



UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL
DE INGENIERÍA MECÁNICA

“ESTUDIO DEL ÁREA AFECTADA POR EL CALOR EN LOS ACEROS AL CARBONO, POR EFECTO DE PRECALENTAMIENTO Y SOLDADURA”

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO MECÁNICO

AUTORES:

- ❖ **Bach.** ORUNA CRUZ, Paul Alejandro
- ❖ **Bach.** FERNANDEZ URBANO, Jhonny Frank

ASESOR:

- ❖ **Ing.** ESCALANTE ESPINOZA, Nelder Javier

NUEVO CHIMBOTE – PERU

2020



UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA



HOJA DE CONFORMIDAD DE ASESOR

El presente Informe de Tesis titulado **“ESTUDIO DEL ÁREA AFECTADA POR EL CALOR EN LOS ACEROS AL CARBONO, POR EFECTO DE PRECALENTAMIENTO Y SOLDADURA”** elaborado por los bachilleres:

ORUNA CRUZ PAUL ALEJANDRO

Y

FERNANDEZ URBANO JHONNY FRANK

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico, ha contado con el asesoramiento de quien deja constancia de su aprobación. Por tal motivo, firmo el presente trabajo en calidad de asesor.



ING. MS. NELVER J. ESCALANTE ESPINOZA
CIP 82883

HCT/02-20
NJEE
cc. archivo



UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA


FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA

HOJA DE CONFORMIDAD DEL JURADO EVALUADOR

El presente informe de tesis titulado: “ESTUDIO DEL ÁREA AFECTADA POR EL CALOR EN LOS ACEROS AL CARBONO, POR EFECTO DE PRECALENTAMIENTO Y SOLDADURA”, elaborado por los bachilleres: **ORUNA CRUZ PAUL ALEJANDRO** y **FERNANDEZ URBANO JHONNY FRANK** para optar el Título Profesional de Ingeniería Mecánica.

Fue revisado y Aprobado por el Jurado Evaluador:



Dr. SERAPIO AGAPITO QUILLOS RUIZ
PRESIDENTE



Ing. RUSBER ALBERTO RISCO OJEDA
SECRETARIO



Ms. NELVER JAVIER ESCALANTE ESPINOZA
INTEGRANTE

ACTA DE SUSTENTACIÓN INFORME FINAL DE TESIS

Siendo las 19:30 horas del quince de febrero del año dos mil veintiuno, el Jurado Evaluador integrado por los docentes:

Dr. Serapio Agapito Quillos Ruiz – Presidente

Ing. Rusber Alberto Risco Ojeda – Secretario

Ms. Nelver Javier Escalante Espinoza - Integrante

En cumplimiento a la Resolución N° 251-2020-UNS-CFI y Resolución de Expedito N° 062-2021-UNS-FI, mediante la plataforma virtual ZOOM <https://uns-edu-pe.zoom.us/j/89979895790?pwd=NEMveVNMNEdxcWRRbUxFejhpNzRnZz09>. En

concordancia con la Directiva N° 003-2020-UNSVRAC, se da inicio a la sustentación de la Tesis titulada:

“Estudio del área afectada por el calor, en los aceros al carbono, por efecto de precalentamiento y soldadura”.

Bachilleres: ORUNA CRUZ PAUL ALEJANDRO, código 0201016013 y FERNANDEZ URBANO JHONNY FRANK, código 0201016030.

Asesor: Ms. NELVER JAVIER ESCALANTE ESPINOZA

El Jurado Evaluador, después de deliberar los actos de la sustentación virtual, según los instrumentos de evaluación emitidos por la Dirección de Escuela de Ingeniería Mecánica y en concordancia con el Reglamento General de Grados y Títulos de la Universidad Nacional del Santa, declaran:


APROBAR LA SUSTENTACION CON LA NOTA DE:


BACHILLER	PROMEDIO VIGESIMAL	PONDERACIÓN
ORUNA CRUZ PAUL ALEJANDRO	16	BUENO

Siendo las 20:30 horas del mismo día, se dio por terminado el Acto de Sustentación, firmando la presente acta en señal de conformidad.

Nuevo Chimbote, 15 de febrero del 2021.


Dr. Serapio Agapito Quillos Ruiz
Presidente


Ing. Rusber Alberto Risco Ojeda
Secretario


Ms. Nelver Javier Escalante Espinoza
Integrante

ACTA DE SUSTENTACIÓN INFORME FINAL DE TESIS

Siendo las 19:30 horas del quince de febrero del año dos mil veintiuno, el Jurado Evaluador integrado por los docentes:

Dr. Serapio Agapito Quillos Ruiz – Presidente

Ing. Rusber Alberto Risco Ojeda – Secretario

Ms. Nelver Javier Escalante Espinoza - Integrante

En cumplimiento a la Resolución N° 251-2020-UNS-CFI y Resolución de Expedito N° 062-2021-UNS-FI, mediante la plataforma virtual ZOOM <https://uns-edu-pe.zoom.us/j/89979895790?pwd=NEMveVNMNEdxcWRRbUxFcjhpNzRnZz09>. En

concordancia con la Directiva N° 003-2020-UNSVRAC, se da inicio a la sustentación de la Tesis titulada:

“Estudio del área afectada por el calor, en los aceros al carbono, por efecto de precalentamiento y soldadura”.

Bachilleres: ORUNA CRUZ PAUL ALEJANDRO, código 0201016013 y FERNANDEZ URBANO JHONNY FRANK, código 0201016030.

Asesor: Ms. NELVER JAVIER ESCALANTE ESPINOZA


El Jurado Evaluador, después de deliberar los actos de la sustentación virtual, según los instrumentos de evaluación emitidos por la Dirección de Escuela de Ingeniería Mecánica y en concordancia con el Reglamento General de Grados y Títulos de la Universidad Nacional del Santa, declaran:

APROBAR LA SUSTENTACION CON LA NOTA DE:

BACHILLER	PROMEDIO VIGESIMAL	PONDERACIÓN
FERNANDEZ URBANO JHONNY FRANK	15	BUENO

Siendo las 20:30 horas del mismo día, se dio por terminado el Acto de Sustentación, firmando la presente acta en señal de conformidad.

Nuevo Chimbote, 15 de febrero del 2021.



Ing. Rusber Alberto Risco Ojeda
Secretario



Dr. Serapio Agapito Quillos Ruiz
Presidente



Ms. Nelver Javier Escalante Espinoza
Integrante

DEDICATORIA

A Dios, por haber puesto en nuestros caminos a aquellas personas que han sido soporte para lograr una meta en nuestras vidas.

A nuestros padres:

Andrés Fernández y Socima Urbano & Víctor Oruna Diaz y Elena Cruz Fernández, por el esfuerzo que realizaron durante nuestra vida, con el objetivo de ser mejores cada día, crecer como personas y profesionales.

A nuestro asesor el Ing. Nelver Javier Escalante Espinoza, ya que siempre confió en nuestro proyecto y que estuvo en todo momento, el cual fue fundamental al inicio, desarrollo y culminación del presente trabajo de investigación.

AGRADECIMIENTOS

Mi agradecimiento a Dios, el que en todo momento está con nosotros dirigiendo nuestros pasos y forjando nuestro camino, mediante la perseverancia para alcanzar nuestra meta.

Expreso nuestro agradecimiento a nuestra “Alma Mater”, Universidad Nacional del Santa, por acogernos en los años de nuestra carrera profesional, mediante sacrificios con afán de cumplir nuestras metas y objetivos para nuestro futuro.

A nuestros padres y familiares que son los promotores de nuestros sueños, por sus sabios consejos y el deseo de superación de nosotros para nuestro futuro profesional.

A nuestros hermanos, gracias por siempre alentarnos en ser mejor cada día y por sus consejos del éxito en la vida.

Un agradecimiento al Ing. Nelver Javier Escalante Espinoza, por su valioso tiempo y apoyo incondicional desde el inicio, durante y culminación de nuestra tesis.

A todas nuestros familiares, docentes y amigos que nos apoyaron en la elaboración del presente trabajo de investigación.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
RESUMEN	xi
ABSTRACT.....	xii
 CAPITULO I	 1
GENERALIDADES	1
1.1. INTRODUCCION.....	1
1.2. REALIDAD PROBLEMÁTICA.....	2
1.3. ANTECEDENTES.....	3
1.4. FORMULACION DEL PROBLEMA	4
1.5. OBJETIVOS.....	4
1.5.1. OBJETIVO GENERAL.....	4
1.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
1.6. FORMULACION DE LA HIPOTESIS.....	4
1.7. JUSTIFICACION	5
1.8. LIMITACIONES DE TRABAJO.....	5
 CAPITULO II.....	 6
MARCO TEORICO.....	6
2.1. ZONAS METALÚRGICAS DE LA SOLDADURA	6
2.2. CICLO TÉRMICO EN LA UNIÓN SOLDADA.....	6
2.3. FACTORES QUE AFECTAN EN LOS CAMBIOS DE TEMPERATURA DURANTE LA SOLDADURA POR ARCO	7
2.4. FÓRMULA DE LA VELOCIDAD DE ENFRIAMIENTO PARA CHAPAS GRUESAS Y DELGADAS	8
2.5. FÓRMULA DE LA TEMPERATURA MÁXIMA EN CADA PUNTO DEL ÁREA AFECTADA POR EL CALOR.....	10

2.6.	SOLDABILIDAD	11
2.7.	CARBONO EQUIVALENTE (CE).....	11
2.8.	TEMPERATURA DE PRECALENTAMIENTO RECOMENDADO	13
2.9.	PREDICCIÓN DE LA DUREZA EN EL ACERO Y EN EL ÁREA AFECTADA POR EL CALOR.....	14
2.10.	DIAGRAMAS DE FASES Y DIAGRAMAS CCT.....	14
2.11.	ACEROS AL CARBONO.....	17
2.12.	FISURACIÓN EN FRIO	18
2.13.	ENSAYOS	20
CAPITULO III.....		23
MATERIALES Y MÉT ODOS.....		23
3.1.	MATERIAL Y EQUIPOS	23
3.1.1.	MATERIAL DE ESTUDIO.....	23
3.1.2.	EQUIPOS E INSTRUMENTOS.....	24
3.1.3.	INSTALACIONES.....	24
3.2.	MÉTODOS	25
3.2.1.	PREPARACIÓN DE PROBETAS	25
3.2.2.	SELECCIÓN DE ELECTRODOS.....	26
3.2.3.	PROCESO DE SOLDADURA	26
3.2.4.	ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS	27
3.2.5.	MEDICIÓN DE DUREZA, RESISTENCIA EN LABORATORIOS DE ENSAYOS DE MATERIALES	28
3.2.6.	CÁLCULOS NUMÉRICOS EN EL ÁREA AFECTADA POR EL CALOR...30	
CAPITULO IV.....		31
RESULTADOS Y DISCUSIONES.....		31
4.1.	RESULTADOS.....	31
4.1.1.	TEMPERATURA ÓPTIMA.....	31
4.1.2.	EVALUACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS	32
4.1.3.	EFFECTO DEL PRECALENTAMIENTO	42
4.1.4.	RESULTADOS DE LA MICROESTRUCTURA.....	44

4.2. DISCUSIONES.....	51
CAPITULO V.....	54
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	54
5.1. CONCLUSIONES.....	54
5.2. RECOMENDACIONES.....	55
CAPITULO VI.....	56
BIBLIOGRAFÍA	56
CAPITULO VII	58
ANEXOS	58

INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Eficiencias de procesos	8
Tabla 2.2 Relación entre dureza máxima en la ZAC, el porcentaje de martensita presente y Riesgo de fisuración en frío en la ZAC.....	19
Tabla 2.3 Temperaturas de precalentamiento recomendados en función de la concentración de carbono.....	19
Tabla 3.1 Composición química del acero ASTM A36	23
Tabla 3.2 Composición química del Electrodo Supecito 7018.....	23
Tabla 3.3 Propiedades mecánicas del metal depositado	24
Tabla 4.1 Temperaturas de precalentamiento en probetas	31
Tabla 4.2 Resultados obtenidos de los cálculos y ensayos	31
Tabla 4.3 Resultados del ensayo de tracción de las probetas soldadas.....	32
Tabla 4.4 Cuadro de temperaturas máximas en las probetas de trabajo.	42
Tabla 4.5 Velocidad de enfriamiento y ancho del área afectada por el calor	43
Tabla 4.6 Resultados de velocidades de enfriamientos.....	44

INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Zonas de la unión soldada.	6
Figura 2.2 Eficiencia térmica.....	7
Figura 2.3 Sección de una unión soldada.....	10
Figura 2.4 Diagrama Graville	12
Figura 2.5 Gráfico de Seferian.....	14
Figura 2.6 Soldadura de aceros al carbono en ZAC y Diagrama de Fases	15
Figura 2.7 Comparación entre el proceso de soldadura y el tratamiento térmico de los aceros .	16
Figura 2.8 Diagrama de equilibrio Fe-C	17
Figura 2.9 Diagrama de esfuerzo vs deformación	20
Figura 3.1 Esquema de la probeta de Trabajo.....	25
Figura 3.2 Probetas cortadas y biseladas de acuerdo al esquema	25
Figura 3.3 Medición de temperatura precalentamiento con el pirómetro.....	26
Figura 3.4 Proceso de soldadura de las probetas	27
Figura 3.5 Ensayos de líquidos penetrantes	27
Figura 3.6 Probetas seccionadas y máquinas de tracción	28
Figura 3.7 Probetas de dimensiones seccionadas de 12x30x70mm codificadas.	29
Figura 3.8 Máquina de medición dureza Vickers –Innova Test.....	29
Figura 4.1 Influencia del % carbono en el acero ASTM A36.....	32
Figura 4.2 Gráfica de tracción de la probeta PT-1 (Tp=100°C)	33
Figura 4.3 Gráfica de tracción de la probeta PT-2 (Tp=120°C)	33
Figura 4.4 Gráfica de tracción de la probeta PT-3 (Tp=145°C)	34
Figura 4.5 Gráfica de tracción de la probeta PT-4 (Tp=160°C)	34

Figura 4.6 Gráfica de tracción de la probeta PT-1 ($T_p=100^\circ\text{C}$)	35
Figura 4.7 Gráfica de tracción de la probeta PT-2 ($T_p=120^\circ\text{C}$)	35
Figura 4.8 Gráfica de tracción de la probeta PT-3 ($T_p=145^\circ\text{C}$)	36
Figura 4.9 Gráfica de tracción de la probeta PT-4 ($T_p=160^\circ\text{C}$)	36
Figura 4.10 Perfiles de dureza en probeta PT-1 ($T_p=100^\circ\text{C}$)	37
Figura 4.11 Perfiles de dureza en probeta PT-2 ($T_p=120^\circ\text{C}$).....	38
Figura 4.12 Perfiles de dureza en probeta PT-3 ($T_p=145^\circ\text{C}$)	39
Figura 4.13 Perfiles de dureza en probeta PT-4 ($T_p=160^\circ\text{C}$).	40
Figura 4.14 Durezas máximas y mínimas de probetas	41
Figura 4.15 Durezas Vickers de las probetas en todas las zonas	41
Figura 4.16 Temperatura máxima (T_p) vs distancia eje X del borde de fusión ZAC	42
Figura 4.17 Gráfica del alcance de ancho del área afectada por el calor.	43
Figura 4.18 Velocidad de enfriamiento vs temperatura de precalentamiento	44
Figura 4.19 Relación de esfuerzo máximo y dureza máxima.....	45
Figura 4.20 Relación entre temperatura de precalentamiento con el tiempo de solidificación ..	45
Figura 4.21 Relación entre tiempo de solidificación vs velocidad de enfriamiento	46
Figura 4.22 Metalografía de probeta PT-1 ($T=100^\circ\text{C}$)	47
Figura 4.23 Metalografía de probetas PT-2 ($T=120^\circ\text{C}$).....	48
Figura 4.24 Metalografía de probeta PT-3 ($T=145^\circ\text{C}$)	49
Figura 4.25 Metalografía de probeta PT-4 ($T=160^\circ\text{C}$)	50

INDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: PLANTILLA DE CALCULOS NUMERICOS DEL ÁREA AFECTADA POR EL CALOR.....	58
ANEXO 2 : PLANO DE PROBETA DE TRABAJO.....	62
ANEXO 3 : ESQUEMA PUNTOS DE DUREZA	63
ANEXO 4 :CERTIFICADO DE PLANCHA ESTRUCTURAL ASTM A36	64
ANEXO 5 : CERTIFICADO DE CALIBRACION DEL FLEXOMETRO	65
ANEXO 6 : CERTIFICADO DE CALIBRACION DEL PIROMETRO.....	67
ANEXO 7 : POSICIONES DE SOLDADURA	68
ANEXO 8 : TIPOS BASICOS DE UNIONES DE SOLDADURA.....	69
ANEXO 9 :CERTIFICADO DE CONSUMIBLE DE SOLDADURA	70
ANEXO 10: ESPECIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA	70
ANEXO 11 : REGISTRO DE CALIFICACIÓN DEL SOLDADOR (WPQ)	72

RESUMEN

En la presente investigación se estudia el área afectada por el calor en los aceros al carbono ASTM A36, con espesores de 12mm, analizando el efecto del precalentamiento en sus propiedades. El proceso de soldeo empleado fue SMAW, donde se realizaron ensayos de tracción, dureza, metalografía y cálculos numéricos, por lo tanto se estableció un rango de temperaturas elegidas de 100°C; 120°C; 145°C; 160°C, encontrándose la temperatura de precalentamiento óptima de 145°C, el cual se obtuvo los siguientes resultados del ensayo de tracción (515.82 Mpa) y dureza (232 HV), de acuerdo a las recomendaciones por el porcentaje de carbono equivalente y relaciones de dureza nos da como resultado que no presentará fisuraciones en frío.

En los resultados del esfuerzo (424.15-500.36 MPa) y la dureza (214-250 MPa) por efecto del precalentamiento se observó que ambos son inversamente proporcionales entre sí.

El efecto del precalentamiento minimiza la velocidad de enfriamiento para evitar fragilidad del material y evitar la máxima formación de martensita, además el ancho del área afectada por el calor se incrementa a medida que se incremente el aporte de calor.

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. Finalmente, los resultados de la investigación fueron satisfactorios por lo que se pudo comprender las variaciones microestructurales (tracción y dureza), del área afectada por el calor, con el fin de evitar la aparición de fisuraciones en el cordón de soldadura.

Palabras Claves: Fisuración, Precalentamiento, Velocidad de Enfriamiento, Dureza, Microestructura.

ABSTRACT

In this research, the area affected by heat in ASTM A36 carbon steels, with thicknesses of 12mm, is studied, analyzing the effect of preheating on their properties. The welding process used was SMAW, where tensile tests, hardness, metallography and numerical calculations were carried out, therefore a range of temperatures chosen of 100 ° C was established; 120 ° C; 145 ° C; 160 ° C, finding the optimum preheating temperature of 145 ° C, which obtained the following results from the tensile test (515.82 Mpa) and hardness (232 HV), according to the recommendations for the percentage of equivalent carbon and relationships of hardness gives us as a result that it will not present cracks when cold.

In the results of stress (424.15-500.36 MPa) and hardness (214-250 MPa) due to the effect of preheating, it was observed that both are inversely proportional to each other.

The effect of preheating minimizes the cooling speed to avoid brittleness of the material and avoid maximum martensite formation, in addition the width of the heat affected area increases as the heat input increases.

It is determined that the influence of preheating on the microstructure is essential to reduce the amount of martensite through slow cooling so as not to cause hardening levels in the heat affected area in order not to generate risks of cold cracking. Finally, the results of the investigation were satisfactory, as it was possible to understand the microstructural variations (traction and hardness) of the area affected by heat, in order to avoid the appearance of cracks in the weld seam.

Key Words: Cracking, Preheating, Cooling Speed, Hardness, Microstructure.

CAPITULO I

1. GENERALIDADES

1.1. INTRODUCCION

La presente investigación tiene como objetivo estudiar el área afectada por el calor en los aceros al carbono ASTM A36, cuando estos son sometidos a un precalentamiento antes de proceder con la soldadura, modificando su microestructura y sus propiedades físicas.

El área afectada por el calor (ZAC) está definida como el área donde la microestructura y las propiedades del material han sido alteradas durante la aplicación de los diferentes procesos de soldadura, y posterior enfriamiento hasta la temperatura del ambiente.

Resulta interesante la investigación además del estudio de los cambios de temperatura que se genera en el metal base, esfuerzos y fisuraciones que se producen en dicha zona de estudio.

Por este motivo, es de importante interés en el campo de Ingeniería, el estudio del comportamiento del área afectada por el calor, ya que tiene comportamientos distintos cuando se logra modificar la microestructura y se obtienen diferentes resultados.

Se realizaron muestras de planchas de acero al carbono ASTM 36 como metal base con bisel a 60°, con aportaciones de calor de entrada (desde 100° hasta 160°), y posterior empleo del proceso por arco metálico manual (SMAW).

Junto con lo anterior se pretende estudiar, analizar la influencia de la temperatura de precalentamiento en la región afectada por el calor, comparar los resultados obtenidos y establecer los análisis correspondientes.

1.2. REALIDAD PROBLEMÁTICA

Uno de los problemas más frecuentes que se presentan en las empresas dedicadas a la fabricación de elementos soldados está en la calidad de la junta soldada, pudiendo presentarse discontinuidades. Por lo tanto, es de interés nuestro, el estudio de las fallas en la soldadura por causa de la microestructura de la junta soldada, el contenido de hidrogeno de la junta soldada, y el nivel de tensiones de la junta soldada.

