede adquirir ciertas propiedades que son beneficiosas para el trabajo que es sometido, para lograr ello se aplicó un proceso de revenido en el cual dicho metal puede venir contando con una precipitación fina de carburos producto de un proceso inicial como puede ser soldadura que le puede dar a la estructura cierto endurecimiento, pero al mismo tiempo fragilidad.

Estas estructuras fueron detectadas mediante análisis metalográficos. Estos carburos formados, al pasar por el proceso de revenido pueden coalescer y hacer que desaparezcan el efecto de ellos sobre el material de estudio. Lo que se busca es que la austenita se pueda quedar por más tiempo sin transformación evitando su acondicionamiento.

Higuera, y otros (2007) investigaron sobre la relación que existe entre el endurecimiento de aceros al manganeso o más comúnmente conocido como aceros Hadfield y los mecanismos que lo gobiernan encontrando que este fenómeno se da por diversos motivos como son por afinamiento austenítico de su matriz, las maclas también entran a tallar, dislocaciones, entre otras.

Los presentes investigadores afirman también que el porcentaje de carbono influye directamente en la dureza del acero, el manganeso también toma un papel relevante en tal fin, es un desulfurante formando compuestos como son el  $(FeMn)S$  y el  $MnS.FeO$  y de esta manera se logra minimizar el contenido de sulfuro de hierro ( $FeS$ ) el cual produce que el acero se fragilice cuando se somete a trabajos a altas temperaturas, es en este sentido, que el manganeso permite que el acero se pueda trabajar en caliente y tenga acabados adecuados. También manifiestan que los aceros al manganeso tienen múltiples

características como son elevada ductilidad, alta resistencia última a la tracción, resistencia al ser sometido a desgaste.

En la investigación sobre soldabilidad del acero austenítico al manganeso, Méndez y otros (2004), encontraron que el acero al manganeso de Hadfield, nominalmente Fe – 1.2% C – 13% Mn, es una aleación de dureza inherente, características de endurecimiento de trabajo y excelente resistencia a algunos tipos de desgaste adhesivo y abrasivo. Concluyen afirmando que, en la práctica, cuando esta deformación se vuelve excesiva, se emplea soldadura para restaurar la fundición a sus dimensiones originales. Durante la soldadura, se deben tomar precauciones para evitar el sobrecalentamiento y la precipitación de carburo concomitante que puede conducir a una falla temprana posterior.

Se demostró que las características de deformación plástica y endurecimiento del depósito de soldadura de molibdeno fueron significativamente mejores que las del metal de soldadura depositado utilizando electrodos comerciales de níquel-cromo y cromo. No hubo diferencias significativas entre los depósitos de soldadura de níquel-cromo y cromo con respecto al endurecimiento por trabajo y el flujo de plástico tras la deformación. El acero Hadfield bajo en carbono – 1% V y – 2% V exhibió una excelente resistencia a la deformación, pero características de bajo endurecimiento en el trabajo. Las características de endurecimiento por trabajo de los depósitos de soldadura se redujeron apreciablemente cuando se sometieron a deformación masiva.

Cuando se usó el electrodo con molibdeno, se descubrió que el grado de deformación del metal base en orden creciente era (1) bajo en carbono – 1% Mo, (2) acero estándar de Hadfield, (3) bajo en carbono – 1 % V y (4) bajo en carbono – 2% V. Sin embargo, la deformación global medida de las soldaduras fue menor en este caso que cuando se utilizaron los electrodos de níquel-cromo y cromo.

En la investigación sobre tratamiento térmico posterior a la soldadura del acero de campo de campo hipereutectoide: caracterización y control de microestructura, equilibrio de fase, propiedades mecánicas y modo de fractura de la junta de soldadura, Sabzy y Dezfuli (2018), evaluaron el efecto de la temperatura y el tiempo del proceso de austempering sobre las evoluciones

micro estructurales, el equilibrio de fase, las propiedades mecánicas y el modo de fractura del metal de soldadura en las juntas de acero Hadfield. Para este propósito, el proceso de austempering se llevó a cabo a 500, 600 y 700 ° C durante 15 y 30 minutos en uniones de soldadura de acero Hadfield, que se prepararon utilizando el método de soldadura de arco metálico protegido (SMAW). El microscopio óptico (OM), el microscopio electrónico de barrido (SEM), el microscopio electrónico de transmisión (TEM), así como la espectroscopia de dispersión de energía (EDS) y la espectroscopia de difracción de rayos X (DRX) se utilizaron para evaluar las evoluciones micro estructurales y de fase de los metales de soldadura.

Las propiedades mecánicas de las juntas de soldadura se examinaron mediante ensayos de micro dureza a la tracción, Charpy y Vickers. Después de las pruebas de tracción y Charpy, el modo de fractura de las superficies fracturadas también fue determinado por SEM. Concluyeron afirmando que al aumentar el tiempo y la temperatura del proceso de austempering, ello conduce a un aumento del límite de elasticidad, resistencia a la tracción, micro dureza, contenido de carburo de proeutectoide  $(Fe, Mn)_3C$  y reducción del tamaño de grano de austenita, capacidad de deformación plástica, energía de fractura y reducción de la tendencia a la fractura dúctil en el metal de soldadura de Hadfield soldar juntas.

El ciclo de tratamiento térmico de austempering más óptimo que produce la combinación adecuada de microestructura, equilibrio de fase, propiedades mecánicas y modo de fractura en el metal de soldadura de la unión de soldadura Hadfield se relaciona con el ciclo de 600 ° C y 30 min.

En la investigación sobre la elaboración y calificación de un procedimiento de soldadura para un acero templado y revenido con la designación SUMITEN 7805, Paredes (2013), encontró que los resultados de las pruebas destructivas son aceptables por el código ASME SECCION IX 2010, se recomienda este código como estándar para poder desarrollar Procedimientos de Soldadura (WPS). Los valores de prueba de impacto superan el valor promedio establecido de 61J requerido. En conclusión, las tuberías forzadas fabricadas con los procedimientos de soldadura garantizan las condiciones de diseño. Los metales de aporte Super-arc L-100 y OP121TTW son adecuado para realizar los

procesos de soldadura GMAW y SAW. El método de control de hidrogeno establecido por el AWS D1.1 2010 es recomendable para determinar la temperatura de precalentamiento y de Inter pase durante la soldadura para el acero SUMITEN 780S.

Según Domínguez (2014), menciona que el acero es una mezcla de hierro con carbono, en donde el carbono puede variar en concentraciones de masa entre 0.008 y 2.11%, en donde dicho carbono le proporciona ciertas características mecánicas como dureza, resistencia a la tracción, fragilidad, entre otras. Dependiendo de la concentración de carbono se dice que existe una clasificación denominado fundiciones, como es el caso de la fundición gris. Estas fundiciones se originan cuando el acero tiene porcentajes de carbono superiores a 1.8 % C. Estas fundiciones son frágiles y si se quiere trabajarlas se las debe de moldear.

Uno de los aspectos que diferencian a los aceros son sus propiedades mecánicas, es en este sentido, que los fabricantes realizan constantemente un adecuado control de calidad de sus productos con pruebas de resistencia, comportamiento de un elemento de máquina o estructuras, entre otros. Las propiedades mecánicas toman mayor interés en las cuales usualmente son tomadas como indicadores de análisis la resistencia a la tracción, flexión, dureza entre otras (Molera, 2009).

Otras composiciones específicas de los aceros reciben múltiples denominaciones como son los aceros al cilicio, aceros de cementación, aceros inoxidable, aceros estructurales. Estos tipos de aceros reciben un nombre particular denominándolos aceros especiales. Es así que muchos especialistas afirman que el acero está formado por hierro y otros elementos que les dan características especiales como incremento en su resistencia, dureza, ductilidad, entre otras (Needham, 2006).

Fue Sir Robert Hadfield quien fue el creador de los aceros al manganeso, es por ello que a estos aceros reciben el nombre de aceros Hadfield en honor a su creador. Estos aceros tienen múltiples características que lo hacen especial como son el endurecimiento y su resistencia al desgaste, elevada tenacidad, así como una alta ductilidad. Por sus propiedades que manifiesta son muy usados

en minería como es en movimiento de tierras, canteras, perforación, entre otros. En la composición química del acero Hadfield ASTM A128 se tiene de diferentes grados. Para el presente estudio se usará el grado C el cual tiene 1.05 a 1.35 % de C, 11.5 a 14.0 % Mn, 1.00 % máx. de Si, 1.5 a 2.5 % de Cr y 0.07 % máx. de P con una dureza Brinell promedio de 200 HB (Tecnoderecho, 2014).

Al referirse a otro tema, de mucha importancia, existe un proceso de soldadura muy usado en diversos talleres, al cual se le conoce como proceso SMAW el cual proviene de las palabras en inglés Shielded Metal Arc Welding, en otras partes del mundo también lo conocen como soldadura MMA debido a que también se le conoce como Manual Metal Arc Welding o Soldadura manual por arco metálico.

El empleo de este tipo de proceso de soldadura es muy variado desde soldadura en ventanas, rejas metálicas, puertas de acero, comúnmente denominado carpintería metálica hasta reparaciones de tuberías, estructuras, entre otras. A este tipo de proceso también se le conoce como proceso de soldadura con electrodo revestido. Es el más usado por su versatilidad de funcionamiento, costos bajos, entre otras (Rodríguez, 2019).

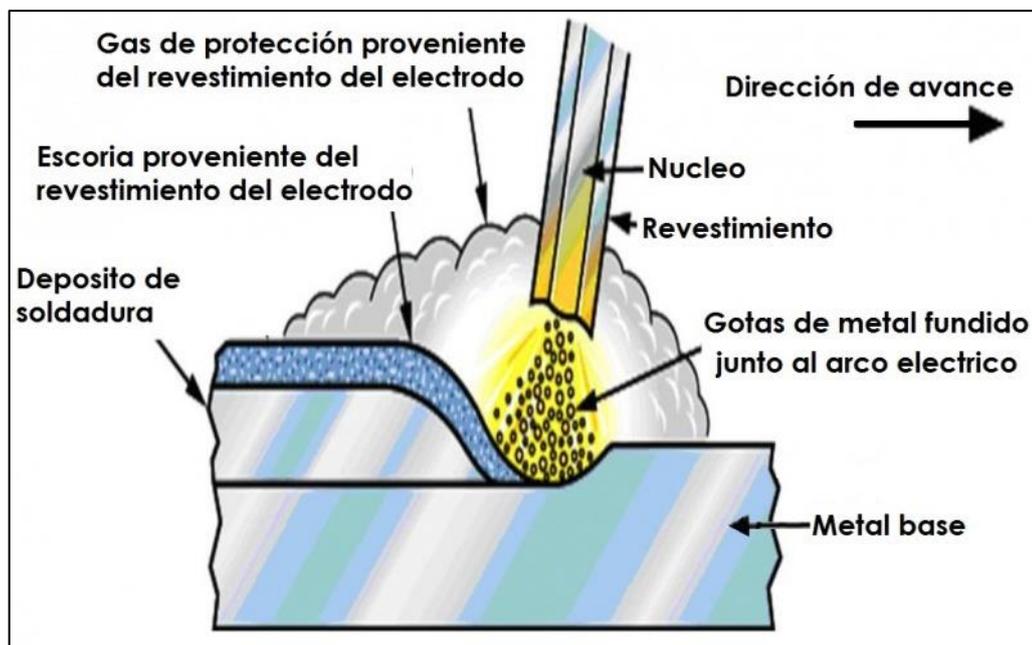
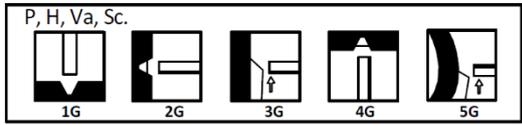


Figura 01. Esquema proceso SMAW (Tecnoderecho, 2014).

Para el manejo de la soldadura SMAW se emplea electricidad la cual puede ser corriente alterna, denominada como AC, o corriente directa conocida como CC o DC. Esta corriente genera un arco eléctrico que es la encargada de elevar la temperatura en el electrodo por ionización hasta un punto tal que se funde junto con el metal base generándose un charco incandescente, mecanismo que genera el proceso de soldadura, así como la presencia de un gas protector que impide la penetración de otros gases del medio ambiente y por ende fallas en la soldadura. Así mismo, se genera una escoria protectora en la soldadura que también protege de otros tipos de gases perjudiciales para el metal que está siendo sometido al proceso de soldadura (Arias, 2014).

**Tabla 01. Ficha técnica del Tenacito 80.**

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)		Límite de fluencia (MPa)		Elongación (%)		Energía absorbida ISO-V J		
Sin tratamiento	560 - 650		Mín. 470		Mín. 24		70		
Conservación del producto					Posición de soldadura				
<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>									
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	¼		
Amperaje mínimo		-	60	90	120	180	-		
Amperaje máximo		-	100	140	180	270	-		

Fuente: OERLIKON (2020)

El electrodo empleado en soldadura SMAW se puede considerar una amplia gama, es en este sentido que se referirá a uno en especial el cual lleva el nombre común de Tenacito 80 y cuya ficha técnica esta descrita, en la tabla 1.