J. D. Osorio, (2007) señala que “frecuentemente las fallas en uniones soldadas son causadas por procesos de soldadura inapropiados o por una concentración de esfuerzos” (p.90).

El tamaño de la soldadura está relacionado con la entrada de calor, y puede reducirse a la conclusión de que a mayor tamaño de soldadura mayor entrada de calor y viceversa. A medida que se incrementa la entrada de calor la velocidad de enfriamiento disminuye y por tanto condiciona la estructura metalúrgica del metal de soldadura y de la ZAC que es especialmente importante en los aceros tratados térmicamente. Funderburk (2000, p.140).

1.3. ANTECEDENTES

Presentamos posteriormente una serie de investigaciones, en donde proporcionan a nuestra investigación confiabilidad, debido a la información que poseen se fundamenta en conocimientos y experiencias que guardan relación con nuestro estudio.

González y Carrillo (1999), realizaron un estudio a través de ensayos de dureza, resiliencia y tenacidad en los puntos críticos de la zona afectada por el calor, determinaron que la resiliencia aumenta con tratamiento post - soldeo, además en la raíz muestra una ligera mayor dureza que en los cordones superiores, debido al ciclo térmico sufrido en esa zona que le da mayor fragilidad.

Torres, Giraldo y Bastidas (2007), investigaron como actuaba la influencia de los consumibles y la entrada de calor para no generar problemas de fisuraciones en frío, en aceros utilizados para blindajes y determinaron que las fisuraciones se incrementan debido a un mal almacenaje de electrodos y que la entrada de calor no tenía efecto para prevenir dicho problema, también determinaron que para placas menores de 6mm y con una temperatura de precalentamiento de 75°C, mediante el código AWS D1.1, no influyó en el problema de fisuraciones presentadas en las juntas soldadas.

Gómez (2016), realizó un estudio sobre la entrada de calor modificaba las propiedades microestructurales y mecánicas en la cercanía de la zona o región afectada por el calor a través de muestras ensayadas para un mejor alcance en el sector hidrocarburos, empleando diversos procesos de soldadura como SMAW, GMAW, FCAW, determinando que la adicción de calor generó un cambio importante en las propiedades mecánicas y microestructurales, reduciendo las tensiones generadas en el proceso.

Otra de sus conclusiones era que la región afectada por el calor presentó una mayor

dureza a medida que se disminuye la adicción de calor durante el proceso.

1.4. FORMULACION DEL PROBLEMA

La principal problemática de esta investigación se refleja en la siguiente pregunta:

¿Cómo es el efecto de la temperatura de precalentamiento y la microestructura en los aceros al carbono a fin de minimizar riesgos de fisuras en planchas tanto en el área afectada por el calor como en el metal de soldadura?

1.5. OBJETIVOS

1.5.1. OBJETIVO GENERAL

Estudiar el área afectada por el calor en los aceros al carbono por efecto de precalentamiento y soldadura.

1.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Determinar la temperatura óptima de precalentamiento para planchas ASTM 36, antes de ser soldadas mediante el proceso SMAW.
2. Evaluar el esfuerzo y la dureza por efecto del precalentamiento.
3. Analizar la relación del precalentamiento, velocidad de enfriamiento y el ancho del área afectada por el calor.
4. Analizar la influencia del precalentamiento a la microestructura, en el área afectada por el calor.

1.6. FORMULACION DE LA HIPOTESIS

El estudio del área afectada por el calor por efecto de precalentamiento y soldadura influye en la disminución de la fisuración en las uniones soldadas en proceso SMAW de los aceros al carbono.

1.7. JUSTIFICACION

Un factor que controla la microestructura de la ZAC y del metal de soldadura, es la velocidad de enfriamiento; esta velocidad depende de los espesores del material base, la geometría de la unión, el calor aportado y la temperatura de precalentamiento.

El área afectada por el calor es una región crítica donde se generan problemas de fisuraciones, concentraciones de tensiones residuales. Además, es más susceptible a la propagación de microgrietas, que ocasionan el colapsamiento de las estructuras metálicas, lo cual afectan económicamente a las empresas, así como a personas naturales. Por ello es de mucha importancia la presente investigación, en cuanto al origen de las fisuras en el área afectada por el calor que se originan durante los procesos soldadura, por lo que se logra la optimización de los costos directos, así como para evitar los riesgos que ello con lleva.

La investigación tiene como finalidad de crear un gran alcance que dejará propuestas de un mejor estudio, análisis de las propagaciones en los ensayos que se realizarán y brindarán una mejor toma de decisiones sobre este campo de la soldadura.

1.8. LIMITACIONES DE TRABAJO

El efecto de la temperatura de precalentamiento fue estudiado en planchas de acero al carbono ASTM A36 de 12 mm de espesor.

El efecto de la temperatura de precalentamiento fue estudiado en juntas soldadas a tope y el tipo de aporte de soldadura se realizó con electrodos, Supercito - E7018.

El proceso que se realizó la soldadura de las juntas fue por Arco eléctrico Manual (SMAW) y las realizo un soldador homologado en proceso.

CAPITULO II

2. MARCO TEORICO

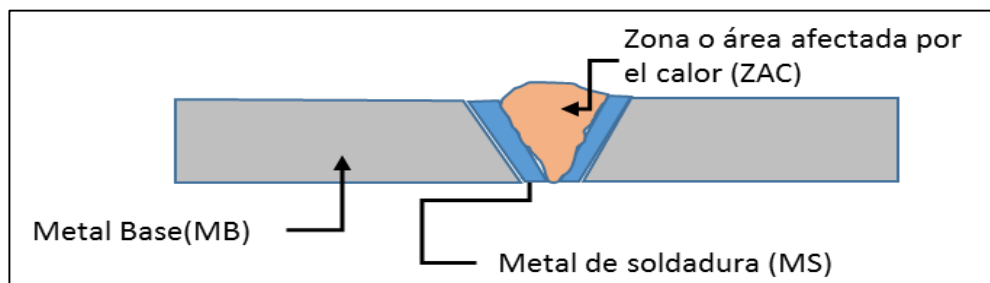
2.1. ZONAS METALÚRGICAS DE LA SOLDADURA

En la soldadura por fusión se pueden distinguir 3 regiones claras en la unión soldada:

- Metal de Soldadura,
- Zona o área Afectada por el Calor
- Metal Base.

Figura 2.1

Zonas de la unión soldada.



Fuente: Elaboración propia.

A. Metal Base (MB): Es la región donde no ocurre cambio microestructural.

B. Metal de Soldadura o Zona de Fusión (ZF): Es la zona donde se alcanza la fusión completa. Además, el metal de soldadura es el resultado de un proceso de dilución.

C. Zona o área afectada por el calor (ZAC): Es la Zona donde su estructura original y propiedades mecánicas son modificadas mediante un ciclo térmico.

2.2. CICLO TÉRMICO EN LA UNIÓN SOLDADA

El metal adyacente a una soldadura está expuesto a ciclos térmicos rápidos, produciéndose en esta región diferentes y complejos cambios metalúrgicos. Al respecto, existen datos acumulados considerables respecto al efecto del calor de aporte de la

soldadura por arco eléctrico sobre la distribución de temperaturas en las proximidades del metal soldado; por ello consideraremos aquí con algún detalle el proceso de soldadura por arco eléctrico.

2.3. FACTORES QUE AFECTAN EN LOS CAMBIOS DE TEMPERATURA DURANTE LA SOLDADURA POR ARCO

Las distribuciones de las temperaturas en la soldadura (SMAW) está asociado por los siguientes factores:

A. Aporte de Calor Neto

Durante el proceso de soldeo se libera calor, expresado mediante la siguiente fórmula:

$$H_{neto} \left(\frac{\text{Joules}}{\text{mm}} \right) = \frac{V(\text{vol.}) \times I(\text{amp.})}{v \left(\frac{\text{mm}}{\text{seg}} \right)} \times f \quad (2.1)$$

Donde:

H_{neto} = Aporte de Calor Neto (Joules/mm)

V = Voltios (V)

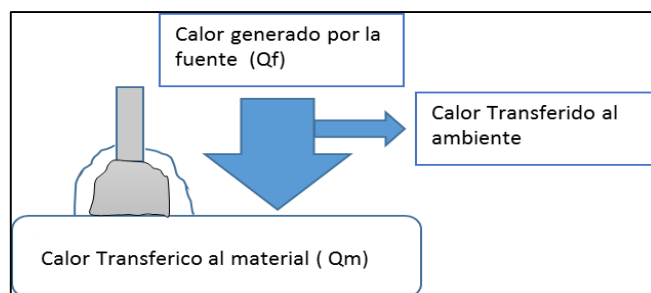
f = Eficiencia de la transferencia de Calor (%)

v = Velocidad de avance en la soldadura (mm/seg)

I = Amperios(I)

Figura 2.2

Eficiencia térmica



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2.1*Eficiencias de procesos*

PROCESO	EFICIENCIA
SAW	90-99%
SMAW	70-80%
FCAW	65-85%
GMAW	70-85%
GTAW	20-50%
Oxiacetilénico	35%

Fuente: Fosca, C. “Introducción a la metalurgia de la soldadura”.

B. Temperatura de precalentamiento

Consiste en calentar el material base antes y durante el proceso.

C. Geometría de la soldadura

Comprende el espesor, la forma y las dimensiones de la soldadura y el ángulo empleado entre las juntas a unir.

D. Conductividad Térmica

Consiste en la capacidad de la sustancia para transmitir el calor de sus moléculas a otras adyacentes que están en contacto.

2.4. FÓRMULA DE LA VELOCIDAD DE ENFRIAMIENTO PARA CHAPAS GRUESAS Y DELGADAS

La energía térmica aplicada a la zona soldada es distribuida por conducción en la soldadura. Durante el enfriamiento la disminución de la temperatura se produce por una combinación de pérdida de calor al ambiente, transferencia de calor al metal base y al metal de soldadura. De esta forma, la velocidad de enfriamiento que tiene lugar en la soldadura es una función de la velocidad de disipación de energía.

Una de las aplicaciones prácticas de la ecuación de la velocidad de enfriamiento es el

cálculo de la temperatura de precalentamiento. Si la placa es relativamente gruesa, la velocidad de enfriamiento de la junta soldada medida sobre la línea central puede ser aproximada por medio de la Ec. 2.2:

$$V_e = \frac{-2\pi k(T_c - T_o)^2}{H_{neto}} \quad (2.2)$$

Donde:

T_o : Temperatura de precalentamiento utilizado ($^{\circ}\text{C}$)

K : Conductividad Térmica del material ($\text{J}/\text{mm s}^{\circ}\text{C}$)

T_c : Temperatura a la que se calcula la velocidad de enfriamiento ($^{\circ}\text{C}$)

H_{neto} : Calor aportado neto en el proceso (J/mm).

V_e : Velocidad de Enfriamiento durante el proceso ($^{\circ}\text{C}/\text{s}$)

Para chapas delgadas la velocidad de enfriamiento se usará la siguiente ecuación:

$$V_e = \frac{-2\pi k p C (h)^2}{H_{neto}^2} * (T_c - T_o)^3 \quad (2.3)$$

Donde:

V_e : Velocidad de Enfriamiento durante el proceso ($^{\circ}\text{C}/\text{s}$)

K : Conductividad Térmica del material ($\text{J}/\text{mm s}^{\circ}\text{C}$)

T_c : Temperatura a la que se calcula la velocidad de enfriamiento ($^{\circ}\text{C}$)

T_o : Temperatura de precalentamiento utilizado ($^{\circ}\text{C}$)

H_{neto} : Calor aportado neto en el proceso (J/mm)

h : Espesor del material ensayado (mm)

p : Densidad del metal base ensayado (g/mm^3)

C : Calor específico del material ensayado ($\text{J}/\text{g}^{\circ}\text{C}$).

2.5. FÓRMULA DE LA TEMPERATURA MÁXIMA EN CADA PUNTO DEL ÁREA AFECTADA POR EL CALOR

Para predecir o interpretar transformaciones metalúrgicas en un punto en el metal sólido cercano a una soldadura se requiere algún conocimiento de la temperatura máxima alcanzada en dicha posición. Para estimar la distribución de temperaturas pico en el metal base adyacente a la soldadura se utiliza la ecuación 2.4:

$$\frac{1}{T_p - T_0} = \frac{\sqrt{2\pi e p C h Y}}{H_{neto}} + \frac{1}{T_f - T_0} \quad (2.4)$$

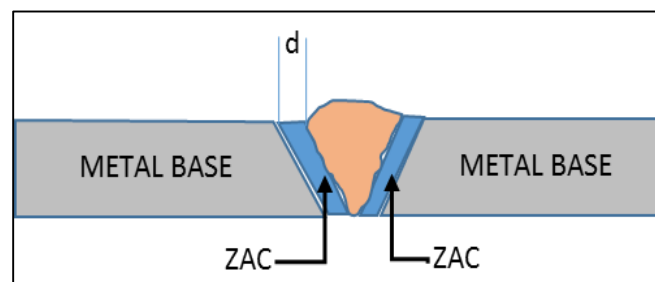
Donde:

- C : Calor específico del material ensayado(J/g°C)
- Y : Distancia desde el borde de fusión de la soldadura. (mm).
- T_f : Temperatura de fusión alcanzado. (°C).
- H_{neto} : Calor aportado neto en el proceso (J/mm)
- T_p : Temperatura Máxima obtenida (°C)
- T_o : Temperatura de precalentamiento empleado (°C)
- h : Espesor del material empleado (mm)
- p : Densidad del metal base empleado (g/mm³)

La ecuación solamente se deberá usar en la zona afectada por el calor.

Figura 2.3

Sección de una unión soldada



Fuente: Elaboración propia.

Con la ecuación establecida podemos determinar lo siguiente:

- Determinar la máxima temperatura en un punto.
- Determinar el ancho de la región de estudio.
- Determinar el efecto del precalentamiento en la región de la zona ZAC
- Velocidad de enfriamiento durante el proceso de soldadura realizado.

2.6. SOLDABILIDAD

Consideramos como soldabilidad a la capacidad de un acero a ser soldado en condiciones determinadas obteniendo microcomponentes que puedan garantizar los requerimientos de servicio solicitados.

Los factores que determinan la soldabilidad de un acero son las siguientes:

- Las transformaciones que se generan en el área afectada por el calor.
- Composición química de los materiales.
- Esfuerzos residuales ocasionados por el proceso.
- Procedimiento de soldadura.

2.7. CARBONO EQUIVALENTE (CE)

Como el carbono es el elemento que más influye en la templabilidad y en la dureza final de un acero, se ha considerado conveniente denominar “carbono equivalente”.

El CE de un acero es una medida de su tendencia potencial a fisurarse durante o después de la soldadura.

Fórmulas del Carbono Equivalente

La fórmula del CE del IIW (Instituto Internacional de Soldadura):

$$CE = C + \frac{Mn + Si}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Cu + Ni}{15} \quad (2.5)$$

Válida para aceros %C > 0.18.

CEMW propuesta por Düren:

$$CE_{MW} = C + \frac{Si}{25} + \frac{Mn + Cu}{20} + \frac{Cr}{10} + \frac{Ni}{40} + \frac{Mo}{15} + \frac{V}{10} \quad (2.6)$$

Válida para aceros %C < 0.22 y tiempos de enfriamiento $t_{8/5} < 6$ seg. (Velocidades de enfriamiento Rapido)

CEN propuesta por Yurioka:

$$CE = C + A(C) \left(\frac{Si}{24} + \frac{Mn}{6} + \frac{Ni}{20} + \frac{Cr + Mo + Nb + V}{5} \right) + 5B \quad (2.7)$$

Válida para todos los %C.

La fórmula PCM propuesta por Ito y Bessvo:

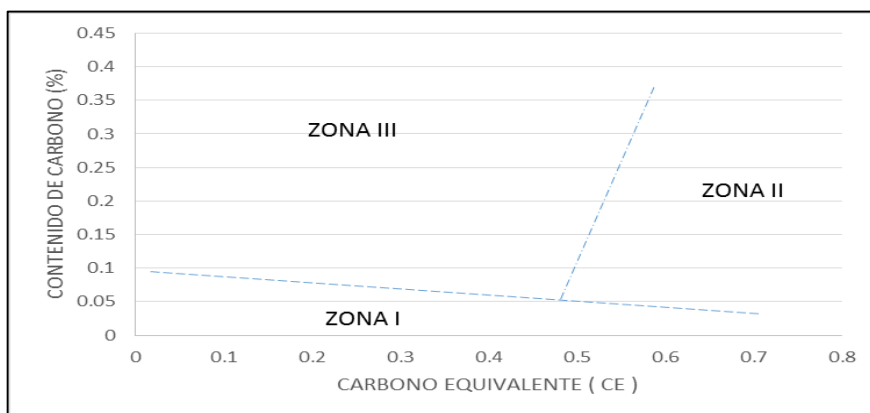
$$PCM = C + \frac{Si}{30} + \frac{Mn}{20} + \frac{Cu}{20} + \frac{Ni}{60} + \frac{Cr}{20} + \frac{Mo}{15} + \frac{V}{10} + 5B \quad (2.8)$$

Válida para aceros con un contenido de carbono %C < 0.18.

Una de las maneras de determinar el grado de soldabilidad de los aceros es mediante el uso del diagrama de Graville, Ver figura 2.4.

Figura 2.4

Diagrama Graville



Fuente: Fosca, C. "Introducción a la metalurgia de la soldadura".

El primer paso para el uso del diagrama es determinar el CE. Mediante la siguiente fórmula CE del IIW:

$$CE = C + \frac{Mn + Si}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Cu + Ni}{15} \quad (2.9)$$

El paso posterior, es graficar en la Figura 2.4, usando los datos del CE y el %C del acero para determinar en cuál de las zonas se ubica el acero a evaluar, sabiendo que:

Zona 01: El riesgo de fisuraciones casi improbable y el acero tienen buena soldabilidad.

Zona 02: Se debe de tomar precauciones en el soldeo para evitar estructuras frágiles.

Zona 03: Dificil soldabilidad, alta exposición de fisuración.

2.8. TEMPERATURA DE PRECALENTAMIENTO RECOMENDADO

A. Método de Seferian:

Propone la siguiente expresión para determinar la temperatura de precalentamiento recomendado:

$$T_0 = 350\sqrt{C_T - 0.25} \quad (2.10)$$

Donde:

C_T = Carbono equivalente Total, que es la suma del carbono equivalente químico (C_q) más el carbono equivalente del espesor (C_e)

$$C_T(\%) = C_q + C_e = C_q * (1 + 0.005h) \quad (2.11)$$

Donde h = espesor de material (mm).

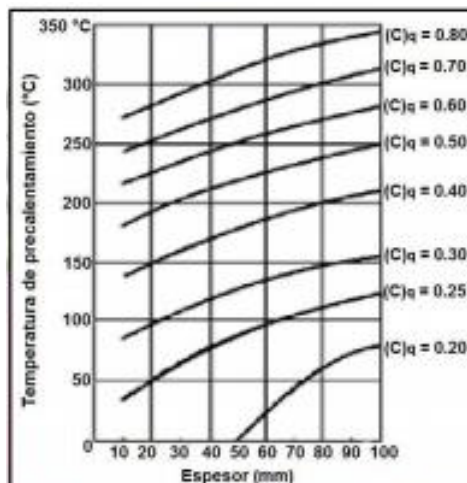
El carbono equivalente químico esta expresado por:

$$C_q(\%) = C + \frac{Mn + Cr}{9} + \frac{Ni}{18} + \frac{7Mo}{90} \quad (2.12)$$

Luego se procederá a encontrar la temperatura de precalentamiento con la siguiente gráfica con los datos obtenidos.

Figura 2.5

Gráfico de Seferian



Fuente: Fosca, C. "Introducción a la metalurgia de la soldadura".

2.9. PREDICCIÓN DE LA DUREZA EN EL ACERO Y EN EL ÁREA AFECTADA POR EL CALOR

Se usará la ecuación 2.5 para predecir la dureza en el acero y en el área afectada por el calor.

Dureza máxima en el acero:

$$\text{Dureza Máxima (HV)} = 939C + 284 \quad (2.13)$$

Dureza máxima en el área afectada por el calor:

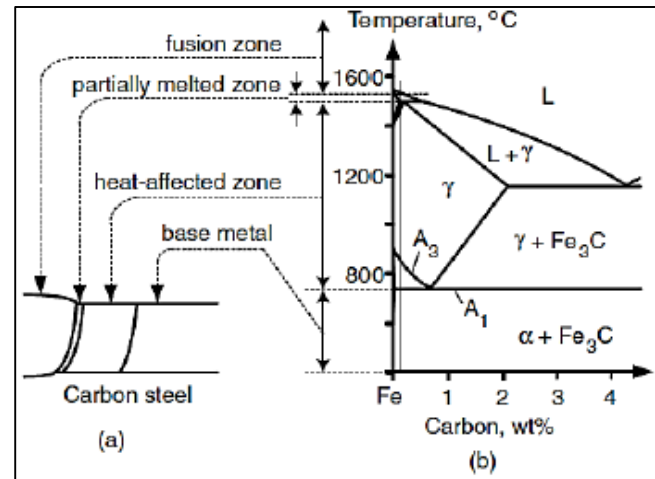
$$\text{Dureza Máxima (ZAC)(HV)} = 1200CE - 200 \quad (2.14)$$

2.10. DIAGRAMAS DE FASES Y DIAGRAMAS CCT.

La ZAC en un acero al carbono puede ser relacionada al diagrama de fase Fe-C, como se muestra en la Figura 2.6., si el efecto cinético del rápido calentamiento durante la soldadura en las transformaciones es depreciado. La ZAC puede ser considerada el área dentro de la pieza de trabajo que es calentada entre la temperatura crítica más baja A1 (Temperatura eutectoide) y la temperatura peritética

Figura 2.6

Soldadura de aceros al carbono en ZAC y Diagrama de Fases

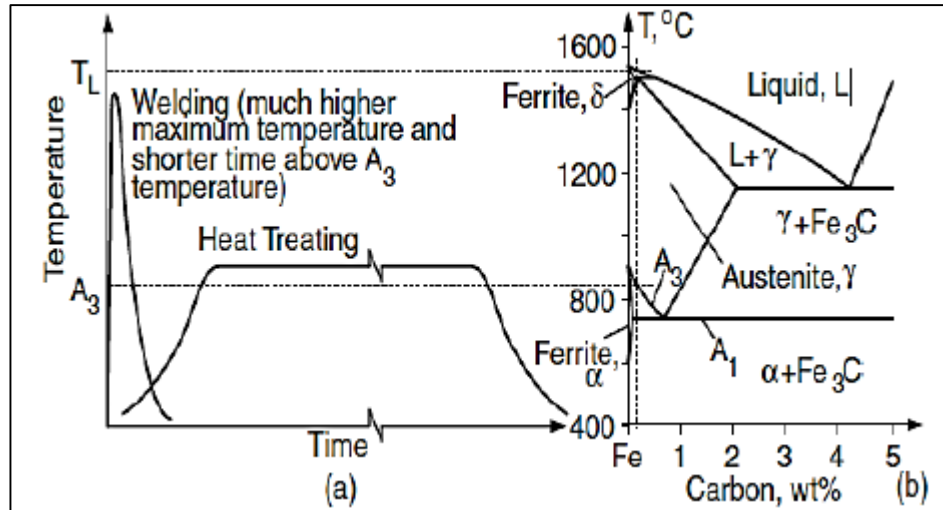


Fuente: Sindo, K. "Welding Metallurgy"

El diagrama de fase Fe-C y el diagrama de transformación enfriamiento continuo (CCT) para el tratamiento térmico de aceros al carbono puede ser útil también para la soldadura, pero algunas diferencias fundamentales entre la soldadura y el tratamiento térmico deben ser reconocidas. Los procesos térmicos durante la soldadura y el tratamiento térmico deben ser reconocidos. Los procesos térmicos durante la soldadura y el enfriamiento térmico de un acero al carbono son diferentes considerablemente.

Figura 2.7

Comparación entre el proceso de soldadura y el tratamiento térmico de los aceros



Fuente: Sindo, K. "Welding Metallurgy"

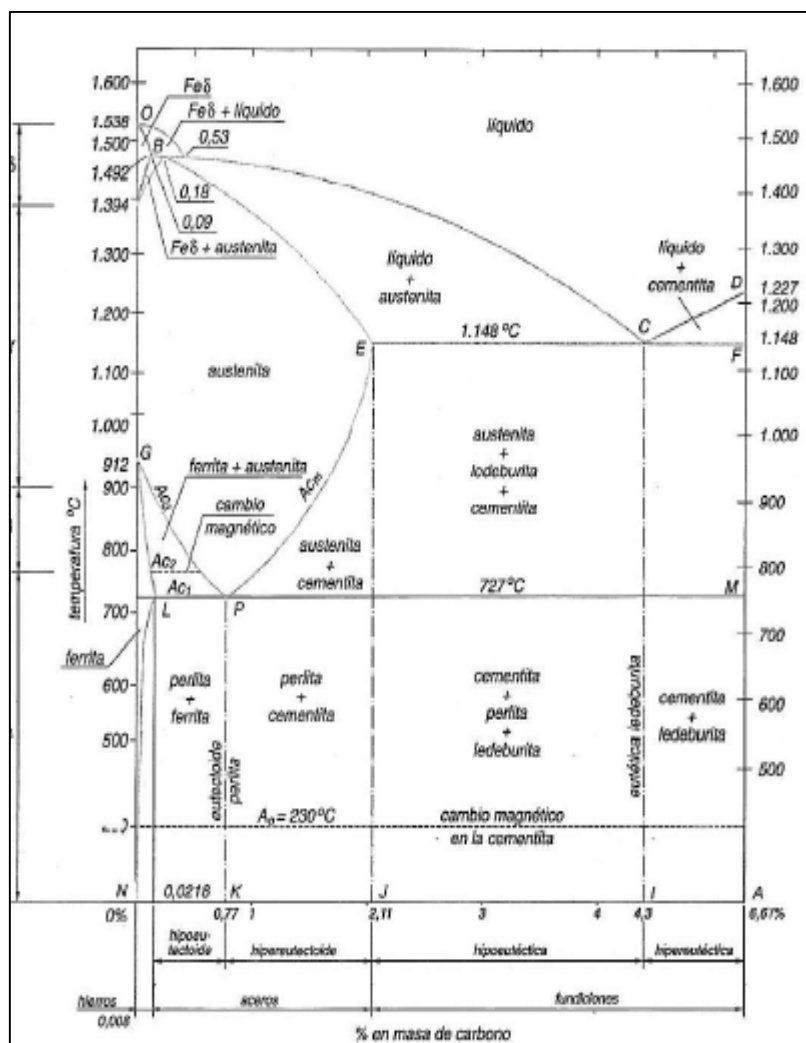
Por razones cinéticas las temperaturas A_{c1} y la A_{c3} tienden a ser más altas que las temperaturas de equilibrio A_1 y A_3 , respectivamente. Y ellas tienden a aumentar con el aumento de la velocidad de calentamiento durante la soldadura. Cinéticamente, las transformaciones de fase requieren difusión (la transformación martensítica es una excepción conocida) y la difusión toma tiempo. Por consiguiente, sobre los rápidos calentamientos durante la soldadura, las transformaciones de fase pueden no ocurrir en las temperaturas de equilibrio A_1 y A_3 , pero sí en las temperaturas más altas A_{c1} y A_{c3} . Desde que los diagramas CCT para la soldadura a menudo no están disponibles, los diagramas para los tratamientos térmicos han sido usados. Estos dos tipos de diagramas CCT pueden diferenciarse debido a razones cinéticas, por ejemplo, el crecimiento del grano en la soldadura, puede mover el diagrama CCT hacia tiempos más largos favoreciendo la transformación a martensita

2.11. ACEROS AL CARBONO

De acuerdo al instituto americano del hierro y el acero (AISI), los aceros al carbono pueden contener hasta 1,6 % Mn y elementos como el Cu y Si hasta 0,6 % y otros elementos de aleación normalmente están presentes como impurezas. Son aleaciones de Fe-C en las que el % C normalmente no excede el 1,0 %, Fosca, C. (2003, p.25).

Figura 2.8

Diagrama de equilibrio Fe-C



Fuente: Avner, S. "Introducción a la metalurgia física".

2.12. FISURACIÓN EN FRÍO

Fosca (2003) afirma:

Este tipo de fisuración se produce cuando el metal soldado se encuentra en proceso de enfriamiento o cuando, posteriormente, el metal ya está frío. No hay una sola causa que explique este tipo de fisuración, más bien son muchos los factores que intervienen en ella. Dentro de la fisuración en frío, se puede distinguir una serie de tipos de fisuración, de acuerdo a los diferentes mecanismos que inducen fragilización y posterior agrietamiento en la unión soldada (p.213).

La fisuración puede aparecer durante la soldadura, inmediatamente después de ella o incluso luego de un periodo de tiempo. Por ello es importante entender que para resolver o evitar problemas de fisuración en frío, no basta asegurarse de que no haya grietas inmediatamente después de la soldadura.

Las causas más importantes de la fisuración en frío en las uniones soldadas de los aceros al carbono y de baja aleación son:

- Fragilización por endurecimiento de la zona afectada por el calor (ZAC).
- Formación de tensiones residuales en el cordón de soldadura
- Fragilización por hidrogeno
- Fragilización por envejecimiento.

A. Fragilización por endurecimiento de la zona afectada por el calor (ZAC)

La ZAC es el resultado del ciclo térmico producido en el material próximo al depósito de la soldadura. El ciclo térmico puede provocar grandes cambios microestructurales en el acero y por tanto, afectar sus propiedades mecánicas. El riesgo de fragilización de la ZAC aparece cuando, como consecuencia del ciclo térmico y especialmente de la etapa

de enfriamiento, se producen microconstituyente frágiles en ella. El constituyente más peligroso es, en ese sentido, la martensita. La presencia de martensita en la ZAC reduce sensiblemente la tenacidad del acero en esta región y favorece su rotura frágil.

De acuerdo a numerosos estudios e investigaciones se ha establecido relaciones prácticas que pueden ser de mucha utilidad como criterio para evaluar el riesgo de fisuración en frío por endurecimiento de la ZAC.

Las siguientes tablas relacionan la dureza y el carbono equivalente para una temperatura óptima de precalentamiento con el fin de prevenir fisuraciones en frío.

Tabla 2.2

Relación entre dureza máxima en la ZAC, el porcentaje de martensita presente y Riesgo de fisuración en frío en la ZAC

Dureza Máxima en la ZAC	Máximo % Martensita Presente	Riesgo de fisuración en Frío
>450 HV	>70%	Muy probable
DE 350 HV a 450 HV	50-70%	Probable
DE 280 HV a 350 HV	30-50%	Poco Probable
<280 HV	<30%	Si riesgo de alguno (no hay necesidad de tratamiento post-soldadura)

Fuente: Fosca, C. “Introducción a la metalurgia de la soldadura”.

Tabla 2.3

Temperaturas de precalentamiento recomendados en función de la concentración de carbono.

CE (%)	Temperatura de Precalentamiento (°C)
<0.4	-----
0.4-0.55	100-200
0.55-0.6	200-300
0.6-0.65	300-400

Fuente: Fosca, C. “Introducción a la metalurgia de la soldadura”.

2.13. ENSAYOS

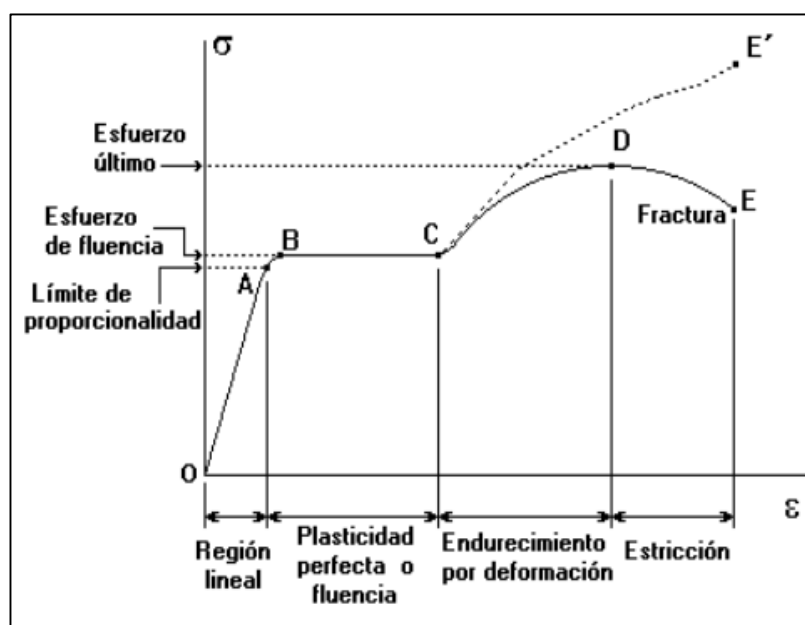
En este apartado exponemos los siguientes ensayos que serán parte del objeto de estudio:

A. ENSAYOS DE TRACCIÓN

Ensayo estático que consiste en aplicar a la probeta, en dirección axial, un esfuerzo de tracción creciente, generalmente hasta la rotura, con el fin de determinar una o más de sus características mecánicas.

Figura 2.9

Diagrama de esfuerzo vs deformación



Fuente: Fosca, C. "Introducción a la metalurgia de la soldadura".

B. ENSAYOS DE DUREZA

Se entiende por dureza de un material a la resistencia que opone el material a su deformación plástica permanente superficial por rayado o penetración. Siempre se cumple que la dureza de una material resulta inversamente proporcional a la huella que queda en su superficie al aplicarle una fuerza.

C. ENSAYO DE DUREZA BRINELL

La norma ASTM E 10-78 define la dureza Brinell como un método de ensayo por indentación por el cual, con el uso de una máquina calibrada, llamada durómetro, se fuerza una bola fabricada de un acero templado extraduro de un diámetro (D) determinado (función del espesor de la probeta a ensayar), y bajo unas condiciones específicas, contra la superficie del material que se quiere calcular su dureza, mediante la aplicación de una fuerza (P) durante un tiempo (t) dado.

D. ENSAYO DE DUREZA VICKERS

En el ensayo Vickers se emplea como elemento indentador una pirámide regular de diamante, de base cuadrada, cuyas caras laterales forman un ángulo de 136°. En la penetración del indentador contra la probeta, éste dejará una impresión cuadrada sobre el material de la probeta, que resulta más fácil de medir (más precisa) en este tipo de ensayo.

E. ENSAYO DE DUREZA ROCKWELL

Este método de cálculo de la dureza se basa también en la medición de la profundidad de penetración de una determinada herramienta (indentador) en el material bajo la acción de una carga prefijada. Se suele considerar también un ensayo no destructivo, por el pequeño tamaño de la huella que deja sobre la superficie del material ensayado.

F. ENSAYOS DE LIQUIDOS PENETRANTES

El ensayo por líquidos penetrantes es un método no destructivo que permite la detección de discontinuidades en materiales sólidos no porosos tales como metales cerámicos vidrios y plásticos y siempre que las discontinuidades se encuentren

abiertas a la superficie.

Sandoval (2009) afirma “Este ensayo se basa en los principios físicos de: Fuerza de cohesión y adherencia, Capilaridad, Tensión superficial, Viscosidad y Volatilidad” (p.90).

El líquido penetrante tiene la propiedad de penetrar en cualquier abertura u orificio de la superficie del material.

Sus características deberán reunir lo siguiente:

- Habilidad para penetrar orificios y aberturas muy pequeñas y estrechas
- Habilidad de permanecer en aberturas amplias
- Resistencia a la evaporación
- Inodoro
- Habilidad para mantener color o la fluorescencia.

Los líquidos penetrantes se clasifican en tres grupos:

- Líquidos penetrantes coloreados.
- Líquidos penetrantes fluorescentes, observación con luz negra.
- Líquidos penetrantes mixtos (Fluorescente-coloreados), observación bajo los dos tipos de luz anteriores

CAPITULO III

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. MATERIAL Y EQUIPOS

3.1.1. MATERIAL DE ESTUDIO

El material de estudio fue la unión soldada del acero ASTM A36, el cual fue proporcionado por la empresa Metal Paz Estructuras E.I.R.L, suministrados en planchas de 12mm de espesor, usados en las construcciones metálicas. (Ver **Tabla 3.1**)

Tabla 3.1

Composición química del acero ASTM A36

C(%)	Mn(%)	Si(%)	P(%)	S(%)
0.26	1.2	0.4	0.04	0.05

Fuente: Manual de Soldexa

El material de aporte fue un electrodo revestido de tipo básico de bajo hidrógeno con extraordinarias características mecánicas y de soldabilidad. (Ver **Tabla 3.2 y 3.3**)

Tabla 3.2

Composición química del Electrodo Supecito 7018

C(%)	Mn(%)	Si(%)	P(%)	S(%)	Mo(%)	Ni(%)	Cr(%)	Cu(%)	Otros(%)
0.05	1.00	0.60	Max. 0.020	Max. 0.020	-	-	-	-	-

Fuente: Manual de Soldexa.

Tabla 3.3*Propiedades mecánicas del metal depositado*

Resistencia a la Tracción (MPa(Psi))	Límite de Fluencia ((Mpa(Psi))	Elongación en 2" (%)	Tratamiento Térmico
520-610 (75400 - 88450)	mín. 400(58 000)	mín. 23	0.05

*Fuente: Manual de Soldexa***3.1.2. EQUIPOS E INSTRUMENTOS**

- Cámara Fotográfica
- Computadora Toshiba –Pentium Core I5
- Equipo de Soldadura SMAW
- Equipo oxiacetilénico para precalentar el acero.
- Esmeril Angular de 7"
- Pirómetro
- Flexómetro de 3 metros.
- Kits de Tintes Penetrantes.

3.1.3. INSTALACIONES

- Instalaciones de Planta de Fabricación de Metal Paz Estructuras E.I.R.L
- Laboratorio de Ensayos de Tracción–Empresa Ademinsac.
- Laboratorio de Metalurgia –Universidad Nacional de Trujillo

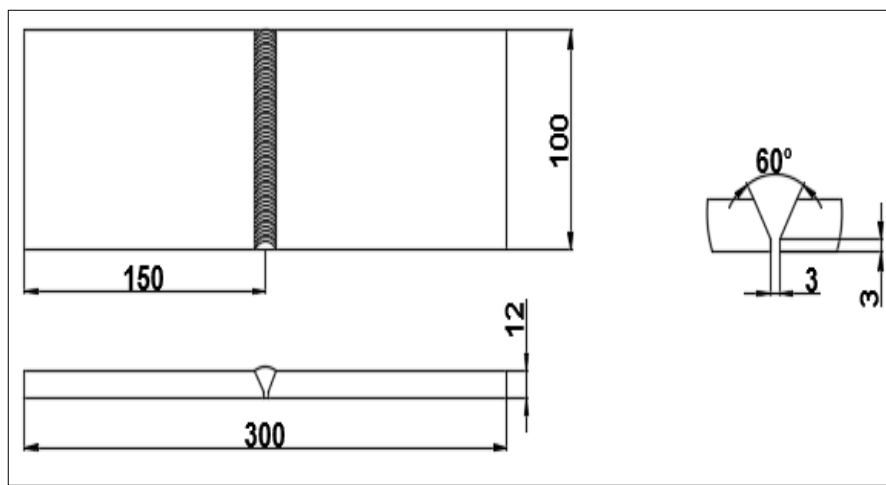
3.2. MÉTODOS

3.2.1. PREPARACIÓN DE PROBETAS

Se prepararon 4 probetas de acero estructural ASTM A36 de 12mm x 100mm x 300mm con bisel de 60°, como se muestra en la siguiente figura 3.1.

Figura 3.1

Esquema de la probeta de Trabajo.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.2

Probetas cortadas y biseladas de acuerdo al esquema



Fuente: Elaboración propia.

3.2.2. SELECCIÓN DE ELECTRODOS

Para el proceso de soldadura al arco eléctrico SMAW con electrodo recubierto se utilizó un electrodo E7018, de 3mm de diámetro. Las propiedades del electrodo están señaladas en la tabla 3.2 y 3.3.

3.2.3. PROCESO DE SOLDADURA

La soldadura se realizó de acuerdo a los parámetros de soldeo recomendados por Soldexa.

Se utilizó una corriente de 140 Amperes y fue ejecutada por un soldador calificado, con el fin de evitar problemas en la calidad del proceso.

Toma de datos con el medidor de temperatura Pirómetro.

Figura 3.3

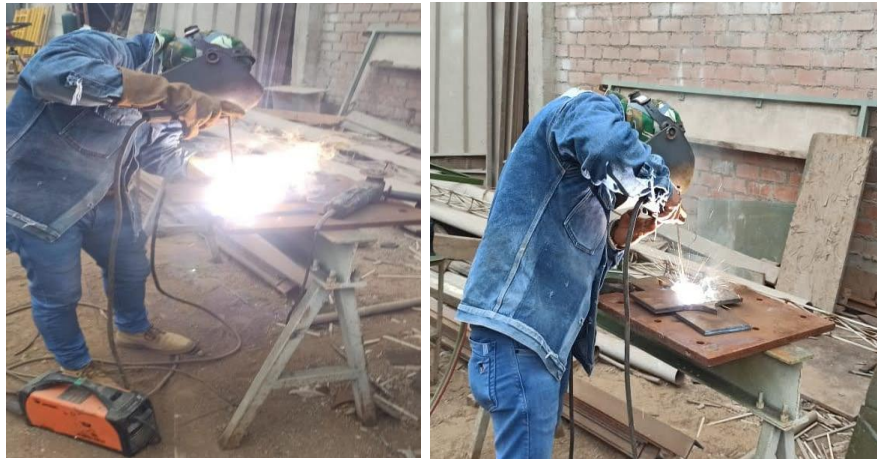
Medición de temperatura precalentamiento con el pirómetro.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.4

Proceso de soldadura de las probetas



Fuente: Elaboración propia.

3.2.4. ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

Después de haber finalizado la operación de soldadura, se realizó el Método de Prueba Estándar de Líquidos Penetrantes de acuerdo a la Norma ASTM E-165-95.

Figura 3.5

Ensayos de líquidos penetrantes



Fuente: Elaboración propia.

3.2.5. MEDICIÓN DE DUREZA, RESISTENCIA EN LABORATORIOS DE ENSAYOS DE MATERIALES

En esta etapa las probetas se entregaron al laboratorio de materiales en el grupo Ademinsac para el ensayo de tracción:

Figura 3.6

Probetas seccionadas y máquinas de tracción



Fuente: Laboratorio de Ensayo de Tracción–Grupo Ademinsac.