Existen una clasificación de aceros Hadfield en la cual se aprecian diversos grados en función a la composición de carbono, manganeso, silicio níquel, cromo, molibdeno, fósforo, y que proporcionan valores distintos de dureza en función a tales concentraciones. En la tabla 2 se aprecia la clasificación de los aceros Hadfield (Tecnoderecho, 2014).

**Tabla 02. Clasificación de los aceros Hadfield.**

IDENTIFICACIÓN		COMPOSICIÓN QUÍMICA							HB Dureza Brinell
Norma	Grado	% C	%Mn	%Si	%Ni	%Cr	%Mo	%P	
	A	1,05-1,35	11 min.	1,00 máx.				0,07 máx.	180
	B1	0,90-1,05	11,5-14,0	1,00 máx.				0,07 máx.	
	B2	1,05-1,20	11,5-14,0	1,00 máx.				0,07 máx.	
	B3	1,12-1,28	11,5-14,0	1,00 máx.				0,07 máx.	
<b>ASTM A 128</b>	B4	1,20-1,35	11,5-14,0	1,00 máx.				0,07 máx.	200
	<b>C</b>	<b>1,05-1,35</b>	<b>11,5-14,0</b>	<b>1,00 máx.</b>		<b>1,5-2,5</b>		<b>0,07 máx.</b>	
	D	0,7-1,30	11,5-14,0	1,00 máx.	3,0-4,0			0,07 máx.	
	E1	0,7-1,30	11,5-14,0	1,00 máx.			0,9-1,2	0,07 máx.	185
	E2	1,05-1,45	11,5-14,0	1,00 máx.			1,8-2,1	0,07 máx.	
	F	1,05-1,35	6,0-8,0	1,00 máx.			0,9-1,2	0,07 máx.	180

Fuente: Tecnoderecho (2014)

Con lo descrito en la tabla 1, se puede apreciar que hay una gama de aceros Hadfield a ser usados en diversas maquinas como son mandíbulas de chancadoras de forma dentada, estructuras de chancadoras cónicas, placas de impacto, molino de martillos y muchos otros usos que se puede dar. Dentro de sus propiedades más importantes radicar un alto esfuerzo de fluencia, la cual se encuentra entre 280 a 470 MPa, con una dureza que oscila entre 180 a 220 HB. Otras de las propiedades a considerar es su elongación, en donde manifiesta valores de entre 20 a 40 %. Después de realizarle pruebas de impacto, se pudo apreciar tenacidades sobre los 136 J con una tenacidad a ser fracturada con valores aproximados de 120MPa/ m<sup>2</sup>, lo que le da una característica de trabajo que puede ser sometida a fuertes impactos (Rabinowicz, 2005).

Otra de las características de los aceros Hadfield es su propiedad de endurecerse al ser sometido a diversos trabajos, encontrándose valores desde 200 HB hasta 550 HB (Tecnoderecho, 2014).

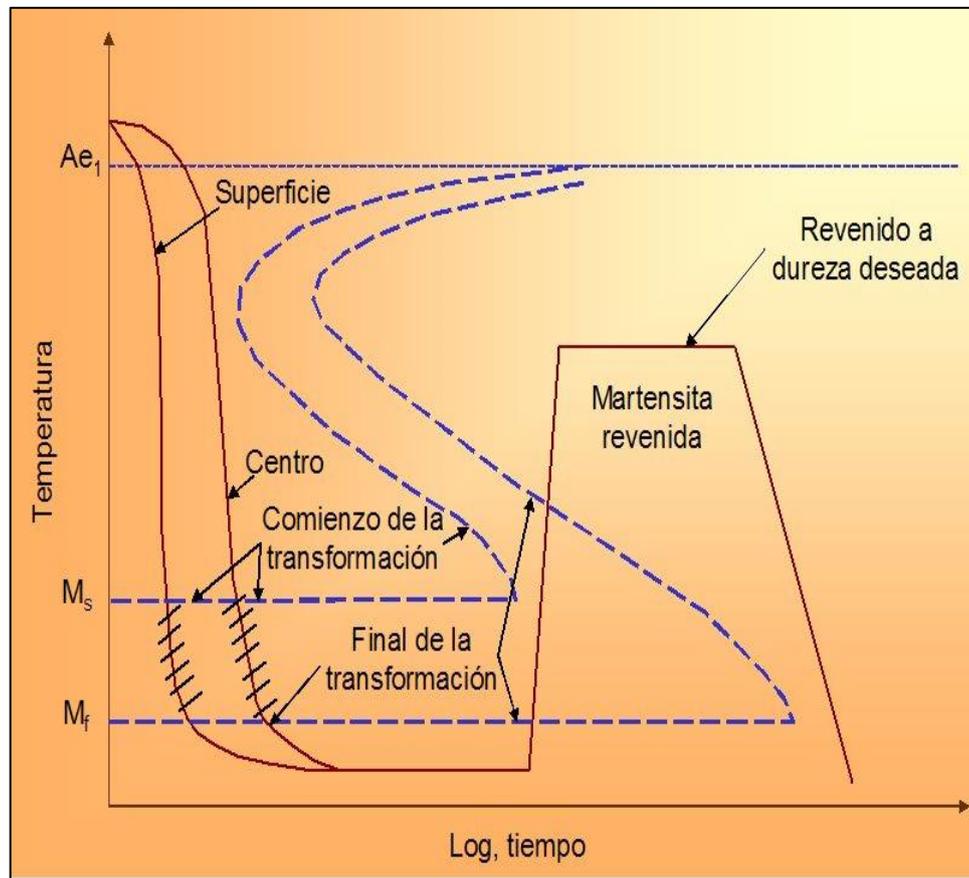


Figura 02. Representación de temple y revenido en un acero (Molera, 2009).

Así mismo, existen aceros que contienen concentraciones de manganeso superiores al 14%, que son empleados en casos muy especiales, solo cuando los aceros al manganeso con proporciones inferiores hallan fallado. Estos aceros son poco usados por su alto costo (Lean, 2015).



Figura 03. Proceso de templeado y revenido (Molera, 2009).

Según Molera (2009), manifiesta que el Revenido tiene por finalidad ablandar la estructura, así como eliminar tensiones. Consiste en calentar la pieza hasta temperaturas inferiores a su temperatura eutectoide y proceder a realizar un enfriamiento de tal manera que se forme una estructura martensítica evitando de esta manera la formación de perlita, luego se deberá de calentar a una temperatura inferior a la zona austenítica para finalmente generar una matriz ferrítica. La martensita sufre transformaciones producto de sus energías internas provenientes de las múltiples dislocaciones, es por ello que en un revenido que se realice entre 20 a 200 ° C, este mecanismo energético predomina.

En aceros con porcentajes de carbono mayores al 0.2%, para generar una redistribución del C es precipitando el carburo épsilon ( $Fe_{2.4}C$ ). Para tratamientos de revenido entre 200 y 300 °C existe la generación de cementita ( $Fe_3C$ ) en matriz de ferrita temperaturas mayores de los 200° y hasta los 700° C la dureza tiende a tener una disminución (Molera, 2009).

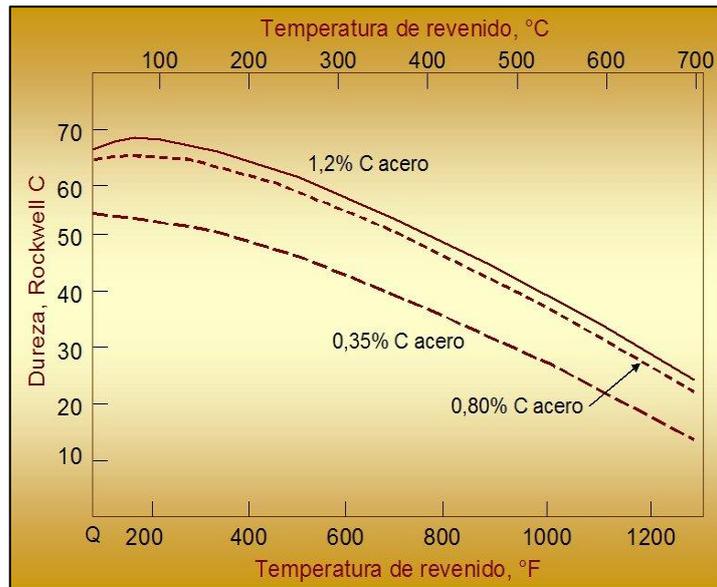


Figura 04. Efecto de la temperatura del proceso de revenido en la dureza de diferentes aceros (Molera, 2009).

Al hablar sobre la resistencia a la tracción en aceros, se aprecian claramente las siguientes zonas descritas en la figura 5: En el punto (a) aparece el Límite de proporcionalidad en la cual se detecta la ley de Hook, la cual menciona que existe una linealidad entre la relación de la fuerza que es igual a una constante por el alargamiento. En el punto (b) aparece el límite elástico en donde si se deja de someter el acero a una carga este puede regresar casi a su estado original pero no en su totalidad ya que ahora si aparece una deformación residual que impide el regreso a su estado original en su totalidad.

En el punto (c) se le conoce como el límite de fluencia y es en donde el acero empieza a estar en un estado elástico plástico, este es característico de los aceros y no de todos los metales. Luego aparece el punto (d) conocido como Esfuerzo máximo de resistencia a la tracción, y es aquel en donde el acero experimenta su máxima resistencia de la gráfica de esfuerzo – deformación. Finalmente aparece el punto (e) denominado esfuerzo de rotura el cual el punto donde el acero falla y se fractura (Meca, 2011).

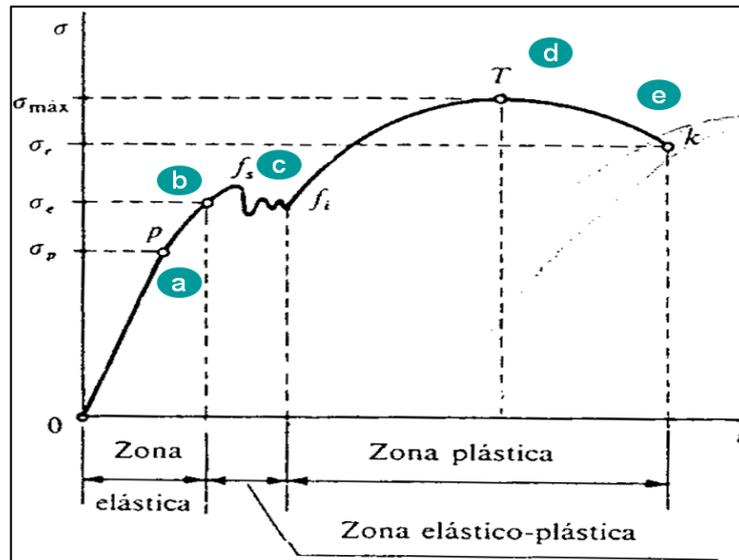


Figura 05. Curva de esfuerzo deformación resumen (Meca, 2011).

La Norma ASTM E8 trata sobre el método de ensayo que cubren las pruebas de tensión del metal, determinación de límite elástico, punto de alargamiento, resistencia a la tracción, ductilidad, tenacidad, elongación y otros parámetros que permiten predecir una óptima calidad de la probeta a ser sometida a ensayo, además de proporcionar las medidas y dimensiones de las probetas para los diversos ensayos de resistencia a la tracción (Norma E8, 2010).

Con respecto al análisis de varianza, comúnmente conocido como ANOVA, es una técnica muy empleada en tesis experimentales de uno (unifactorial), dos (bifactorial), tres (trifactorial) o más variables independientes que se les desea medir la influencia significativa sobre la o las variables dependientes. Con esta técnica permite predecir y aceptar la hipótesis nula, en donde se manifiesta que la(s) variable(s) independiente(s) no influye(n) sobre la variable dependiente(s) o la hipótesis alterna, en donde se manifiesta que la(s) variable(s) independiente(s) si influye(n) sobre la variable dependiente(s) (Amat, 2016).

### III. METODOLOGÍA

#### 3.1. Tipo y diseño de investigación.

##### **3.1.1. Tipo de investigación: Aplicada**

Fue aplicada debido a que se dará solución a una problemática como es la fisuración después de la soldadura en piezas internas de trituradora de mineral, realizando un tratamiento térmico de revenido post soldadura a diferentes tiempos (Hernández, Fernández, & Baptista, 2006).

##### **3.1.2. Diseño de investigación: Experimental**

Según el diseño de investigación fue Experimental, debido a que se manipuló de manera intencional la variable independiente, la cual para la presente investigación fue el tiempo de revenido, así mismo, se requirió de pruebas para determinar el efecto del tiempo de revenido post soldadura sobre la resistencia a la tracción en uniones de aceros Hadfields ASTM A128

#### 3.2. Variables y operacionalización

##### **3.2.1. Variable independiente**

Tiempo de revenido.

##### **3.2.2. Variable dependiente**

Resistencia a la tracción.