Las características de la máquina universal de ensayo tienen las siguientes características:

- Marca: LG WEW-300B
- Capacidad: 300 KN
- Unidad de Lectura: 0,002 KN

Para el ensayo de la dureza y la metalografía se realizaron los siguientes pasos:

- Probetas seccionadas de dimensiones 12x30x70mm.
- Desbaste de las probetas.
- Pulido de las probetas
- Ataque con reactivo Nital 2%.

Figura 3.7

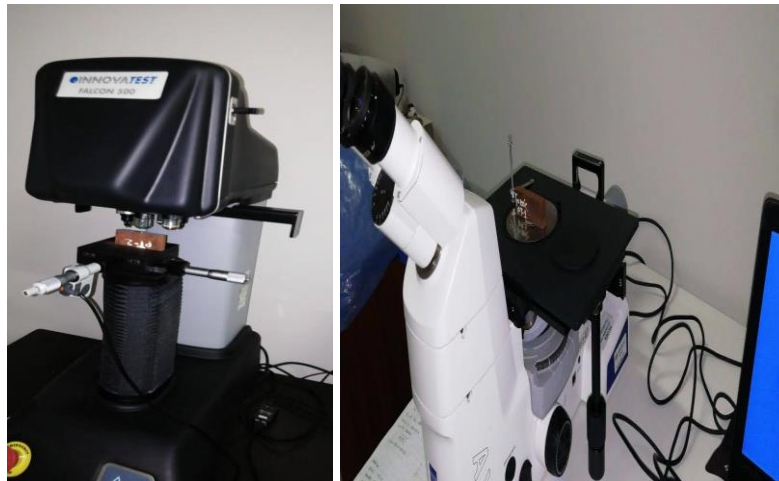
Probetas de dimensiones seccionadas de 12x30x70mm codificadas.



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 3.8

Máquina de medición dureza Vickers –Innova Test.



Fuente: Laboratorio de Metalurgia-Universidad Nacional de Trujillo

3.2.6. CÁLCULOS NUMÉRICOS EN EL ÁREA AFECTADA POR EL CALOR

De acuerdo a la información recolectada en campo se procedió a realizar los cálculos numéricos y elaborar gráficas dentro de la zona como objeto de estudio.

- Cálculos del Aporte Calórico Neto.
- Cálculo de la Temperatura de Pre calentamiento Mínimo de acuerdo al Método Seferian.
- Cálculo de la Velocidad de Enfriamiento en el Centro del Área afectada por el Calor.
- Cálculo de la Distribución de la Temperatura Máxima dentro del Área Afectada por el Calor.
- Cálculo del Ancho del Área afectada por el Calor
- Cálculo del Tiempo de Solidificación del Área Afectada por el Calor.
- Predicción de la Dureza Máxima en el Área Afectada por el Calor.
- Análisis Gráfico con los Resultados Obtenidos.

CAPITULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. RESULTADOS

4.1.1. TEMPERATURA ÓPTIMA

Tabla 4.1

Temperaturas de precalentamiento en probetas

Item	Probeta	T. Precal (°C)
1	PT-01	100°C
2	PT-02	120°C
3	PT-03	145°C
4	PT-04	160°C

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.2

Resultados obtenidos de los cálculos y ensayos

Item	Probeta	T. Precal.	Veloc. Enf. °C/s	Dureza Máx. (HV)	Esfuerzo Máx. (MPa)
1	PT-01	100°C	-39.692	241.0	424.15
2	PT-02	120°C	-34.631	209.0	496.37
3	PT-03	145°C	-28.935	232.0	515.82
4	PT-04	160°C	-25.838	250.0	500.36

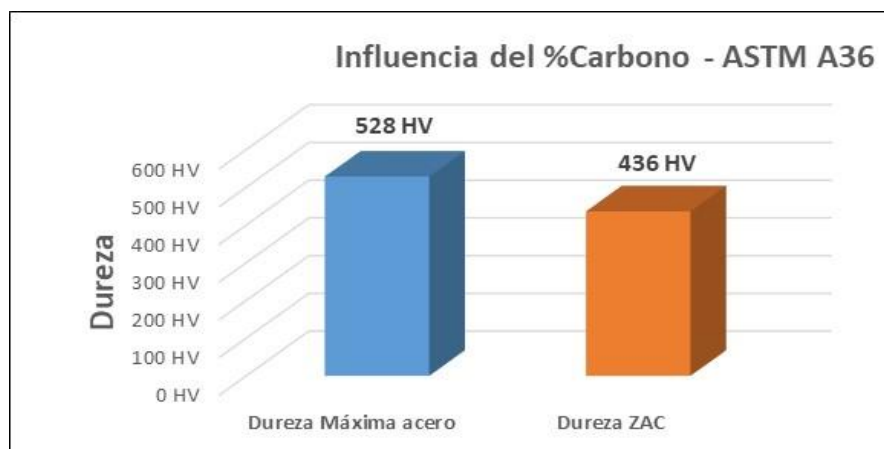
Fuente: Elaboración propia.

4.1.2. EVALUACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS

A. PREDICCIÓN DUREZA MÁXIMA EN EL ACERO Y EN EL ÁREA AFECTADA POR EL CALOR

Figura 4.1

Influencia del % carbono en el acero ASTM A36



Fuente: Elaboración propia.

B. ENSAYOS DE TRACCIÓN

Tabla 4.3

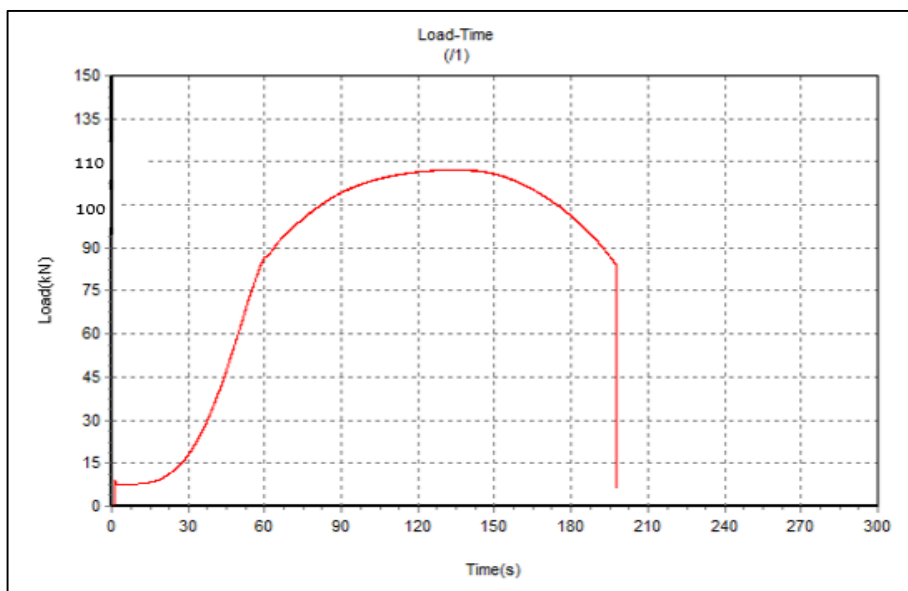
Resultados del ensayo de tracción de las probetas soldadas.

MUESTRA	ESPESOR (mm)	TEMPERATURA (°C)	ANCHO PROBETA (mm)	FUERZA MÁXIMA (kg)	ESFUERZO MAXIMO kg/mm2 (Mpa)	OBSERVACIÓN
PT-1	12.03	100	19.38	10120.19	43.25 (424.15)	FRACTURA EN EL MATERIAL BASE
PT-2	12.04	120	19.43	11840.94	50.61 (496.37)	FRACTURA EN EL MATERIAL BASE
PT-3	12.24	145	19.09	11957.19	52.5 (515.82)	FRACTURA EN EL MATERIAL BASE
PT-4	11.95	160	19.42	11955.94	51.08 (500.36)	FRACTURA EN EL MATERIAL BASE

Fuente: Laboratorio de ensayos de tracción – Grupo Ademinsac

Figura 4.2

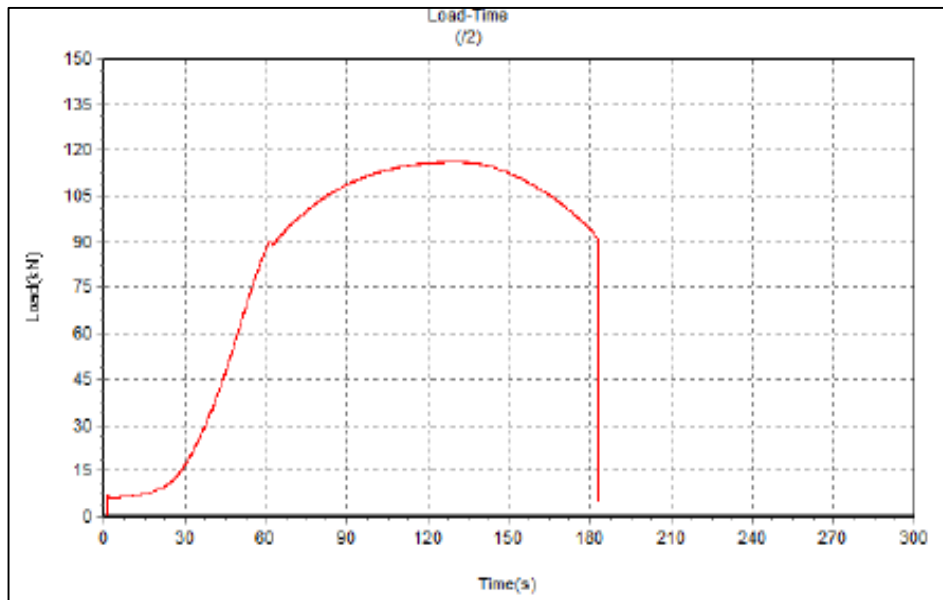
Gráfica de tracción de la probeta PT-1 ($T_p=100^{\circ}\text{C}$)



Fuente: Laboratorio de ensayos de tracción –Grupo Ademinsac

Figura 4.3

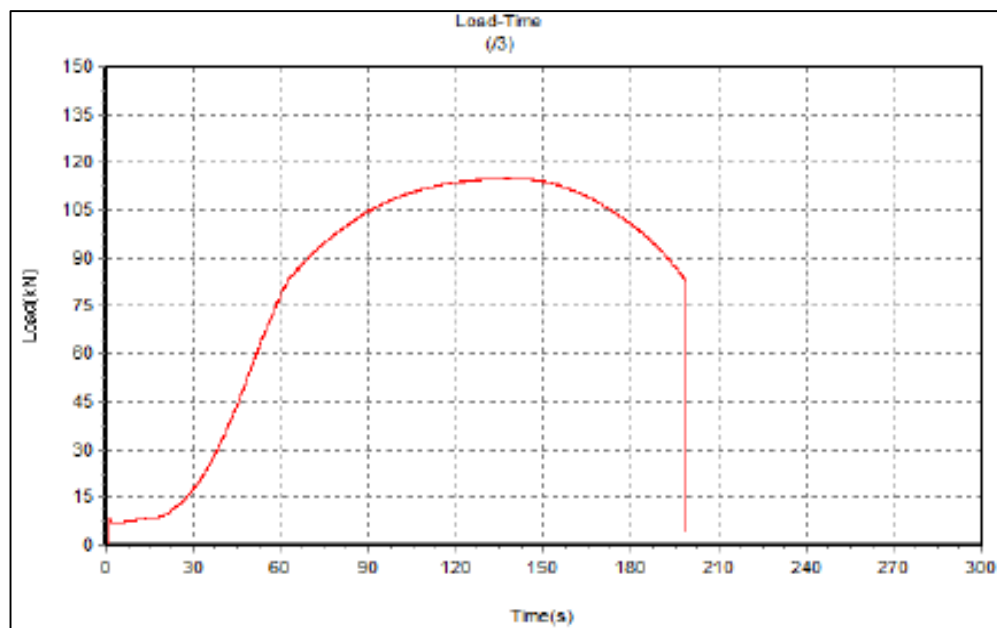
Gráfica de tracción de la probeta PT-2 ($T_p=120^{\circ}\text{C}$)



Fuente: Laboratorio de ensayos de tracción –Grupo Ademinsac

Figura 4.4

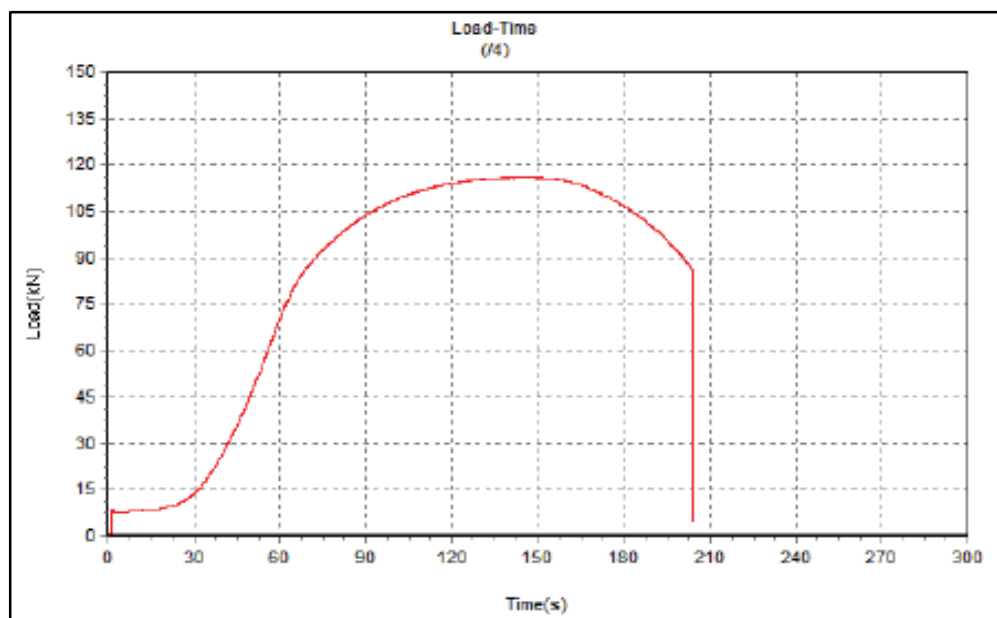
Gráfica de tracción de la probeta PT-3 ($T_p=145^{\circ}\text{C}$)



Fuente: Laboratorio de ensayos de tracción –Grupo Ademinsac

Figura 4.5

Gráfica de tracción de la probeta PT-4 ($T_p=160^{\circ}\text{C}$)



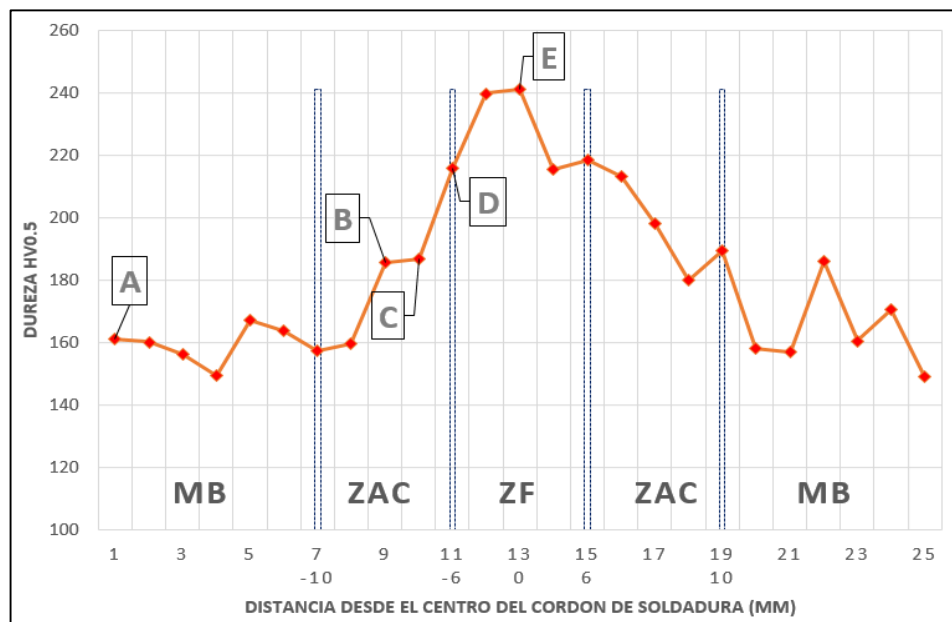
Fuente: Laboratorio de ensayos de tracción –Grupo Ademinsac

C. ENSAYOS DE DUREZA

La distribución de puntos de cada probeta se encuentra en Anexos III.

Figura 4.6

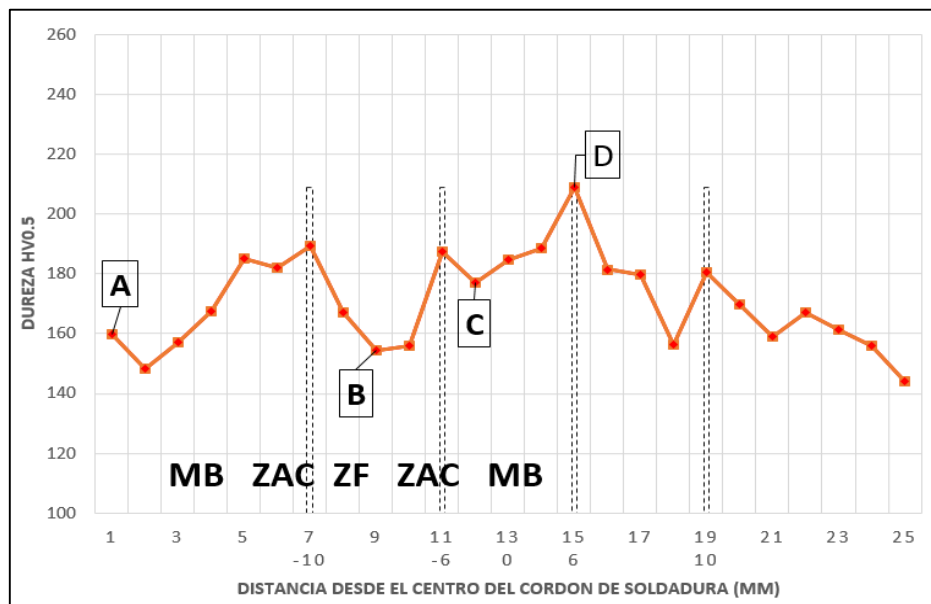
Gráfica de tracción de la probeta PT-1 ($T_p=100^\circ\text{C}$)



Fuente: Laboratorio de metalurgia-Universidad Nacional de Trujillo

Figura 4.7

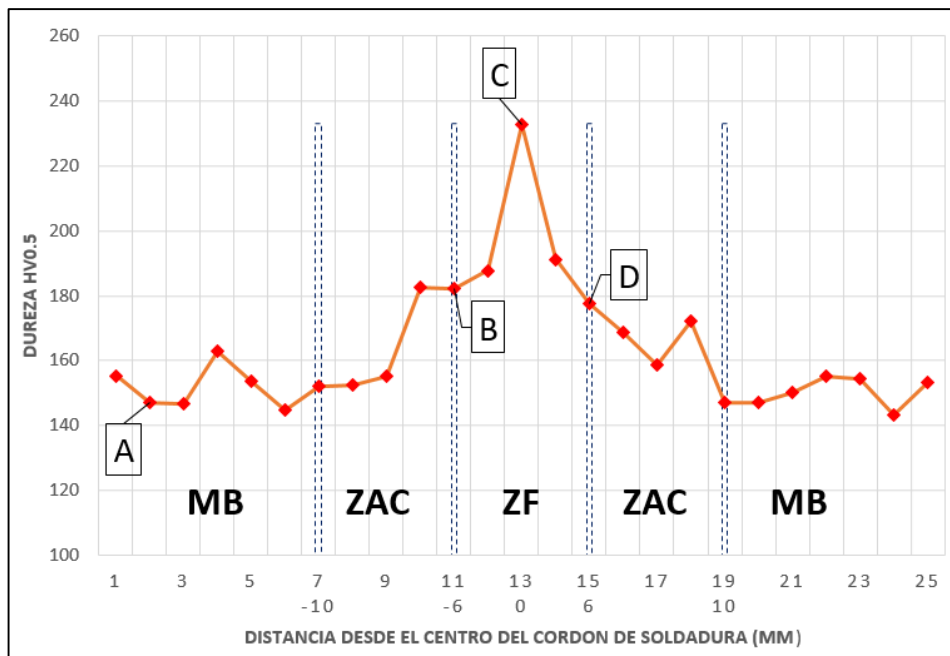
Gráfica de tracción de la probeta PT-2 ($T_p=120^\circ\text{C}$)



Fuente: Laboratorio de metalurgia-Universidad Nacional de Trujillo

Figura 4.8

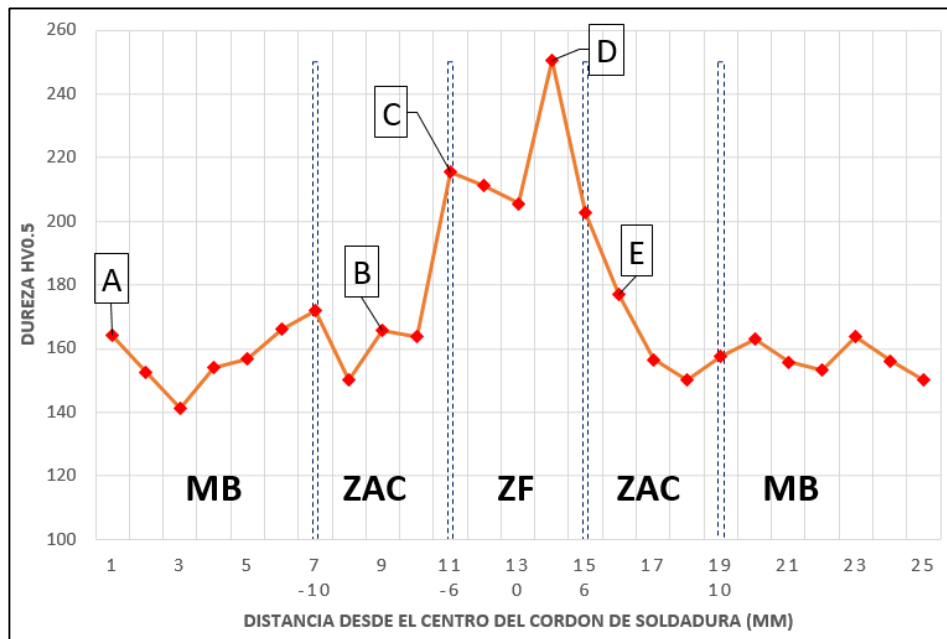
Gráfica de tracción de la probeta PT-3 ($T_p=145^\circ\text{C}$)



Fuente: Laboratorio de metalurgia-Universidad Nacional de Trujillo

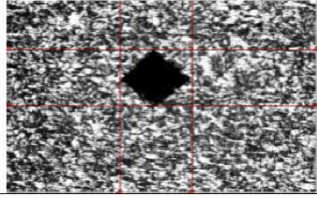
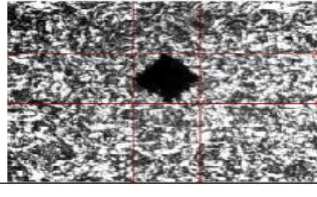
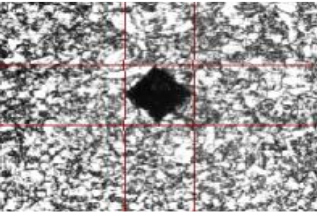
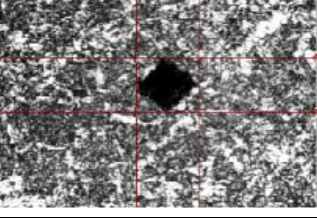
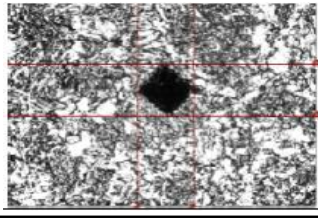
Figura 4.9

Gráfica de tracción de la probeta PT-4 ($T_p=160^\circ\text{C}$)



Fuente: Laboratorio de metalurgia-Universidad Nacional de Trujillo

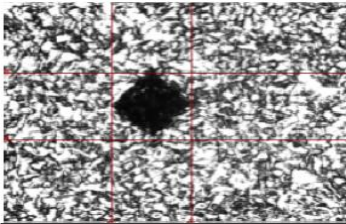
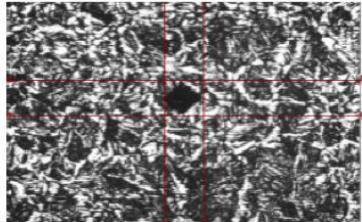
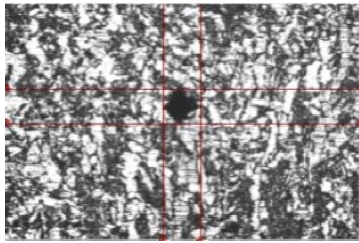
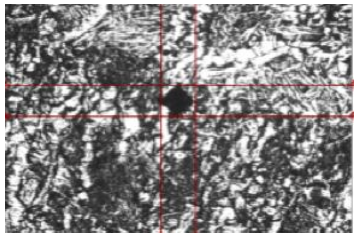
Figura 4.10*Perfiles de dureza en probeta PT-1 (Tp=100°C)*

PROBETA PT-1 (Tp=100°C)		
PUNTO A	DUREZA (HV 0.5)	COMENTARIOS
	161	METAL BASE
PUNTO B	DUREZA (HV 0.5)	COMENTARIOS
	185.8	ZONA ZAC GRANDE
PUNTO C	DUREZA (HV 0.5)	COMENTARIOS
	186.9	ZONA ZAC GRANDE CON MARTENSITA
PUNTO D	DUREZA (HV 0.5)	COMENTARIOS
	215	METAL DE SOLDADURA PEGADA A LA LINEA DE FUSIÓN
PUNTO E	DUREZA (HV 0.5)	COMENTARIOS
	241	LINEA CENTRAL DE LA SOLDADURA

Fuente: Laboratorio de metalurgia-Universidad Nacional de Trujillo

Figura 4.11

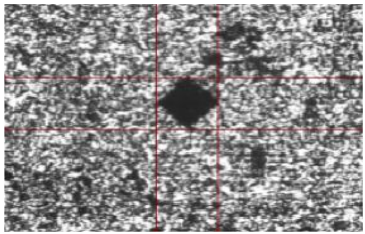
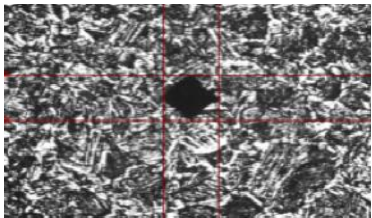
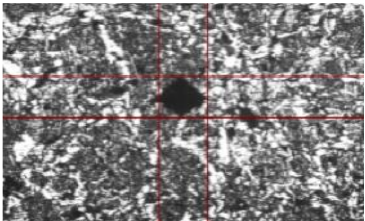
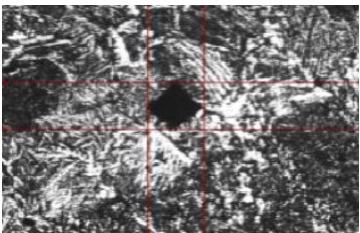
Perfiles de dureza en probeta PT-2 ($T_p=120^\circ\text{C}$)

PROBETA PT-2 ($T_p=120^\circ\text{C}$)		
PUNTO A	DUREZA (HV 0.5)	COMENTARIOS
	159	METAL BASE
PUNTO B	DUREZA (HV 0.5)	COMENTARIOS
	154	ZONA ZAC GRANDE
PUNTO C	DUREZA (HV 0.5)	COMENTARIOS
	177	ZONA DE SOLDADURA - FUSIÓN
PUNTO D	DUREZA (HV 0.5)	COMENTARIOS
	209	LINEA DE FUSIÓN

Fuente: Laboratorio de metalurgia-Universidad Nacional de Trujillo

Figura 4.12

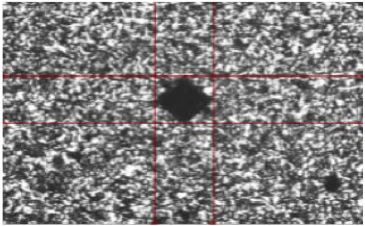
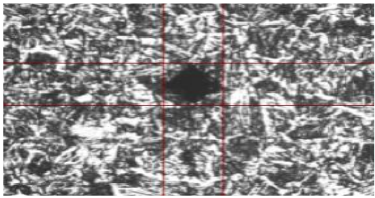
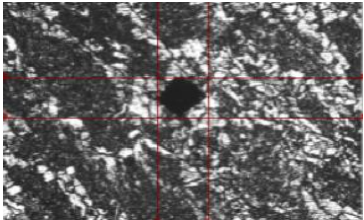
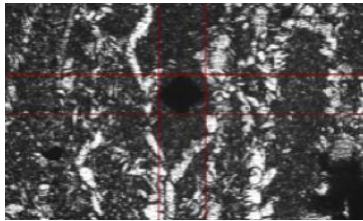
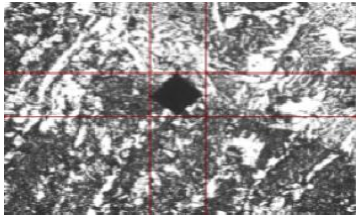
Perfiles de dureza en probeta PT-3 ($T_p=145^\circ\text{C}$)

PROBETA PT-3 ($T_p=145^\circ\text{C}$)		
PUNTO A	DUREZA (HV 0.5)	COMENTARIOS
	147	METAL BASE
PUNTO B	DUREZA (HV 0.5)	COMENTARIOS
	182	ZONA ZAC GRANO MEDIO
PUNTO C	DUREZA (HV 0.5)	COMENTARIOS
	232	METAL DE APORTE FUNDIDO
PUNTO D	DUREZA (HV 0.5)	COMENTARIOS
	177	LINEA DE FUSIÓN

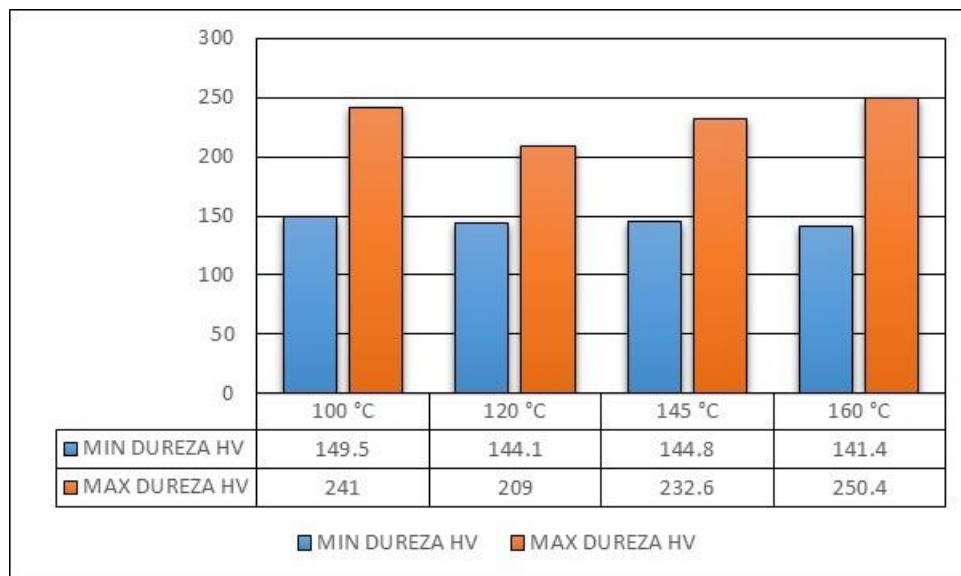
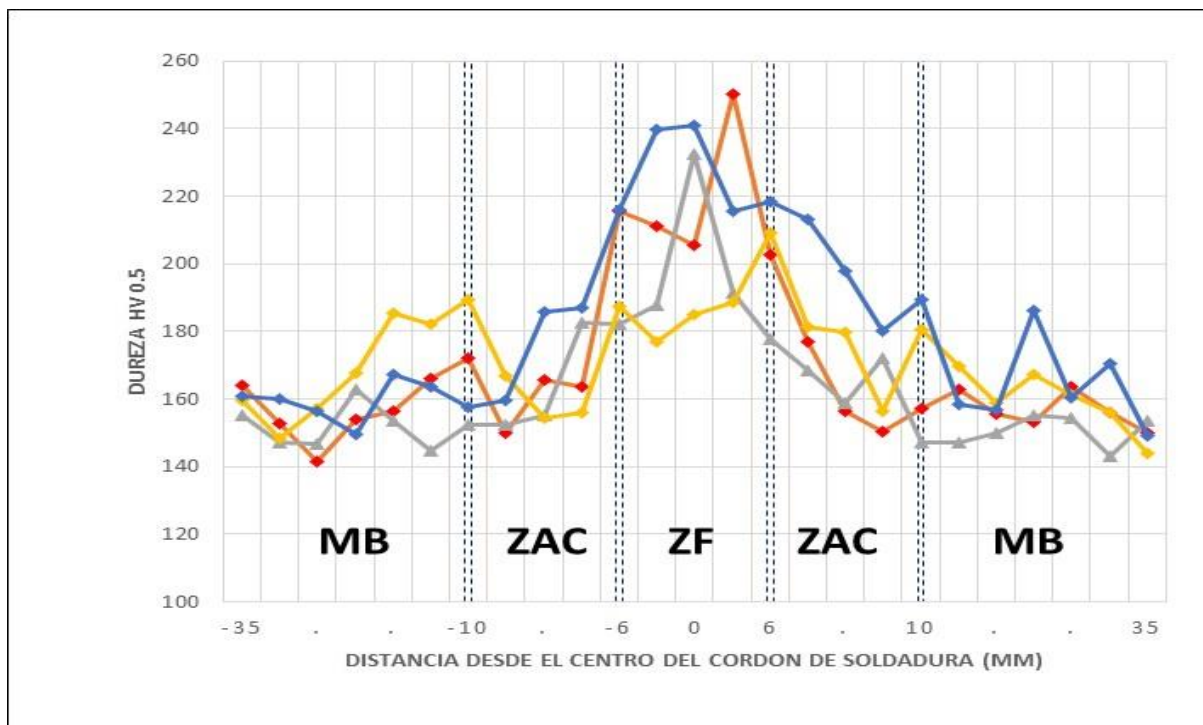
Fuente: Laboratorio de metalurgia-Universidad Nacional de Trujillo

Figura 4.13

Perfiles de dureza en probeta PT-4 ($T_p=160^\circ\text{C}$).

PROBETA PT-4 ($T_p=160^\circ\text{C}$)		
PUNTO A	DUREZA (HV 0.5)	COMENTARIOS
	164	METAL BASE
PUNTO B	DUREZA (HV 0.5)	COMENTARIOS
	165	ZONA ZAC GRANO GRUESO
PUNTO C	DUREZA (HV 0.5)	COMENTARIOS
	215	ZONA DE FUSIÓN PEGADO A LA LÍNEA DE FUSIÓN
PUNTO D	DUREZA (HV 0.5)	COMENTARIOS
	250	ZONA DE FUSIÓN EN FERRITA ACICULAR
PUNTO E	DUREZA (HV 0.5)	COMENTARIOS
	177	LÍNEA DE FUSIÓN

Fuente: Laboratorio de metalurgia-Universidad Nacional de Trujillo

Figura 4.14*Durezas máximas y mínimas de probetas**Fuente:* Elaboración propia**Figura 4.15***Durezas Vickers de las probetas en todas las zonas**Fuente:* Elaboración propia

4.1.3 EFECTO DEL PRECALENTAMIENTO

Tabla 4.4

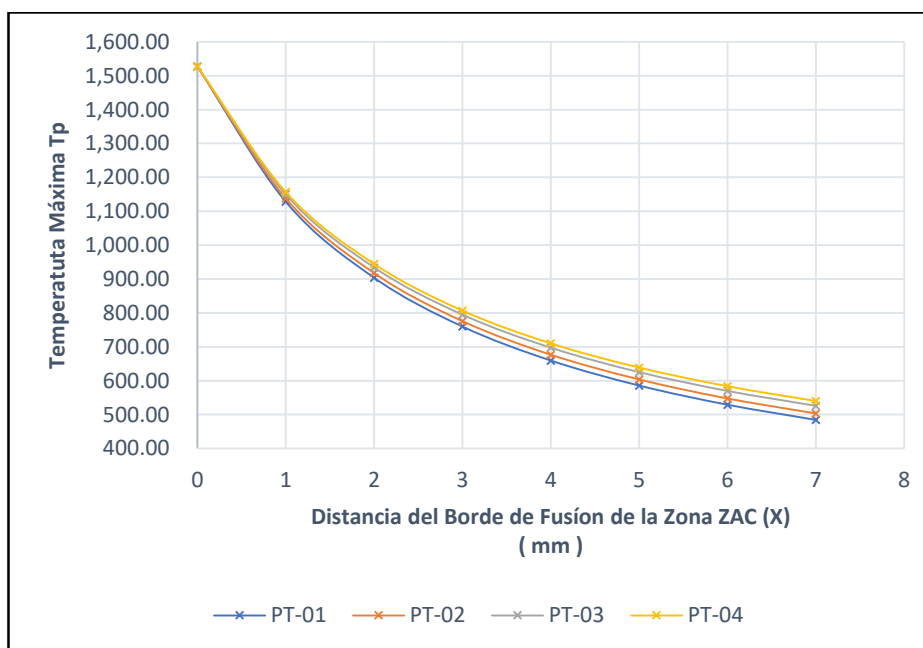
Cuadro de temperaturas máximas en las probetas de trabajo.

Probeta	T. Precal.	Distancia (mm) desde el centro de la probeta							
		0	1	2	3	4	5	6	7
PT-01	100°C	1527.0	1128.3	903.8	759.7	659.4	585.6	529.0	484.2
PT-02	120°C	1527.0	1137.9	917.4	775.4	676.3	603.3	547.2	502.8
PT-03	145°C	1527.0	1149.8	934.3	794.9	697.4	625.3	569.9	525.9
PT-04	160°C	1527.0	1156.8	944.4	806.6	710.0	638.5	583.4	539.8

Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.16

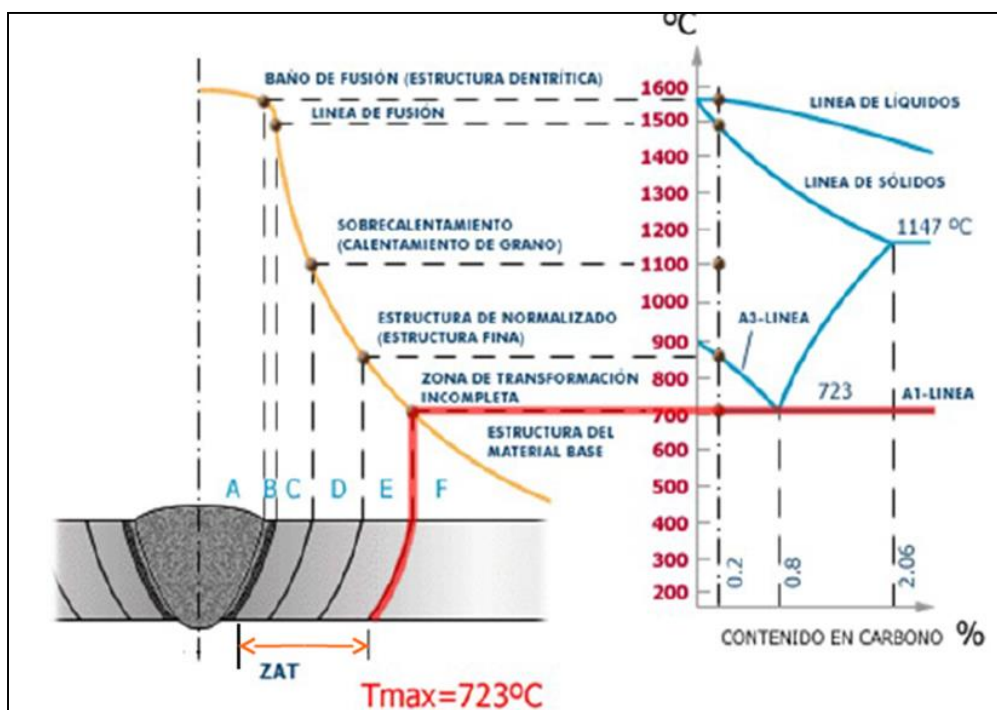
Temperatura máxima (Tp) vs distancia eje X del borde de fusión ZAC



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 4.17

Gráfica del alcance de ancho del área afectada por el calor.



Fuente: Fosca, C. "Introducción a la metalurgia de la soldadura".

Tabla 4.5

Velocidad de enfriamiento y ancho del área afectada por el calor

Ítem	Probeta	T. Prec.	Veloc. Enf. °C/s	Ancho ZAC mm
1	PT-01	100°C	-39.692	3.33
2	PT-02	120°C	-34.631	3.49
3	PT-03	145°C	-28.935	3.70
4	PT-04	160°C	-25.838	3.85

Fuente: Elaboración propia.