### 3.2.3. Operacionalización de variables

**Tabla 03.** *Definición operacional de las variables*

<b>VARIABLES</b>	<b>DEFINICIÓN CONCEPTUAL</b>	<b>DEFINICIÓN OPERACIONAL</b>	<b>INDICADORES</b>	<b>ESCALA DE MEDICIÓN</b>
<b>V.I. : Tiempo de Revenido</b>	Magnitud con la que se mide la duración o separación de acontecimientos. Permite ordenar los sucesos en secuencias, estableciendo un pasado, un futuro y un presente (Smith, 2012).	Tiempo dentro del horno para lograr un adecuado alivio de tensiones y por ende disminuir la fragilidad del acero producto de la soldadura.	➤ 1.0 hora ➤ 2.0 horas ➤ 3.0 horas	Razón
<b>V.D. : Resistencia a la tracción</b>	Propiedades mecánicas de esfuerzo interno a que está sometido un cuerpo por la aplicación de dos fuerzas que actúan en sentido opuesto, y tienden a estirarlo (Horbs, 2010).	Resistencia de que opone la probeta de Acero Hadfield ASTM A 128 hasta que falla y posterior rotura, en donde se analizará el alivio de tensiones mediante la ductilidad.	Resistencia máxima a la tracción en MPa.  Ductilidad (Elongación) en %.	Razón

Fuente: Elaboración propia

### 3.3. Población, muestra y muestreo

#### 3.3.1. Población

La población para la presente investigación estuvo constituida por probetas de acero ASTM A128 a las cuales se realizará pruebas de resistencia a la tracción mediante el proceso de soldadura SMAW.

#### 3.3.2. Muestra

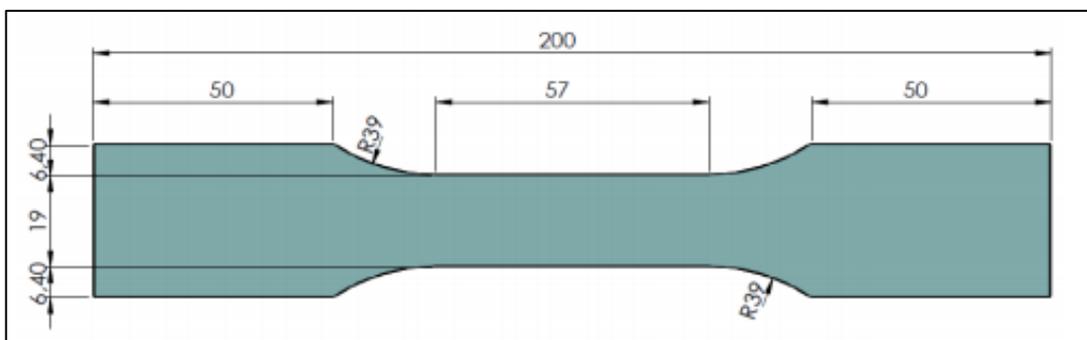
La muestra para la presente investigación estuvo constituida por nueve probetas de 20 cm de largo y con características que se muestra en la figura 6, según la norma ASTM E8, y la toma de resultados se ve plasmada en la tabla 4.

**Tabla 04.** Niveles de la variable independiente

	Tiempo de Revenido (horas)		
	1	2	3
Resistencia a la tracción (MPa)	A11	A21	A31
	A12	A22	A32
	A13	A23	A33

Fuente: Elaboración propia

N.º total de pruebas = (3) x (3) = 9 pruebas.



*Figura 06. Dimensiones de la probeta para el ensayo de Tracción*

### **3.3.3. Muestreo**

En esta parte del análisis del muestreo en la presente investigación se empleó el muestreo no probabilístico por conveniencia. Se empleó dicho método debido a la disponibilidad de que la unidad de estudio forme parte de la muestra, por facilidad de acceso y por qué todas las probetas en estudio tuvieron un adecuado control de calidad (Salvador, 2016).

## **3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

### **3.4.1. Técnica**

La técnica de obtención de datos fue la Observación Directa, debido a que se estará en contacto con el objeto que se estudió (probetas) en ambientes y escenarios debidamente acondicionados para realizar la experimentación

### **3.4.2. Instrumento**

El instrumento de recolección de datos fue la Maquina Universal Tecnotest Modena - Italy, capaz operar con una velocidad constante de carga y una precisión de  $\pm 1\%$ , la cual estará calibrada y tendrá una capacidad de carga de 60 toneladas. Así mismo, se usará una Ficha de Observación, la cual permitirá tomar registro de todo lo obtenido en la experimentación cómo será la resistencia última a la tracción, elongación, límite de fluencia, zona plástica, zona elástica, entre.

### **3.4.3. Validez**

Lo proporcionó un experto en el área de soldadura y ensayos mecánicos con conocimientos teóricos y prácticos a cuyo mecanismo de apoyo se le denominará Juicio de Experto.

Con respecto a la Máquina de Tracción estuvo calibrada por la empresa Logytec en conformidad con la Norma Técnica Peruana ISO/IEC 17025.

#### 3.4.4. Confiabilidad

Lo proporcionó la Máquina Universal de Ensayo de Tracción la cual estuvo debidamente calibrada y con estándares de calidad internacional.

Respecto a los instrumentos se tuvo la probabilidad del  $\pm 1\%$  de error y la probabilidad de falla para ser rechazada la hipótesis fue del 5%

### 3.5. Procedimiento

#### 3.6.1. Caracterización del acero Hadfield ASTM A128

El acero utilizado en el presente estudio como material base fue el acero Hadfield con designación ASTM A128 de  $\frac{1}{4}$  pulgadas de espesor y como material de aporte Tenacito 80 de acuerdo a la designación AWS A5.5/ASME-SFA 5.5 E8018-C3 de  $\frac{3}{32}$  pulgadas de diámetro y fabricada por la empresa OERLIKON. La composición química nominal, características micro estructurales del material base a 400 aumentos atacada con Nital y propiedades mecánicas del material base y aporte se muestran a continuación.

**Tabla 05.** *Composición química del acero ASTM A128.*

Grado ASTM	ELEMENTOS QUÍMICOS (%)						
	C	Mn	Cr	Mo	Ni	Si (max)	P (max)
A	1.05 – 1.35	11.0 min	-	-	-	-	0.07

Fuente: ASTM (2015)

### **3.6.2. Elaboración de las probetas**

Para la elaboración de las probetas se realizó teniendo en cuenta la dimensión de la probeta para el ensayo de resistencia a la Tracción y según norma ASTM E8.

### **3.6.3. Proceso de soldadura**

Las probetas fueron soldadas teniendo en cuenta ciertos parámetros de trabajo como fueron él trabajó a temperatura ambiente, la polaridad fue directa, la velocidad con la cual avanzó el electrodo fue de 10 a 13 cm/minuto, en posición 1 G para la forma de soldeo, con amperajes de 60 A.

Se cebó el arco, luego se trazó el cordón de soldadura, se determinó adecuadamente la longitud del arco y se realizó el avance del electrodo en forma uniforme. Se tomó en cuenta las medidas de seguridad y protección personal.

El cebado del arco el cual se realizó por golpe y por raspado. Una vez generado el arco se procedió a trazar el cordón de soldadura el cual debió de tenerse en cuenta que la altura entre el electrodo y la pieza fueran constantes. Como el espesor lo ameritaba se realizó movimientos oscilantes que permitieron tener un mejor llenado de la abertura a ser soldada.

El acero tubo un espesor de  $\frac{1}{4}$  de pulgada y como material de aporte se empleó Tenacito 80 según la designación AWS A5.5 / ASME-SFA 5.5 E8018-C3 de  $\frac{3}{32}$  pulgadas de diámetro.

Se trabajó a temperatura ambiente, la polaridad fue directa, la velocidad con la cual avanzó el electrodo fue de 10 a 13 cm/minuto, en posición 1 G para la forma de soldeo, con amperajes de 60 A.

Para las probetas se tomaron en cuenta la norma técnica ASTM E8 y se procedió al soldado de las mismas

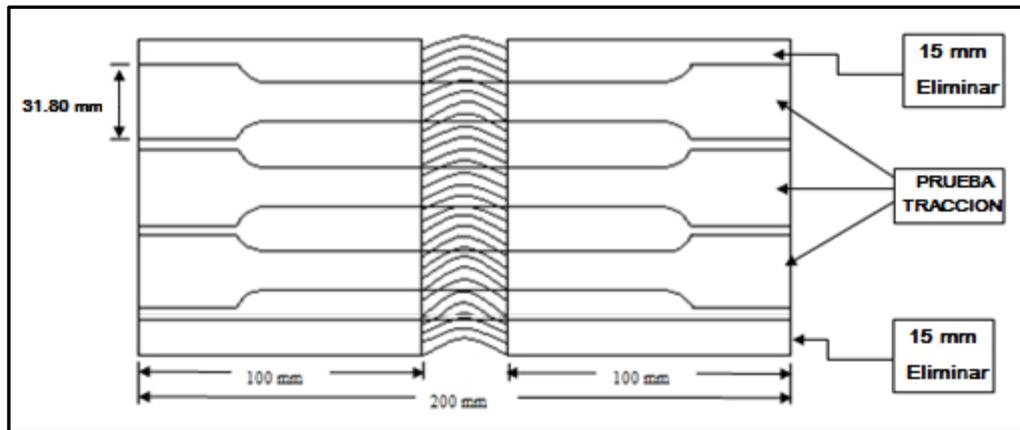


Figura 07. Elaboración de probetas para prueba experimental.

#### 3.6.4. Proceso de Revenido

Una vez maquinadas las probetas se procedió a realizar el tratamiento térmico de Revenido para el cual se calentó el acero a 675 °C, durante 1, 2 y 3 horas seguido de un enfriamiento lento al aire.

Esta operación es complementaria del temple y se usa para mejorar los efectos del mismo, como reducir las tensiones residuales, reducir la dureza y mejorando la tenacidad, ductilidad, resistencia a la fatiga y plasticidad del material. Cuanto mayor sea la cantidad de martensita en el acero templado mayor es la dureza y la fragilidad del material. Aplicando el revenido, conforme se incrementa la temperatura disminuye dureza y aumenta la tenacidad del material.



*Figura 08.* Horno para revenido

Finalmente se realizó el ensayo de tracción a la probeta sin tratamiento y a las probetas con 1, 2 y 3 horas de revenido.



*Figura 09.* Máquina Universal para Ensayo de tracción

### 3.6. Métodos y análisis de datos

Respecto al diseño de la hipótesis estará basada en un análisis estadístico lo cual verificará la aceptación o rechazo de las pruebas experimentales.

Los datos obtenidos serán procesados mediante análisis de varianza (ANOVA), cuyo resumen se representa en la tabla 6. En dicha tabla existen fórmulas que se simplifican en la aplicación de las siguientes expresiones, donde:

$$\begin{aligned}
 n &= \sum_{j=1}^a n_j & SC_{tra} &= \sum_{j=1}^a n_j (\bar{Y}^{\circ_j} - \bar{Y}^{\circ\circ})^2 & SCE &= \sum_{j=1}^a \sum_{i=1}^{n_j} (Y_{ij} - \bar{Y}^{\circ_j})^2 & SCT &= SC_{tra} + SCE \\
 \bar{Y}^{\circ_j} &= \frac{1}{n_j} \sum_{i=1}^{n_j} Y_{ij} & \bar{Y}^{\circ\circ} &= \frac{1}{n} \sum_{j=1}^a \sum_{i=1}^{n_j} Y_{ij} & CM_{tra} &= \frac{SC_{tra}}{a-1} & CME &= \frac{SCE}{n-a}
 \end{aligned}$$

**Tabla 06.** Cuadro resumen del análisis de varianza para la resistencia a la tracción

Fuente	Grado de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Estadístico de prueba F
Tratamientos	a - 1	SC <sub>trat</sub>	CM <sub>trat</sub>	$F_0 = \frac{CM_{trat}}{CME}$
Error	n - a	SCE	CME	
Total	n - 1	SCT		

Fuente: Montgomery (2004)

### 3.7. Aspectos éticos

Según la normativa de la Universidad César Vallejo, se tuvo en cuenta los siguientes aspectos éticos:

**Confidencialidad:** Se mantuvo la confidencialidad de los lugares o personas que no den autorización de publicar sus nombres o instalaciones en la presente tesis de investigación.

**Derechos de autor:** Estuvo prohibido la reproducción parcial o total de la presente tesis de investigación sin autorización del autor.

**Citaciones:** La presente tesis de investigación tuvo completamente citado los párrafos según la normativa vigente de la UCV y los formatos proporcionados por la ISO-690.

**Respeto:** Se mantuvo el respeto y la reserva de la información recopilada y plasmada en la presente investigación.

#### IV. RESULTADOS

Dimensiones de probetas para pruebas experimentales de resistencia a la tracción según norma ASTM E8.

**Tabla 07.** Cuadro de dimensiones de probetas

Dimensiones (mm)	L (Longitud)	A (ancho)	e (Espesor)	Ag (Ancho de garganta)
<b>Probetas</b>	200	31.8	6.4	57

Fuente: Elaboración propia.