4.1.4 RESULTADOS DE LA MICROESTRUCTURA

A) VELOCIDAD DE ENFRIAMIENTO

Tabla 4.6

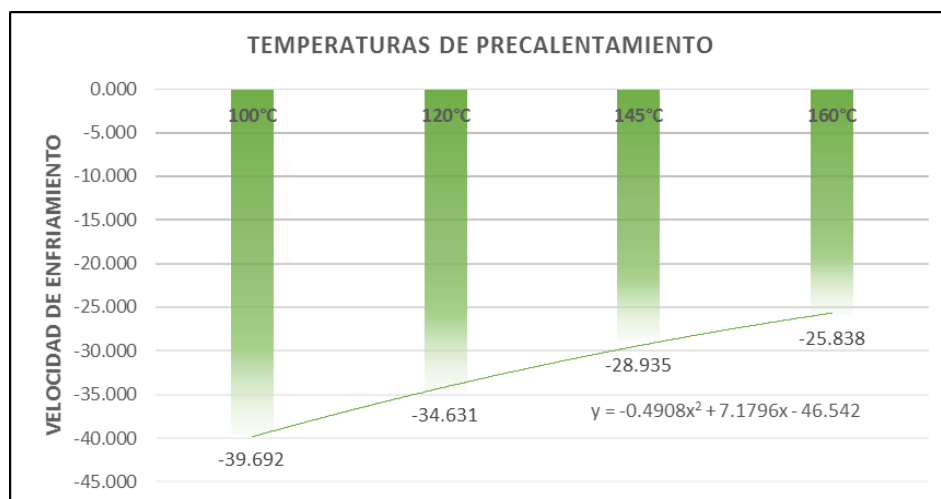
Resultados de velocidades de enfriamientos

Ítem	Probeta	T. Precal.	V.Enf. (°C/s)
1	PT-01	100°C	-39.692
2	PT-02	120°C	-34.631
3	PT-03	145°C	-28.935
4	PT-04	160°C	-25.838

Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.18

Velocidad de enfriamiento vs temperatura de precalentamiento

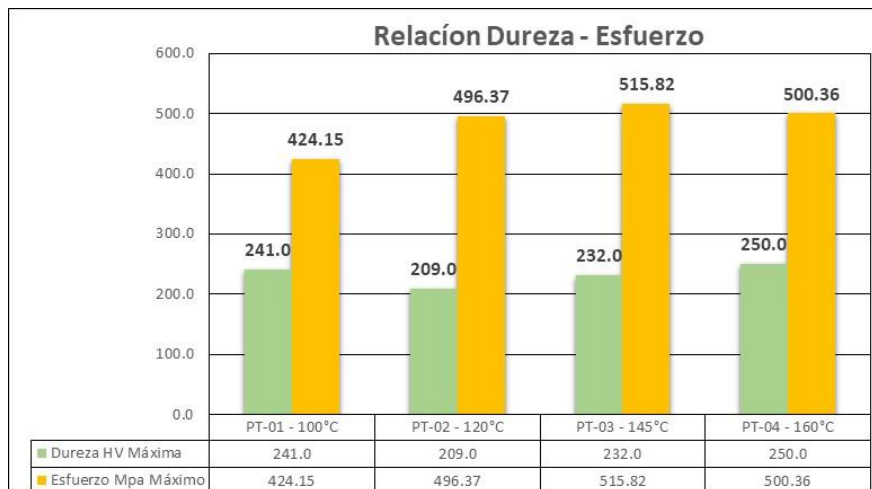


Fuente: Elaboración propia.

B) RELACIÓN DE ESFUERZO Y DUREZA

Figura 4.19

Relación de esfuerzo máximo y dureza máxima

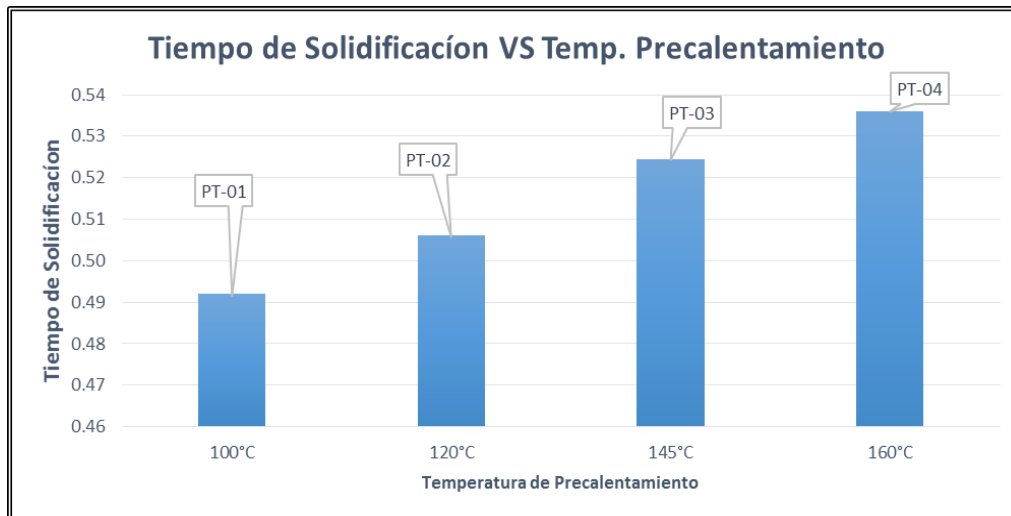


Fuente: Elaboración propia.

C) TIEMPO DE SOLIDIFICACIÓN

Figura 4.20

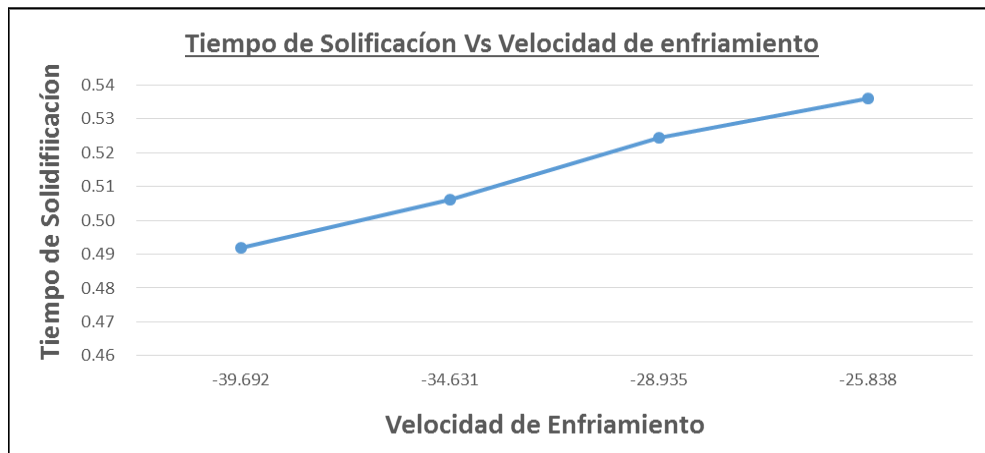
Relación entre temperatura de precalentamiento con el tiempo de solidificación



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.21

Relación entre tiempo de solidificación vs velocidad de enfriamiento


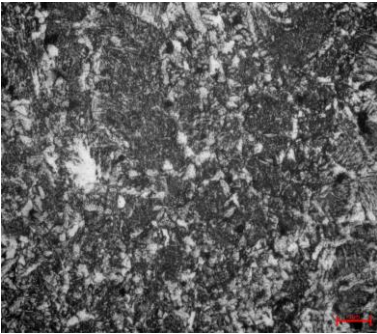
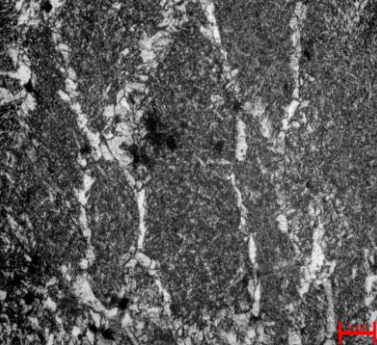


Fuente: Elaboración propia.

D) ANÁLISIS METALGRÁFICO

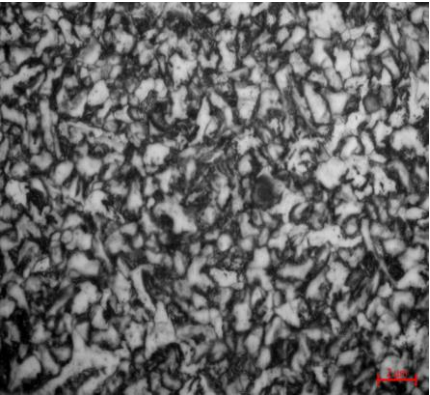

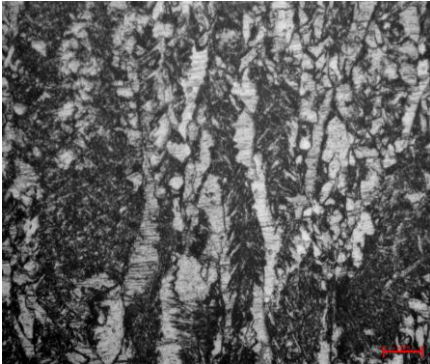
Figura 4.22

Metalografía de probeta PT-1 (T=100°C)

RESULTADOS DE ANÁLISIS METALGRÁFICO			
PROBETA	REFERENCIA	FOTOGRAFÍA	COMENTARIOS
PROBETA PT-1 (T=100°C)	ZONA METAL BASE		MARTENSITA REVENIDA (AUMENTO 250X)
	ZONA ZAC		MEZCLA DE MARTENSITA ACICULAR Y MARTENSITA REVENIDA (AUMENTO 100X)
	ZONA DE METAL DE SOLDADURA		FERRITA ACICULAR (AUMENTO 100X)

Fuente: Laboratorio de metalurgia-Universidad Nacional de Trujillo


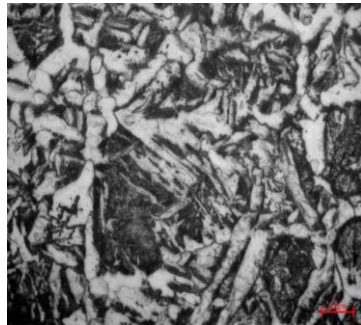
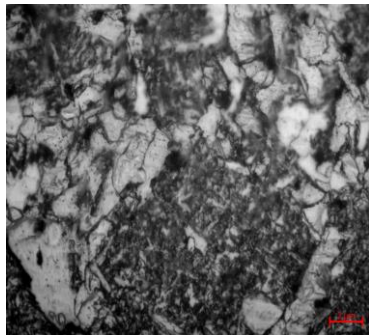
Figura 4.23*Metalografía de probetas PT-2 (T=120°C)*

RESULTADOS DE ANÁLISIS METALGRÁFICO			
PROBETA	REFERENCIA	FOTOGRAFÍA	COMENTARIOS
PROBETA PT-2 (T=120°C)	ZONA METAL BASE		MARTENSITA REVENIDA (AUMENTO 250X)
	ZONA ZAC		MARTENSITA REVENIDA (AUMENTO 250X)
	ZONA DE METAL DE SOLDADURA		FERRITA ACICULAR y PERLITA (AUMENTO 100X)

Fuente: Laboratorio de metalurgia-Universidad Nacional de Trujillo


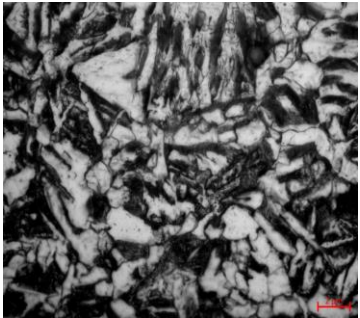
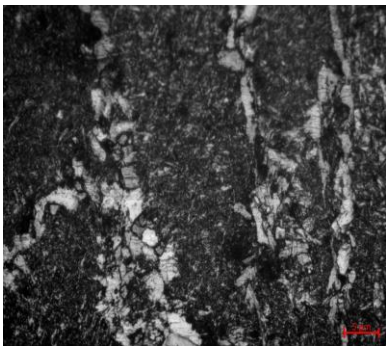
Figura 4.24

Metalografía de probeta PT-3 (T=145°C)

RESULTADOS DE ANÁLISIS METALGRÁFICO			
PROBETA	REFERENCIA	FOTOGRAFÍA	COMENTARIOS
PROBETA PT-3 (T=145°C)	ZONA METAL BASE		MARTENSITA REVENIDA (AUMENTO 250X)
	ZONA ZAC		MEZCLA DE AGUJAS DE AUSTENITA Y MARTENSITA REVENIDA (AUMENTO 250X)
	ZONA DE METAL DE SOLDADURA		FERRITA ACICULAR Y PERLITA (AUMENTO 250X)

Fuente: Laboratorio de metalurgia-Universidad Nacional de Trujillo

Figura 4.25*Metalografía de probeta PT-4 (T=160°C)*

RESULTADOS DE ANÁLISIS METALGRÁFICO			
PROBETA	REFERENCIA	FOTOGRAFÍA	COMENTARIOS
PROBETA PT-4 (T=160°C)	ZONA METAL BASE		MARTENSITA REVENIDA (AUMENTO 250X)
	ZONA ZAC		MEZCLA DE AGUJAS DE AUSTENITA Y MARTENSITA REVENIDA (AUMENTO 250X)
	ZONA DE METAL DE SOLDADURA		FERRITA ACICULAR (AUMENTO 100X)

Fuente: Laboratorio de metalurgia-Universidad Nacional de Trujillo

4.2. DISCUSIONES

1. Nuestro primer objetivo consiste en determinar la temperatura óptima que tendrá una buena soldabilidad y no presentará riesgos de fisuraciones en frío. Devedia (1985) afirma “En el rango de 145 a 260 °C se disminuye la velocidad de enfriamiento reduciendo el riesgo de obtener estructuras frágiles” (p.65). De acuerdo a muchas investigaciones la dureza es un factor para determinar el riesgo de fisuraciones por endurecimiento del área afectada por el calor, determinando que durezas menores a 280HV no presentarán riesgos de fisuraciones en frío y no habría necesidad de un tratamiento post-soldadura. Además según el carbono equivalente (0.44%-0.55%), nos recomienda rangos de temperatura de precalentamiento entre 100°C a 200°C para los aceros al carbono (Fosca,2003,p.213).En nuestra presente investigación se obtuvo un carbono equivalente de 0.53% y la temperatura óptima de $T=145^{\circ}\text{C}$, donde se obtuvo un esfuerzo de 515.82 Mpa y una dureza máxima de 232 HV con una disminución de la velocidad de enfriamiento. En las 4 probetas realizadas mostraron que las durezas en el área afectada por el calor son menores a 280HV.
2. El segundo objetivo tiene como finalidad evaluar el esfuerzo y la dureza por efecto del precalentamiento. Gorrochotegui (2011) afirma:

En su investigación obtuvo como resultado que el esfuerzo máximo se realizó en la probeta con precalentamiento a 200°C (664.012 Mpa), a comparación con el material de juntas soldadas mayores a 200°C. El autor infiere que a medida que se va aumentando la temperatura de precalentamiento se disminuye la dureza pero mejora el esfuerzo del material (p.128). En cambio, nuestro esfuerzo máximo es 515.82 Mpa

a una $T=145^{\circ}\text{C}$, alcanzados en las probetas, es decir que están relacionados a un cambio en escala microestructural, producto del precalentamiento, velocidad de enfriamiento; y es inversamente proporcional con la dureza.

3. Nuestro tercer objetivo consiste en analizar el efecto del precalentamiento sobre el ancho del área afectada por el calor. Aspilcueta (2014) afirma:

El ancho del área afectada por el calor tiene una tendencia a crecer a medida que recibe una entrada de aporte de calor, para la probeta con $T=18^{\circ}\text{C}$ se tiene un ancho de 3.2 mm, para $T=190^{\circ}\text{C}$ se tiene un ancho de 8.2 mm (p.125).

Fosca (2003) afirma “Al aumentar el aporte del calor de la soldadura, se incrementa igualmente el ancho del área afectada por el calor” (p.105). En nuestra investigación obtuvimos que el ancho del área afectada por el calor crece de manera lenta a medida que recibe una mayor entrada de calor. En nuestra probeta a $T=100^{\circ}\text{C}$ el ancho es 3.33 mm y para $T=160^{\circ}\text{C}$ el ancho es 3.85mm.

4. Nuestro cuarto objetivo consiste en analizar la influencia del precalentamiento a la microestructura en el área afectada por el calor. Monsivais (2012) afirma:

La caracterización de las microestructuras fue totalmente homogénea en cada una de sus zonas de mapeo, lo cual nos indica que el precalentamiento no tuvo influencia significativa en la microestructura, quedando de la siguiente forma: metal base, estructura martensítica; zona afectada por el calor, estructura martensita, ferrita y vainita; mientras que en el metal de soldadura se evidencio una estructura de columna típica de ferrita acicular y perlita (p.75). La microestructura presentada por la zona de fusión es básicamente constituida por ferrita acicular y ferrita primaria en los límites de granos. Los diferentes aportes de calor no cambiaron la morfología de las

fases en esta región (Costa,2015,p.129).

En nuestra presente investigación el efecto del precalentamiento en las 4 probetas soldadas se observaron cambios en su microestructura. En el metal base, en las 4 probetas se observó la presencia de una microestructura martensita revenida con mayor definición. En la zona afectada por el calor, las probetas PT-1, PT-3 y PT-4, se observa la presencia de martensita revenida y agujas de austenita, mientras que en la probeta PT-2 se observa la formación de martensita revenida. En la zona de metal de soldadura (MS), en las 4 probetas, se observa microestructura de ferrita acicular y perlita.

CAPITULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

1. De acuerdo a los resultados se determinó que la temperatura de precalentamiento optima es de 145°C, presentando una buena soldabilidad en el proceso de soldadura, en planchas ASTM A36 con espesores de 12 mm, 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.
2. Según los resultados obtenidos, se determina que los esfuerzos y durezas máximas en las probetas: PT1 (424.15 MPa, 241 HV); PT2 (496.37 MPa, 209 HV); PT3 (515.82 MPa, 232 HV); PT4 (500.36 MPa, 250 HV), producidos por el efecto del precalentamiento, son inversamente proporcionales.
3. De acuerdo a los resultados obtenidos, la temperatura de precalentamiento, velocidad de enfriamiento y el ancho del área afectada por el calor en las probetas: PT1 (100°C, -39.692 °C/s, 3.33 mm); PT2 (120°C, -34.631 °C/s, 3.49 mm); PT3 (145°C, -28.935 °C/s, 3.70 mm); PT4 (160°C, -25.838 °C/s, 3.85 mm); se concluye 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.

4. 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.

5.2. RECOMENDACIONES

1. El estudio de la ingeniería de la soldadura en Perú es innegable, pero debido a eso es que se debe redoblar esfuerzos en incentivar el uso de procedimientos y ensayos para analizar los diferentes problemas que surgen en los procesos.
2. Es importante tener presente la necesidad de la realización del precalentamiento de la junta a soldar que permita velocidades de enfriamientos lentos, y propicie la formación de microestructuras que brinden propiedades mecánicas que garanticen la integridad de la junta soldada.
3. Se recomienda utilizar durante el proceso de la soldadura, termocuplas adaptadas a las juntas a soldar, que permitan medir las diferentes temperaturas alcanzadas durante la aplicación de la soldadura, principalmente los diferentes ciclos térmicos y los tiempos de enfriamiento que se presenten sobre la línea de fusión y el área afectada por el calor de las juntas soldadas.
4. Para evitar fisuraciones, se recomienda realizar un tratamiento térmico. Esto no produce grandes cambios en el área afectada por el calor, sin embargo, permite la liberación de esfuerzos residuales que pueden generar fisuras en el área afectada por el calor.

CAPITULO VI

6. BIBLIOGRAFÍA

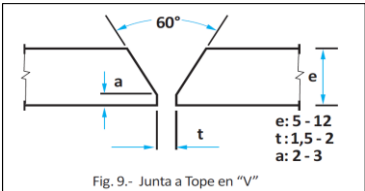
- Arias, Fidas. (2006). *El proyecto de investigación. Introducción a la metodología científica*. Caracas, Venezuela: Episteme.
- Funderburk, R. (2000). Taking your weld's temperature. *Modern Steel Construction*, 6.
- Osorio, J.D., Pacheco, H. y Toro, A. (2007). Efecto del tratamiento térmico post-soldadura sobre la microestructura del acero inoxidable grado CA6NM para la construcción de rodetses hidráulicos, *Scientia et technical*, 13(36), 901-906
- Blanco, O. (2015). *Efecto de la variación de temperatura entre pases en el acero al carbono ASTM A106 Grado B* (tesis de pregrado). Universidad Libre, Bogotá, Colombia
- Murillo, A. (2010). *Análisis de defectos y como evitarlos en soldadura de arco SMAW y SAW longitudinales y circunferenciales en ductos de transporte de hidrocarburos* (Tesis de Post-Grado). Corporación Mexicana de Investigación en Materiales, Villa Hermosa, México.
- Alvarez, A. (2015). *Análisis de las propiedades mecánicas de un acero A36 sometido a un proceso de soldadura, antes y después de un tratamiento térmico post soldadura*, (tesis de pregrado). Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas, Bogota, Colombia
- Cruz Crespo, D. B. (Octubre de 2013). Effect of Tempering Pass on HSLA-80 Steel HAZ Microstructures. *Welding Journal*, 92, 304-311.
- Gómez, F. (2016). *Influencia de la entrada de calor en las características mecánicas y microestructurales finales de la zona afectada por el calor (ZAC) en uniones soldadas en tubería para transporte de hidrocarburos* (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia
- González, R. y Carrillo, F. (30 de julio de 1999). Análisis de la metalurgia y mecánica de la fractura en la ZAC en un proceso por arco sumergido. *Revista de Metalurgia*, 35(3), 155-165.
- Unfried, J., Torres, E., Giraldo, J. y Bastidas, U. (2007). Influencia del estado de consumibles y del precalentamiento en la susceptibilidad al agrietamiento inducido por hidrógeno en la soldadura de un acero para blindaje. *Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales*. 27(2), 114-123.