Identificación del efecto del tiempo de revenido post soldadura sobre la resistencia a la tracción acero Hadfield ASTM A128.

A continuación, se detalla todos los datos obtenidos de las probetas ensayadas.

**Tabla 08.** Cuadro de datos generales de probetas ensayadas

Probetas N°	Tiempo de revenido (Horas)	Carga máxima de ruptura (N)	Área total mm <sup>2</sup>	Resistencia a la tracción (Mpa)	resistencia a la tracción promedio (Mpa)
P1 PATRON	<b>Sin revenido</b>	<b>48777</b>	<b>95.43</b>	<b>511.13</b>	<b>511.13</b>
P2 (R1)	1 hora	48375	95.77	505.12	503.12
P2 (R2)		48334	95.53	505.96	
P2 (R3)		47841	96.01	498.29	
P3 (R1)	2 horas	<b>47122</b>	<b>95.77</b>	<b>492.03</b>	<b>495.05</b>
P3 (R2)		<b>47359</b>	<b>95.48</b>	<b>496.01</b>	
P3 (R3)		<b>47634</b>	<b>95.82</b>	<b>497.12</b>	
P4 (R1)	3 horas	44447	95.53	465.27	464.49
P4 (R2)		44503	95.48	466.10	
P4 (R3)		44279	95.82	462.11	

Fuente: Elaboración propia

Se realizaron algunos cálculos como, modo de ejemplo para la probeta sin tratamiento se empleó las siguientes fórmulas:

Con respecto a la Resistencia a la tensión, a modo de ejemplo se empleó la siguiente fórmula:

$$S_{ut} = \frac{P_{max}}{A_o} = \frac{48\,777\text{ N}}{95.43\text{ mm}^2} = 511.13\text{ MPa}$$

Identificándose que la resistencia máxima a la tracción fue de 511.13 MPa

Con respecto a la Ductilidad (Alargamiento o Elongación) en %, se empleó la siguiente expresión matemática, teniendo en cuenta una marca inicial antes del ensayo de 50 mm y después del ensayo dicha marca mostró un alargamiento de 63.55 mm:

$$\varepsilon = \frac{L_F - L_O}{L_O} \times 100$$

$$\Rightarrow \varepsilon = \frac{63.55 - 50}{50} \times 100$$

$$\Rightarrow \varepsilon = 27.5\%$$

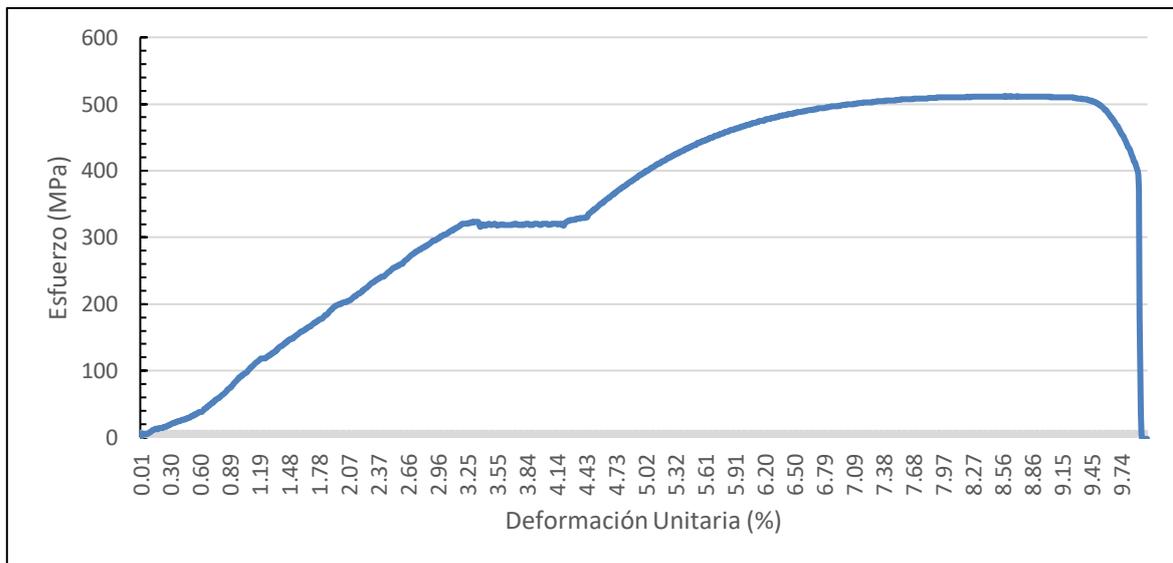


Figura 10. Gráfico de esfuerzo deformación para la probeta sin tratamiento térmico.

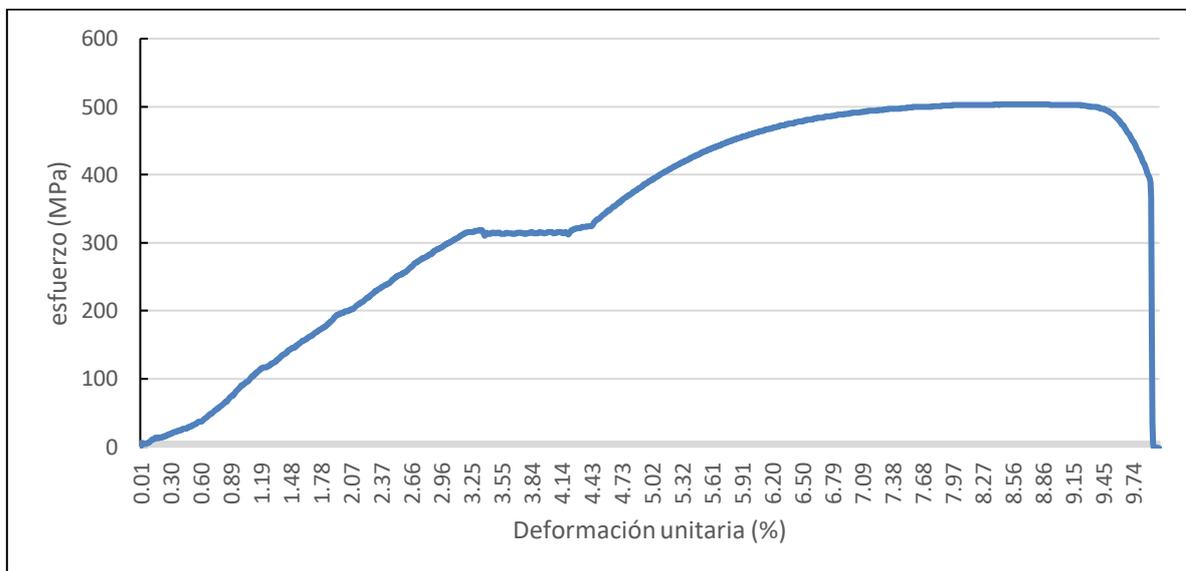
A continuación, se presentan las tablas con los resultados obtenidos después de realizar el ensayo de tracción, con el revenido a 1 hora, 2 horas y 3 horas. Los cuales fueron hallados con la carga última de ruptura y el área de la sección de cada probeta ensayada, encontrando la resistencia promedio para cada hora de revenido.

Además, se muestra los gráficos de esfuerzo deformación para cada tiempo de revenido y el cálculo del grado de elongación de cada una de ellas.

**Tabla 09.** Resistencia a la tracción promedio con 1 hora de revenido

Probetas	Resistencia a la tracción (Mpa) a 1 H	Resistencia a la tracción promedio (Mpa)
1	505.12	503.12
2	505.95	
3	498.30	

Fuente: Elaboración propia



**Figura 11.** Gráfico de esfuerzo deformación para la probeta con 1 hora de revenido.

En la figura 11 se identifica que la resistencia máxima a la tracción fue de 503.12 MPa y para el cálculo de la ductilidad se tuvo en cuenta, una marca inicial antes del ensayo de 50 mm y después del ensayo dicha marca mostró un alargamiento de 65.08 mm:

$$\varepsilon = \frac{L_F - L_0}{L_0} \times 100$$

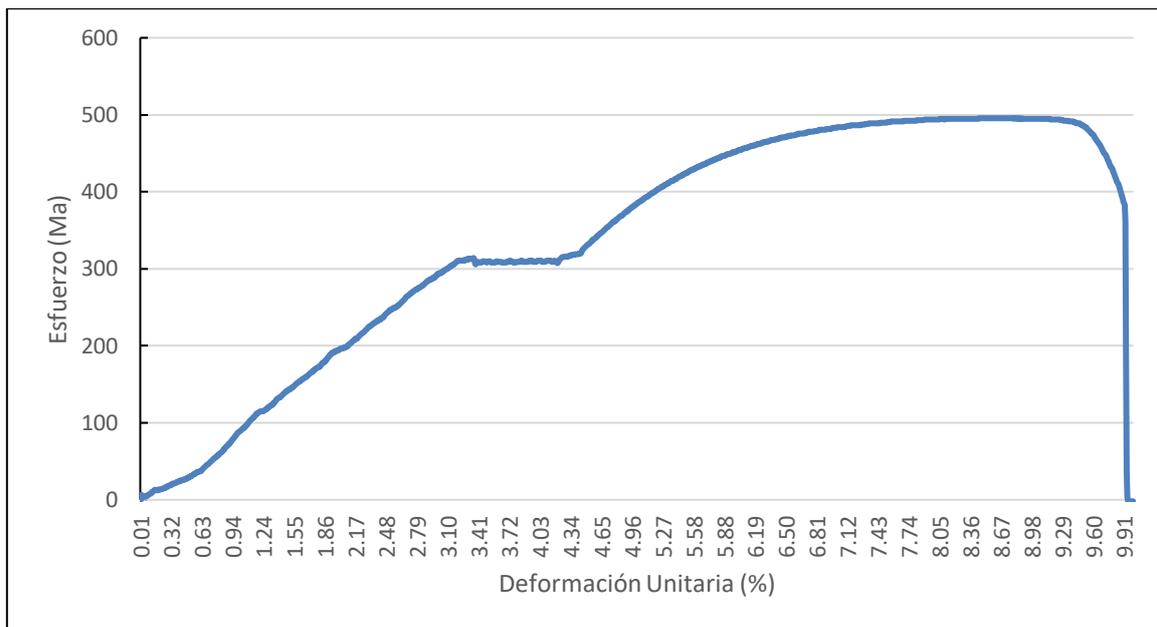
$$\Rightarrow \varepsilon = \frac{65.08 - 50}{50} \times 100$$

$$\Rightarrow \varepsilon = 30.16 \%$$

**Tabla 10.** Resistencia a la tracción promedio con 2 horas de revenido

Probetas	Resistencia a la tracción (Mpa) a 2 H	Resistencia a la tracción promedio (Mpa)
1	492.03	495.05
2	496.01	
3	497.11	

Fuente: Elaboración propia



**Figura 12.** Gráfico de esfuerzo deformación para la probeta con 2 horas de revenido

En la figura 12 se identificó que la resistencia máxima a la tracción fue de 495.05 MPa y para el cálculo de la ductilidad se tuvo en cuenta una marca inicial antes del ensayo de 50 mm y después del ensayo dicha marca mostró un alargamiento de 67.62 mm:

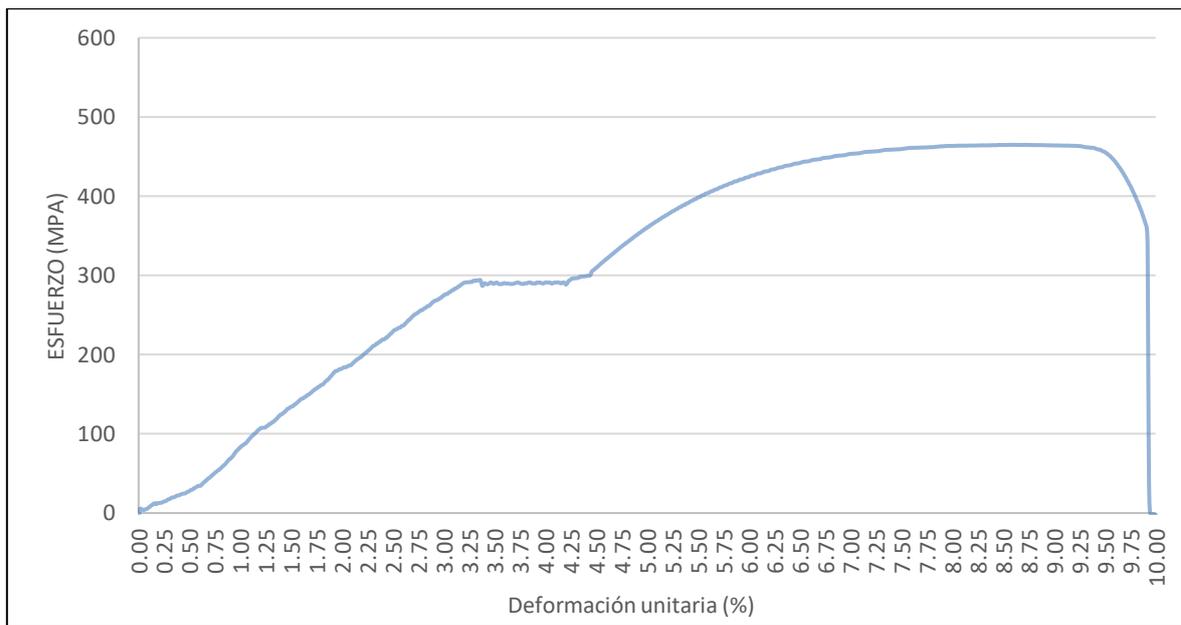
$$\varepsilon = \frac{L_F - L_0}{L_0} \times 100$$

$$\Rightarrow \varepsilon = \frac{67.62 - 50}{50} \times 100$$

**Tabla 11.** Resistencia a la tracción promedio con 3 horas de revenido

Probetas	Resistencia a la tracción (Mpa) a 3 H	Resistencia a la tracción promedio (Mpa)
1	465.26	464.48
2	466.10	
3	462.10	

Fuente: Elaboración propia



**Figura 13.** Gráfico de esfuerzo deformación para la probeta con 3 horas de revenido

De la figura 13 se identifica que la resistencia máxima a la tracción fue de 464.48 MPa y para el cálculo de la ductilidad se tuvo en cuenta una marca inicial antes del ensayo de 50 mm y después del ensayo dicha marca mostró un alargamiento de 68.78 mm.

$$\varepsilon = \frac{L_F - L_0}{L_0} \times 100$$

$$\Rightarrow \varepsilon = \frac{68.78 - 50}{50} \times 100$$

$$\Rightarrow \varepsilon = 37.56 \%$$

**Tabla 12.** Cuadro de datos de grado de elongación de cada probeta ensayada.

Probetas N°	Longitud inicial	Longitud final	Grado de elongacion %	Grado de elongacion promedio %
<b>P1 PATRON</b>	50	63.55	27.10	27.10
<b>P2 (R1)</b>	50	65.14	30.28	30.16
<b>P2 (R2)</b>	50	65.16	30.32	
<b>P2 (R3)</b>	50	64.94	29.88	
<b>P3 (R1)</b>	50	67.51	35.02	35.24
<b>P3 (R2)</b>	50	67.65	35.30	
<b>P3 (R3)</b>	50	67.70	35.39	
<b>P4 (R1)</b>	50	68.81	37.62	37.55
<b>P4 (R2)</b>	50	68.85	37.70	
<b>P4 (R3)</b>	50	68.67	37.34	

En las figuras 10, 11, 12 y 13 se apreció una gráfica muy similar la siguiente figura 14, en donde se apreciaron 5 puntos claves los cuales se describen a continuación:

- a) En el punto (a) aparece el Límite de proporcionalidad en la cual se detecta la ley de Hook, la cual menciona que existe una linealidad entre la relación de la fuerza que es igual a una constante por el alargamiento.
- b) En el punto (b) aparece el límite elástico en donde si se deja de someter el acero a una carga este puede regresar casi a su estado original pero no en su totalidad ya que ahora si aparece una deformación residual que impide el regreso a su estado original en su totalidad.
- c) En el punto (c) se le conoce como el límite de fluencia y es en donde el acero empieza a estar en un estado elástico plástico, este es característico de los aceros y no de todos los metales.
- d) Luego aparece el punto (d) conocido como Esfuerzo máximo de resistencia a la tracción, y es aquel en donde el acero experimenta su máxima resistencia de la gráfica de esfuerzo – deformación.
- e) Finalmente aparece el punto (e) denominado esfuerzo de rotura el cual es el punto donde el acero falla y se fractura.

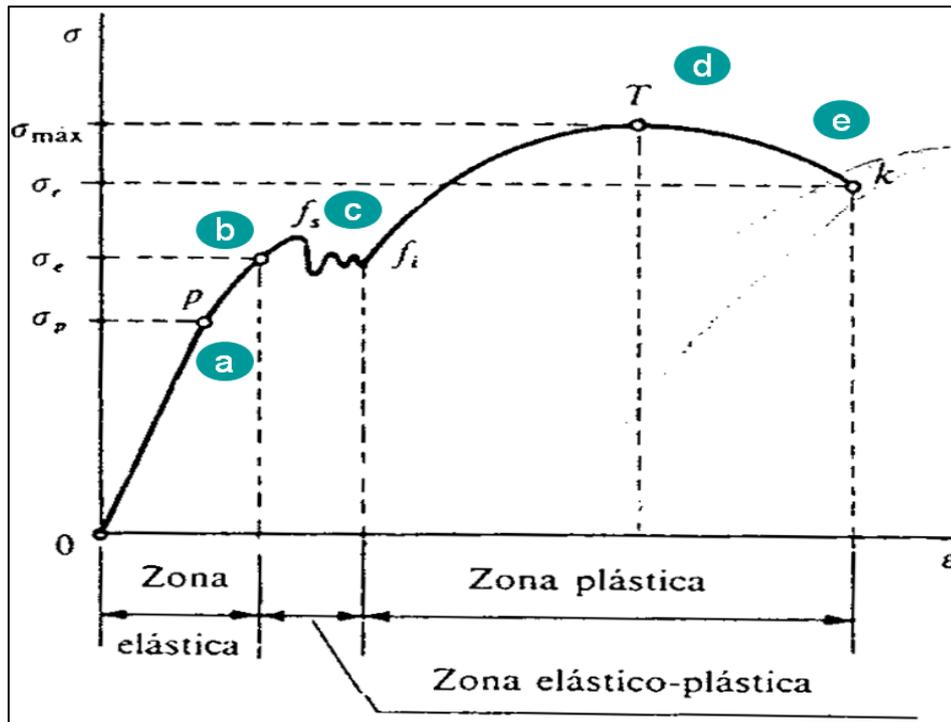


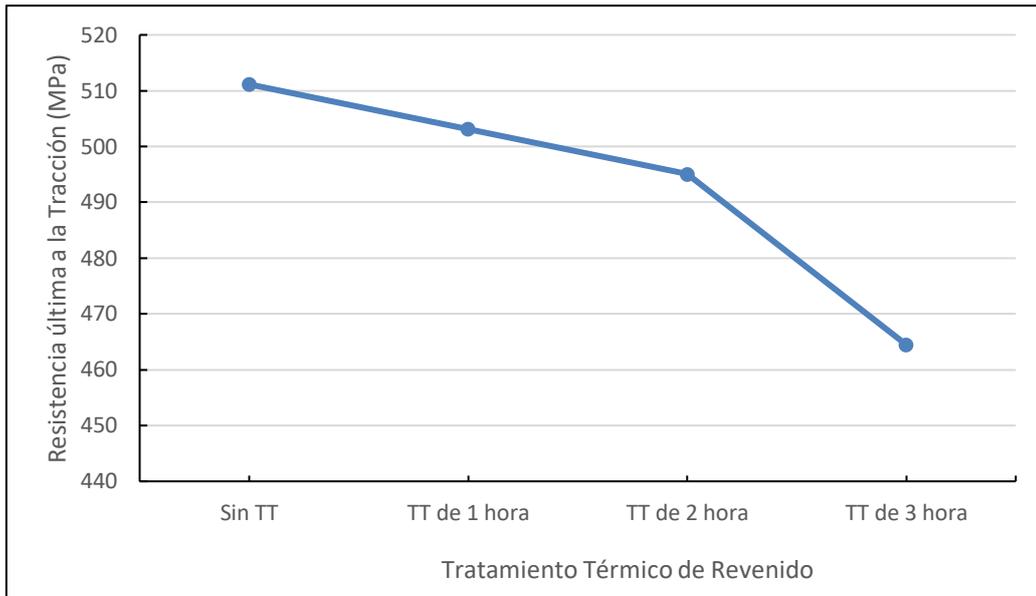
Figura 14. Curva de esfuerzo deformación resumen.

A continuación, en la tabla 13 se representa el registro resumen de la resistencia última a la tracción a las probetas sin tratamiento y con tratamiento térmico de 1, 2 y 3 horas respectivamente.

**Tabla 13.** Registro resumen del ensayo de tracción a las probetas

Muestras	Promedios de resistencia última a la tracción (MPa)
Sin tratamiento térmico	511.13
Con tratamiento térmico de 1 hora	503.12
Con tratamiento térmico de 2 hora	495.05
Con tratamiento térmico de 3 hora	464.48

Fuente: Elaboración propia



*Figura 15.* Datos resumen de Resistencia a la tracción

En la figura 15 se pudo visualizar la tendencia que presenta la resistencia a la tracción el acero cuando es afectado por el tiempo de tratamiento, en la cual se observa una disminución, pero al mismo tiempo gana una importante propiedad que fue la ductilidad en donde se aprecia un incremento sustancial y reflejados en la tabla 14.

Con estos datos se procedió a realizar la figura 16 en donde se pudo visualizar la tendencia que presenta la resistencia a la tracción el acero cuando es afectado por el tiempo de tratamiento, en la cual se observa una disminución, pero al mismo tiempo gana una importante propiedad que fue la ductilidad en donde se aprecia un incremento sustancial.

**Tabla 14.** Registro de ductilidad a las muestras de estudio

Muestras	Promedios de ductilidad (alargamiento o elongación) en %
Sin tratamiento térmico	27.50
Con tratamiento térmico de 1 hora	30.16
Con tratamiento térmico de 2 hora	35.24
Con tratamiento térmico de 3 hora	37.56

Fuente: Elaboración propia

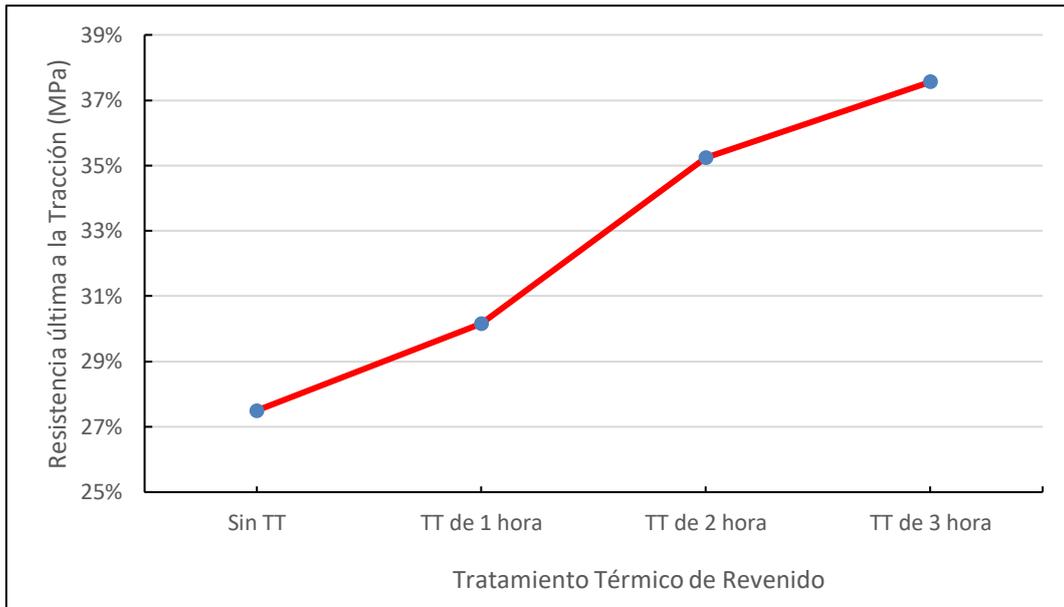


Figura 16. Datos resumen de ductilidad

Posteriormente en la tabla 15 se procedió a registrar todos los datos obtenidos de resistencia a la tracción y los cuales sirvieron para realizar el análisis de varianza.

Tabla 15. Niveles de la variable independiente completa.

	Tiempo de Revenido (horas)		
	1	2	3
<b>Resistencia a la tracción (MPa)</b>	505.12	492.03	465.26
	505.95	496.01	466.10
	498.30	497.11	462.10
<b>Promedio de la resistencia a la tracción (MPa)</b>	503.12	495.05	464.48
<b>Ductilidad (%)</b>	30.16	35.24	37.56

Fuente: Elaboración propia

Realizar el análisis de varianza (ANOVA) que permita identificar la influencia significativa entre el tiempo de revenido post soldadura y su relación con la resistencia a la tracción del acero ASTM A128.