- Aspilcueta, A. (2014). *Determinación de la temperatura de precalentamiento utilizando el método tekken a fin de prevenir la fisuración en frío*. (Tesis de grado). Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa, Perú.
- Fosca, C. (Ed.).(2003). *Introducción a la metalurgia de la soldadura*. Lima, Perú: Editorial Grams.
- American Welding Society (2020). *Welding Inspection Technology* (4 ed.). USA.
- Melgarejo,M., Ramírez-Martín.C., y Aperador,W. (2013).Determinación de las causas de falla en la ZAC de un acero ASTM A36 soldado por proceso SMAW, *Inge Cuc*, 9(2), 75–82.
- Monsivais, M. (2012). *Estudio microestructural de la zona afectada por el calor en los aceros hsla soldados por el proceso gmaw en los pisos de la caja del camión de minería* (Tesis de Post-Grado). Corporación Mexicana de Investigación en Materiales, Villa Hermosa, México.
- Costa, P. (2012). *Aplicación de las transformaciones de fase y modelos estadísticos en la optimización del proceso de soldadura por arco sumergido en uniones de acero API 5L X70* (Tesis de Maestría). Corporación Mexicana de Investigación en Materiales, Villa Hermosa, México.
- Gorrochotegui, A. (2011). *Efecto de la temperatura de precalentamiento sobre la formación de grietas en el cordón de soldadura y sobre la microestructura en juntas soldadas de acero al molibdeno AISI 4140, utilizando el proceso de GMAW* (Tesis de grado). Universidad de Carabobo, Naguanagua, Colombia.
- Devedia, L. (1985). Soldar CONARCO, publicación periódica. Bs. Aries, Argentina

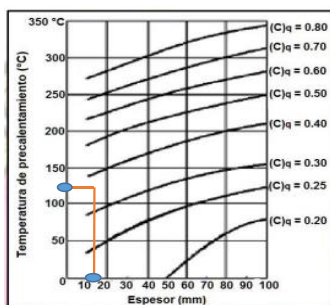
CAPITULO VII

7. ANEXOS

ANEXO 1: PLANTILLA DE CALCULOS NUMERICOS DEL ÁREA AFECTADA POR EL CALOR

CALCULOS																
Material	Plancha Estructural ASTM A36															
Espesor(mm)	12															
1.00 JUNTA PRECALIFICADA																
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>PROCESO</th> <th>EFICIENCIA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>SAW</td> <td>90-99%</td> </tr> <tr> <td>SMAW</td> <td>70-80%</td> </tr> <tr> <td>FCAW</td> <td>65-85%</td> </tr> <tr> <td>GMAW</td> <td>70-85%</td> </tr> <tr> <td>GTAW</td> <td>20-50%</td> </tr> <tr> <td>Oxiacetilénico</td> <td>35%</td> </tr> </tbody> </table>	PROCESO	EFICIENCIA	SAW	90-99%	SMAW	70-80%	FCAW	65-85%	GMAW	70-85%	GTAW	20-50%	Oxiacetilénico	35%	
PROCESO	EFICIENCIA															
SAW	90-99%															
SMAW	70-80%															
FCAW	65-85%															
GMAW	70-85%															
GTAW	20-50%															
Oxiacetilénico	35%															
2.00 CALCULOS DEL APORTE DE CALOR NETO																
$H_{neto} \left(\frac{\text{Joules}}{\text{mm}} \right) = \frac{V(\text{vol.}) \times I(\text{amp.}) \times f}{v \left(\frac{\text{mm}}{\text{seg}} \right)}$																
<table border="1"> <tbody> <tr> <td>H_{neto}</td> <td>:Aporte de Calor Neto (Joules/mm)</td> <td>660</td> </tr> <tr> <td>V</td> <td>: Voltios (V)</td> <td>22</td> </tr> <tr> <td>f</td> <td>: Eficiencia de la Transferencia de Calor (%)</td> <td>0.75</td> </tr> <tr> <td>I</td> <td>: Amperios (I)</td> <td>120</td> </tr> <tr> <td>v</td> <td>: Velocidad de avance (mm/seg)</td> <td>3</td> </tr> </tbody> </table>	H_{neto}	:Aporte de Calor Neto (Joules/mm)	660	V	: Voltios (V)	22	f	: Eficiencia de la Transferencia de Calor (%)	0.75	I	: Amperios (I)	120	v	: Velocidad de avance (mm/seg)	3	
H_{neto}	:Aporte de Calor Neto (Joules/mm)	660														
V	: Voltios (V)	22														
f	: Eficiencia de la Transferencia de Calor (%)	0.75														
I	: Amperios (I)	120														
v	: Velocidad de avance (mm/seg)	3														
H_{neto} : 660.00 joules/mm																
3.00 CALCULO DE LA TEMPERATURA DE PRECALENTAMIENTO MÍNIMO (T₀)																
METODO DE SEFERIAN																
PASO 1 : Primero se calculará el carbono equivalente químico (C _q), en base a las propiedades del material empleado.																
$C_q(\%) = C + \frac{Mn + Cr}{9} + \frac{Ni}{18} + \frac{7Mo}{90}$	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">PROPIEDADES ASTM A36</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>C (%)</td> <td>0.26</td> </tr> <tr> <td>Mn (%)</td> <td>1.2</td> </tr> <tr> <td>Si (%)</td> <td>0.4</td> </tr> <tr> <td>P (%)</td> <td>0.04</td> </tr> <tr> <td>S (%)</td> <td>0.05</td> </tr> </tbody> </table>	PROPIEDADES ASTM A36		C (%)	0.26	Mn (%)	1.2	Si (%)	0.4	P (%)	0.04	S (%)	0.05			
PROPIEDADES ASTM A36																
C (%)	0.26															
Mn (%)	1.2															
Si (%)	0.4															
P (%)	0.04															
S (%)	0.05															
Reemplazando valores se obtiene :																
$C_q(\%) = 0.26 + ((1.2+0)/9) + (0/18) + (7*0/90)$																
$C_q(\%) = 0.39\%$																
PASO 2 : Se procede a calcular el Carbono equivalente total (C _t)																
$C_T(\%) = C_q + C_e = C_q * (1 + 0.005h)$	h = espesor del material. C _q = Carbono equivalente químico															
$C_T(\%) = 0.393 * (1 + 0.005 * (12))$																
$C_T(\%) = 0.42\%$																
PASO 3 : Una vez obtenidos los datos C _q y C _t se procede a encontrar la temperatura mínima requerida.																
$T_0 = 350 \sqrt{C_T - 0.25}$																
$T_0(^{\circ}C) = 350 * \sqrt{0.42 - 0.25}$																
$T_0(^{\circ}C) = 350 * \sqrt{0.42 - 0.25}$																
$T_0(^{\circ}C) = 145^{\circ}C$																

PASO 4 :Usando el diagrama de Seferian se demuestra la temperatura de precalentamiento requerida es 145°C.



4.00 DETERMINACIÓN DE LAS PROBETAS ENSAYADAS

Probeta	T. Precal.
PTE-01	100°C
PTE-02	120°C
PTE-03	145°C
PTE-04	160°C

5.00 CALCULO DEL ESPESOR RELATIVO

$$\tau = h \sqrt{\frac{\rho C (T_c - T_o)}{H_{net}}}$$

τ	Espesor Relativo	Ver tabla
h	espesor del material [mm]	12.00 mm
ρ	densidad del metal base [[g/mm ³]	0.0079
C	calor específico del material [J/g °C]	0.46
T_c	Temperatura [°C]	550
T_o	Temperatura de precalentamiento [100 °C]	145
H_{net} :	calor aportado neto [J/mm]	660

* $\tau > 0.9$ Se analizara como flujo Tridimensional

* $\tau < 0.6$ Se analizará como Flujo Bidimensional

RESULTADOS			
Probeta	T. Precal.	Espeo. Rel.	
PTE-01	18°C	0.648	Flujo Bidimensional, chapa delgada
PTE-02	120°C	0.582	Flujo Bidimensional, chapa delgada
PTE-03	145°C	0.565	Flujo Bidimensional, chapa delgada
PTE-04	160°C	0.555	Flujo Bidimensional, chapa delgada

6.00 CALCULO DE LA VELOCIDAD DE ENFRIAMIENTO EN EL CENTRO DE LA ZONA ZAC

FORMULA DE VELOCIDAD DE ENFRIAMIENTO PLACAS GRUESAS

$$V_e = \frac{-2\pi k (T_c - T_o)^2}{H_{neto}}$$

FORMULA DE VELOCIDAD DE ENFRIAMIENTO PLACAS DELGADAS

$$V_e = \frac{-2\pi k \rho C (h)^2}{H_{neto}^2} * (T_c - T_o)^3$$

* Por ser Flujo Bidimensional se usará la fórmula de velocidad de enfriamiento para placas delgadas

V_e	Velocidad de Enfriamiento (°C/s)	Ver Tabla
K	Conductividad Térmica del material (J/mm s°C)	0.058
T_c	Temperatura a la que se calcula la velocidad de enfriamiento (°C)	550
T_o	Temperatura de precalentamiento utilizado (°C)	145
H_{neto}	Calor aportado neto en el proceso (J/mm)	660
h	Espesor del material ensayado (mm)	12
ρ	Densidad del metal base ensayado (g/mm ³)	0.0079
C	Calor específico del material ensayado (J/g°C)	0.46

RESULTADOS			
ITEM	Probeta	T. Precal.	V.enf.(Ve)
1	PTE-01	100°C	-39.692
2	PTE-02	120°C	-34.631
3	PTE-03	145°C	-28.935
4	PTE-04	160°C	-25.838

7.00 CÁLCULO DE LA DISTRIBUCIÓN DE TEMPERATURA MÁXIMA EN CADA PUNTO DE LA ZONA AFECTADA POR EL CALOR

$$\frac{1}{T_p - T_0} = \frac{\sqrt{2\pi e p C h Y}}{H_{neto}} + \frac{1}{T_f - T_0}$$

z,y=0

C	Calor específico del material ensayado(J/g°C)	0.46
Y	Distancia desde el borde de fusión de la soldadura. (mm).	1.00
T _f	Temperatura de fusión. (°C).	1527.00
H _{neto}	Calor aportado neto en el proceso (J/mm)	660.00
T _p	Temperatura Máxima obtenida (°C)	Ver Tabla.
T _o	Temperatura de precalentamiento empleado (°C)	145.00
h	Espesor del material empleado (mm)	12.00
p	Densidad del metal base empleado (g/mm3)	0.0079

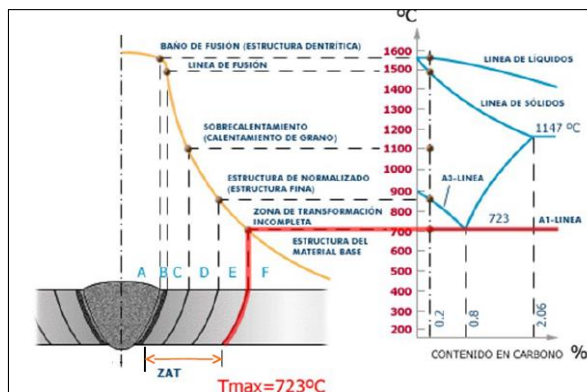
Tabla de distribución Eje X

Probeta	T. Precal.	Temperatura Máxima en cada punto de la Zona Zac							
		0	1	2	3	4	5	6	7
PT-01	100°C	1,527.00	1,128.33	903.78	759.71	659.45	585.63	529.03	484.24
PT-02	120°C	1,527.00	1,137.90	917.39	775.41	676.34	603.30	547.20	502.78
PT-03	145°C	1,527.00	1,149.76	934.30	794.93	697.39	625.31	569.87	525.90
PT-04	160°C	1,527.00	1,156.80	944.38	806.59	709.98	638.49	583.44	539.75

8.00 CÁLCULO DEL ANCHO DE LA ZONA AFECTADA POR EL CALOR

Se emplea el uso de la fórmula de la temperatura máxima distribuida en cada punto de la zona afectada por el calor :

$$\frac{1}{T_p - T_0} = \frac{\sqrt{2\pi e p C h Y}}{H_{neto}} + \frac{1}{T_f - T_0}$$



Reemplazando los datos se obtiene :

RESULTADOS			
ITEM	PROBETA	T.PREC.	ANCHO DE ZAC
1	PT-01	100°C	3.33
2	PT-02	120°C	3.49
3	PT-03	145°C	3.70
4	PT-04	160°C	3.85

9.00 CÁLCULO DEL TIEMPO DE SOLIDIFICACIÓN DE LA ZONA AFECTADA POR EL CALOR

Se emplea el uso de la fórmula de la temperatura máxima distribuida en cada punto de la zona afectada por el calor :

$$T_s = \frac{L H_{net}}{2 \pi k \rho C (T_f - T_0)^2}$$

- T_s** : Tiempo de Solidificación (Seg)
L : Calor Latente de Fusión (2J/mm3)
κ : Conductividad Térmica (J²/mm s°C)
T_f : Temperatura de Fusión (°C)
T_o : Temperatura de Precalentamiento (°C)
p : Densidad del metal base (g/mm3)
C : Calor específico del material (J/g°C)
H_{net} : Calor aportado neto (J/mm)

RESULTADOS		
Probeta	T. Precal.	T.Solid.
PTE-01	100°C	0.49
PTE-02	120°C	0.51
PTE-03	145°C	0.52
PTE-04	160°C	0.54

10.00 PREDICCIÓN DE LA MÁXIMA DUREZA MEDIANTE EL CARBONO EQUIVALENTE

Se usará la fórmula de la ecuación de carbono equivalente de IIW (Instituto Internacional de Soldadura).

$$CE = C + \frac{Mn + Si}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Cu + Ni}{15}$$

PROPIEDADES ASTM A36	
C (%)	0.26
Mn (%)	1.2
Si (%)	0.4
P (%)	0.04
S (%)	0.05

$$Dureza\ Máxima(HV) = 939C + 284$$

Fórmula para calcular la dureza máxima del material

$$Dureza\ Máxima\ (HV) = 939 * 0.26 + 284 = \mathbf{528HV}$$

$$Dureza\ Máxima(ZAC)(HV) = 1200CE - 200$$

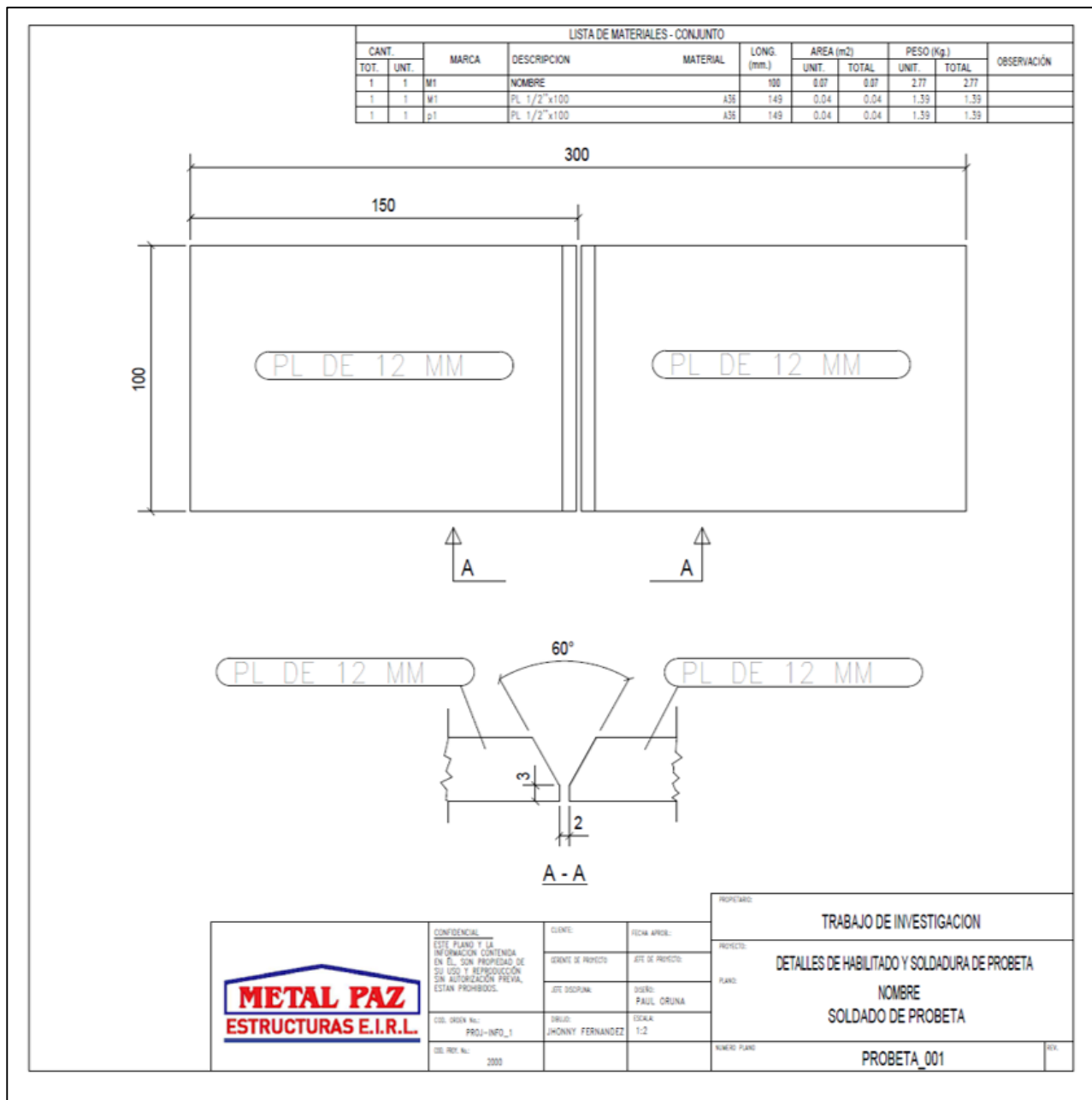
Fórmula para calcular la dureza máxima en la ZAC.

Reemplazando valores se obtiene :

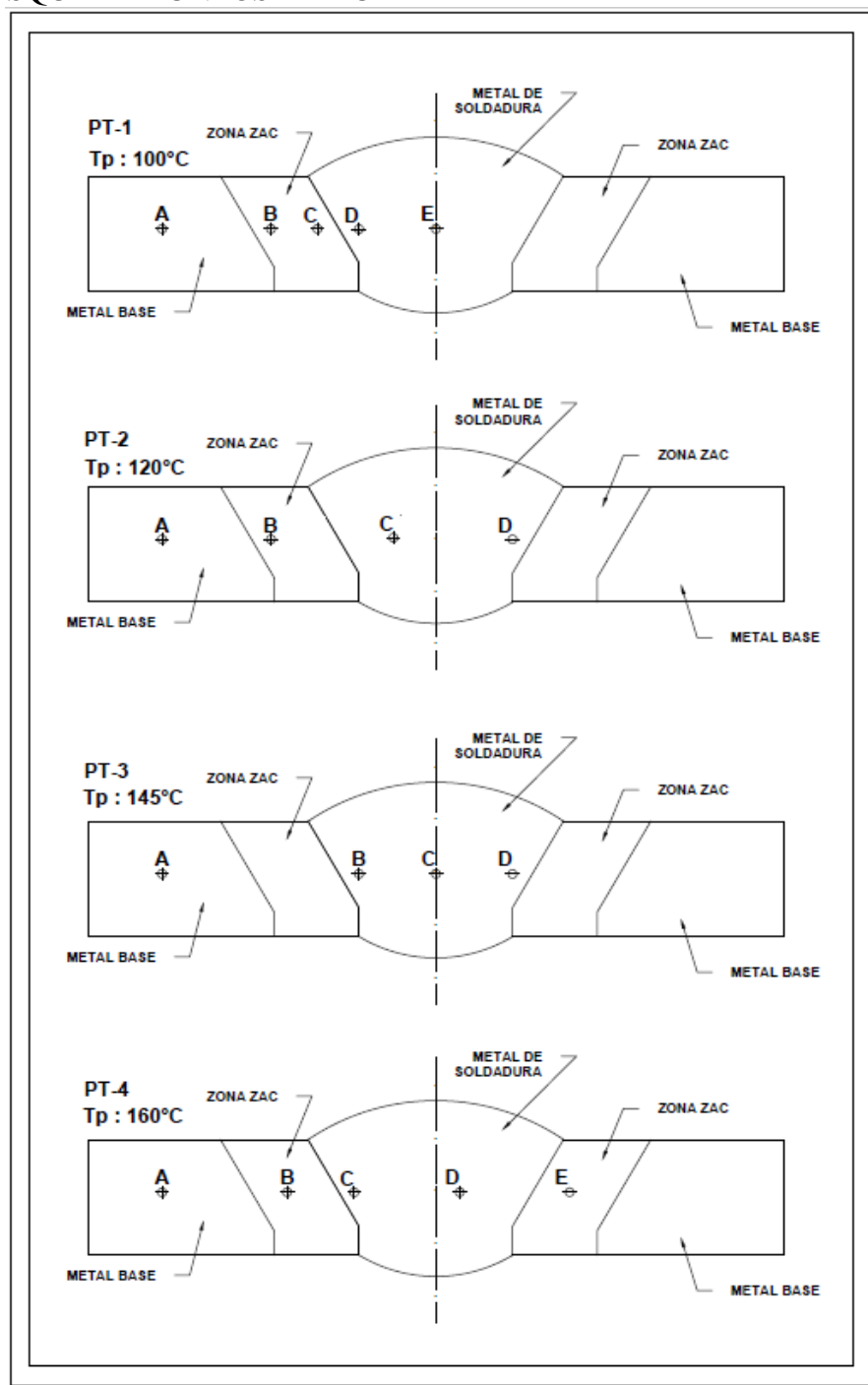
$$CE = 0.26 + \frac{1.2 + 0.4}{6} + \frac{0 + 0 + 0}{5} + \frac{0 + 0}{15} = 0.53\%$$

$$Dureza\ Máxima\ (ZAC)(HV) = 1200 \times 0.53 - 200 = \mathbf{436HV}$$

ANEXO 2 : PLANO DE PROBETA DE TRABAJO



ANEXO 3 : ESQUEMA PUNTOS DE DUREZA



ANEXO 4 : CERTIFICADO DE PLANCHA ESTRUCTURAL ASTM A36

HBIS 河钢股份有限公司唐山分公司
HBIS COMPANY LIMITED TANGSHAN BRANCH

质量证明书
QUALITY CERTIFICATE

产品名称: 热轧钢带
PRODUCT: Hot-rolled steel strip

合同编号: BXG-18-XS-JB-CXGZ73
CONTRACT No.