Para la realización del análisis de varianza se emplearon las siguientes fórmulas y cuyo resumen se encuentran plasmado en la tabla 16:

**Tabla 16.** Niveles de la variable independiente de resistencia a la tracción

Descripciones		Resistencia a la tracción (MPa)			$\sum Y_i$	$Y_{i, prom}$
		1	2	3		
Tiempo de revenido (h)	1	505.12	505.95	498.3	1509.37	503.12
	2	492.03	496.01	497.11	1485.15	495.05
	3	465.25	466.1	462.1	1393.45	464.48
$\sum Y_j$		4387.91			4387.91	
$\sum Y_{ij}$		1462.4	1468.06	1457.51		487.55

Fuente: Elaboración propia

Donde:

K: Número de niveles (Para nuestro caso = 3)

N: Número de datos totales (Para nuestro caso = 9)

n: Número de repeticiones (Para nuestro caso = 3)

$\alpha = 0.05$

$V_1 = k-1 = 3 - 1 = 2$

$V_2 = N-k = 9 - 3 = 6$

Con estos datos se encontró el valor del  $F_{\alpha, v_1, v_2} = F_{0.05, 2, 6} = 5.14$  y extraído de la tabla 17 de Puntos porcentuales de la distribución  $F_{0.05, v_1, v_2}$

**Tabla 17.** Puntos porcentuales de la distribución  $F_{0.05, v1, v2}$

V1	Grados de libertad del numerador (V1)										
V2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12
1	161.4	199.5	215.7	224.6	230.2	234.0	236.8	238.9	240.5	241.9	243.9
2	18.5	19.0	19.2	19.3	19.3	19.3	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4
3	10.7	9.6	9.3	9.1	9.0	8.9	8.9	8.9	8.8	8.8	8.7
4	7.7	6.9	6.6	6.4	6.3	6.2	6.1	6.0	6.0	6.0	5.9
5	6.6	5.8	5.4	5.2	5.1	5.0	4.9	4.8	4.8	4.7	4.6
6	6.0	5.1	4.8	4.5	4.4	4.3	4.2	4.2	4.1	4.1	4.0
7	5.6	4.7	4.4	4.1	5.0	3.9	3.8	3.7	3.7	3.6	3.6
8	5.3	4.5	4.1	3.8	3.7	3.6	3.5	3.4	3.4	3.4	3.3
9	5.1	4.3	3.9	3.6	3.5	3.4	3.3	3.2	3.2	3.1	3.1

Fuente: Montgomery (2004)

Luego se aplicó de manera matemática lo siguiente:

$$SS_T = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n y_{ij}^2 - \frac{y^2}{N}$$

$$SS_T = 505.12^2 + 505.95^2 + \dots + 462.10^2 - \frac{4387.97^2}{9} = 2550.51$$

$$SS_A = \frac{\sum_{i=1}^k y_i^2}{n} - \frac{y^2}{N}$$

$$SS_A = \frac{1509.37^2 + 1485.15^2 + 1393.45^2}{3} - \frac{4387.97^2}{9} = 2492.08$$

$$SS_T = SS_A + SS_E$$

$$2550.51 = 2492.08 + SS_E \Rightarrow SS_E = 58.42$$

$$MS_A = \frac{SS_A}{n-1}$$

$$MS_A = \frac{2492.08}{3-1} = 1246.04$$

$$MS_E = \frac{SS_E}{N-K}$$

$$MS_E = \frac{58.42}{9-3} = 9.73$$

$$F_0 = \frac{MS_A}{MS_E} = \frac{1246.04}{9.73} = 127.96$$

En la siguiente tabla 18 se procedió a indicar un resumen del análisis de varianza realizado.

**Tabla 18.** Cuadro resumen del análisis de varianza de la resistencia a la tracción

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Media de Cuadrados	Fo	$F_{0.05,2,6}$
Entre grupos	2	2492.08	1246.04	127.96	5.14
Dentro de grupos	6	58.42	9.73		
Total	8	2550.512			

Fuente: Elaboración propia

En el planteamiento de la hipótesis se tuvo lo siguiente:

Hipótesis Nula (T H0): El tiempo de revenido no afecta a la resistencia a la tracción del acero Hadfield ASTM A128.

Hipótesis alterna (T H1): El tiempo de revenido afecta a la resistencia a la tracción del acero Hadfield ASTM A128.

En ingeniería se trabaja con un 95 % de confianza ( $\alpha=0.05$ )

Se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ) si  $F_0 = 127.96 > F_{\alpha,V1,V2}$ , donde el  $F_0$  se obtiene experimentalmente y el  $F_{\alpha,V1,V2} = F_{0.05,2,6} = 5.14$ .

Entonces para la presente investigación se acepta la hipótesis alterna en donde el tiempo de revenido si afecta a la resistencia a la tracción del acero Hadfield ASTM A128.

## V. DISCUSIÓN

En la elaboración de pruebas experimentales según norma ASTM E8, se usaron probetas planas que permitieron proporcionar resultados apropiados de trabajo, es en este sentido que Sabzy y Dezfuli (2018), corroboraron este tipo de ensayo usando también probetas planas, adicionalmente ellos evaluaron el efecto de la temperatura y el tiempo del proceso de austempering sobre las evoluciones microestructurales, el equilibrio de fase, las propiedades mecánicas y el modo de fractura del metal de soldadura en las juntas de acero Hadfield. Para este propósito, el proceso de austempering se llevó a cabo a 500, 600 y 700° C durante 15 y 30 minutos en uniones de soldadura de acero Hadfield, que se prepararon utilizando el método de soldadura de arco metálico protegido (SMAW).

Después de las pruebas de tracción, el modo de fractura de las superficies también fue determinado por SEM. En esta investigación se afirmó que al aumentar el tiempo y la temperatura del proceso de austempering, ello conduce a un aumento del límite de elasticidad, resistencia a la tracción, microdureza, contenido de carburo de proeutectoide  $(Fe, Mn)_3C$  y reducción del tamaño de grano de austenita, capacidad de deformación plástica, energía de fractura y reducción de la tendencia a la fractura dúctil en el metal de soldadura Hadfield.

En la identificación del efecto del tiempo de revenido post soldadura sobre la resistencia a la tracción acero Hadfield ASTM A128, el parámetro más adecuado encontrado fue a los 3 horas de tratamiento con una ductilidad de 37.56 % y con una resistencia a la tracción de 464.48 MPa, es en este sentido que Rio (2013), investigó sobre aceros austeníticos con concentraciones bajas de manganeso que eran resistentes al ser sometidos a pruebas al desgaste, en estas probetas se apreciaron un aumento en su endurecimiento cuando se les aplicó un tratamiento en un rango de 100 – 150 ° C, y mejorándose aún más cuando se le sometió a un tratamiento térmico de 550 °C.

Esto se dio debido a que apareció una gran precipitación de carburos de grano fino. Así mismo, es importante conocer que Rio manifiesta en su investigación, después de realizar un análisis microestructural que es factible mantener a la

austenita durante más tiempo en el proceso de revenido y con ello proporcionar a la estructura mejores propiedades mecánicas. Por otro lado, Higuera, y otros (2007) realizaron estudios sobre los aceros Hadfield a los cuales los denominaron aceros austeníticos al manganeso, los cuales también presentaron mejoras de endurecimiento provenientes del anclado de las dislocaciones, por la presencia de su matriz austenítica afinada, así como la aparición de maclas. Así mismo manifiestan que el manganeso influye significativamente en la resistencia del acero a ser sometidos a ensayos de dureza y resistencia, así mismo el carbono juega un papel predominante en las características mecánicas del acero.

Al realizar el análisis de varianza (ANOVA) permitió identificar la influencia significativa entre el tiempo de revenido post soldadura y su relación con la resistencia a la tracción del acero ASTM A128. Aquí se identificó la aceptación de la hipótesis alterna, en la cual se observa que la variable independiente (tiempo de revenido) influye significativamente sobre la variable dependiente (resistencia a la tracción) debido a que el  $F_0 = 127.96$  encontrado de manera matemática fue mayor que el  $F_{0.05,2,6} = 5.14$  encontrado de la tabla 17 proporcionada por Montgomery (2004).

## VI. CONCLUSIONES

1. Al determinar el efecto del tiempo de revenido post soldadura sobre la resistencia a la tracción en uniones de acero Hadfield ASTM A128, se concluye que el tiempo de revenido influye significativamente en la resistencia a la tracción, ello se verifica de manera experimental y estadística.
2. Al elaborar las pruebas experimentales según norma ASTM E8, se concluye que fueron las apropiadas, permitiendo un adecuado agarre en la máquina universal y se pudo verificar experimentalmente que los resultados obtenidos fueron los correctos.
3. Al identificar el efecto del tiempo de revenido post soldadura sobre la resistencia a la tracción del acero Hadfield ASTM A128, se concluye que, la resistencia a la tracción se ve influenciado desde un valor de 464.48 MPa hasta un valor de 503.13 MPa, así mismo la ductilidad se mejoró desde un 30.16 % hasta un 37.56 % a un tiempo de 3 horas de revenido.
4. Al realizar el análisis de varianza (ANOVA) que permita identificar la influencia significativa entre el tiempo de revenido post soldadura y su relación con la resistencia a la tracción del acero ASTM A128, se concluye que influyen y ello se vio verificado por el valor  $F_0 = 127.96$  encontrado el cual fue mayor que el  $F_{0.05,2,6} = 5.14$ .

## **VII. RECOMENDACIONES**

1. Se recomienda usar otros parámetros de trabajo como pueden ser: temperatura de revenido, intensidades de corriente, velocidad de soldadura, caracterizaciones mecánicas y químicas a las muestras tanto patrón como en estudio.
2. Así mismo, se recomienda analizar otros parámetros de resultados como dureza, flexión, ensayos de fluencia lenta, ensayos de Creep, entre otras.
3. Se recomienda realizar estudios a diferentes espesores de plancha.
4. Se recomienda realizar estudios de análisis micro estructurales para visualización de fases internas y tamaños de grano.

## REFERENCIAS

ABOUT, D. 911 Metallurgist. Chancado y Molienda de Minerales Húmedos y Pegajosos. [En línea] 28 de junio de 2016. [Fecha de consulta 10 de octubre de 2019.] Disponible en: <https://www.911metallurgist.com/metalurgia/chancado-y-molienda-de-minerales-humedos-y-pegajosos/>.

MAT, R. ANOVA análisis de varianza para comparar múltiples medias. [En línea] enero de 2016. [fecha de consulta 04 de julio de 2020.] Disponible en: [https://www.cienciadedatos.net/documentos/19\\_anova](https://www.cienciadedatos.net/documentos/19_anova).

ARIAS, Paulo. Optimización de la sección de chancado para incrementar la producción diaria a 700 toneladas de mineral triturado en la empresa ICM Perú. Callao : Universidad Nacional del Callao, 2014.

ASHBY, M, JONES, D. Aproximadamente el 90 % del acero comercializado es "al carbono. Oxford : Pergamond Press, 2002. ISBN 0-08-032532-7.

ASTM. American Society for Testing and Materials. [En línea] 2015. [fecha de consulta 15 de octubre de 2019.] Disponible en: <http://www.astm.org>.

CHILCON, Ivan. Ensayo destructivo en acero estructural ASTM A36 para optimizar los parámetros del proceso de soldadura SMAW, Chiclayo, 2017. Chiclayo : Universidad César Vallejo, 2017.

DEMÁQUINAS. Soldadura con tecnología SMAW. [En línea] 07 de junio de 2013. [fecha de consulta 14 de octubre de 2019.] disponible en: <https://www.demaquinasyherramientas.com/soldadura/soldadura-smaw-que-es-y-procedimiento>.

DOMINGUEZ, E. Mecanizado y soldadura. Cataluña : Editex, 2014. ISBN 9788490039632.

ECURED. Intensidad de corriente. [En línea] 2016. [Citado el: 30 de octubre de 2019.] disponible en: [https://www.ecured.cu/Intensidad\\_de\\_Corriente](https://www.ecured.cu/Intensidad_de_Corriente).

EDITEC. Minería Chilena. Chancado y molienda: Los desafíos de la mayor dureza del mineral. [En línea] 2018. [fecha de consulta 09 de octubre de 2019.] disponible en: <http://www.mch.cl/informes-tecnicos/chancado-molienda-los-desafios-la-mayor-dureza-del-mineral/#>.

GOLDFIELDS. Proceso productivo. [En línea] 2018. [fecha de consulta 25 de agosto de 2019.] Disponible en: <https://www.goldfields.com.pe/operaciones.html>.

HIGUERA, Ó, TRISTANCHO, J, FLOREZ, L. *Fundamentos teóricos de los aceros austeníticos al manganeso (aceros Hadfield)*. Pereira : Scientia et Technica, 2007.

HORBS, E. Propiedades del acero. [En línea] 11 de octubre de 2010. [fecha de consulta 30 de octubre de 2019.] Disponible en: <https://www.ingenierocivilinfo.com/2010/10/propiedades-del-acero.html>.

JULCAPARY, Miguel. planeación en procedimiento de soldadura para mejorar uniones soldadas en aceros AST A36 en la empresa MOTA – ENGIL Perú. Huancayo : Universidad Nacional del Centro del Perú, 2013.

LÁZARO, I. Soldadura con proceso SMAW. Lima : Palestra Editores, 2010.

LEAN, R. Tratamientos Térmicos. Lima : pontificia Universidad Católica del Perú, 2015.

MARÍN, A. Proceso SMAW. [En línea] 2015. [fecha de consulta 12 de octubre de 2019.] disponible en: [http://soldadurayestructuras.com/2184409\\_Procesos-de-soldadura-y-corte.html](http://soldadurayestructuras.com/2184409_Procesos-de-soldadura-y-corte.html).

MECA. Mecánica de materiales. [En línea] 27 de noviembre de 2011. [fecha de consulta 03 de julio de 2020.] Disponible en: <http://mecatronica4b.blogspot.com/2011/11/diagrama-esfuerzo-deformacion-unitaria.html>.

MENDEZ, J. Weldability of austenitic manganese steel. Kingston : Materials Processing Technology, 2004. Journal of Materials Processing Technology 153–154 (2004) 596–602.

MIPERSA. Soldadura TIG. [En línea] 10 de abril de 2015. [fecha de consulta 25 de marzo de 2017.] Disponible en: [http://www.mipersa.com.pe/soldadura\\_tig.html](http://www.mipersa.com.pe/soldadura_tig.html)..

MOLERA, S. Tratamiento térmico de los metales. Barcelona : Marcombo, 2009.

MONTGOMERY, Douglas. Diseño y análisis de experimentos. Balderas : Limusa, 2004.

NEEDHAM, Joseph. Science and Civilization in China: Volume 4, Part 3, Civil Engineering and Nautics. Taipei : Caves Books, 2006.

NORMA E8. Métodos de prueba estándar para Pruebas de tensión de materiales metálicos - Denominación: E8 . [En línea] 15 de julio de 2010. [Fecha de consulta 04 de julio de 2020.] Disponible en: <https://www.studocu.com/pe/document/universidad-nacional-de-san-agustin-de-arequipa/laboratorio-de-ingenieria-mecanica-3/resumenes/norma-astm-e8-e8m-09-traccion-metales-espanol/8345746/view>.

ERLIKON. Ficha Técnica de Tenacito 80. [En línea] 2020. [Fecha de consulta 03 de julio de 2020.] Disponible en: [https://www.esab.com.ar/soldexa/sp/products/oerlikon/electrodos/upload/tenacito\\_80.pdf](https://www.esab.com.ar/soldexa/sp/products/oerlikon/electrodos/upload/tenacito_80.pdf).

OTERO. Planchas de Acero Carbono ASTM A36. [En línea] 2018. Fecha de consulta 12 de octubre de 2019.] Disponible en: [http://www.acerosotero.cl/planchas\\_acero\\_carbono\\_astm\\_a36.html](http://www.acerosotero.cl/planchas_acero_carbono_astm_a36.html).

PAJUELO, Jorge. Evaluación de los procesos de soldadura GTAW con y sin material de aporte en planchas de acero estructural. Lima : pontificia Universidad Católica del Perú, 2009.

PAREDES, Fernando. Elaboración y calificación de un procedimiento de soldadura para un acero templado y revenido con la designación SUMITEN 780S. Lima : Universidad Nacional de Ingeniería, 2013.

RABINOWICZ, E. *Friction and Wear of Materials*. New York : John Wiley and Sons, 2005.

RIO, Benito. Estudio de aleaciones férreas austeníticas de bajo manganeso resistentes al desgaste. Coruña : Universidad de Coruña, 2013.

RODRÍGUEZ, M. Proceso de soldadura SMAW. [En línea] 2019. [Fecha de consulta 15 de octubre de 2019.] Disponible en: <https://www.esab.com.ar/ar/sp/education/blog/proceso-soldadura-smaw.cfm>.

SABZI, M, DEZFULI, S. Post weld heat treatment of hypereutectoid hadfield steel: Characterization and control of microstructure, phase equilibrium, mechanical properties and fracture mode of welding joint. Iran : Manufacturing Processes, 2018. *Journal of Manufacturing Processes* 34 (2018) 313–328.

SALVADOR, I. Tipos de muestreo. [En línea] Marzo de 2016. [Fecha de consulta 02 de mayo de 2019.] Disponible en: <https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/56813129/Tipos.de.Muestreo.Marzo.2016.pdf?response-content->

SMITH, R. Soldadura de materiales. [En línea] 10 de abril de 2012. [Fecha de consulta 20 de octubre de 2019.] Disponible en: [http://ocw.uc3m.es/ciencia-e-oin/tecnologia-de-materiales-industriales/bloque-iii/Tema-Ensayos\\_mecanicos.pdf](http://ocw.uc3m.es/ciencia-e-oin/tecnologia-de-materiales-industriales/bloque-iii/Tema-Ensayos_mecanicos.pdf).

SOLDEXA. Soldadura. [En línea] 18 de mayo de 2015. [Fecha de consulta 27 de octubre de 2017.] Disponible en: <http://www.soldexa.com.pe/soldexa/sp/support/index.cfm..>

TECNODERRECHO. Aceros Hadfield. [En línea] 2014. [Fecha de consulta 12 de octubre de 2019.] Disponible en: <http://www.acerosyfundiciones.com/index.php/calidades/aceros-hadfield>.

VELÁSTEGUI, Juan. Estudio de los procesos de soldadura SMAW Y GMAW sobre acero ASTM A36 , A500 y su incidencia en las propiedades mecánicas en las

juntas soldadas de de la estructura de los buses . tesis. Ambato : Universidad Técnica de Ambato, 2014.

## ANEXOS:

### ANEXO 1. MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Indicadores	Escala de medición
<b>Independiente:</b>  <b>Tiempo de Revenido</b>	Magnitud con la que se mide la duración o separación de acontecimientos. Permite ordenar los sucesos en secuencias, estableciendo un pasado, un futuro y un presente (Smith, 2012).	Tiempo dentro del horno para lograr un adecuado alivio de tensiones y por ende disminuir la fragilidad del acero producto de la soldadura.	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 1.0 hora</li> <li>➤ 2.0 horas</li> <li>➤ 3.0 horas</li> </ul>	Razón
<b>Dependiente:</b>  <b>Resistencia a la tracción</b>	Propiedades mecánicas de esfuerzo interno a que está sometido un cuerpo por la aplicación de dos fuerzas que actúan en sentido opuesto, y tienden a estirarlo (Horbs, 2010).	Resistencia que opone la probeta de Acero Hadfield ASTM A 128 hasta que falla y posterior rotura, en donde se analizará el alivio de tensiones mediante la ductilidad.	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Resistencia máxima a la tracción en MPa.</li> <li>➤ Ductilidad (Elongación) en %.</li> </ul>	Razón

Fuente: Elaboración propia

## ANEXO 2. INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Registro del ensayo de tracción a la probeta sin tratamiento térmico

REGISTRO DE ENSAYO DE TRACCIÓN																																																																																																																														
					UNIVERSIDAD PRIVADA CESAR VALLEJO					FACULTAD DE INGENIERIA					ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA					REGISTRO N°			0001 - 2020		FECHA:			09/03/2020		PROBETA N°		SOLICITADO POR			01		LIMAY QUISPE, LEOPOLDO DANIEL			NORMA			TIPO DE MATERIAL		ASTM E8			ACERO HADFIELD ASTM A128		PROCESO DE SOLDADURA:			SMAW		TEMPERATURA	20°C				EQUIPO DE MEDICIÓN	MÁQUINA UNIVERSAL				DATOS INICIALES					PROBETA (P1)	SIN TRATAMIENTO TÉRMICO				ESPESOR	ANCHO	LONGITUD INICIAL	LONGITUD FINAL	mm	mm	mm	mm	5.02	19.01	50	63.55	DATOS OBTENIDOS DEL ENSAYO					AREA	CARGA DE FLUENCIA	LÍMITE DE FLUENCIA	CARGA DE ROTURA	LÍMITE DE ROTURA	mm <sup>2</sup>	N	MPa	N	Mpa	19.01 x 5.02 = 95.43	29 607	310.25	48 777	511.13	CURVA DE ESFUERZO - DEFORMACIÓN										CÁLCULO DE LA DUCTILIDAD (ALARGAMIENTO O ELONGACIÓN) EN %					$\varepsilon = \frac{L_F - L_0}{L_0} \times 100 \quad \Rightarrow \varepsilon = \frac{63.55 - 50}{50} \times 100 \quad \Rightarrow \varepsilon = 27.5 \%$				
					UNIVERSIDAD PRIVADA CESAR VALLEJO																																																																																																																									
					FACULTAD DE INGENIERIA																																																																																																																									
					ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA																																																																																																																									
REGISTRO N°			0001 - 2020																																																																																																																											
FECHA:			09/03/2020																																																																																																																											
PROBETA N°		SOLICITADO POR																																																																																																																												
01		LIMAY QUISPE, LEOPOLDO DANIEL																																																																																																																												
NORMA			TIPO DE MATERIAL																																																																																																																											
ASTM E8			ACERO HADFIELD ASTM A128																																																																																																																											
PROCESO DE SOLDADURA:			SMAW																																																																																																																											
TEMPERATURA	20°C																																																																																																																													
EQUIPO DE MEDICIÓN	MÁQUINA UNIVERSAL																																																																																																																													
DATOS INICIALES																																																																																																																														
PROBETA (P1)	SIN TRATAMIENTO TÉRMICO																																																																																																																													
	ESPESOR	ANCHO	LONGITUD INICIAL	LONGITUD FINAL																																																																																																																										
	mm	mm	mm	mm																																																																																																																										
	5.02	19.01	50	63.55																																																																																																																										
DATOS OBTENIDOS DEL ENSAYO																																																																																																																														
AREA	CARGA DE FLUENCIA	LÍMITE DE FLUENCIA	CARGA DE ROTURA	LÍMITE DE ROTURA																																																																																																																										
mm <sup>2</sup>	N	MPa	N	Mpa																																																																																																																										
19.01 x 5.02 = 95.43	29 607	310.25	48 777	511.13																																																																																																																										
CURVA DE ESFUERZO - DEFORMACIÓN																																																																																																																														
CÁLCULO DE LA DUCTILIDAD (ALARGAMIENTO O ELONGACIÓN) EN %																																																																																																																														
$\varepsilon = \frac{L_F - L_0}{L_0} \times 100 \quad \Rightarrow \varepsilon = \frac{63.55 - 50}{50} \times 100 \quad \Rightarrow \varepsilon = 27.5 \%$																																																																																																																														

Fuente: Elaboración propia

Registro del ensayo de tracción a la probeta con 1 hora de revenido – Réplicas

REGISTRO DE ENSAYO DE TRACCIÓN				
UNIVERSIDAD PRIVADA CESAR VALLEJO				
FACULTAD DE INGENIERIA				
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA				
REGISTRO N°			0002 - 2020	
FECHA:			09/03/2020	
PROBETA N°	SOLICITADO POR			
02	LIMAY QUISPE, LEOPOLDO DANIEL			
NORMA		TIPO DE MATERIAL		
ASTM E8		ACERO HADFIELD ASTM A128		
PROCESO DE SOLDADURA:		SMAW		
EQUIPO DE MEDICIÓN	MÁQUINA UNIVERSAL			
<b>CON TRATAMIENTO TÉRMICO: 1 HORA DE REVENIDO (RÉPLICAS)</b>				
<b>RÉPLICA 1 (ELONGACIÓN: 30.28%)</b>				
PROBETA (P2 – R1)	ESPESOR	ANCHO	LONGITUD INICIAL	LONGITUD FINAL
	mm	mm	mm	mm
	5.03	19.04	50	65.14
AREA	CARGA DE FLUENCIA	LÍMITE DE FLUENCIA	CARGA DE ROTURA	LÍMITE DE ROTURA
mm <sup>2</sup>	N	MPa	N	Mpa
95.77	29614	309	48376	505.12
<b>RÉPLICA 2 (ELONGACIÓN: 30.33%)</b>				
PROBETA (P2 – R2)	ESPESOR	ANCHO	LONGITUD INICIAL	LONGITUD FINAL
	mm	mm	mm	mm
	5.02	19.03	50	65.16
AREA	CARGA DE FLUENCIA	LÍMITE DE FLUENCIA	CARGA DE ROTURA	LÍMITE DE ROTURA
mm <sup>2</sup>	N	MPa	N	Mpa
95.53	29588	310	48334	505.95
<b>RÉPLICA 3 (ELONGACIÓN: 29.87%)</b>				
PROBETA (P2 – R3)	ESPESOR	ANCHO	LONGITUD INICIAL	LONGITUD FINAL
	mm	mm	mm	mm
	5.04	19.05	50	64.94
AREA	CARGA DE FLUENCIA	LÍMITE DE FLUENCIA	CARGA DE ROTURA	LÍMITE DE ROTURA
mm <sup>2</sup>	N	MPa	N	Mpa
96.01	29288	305	47843	498.30

Fuente: Elaboración propia

Registro del ensayo de tracción a la probeta con 2 horas de revenido – Réplicas

REGISTRO DE ENSAYO DE TRACCIÓN				
UNIVERSIDAD PRIVADA CESAR VALLEJO				
FACULTAD DE INGENIERIA				
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA				
REGISTRO N°			0003 - 2020	
FECHA:			09/03/2020	
PROBETA N°	SOLICITADO POR			
03	LIMAY QUISPE, LEOPOLDO DANIEL			
NORMA		TIPO DE MATERIAL		
ASTM E8		ACERO HADFIELD ASTM A128		
PROCESO DE SOLDADURA:		SMAW		
EQUIPO DE MEDICIÓN	MÁQUINA UNIVERSAL			
<b>CON TRATAMIENTO TÉRMICO: 2 HORAS DE REVENIDO (RÉPLICAS)</b>				
<b>RÉPLICA 1 (ELONGACIÓN: 35.03%)</b>				
PROBETA (P3 – R1)	ESPESOR	ANCHO	LONGITUD INICIAL	LONGITUD FINAL
	mm	mm	mm	mm
	5.03	19.04	50	67.51
AREA	CARGA DE FLUENCIA	LÍMITE DE FLUENCIA	CARGA DE ROTURA	LÍMITE DE ROTURA
mm <sup>2</sup>	N	MPa	N	Mpa
95.77	29317	306	47122	492.03
<b>RÉPLICA 2 (ELONGACIÓN: 35.31%)</b>				
PROBETA (P3 – R2)	ESPESOR	ANCHO	LONGITUD INICIAL	LONGITUD FINAL
	mm	mm	mm	mm
	5.02	19.02	50	67.65
AREA	CARGA DE FLUENCIA	LÍMITE DE FLUENCIA	CARGA DE ROTURA	LÍMITE DE ROTURA
mm <sup>2</sup>	N	MPa	N	Mpa
95.48	29465	309	47359	496.01
<b>RÉPLICA 3 (ELONGACIÓN: 35.39%)</b>				
PROBETA (P3– R3)	ESPESOR	ANCHO	LONGITUD INICIAL	LONGITUD FINAL
	mm	mm	mm	mm
	5.03	19.05	50	67.70
AREA	CARGA DE FLUENCIA	LÍMITE DE FLUENCIA	CARGA DE ROTURA	LÍMITE DE ROTURA
mm <sup>2</sup>	N	MPa	N	Mpa
95.82	296.36	309	47634	497.11

Fuente: Elaboración propia

Registro del ensayo de tracción a la probeta con 3 horas de revenido – Réplicas

REGISTRO DE ENSAYO DE TRACCIÓN				
UNIVERSIDAD PRIVADA CESAR VALLEJO				
FACULTAD DE INGENIERIA				
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA				
REGISTRO N°			0004 - 2020	
FECHA:			09/03/2020	
PROBETA N°	SOLICITADO POR			
04	LIMAY QUISPE, LEOPOLDO DANIEL			
NORMA		TIPO DE MATERIAL		
ASTM E8		ACERO HADFIELD ASTM A128		
PROCESO DE SOLDADURA:		SMAW		
EQUIPO DE MEDICIÓN	MÁQUINA UNIVERSAL			
<b>CON TRATAMIENTO TÉRMICO: 3 HORAS DE REVENIDO (RÉPLICAS)</b>				
<b>RÉPLICA 1 (ELONGACIÓN: 37.62%)</b>				
PROBETA (P4 – R1)	ESPESOR	ANCHO	LONGITUD INICIAL	LONGITUD FINAL
	mm	mm	mm	mm
	5.02	19.03	50	68.81
AREA	CARGA DE FLUENCIA	LÍMITE DE FLUENCIA	CARGA DE ROTURA	LÍMITE DE ROTURA
mm <sup>2</sup>	N	MPa	N	Mpa
95.53	26690	279	44447	465.26
<b>RÉPLICA 2 (ELONGACIÓN: 37.69%)</b>				
PROBETA (P4 – R2)	ESPESOR	ANCHO	LONGITUD INICIAL	LONGITUD FINAL
	mm	mm	mm	mm
	5.02	19.02	50	68.85
AREA	CARGA DE FLUENCIA	LÍMITE DE FLUENCIA	CARGA DE ROTURA	LÍMITE DE ROTURA
mm <sup>2</sup>	N	MPa	N	Mpa
95.48	26724	280	44503	466.10
<b>RÉPLICA 3 (ELONGACIÓN: 37.34%)</b>				
PROBETA (P4 – R3)	ESPESOR	ANCHO	LONGITUD INICIAL	LONGITUD FINAL
	mm	mm	mm	mm
	5.03	19.05	50	68.67
AREA	CARGA DE FLUENCIA	LÍMITE DE FLUENCIA	CARGA DE ROTURA	LÍMITE DE ROTURA
mm <sup>2</sup>	N	MPa	N	Mpa
95.82	26590	277	44279	462.10

Fuente: Elaboración propia

Registro del ensayo de tracción a la probeta con 1 hora de revenido –PROMEDIOS

REGISTRO DE ENSAYO DE TRACCIÓN																																																																																																																															
					UNIVERSIDAD PRIVADA CESAR VALLEJO					FACULTAD DE INGENIERIA					ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA					REGISTRO N°		0005 - 2020			FECHA:		09/03/2020			PROBETA N°		SOLICITADO POR			02		LIMAY QUISPE, LEOPOLDO DANIEL			NORMA			TIPO DE MATERIAL		ASTM E8			ACERO HADFIELD ASTM A128		PROCESO DE SOLDADURA:			SMAW		TEMPERATURA	20°C				EQUIPO DE MEDICIÓN	MÁQUINA UNIVERSAL				DATOS INICIALES					<b>CON TRATAMIENTO TÉRMICO: 1 HORA DE REVENIDO</b>					PROBETA (P2)	ESPESOR PROMEDIO	ANCHO PROMEDIO	LONGITUD INICIAL	LONGITUD FINAL	mm	mm	mm	mm					DATOS OBTENIDOS DEL ENSAYO					AREA	CARGA DE FLUENCIA	LÍMITE DE FLUENCIA	CARGA DE ROTURA	LÍMITE DE ROTURA	mm <sup>2</sup>	N	MPa	N	Mpa					503.12	CURVA DE ESFUERZO - DEFORMACIÓN										CÁLCULO DE LA DUCTILIDAD (ALARGAMIENTO O ELONGACIÓN) EN %					$\varepsilon = \frac{L_F - L_0}{L_0} \times 100 \quad \Rightarrow \varepsilon = \frac{65.08 - 50}{50} \times 100 \quad \Rightarrow \varepsilon = 30.16 \%$				
					UNIVERSIDAD PRIVADA CESAR VALLEJO																																																																																																																										
					FACULTAD DE INGENIERIA																																																																																																																										
					ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA																																																																																																																										
					REGISTRO N°		0005 - 2020																																																																																																																								
FECHA:		09/03/2020																																																																																																																													
PROBETA N°		SOLICITADO POR																																																																																																																													
02		LIMAY QUISPE, LEOPOLDO DANIEL																																																																																																																													
NORMA			TIPO DE MATERIAL																																																																																																																												
ASTM E8			ACERO HADFIELD ASTM A128																																																																																																																												
PROCESO DE SOLDADURA:			SMAW																																																																																																																												
TEMPERATURA	20°C																																																																																																																														
EQUIPO DE MEDICIÓN	MÁQUINA UNIVERSAL																																																																																																																														
DATOS INICIALES																																																																																																																															
<b>CON TRATAMIENTO TÉRMICO: 1 HORA DE REVENIDO</b>																																																																																																																															
PROBETA (P2)	ESPESOR PROMEDIO	ANCHO PROMEDIO	LONGITUD INICIAL	LONGITUD FINAL																																																																																																																											
	mm	mm	mm	mm																																																																																																																											
DATOS OBTENIDOS DEL ENSAYO																																																																																																																															
AREA	CARGA DE FLUENCIA	LÍMITE DE FLUENCIA	CARGA DE ROTURA	LÍMITE DE ROTURA																																																																																																																											
mm <sup>2</sup>	N	MPa	N	Mpa																																																																																																																											
				503.12																																																																																																																											
CURVA DE ESFUERZO - DEFORMACIÓN																																																																																																																															
CÁLCULO DE LA DUCTILIDAD (ALARGAMIENTO O ELONGACIÓN) EN %																																																																																																																															
$\varepsilon = \frac{L_F - L_0}{L_0} \times 100 \quad \Rightarrow \varepsilon = \frac{65.08 - 50}{50} \times 100 \quad \Rightarrow \varepsilon = 30.16 \%$																																																																																																																															

Fuente: Elaboración propia

Registro del ensayo de tracción a la probeta con 2 hora de revenido

		REGISTRO DE ENSAYO DE TRACCIÓN			
		UNIVERSIDAD PRIVADA CESAR VALLEJO			
		FACULTAD DE INGENIERIA			
		ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA			
		REGISTRO N°		0006 - 2020	
FECHA:		09/03/2020			
PROBETA N°	SOLICITADO POR				
03	LIMAY QUISPE, LEOPOLDO DANIEL				
NORMA		TIPO DE MATERIAL			
ASTM E8		ACERO HADFIELD ASTM A128			
PROCESO DE SOLDADURA:		SMAW			
TEMPERATURA	20°C				
EQUIPO DE MEDICIÓN	MÁQUINA UNIVERSAL				
DATOS INICIALES					
PROBETA (P3)	CON TRATAMIENTO TÉRMICO: 2 HORAS DE REVENIDO				
	ESPESOR PROMEDIO	ANCHO PROMEDIO	LONGITUD INICIAL	LONGITUD FINAL	
	mm	mm	mm	mm	
DATOS OBTENIDOS DEL ENSAYO					
AREA	CARGA DE FLUENCIA	LÍMITE DE FLUENCIA	CARGA DE ROTURA	LÍMITE DE ROTURA	
mm <sup>2</sup>	N	MPa	N	Mpa	
				495.05	
CURVA DE ESFUERZO - DEFORMACIÓN					
CÁLCULO DE LA DUCTILIDAD (ALARGAMIENTO O ELONGACIÓN) EN %					
$\varepsilon = \frac{L_F - L_0}{L_0} \times 100 \quad \Rightarrow \quad \varepsilon = \frac{67.62 - 50}{50} \times 100 \quad \Rightarrow \quad \varepsilon = 35.24 \%$					

Fuente: Elaboración propia

Registro del ensayo de tracción a la probeta con 3 horas de revenido

		REGISTRO DE ENSAYO DE TRACCIÓN			
		UNIVERSIDAD PRIVADA CESAR VALLEJO			
		FACULTAD DE INGENIERIA			
		ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA			
		REGISTRO N°		0007 - 2020	
FECHA:		09/03/2020			
PROBETA N°		SOLICITADO POR			
04		LIMAY QUISPE, LEOPOLDO DANIEL			
NORMA		TIPO DE MATERIAL			
ASTM E8		ACERO HADFIELD ASTM A128			
PROCESO DE SOLDADURA:		SMAW			
TEMPERATURA	20°C				
EQUIPO DE MEDICIÓN	MÁQUINA UNIVERSAL				
DATOS INICIALES					
PROBETA (P4)	CON TRATAMIENTO TÉRMICO: 3 HORAS DE REVENIDO				
	ESPESOR PROMEDIO	ANCHO PROMEDIO	LONGITUD INICIAL	LONGITUD FINAL	
	mm	mm	mm	mm	
DATOS OBTENIDOS DEL ENSAYO					
AREA	CARGA DE FLUENCIA	LÍMITE DE FLUENCIA	CARGA DE ROTURA	LÍMITE DE ROTURA	
mm <sup>2</sup>	N	MPa	N	Mpa	
				464.48	
CURVA DE ESFUERZO - DEFORMACIÓN					
CÁLCULO DE LA DUCTILIDAD (ALARGAMIENTO O ELONGACIÓN) EN %					
$\varepsilon = \frac{L_F - L_0}{L_0} \times 100 \quad \Rightarrow \quad \varepsilon = \frac{68.78 - 50}{50} \times 100 \quad \Rightarrow \quad \varepsilon = 37.56 \%$					

Fuente: Elaboración propia

### ANEXO 3. REGISTRO FOTOGRÁFICO DE LA CORRIDA EXPERIMENTAL



*Figura 17. Probetas maquinadas*



*Figura 18. Horno para tratamiento térmico*



*Figura 19.* Colocación de probeta en el horno para tratamiento térmico



*Figura 20.* Adecuación de probeta para ensayo de tracción



Figura 21. Lectura de datos de esfuerzo – deformación

## ANEXO 4. CERTIFICADO DE LA CORRIDA EXPERIMENTAL



### UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO

#### Facultad de Ingeniería

#### Departamento Académico Profesional de Ingeniería de Materiales

---

**Nombre:** Limay Quispe, Leopoldo Daniel.

**Tesis:** Efecto del tiempo de revenido post soldadura sobre la resistencia a la tracción en uniones de acero Hadfield ASTM A128.

**Fecha:** 11 de marzo de 2020.

**Condición:** Muestra puesta en laboratorio.

**Características del material:** Datos promedios de resistencia óptima a la tracción para placas de acero ASTM A128, para el metal base y para probetas con diferentes tiempos de revenido post soldadura con material de aporte Tenacito 80 de acuerdo a la designación AWS A5.5 / ASME-SFA 5.5 E8018-C3, se trabajó a temperatura ambiente, la polaridad fue directa, la velocidad con la cual avanzó el electrodo fue de 10 a 13 cm/minuto, en posición 1G

	Metal base	TT 1h	TT 2h	TT 3h
Resistencia a la tracción (MPa)	511.13	503.12	495.05	464.48
Ductilidad (%)	27.50	30.16	35.24	37.56



Dr. ALEXANDER VEGA ANTICONA  
Jefe de Laboratorio Compuestos