规格 (mm): 12.0*1200
DIMENSION

标准: ASTM A 36/A 36M-08
STANDARD

订货单位: 唐山钢铁集团有限责任公司
CUSTOMER

收货单位: 唐山钢铁集团有限责任公司
PURCHASER

质量记录编号: TG/CX-Q-03-04(212)
TAB OF QUALITY

系统编号: Z000007670 000010
SYSTEM No.

总重量 (t): 22.52
TOTAL WEIGHT

车号: 冀B-Y1365
TRAIN No.

证明书号: Z2-201811250730
CERTIFICATE No.

化学成分 (%)												
CHEMICAL COMPOSITION												
Si	C	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	AlS	Mo	B	As	
0.14	0.19	0.14	0.003	0.008	0.34	0.01	0.01	0.001	0.00	0.0002	0.006	

炉号 HEAT No.	板坯号 SLAB No.	钢卷号 COIL No.	牌号 GRADE	重量 WEIGHT (t)	屈服强度 T.S. (MPa)		抗拉强度 R _m		伸长率 EL. (%)		冲击功 B.T.		交货状态 MPa ReH
					R _{eH} /R _m	R _m	A	Z5	平均值	3-3			
BF0937CA0	BF0937CA0	BF0937CA0	A36	22.50	343	493	343	23					

注: Y.S.=YIELD STRENGTH T.S.=TENSILE STRENGTH EL.=ELONGATION B.T.=BEND TEST

1. 本质量证明书无效。Effective with quality prove seek.

2. 请证明本产品根据相应标准规范进行制造和检验。
We certify that the products have been produced and inspected according to standard and agreement.

3. 尺寸、表面合格。Dimensions/tolerances on dimensions and surface appearance are in accordance with standard.

地址: 中国河北省唐山市路北区滨河路9号
ADD: No.9 Binhe Road, Lubei District Tangshan, Hebei, China.

销售电话: +86 315-2702509
TEL: +86 315-2703372

售后服务电话: +86 315-2703372
TEL: +86 315-2703372

打印人: 唐山钢铁集团有限责任公司
PRINTER

ENTREGADO 19 FEB 2018

交货状态: 热轧
DELIVERY CONDITION: HOT ROLLING

生产日期: 2018年2月19日
DELIVERY DATE

ANEXO 5 : CERTIFICADO DE CALIBRACION DEL FLEXOMETRO

		INGENIERÍA EN METROLOGÍA										
CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN												
Página 1 de 2												
N° CLU-127-2020												
Fecha de Emisión : 2020-02-14 Expediente : 314-2020												
UNIDAD BAJO PRUEBA: Marca: STANLEY Modelo: 30-626 Identificación: UML-467 (*) Serie: No Indica	FLEXÓMETRO Alcance de indicación: 800 cm; 26 ft División de escala: 0,1 cm; 1/32 in (**) Procedencia: China Ubicación: No Indica											
SOLICITANTE: METAL PAZ ESTUCTURAS E.I.R.L. Dirección: Av. República de Polonia Nro. 665 Urb. San Rafael - San Juan de Lurigancho - Lima - Lima.												
DE LA CALIBRACIÓN: Fecha: 2020-02-14 Lugar: Laboratorio de Calibración de UNIMETRO S.A.C. Método: Tomando como referencia la Norma OIML-R035 "Medidas Materializadas de Longitud". Tomando como referencia la norma DI-011 "Procedimiento para la Calibración de Flexómetros", Edición Digital 1, CEM de España.												
RESULTADO DE LAS MEDICIONES Los resultados de las mediciones efectuadas se muestran en la página 02 del presente documento. La incertidumbre de la medición que se presenta esta basada en una incertidumbre estándar multiplicado por un factor de cobertura $k=2$, el cual proporciona un nivel de confianza de aproximadamente 95 %.												
CONDICIONES DE CALIBRACIÓN: <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th></th> <th>Inicial</th> <th>Final</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Temperatura (°C)</td> <td>19,9</td> <td>19,8</td> </tr> <tr> <td>Humedad Relativa (%hr)</td> <td>65</td> <td>65</td> </tr> </tbody> </table>					Inicial	Final	Temperatura (°C)	19,9	19,8	Humedad Relativa (%hr)	65	65
	Inicial	Final										
Temperatura (°C)	19,9	19,8										
Humedad Relativa (%hr)	65	65										
PATRONES DE REFERENCIA: <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>Trazabilidad</th> <th>Patrón utilizado</th> <th>Certificado de Calibración</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Patrones de referencia de la INACAL - DM</td> <td>Regla</td> <td>L-0858-2019 - METROIL S.A.C.</td> </tr> </tbody> </table>				Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado de Calibración	Patrones de referencia de la INACAL - DM	Regla	L-0858-2019 - METROIL S.A.C.			
Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado de Calibración										
Patrones de referencia de la INACAL - DM	Regla	L-0858-2019 - METROIL S.A.C.										
OBSERVACIONES: <ul style="list-style-type: none"> • (*) Identificación asignada por UNIMETRO S.A.C., grabada en una etiqueta adherida al instrumento. • (**) División de escala de: 0,1 cm en el rango de indicación de 0 cm a 800 cm; 1/16 in en el rango de indicación de 0,5 ft a 26 ft; 1/32 in en el rango de 0 ft a 0,5 ft. • Se colocó una etiqueta con la indicación "CALIBRADO". • La periodicidad de la calibración depende del uso, mantenimiento y conservación del equipo. 												
		 Ing. Moisés A. Luga Chucos Gerente de Metrología Reg. CIP N° 437294										

Certificado de Calibración N° CLU-127-2020

Página 2 de 2

RESULTADOS

INDICACIÓN DEL INSTRUMENTO (cm)	DESVIACIÓN ENCONTRADA (cm)	TOLERANCIA CLASE II (cm)
5,00	0,04	0,06
20,00	0,02	0,06
40,00	0,00	0,06
60,00	0,01	0,10
80,00	0,03	0,10
100,00	0,05	0,10
120,00	0,05	0,10
140,00	0,03	0,10
160,00	0,02	0,14
180,00	0,03	0,14
200,00	0,03	0,14
220,00	0,01	0,14
240,00	-0,03	0,14
260,00	-0,04	0,18
280,00	-0,05	0,18
300,00	-0,07	0,18
320,00	-0,07	0,18
340,00	-0,11	0,18
360,00	-0,10	0,22
380,00	-0,09	0,22
400,00	-0,09	0,22
450,00	-0,08	0,26
500,00	-0,05	0,26
550,00	-0,02	0,30
600,00	0,01	0,30
650,00	0,02	0,34
700,00	0,05	0,34
750,00	0,06	0,38
800,00	0,09	0,38

INCERTIDUMBRE DE LA MEDICIÓN:	0,08 cm
-------------------------------	---------

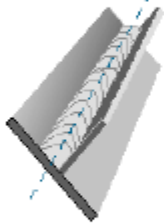
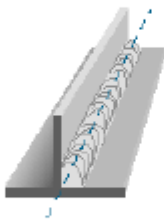
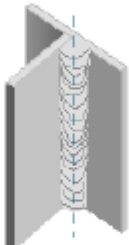
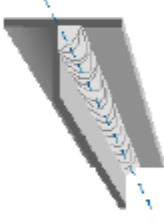
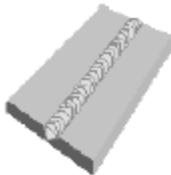
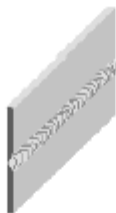





PROHIBIDA SU REPRODUCCION



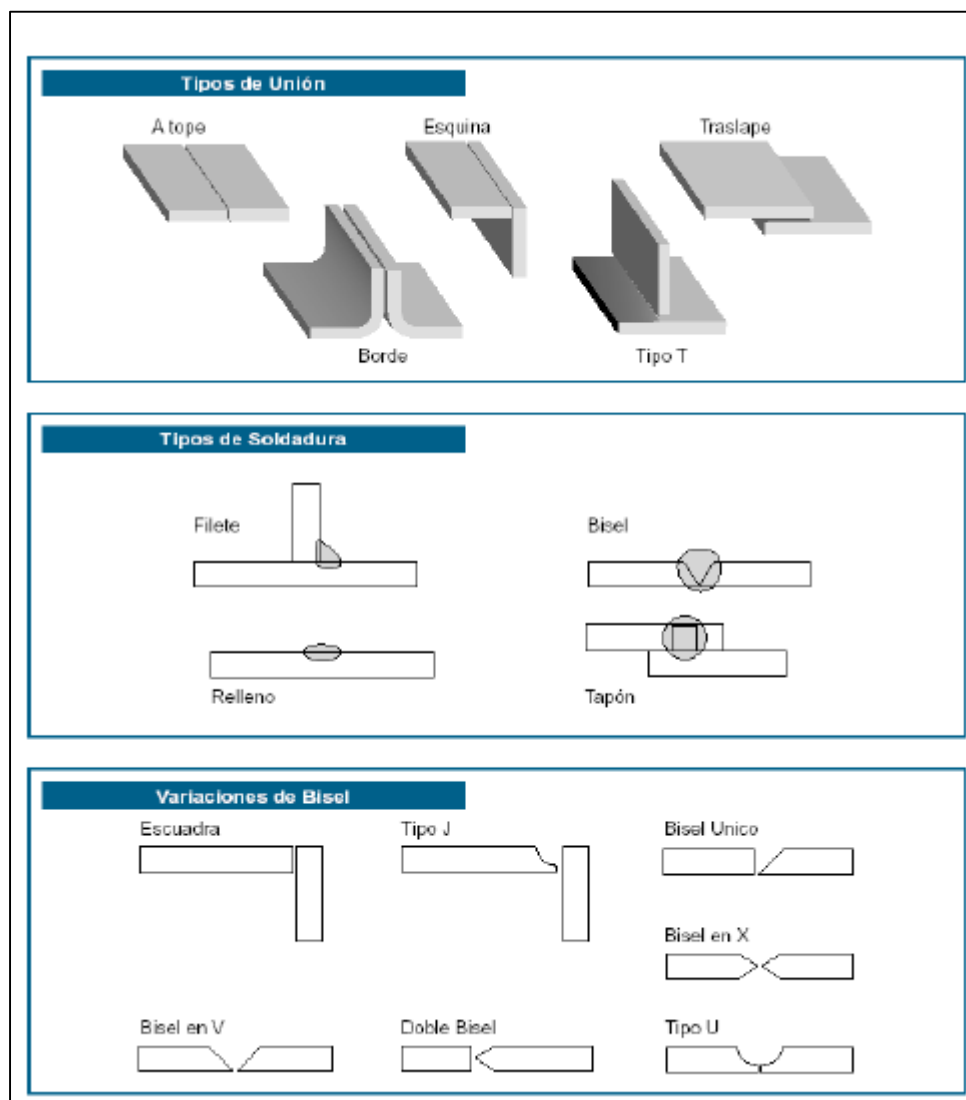
ANEXO 6 : CERTIFICADO DE CALIBRACION DEL PIROMETRO

		INGENIERÍA EN METROLOGÍA	
CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN			
Página 1 de 2			
		Nº CLU-127-2020	
		Fecha de Emisión : 2020-02-14 Expediente : 314-2020	
UNIDAD BAJO PRUEBA:	FLEXÓMETRO		
Marcas:	STANLEY	Alcance de indicación:	800 cm; 26 ft
Modelo:	30-626	División de escala:	0,1 cm; 1/32 in (**)
Identificación:	UML-467 (*)	Procedencia:	China
Serie:	No Indica	Ubicación:	No Indica
SOLICITANTE:	METAL PAZ ESTUCTURAS E.I.R.L.		
Dirección:	Av. República de Polonia Nro. 665 Urb. San Rafael - San Juan de Lurigancho - Lima - Lima.		
DE LA CALIBRACIÓN:	Fecha:	2020-02-14	
	Lugar:	Laboratorio de Calibración de UNIMETRO S.A.C.	
	Método:	Tomando como referencia la Norma OIML-R035 "Medidas Materializadas de Longitud". Tomando como referencia la norma DI-011 "Procedimiento para la Calibración de Flexómetros", Edición Digital 1, CEM de España.	
RESULTADO DE LAS MEDICIONES			
Los resultados de las mediciones efectuadas se muestran en la página 02 del presente documento.			
La incertidumbre de la medición que se presenta esta basada en una incertidumbre estándar multiplicado por un factor de cobertura k=2, el cual proporciona un nivel de confianza de aproximadamente 95 %.			
CONDICIONES DE CALIBRACIÓN:			
		Inicial	Final
Temperatura (°C)		19,9	19,8
Humedad Relativa (%hr)		65	65
PATRONES DE REFERENCIA:			
Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado de Calibración	
Patrones de referencia de la INACAL - DM	Regla	L-0858-2019 - METROIL S.A.C.	
OBSERVACIONES:			
<ul style="list-style-type: none"> • (*) Identificación asignada por UNIMETRO S.A.C., grabada en una etiqueta adherida al instrumento. • (**) División de escala de: 0,1 cm en el rango de indicación de 0 cm a 800 cm; 1/16 in en el rango de indicación de 0,5 ft a 26 ft; 1/32 in en el rango de 0 ft a 0,5 ft. • Se colocó una etiqueta con la indicación "CALIBRADO". • La periodicidad de la calibración depende del uso, mantenimiento y conservación del equipo. 			
		 Ing. Moisés A. Luga Chucos Gerente de Metrología Reg. CIP N° 437294	


ANEXO 7 : POSICIONES DE SOLDADURA

POSICIONES EN SOLDADURA			
Designación de acuerdo con ANSI/AWS A 3.0-85.			
Plano	Horizontal	Vertical	Sobrecabeza
Uniones de Filete			
			
1F	2F	3F	4F
Uniones Biseladas			
			
1G	2G	3G	4G
Uniones de Tuberías			
La tubería se rota mientras se suelda		La tubería no se rota mientras se suelda	
1G	2G	5G	
			6G

ANEXO 8 : TIPOS BASICOS DE UNIONES DE SOLDADURA



ANEXO 9 : CERTIFICADO DE CONSUMIBLE DE SOLDADURA

SOLDEXA		CERTIFICADO DE CALIDAD DE PRODUCTO			Edición: 03				
Producto:	SUPERCITO 3.25mm 5.00x25.00kg CJ	Clasificación:	E 7018						
Lote producción:	19-11-2018E11144-23	Especificación:	AWS A5.1						
Fecha emisión:	16/01/2019	Diámetro:	3.25mm						
Mediante el presente documento se certifica que el producto indicado y el lote referido es de la misma clasificación, proceso de fabricación y los materiales utilizados en su fabricación cumplen con los mismos requisitos del producto cuyos resultados se muestran a continuación. Este producto ha sido fabricado bajo el sistema de calidad de SOLDEX S.A. el cual cumple con los requerimientos de la Norma									
Composición Química									
Especificación [%]									
C	Cr	Ni	Mo	Mn	Si	P			
MÁX. 0.15	MÁX. 0.20	MÁX. 0.30	MÁX. 0.30	MÁX. 1.60	MÁX. 0.75	MÁX. 0.035			
Otros	V = MÁX. 0.08								
Metal Depositado / Alambre Sólido [%]									
C	Cr	Ni	Mo	Mn	Si	P	S	Nb	Cu
0.0392	0.05	0.0355	0.0135	1.4459	0.4271	0.0168	0.0184	----	0.0808
Otros	B = 0.0002								
Propiedades Mecánicas - Tracción									
Especificación									
Gas de Protección	Condición de Prueba	Resistencia a la Tracción Min	Límite de Fluencia Min	Elongación Min [%]					
----	DESPUÉS DE	490	400	22					
Metal Depositado									
Gas de Protección	Condición de Prueba	Resistencia a la Tracción [MPa]	Límite de Fluencia [MPa]	Elongación [%]					
----	DESPUÉS DE	577	502	26					
Propiedades Mecánicas - Impacto									
Especificación									
Gas de Protección	Condición de Prueba	Temperatura [°C]	Valores Individuales [J]	Valor Promedio [J]	Tipo de Ensayo				
----	DESPUÉS DE	-30	----	27	----				
Metal Depositado									
Gas de Protección	Condición de Prueba	Temperatura [°C]	Valores Individuales [J]	Valor Promedio [J]	Tipo de Ensayo				
----	DESPUÉS DE	-30	125-127-107	120	----				
Otras Pruebas									
Inspección Radiográfica	Prueba de Soldadura en Filete				Otras				
Conforme	Vertical:	CONFORME	Sobrecabeza:	CONFORME	----				
 Ing. Ronald Requejo V. SOLDEX S.A.									

ANEXO 10: ESPECIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA

		SISTEMA DE GESTION DE CALIDAD		CÓDIGO:	FR-GOAGC-004	
		ESPECIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)		REVISIÓN:	01	
METAL PAZ ESTRUCTURAS E.I.R.L.		19-04-2017		WPS - MPE - 4	01	
Nombre de la Compañía		Fecha		WPS No.	Rev. No.	
IVAN PAZ VILLACRIZ		19-04-2017		NO (PRECALIFICADA)	NO	
Autorizado por		Fecha		Número(s) PQR de Soporte	Reporte de CVN	
METALES DE BASE	Especificación	Tipo o Grado	No Grupo AWS	ESPAESOR DEL METAL BASE	Como - Soldado	Con PWHT
Material Base	ASTM A36	---	I	CJP Soldaduras de Ranura	6 - 20 mm	---
Para Soldadura	ASTM A36	---	I	CJP Ranura w / CVN	---	---
Material de Refuerzo	---	---	---	PJP Soldaduras de Ranura	---	---
Otros				Soldaduras de Filete	---	---
				DIAMETRO	---	---
DETALLE DE JUNTA				DETALLES DE LA JUNTA (Bosquejo)		
Tipo de Ranura	SOLDADURA DE RANURA SIMPLE V					
Angulo de Ranura	$\alpha = 60^\circ (+10, -5)$					
Abertura de Raiz	$R = 3 \text{ mm } (+2, -3)$					
Abertura de Cara	$f = 3 \text{ mm } (+2, -0)$					
Remoción de Raiz	SI					
Método	ESMERILADO					
TRATAMIENTO POST - SOLDADURA						
Temperatura	NO					
Tiempo de Temperatura	---					
Otros	---					
PROCEDIMIENTO						
Capa de Soldadura (S)	TODOS					
Pase de Soldadura (S)	TODOS					
Proceso	GMAW					
Tipo (Semiautomático, Máquina, etc.)	SEMAUTOMATICO					
Posición	PLANA					
Progresión Vertical	---					
Metal de Aporte (AWS Spec.)	A 5.18					
Clasificación AWS	ER70S - 6					
Dímetro	0.040 pulg. (1.0 mm)					
Electrodo - Fuente (Clasificación)	---					
Fabricante / Nombre Comercial	---					
Gas de Protección Composición	80% Ar - 20% CO2					
Tasa de Flujo	25 lit/min (+50%, -25%)					
Tamaño de la Boquilla	---					
Temperatura de Pre calentamiento	0°C min.					
Temperatura de Interpases	0°C - 140°C					
Características Eléctricas						
Tipo de Corriente y Polaridad	DCEP					
Modo de Transferencia	SPRAY					
Tipo de Fuente de Alimentación (cc, cv, etc.)	CV					
Amperios	240 ($\pm 10\%$)					
Voltios	28 ($\pm 15\%$)					
Velocidad de Alimentación del Alambre	(Amps)					
Velocidad de Recorrido	4.8 mm/s ($\pm 25\%$)					
Entrada de Calor Max.	---					
Técnica						
Cordón Amastre u Oscilante	REQUERIDO					
Múltiple o Pase individual (por lado)	REQUERIDO					
Oscilación (Máquina / Automático)	---					
Longitud del Recorrido	---					
Velocidad de Desplazamiento	---					
Número de Electrodo	1					
Tubo de Contacto a Distancia de Trabajo	12 - 25 mm					
Martillo	NINGUNO					
Limpieza de Interpases	DISCO ABRASIVO					
Otros	---					



Luis Ernesto Guevara Cáceres
CWI 1207232
QCT EXP-7/1/2018
19/04/2017

ANEXO 11 : REGISTRO DE CALIFICACIÓN DEL SOLDADOR (WPQ)

		SISTEMA DE GESTIÓN DE CALIDAD		FR - GDACC - 007			
		REGISTRO DE CALIFICACIÓN DE SOLDADOR, OPERADOR O APUNTALADOR (WPQ)		Ed	06/08/2020		
				Pág. 1 de 1			
Nombre	YOVNY HURRANGA LLAGAS			Fecha de Ensayo	06 - 08 - 2020		
DNI / Número	4755693			Nº Registro	WPQ - MPE - 2020		
Nº Estampa	YHLL			Nº Ensayo Std	---		
Compañía	METAL PAZ ESTRUCTURAS E.I.R.L.			Nº WPS	WPS - MPE - 11		
Dirección	---			Calificado por	ANS D1.1 - 2020		
METALES BASE	Especificación	Tipo o Grado	No Grupo AWS	Tamaño (MPS)	Schedule	Espesor	Díámetro
Material Base	ASTM A36	---	I	---	---	3/8"	---
Fuente Soldadora	ASTM A36	---	I	---	---	3/8"	---
VARIABLES		Valores Actuales			RANGO DE CALIFICACIÓN		
Tipo de Junta Soldada		B - UG (SOLDADURA DE RAMERA SIMPLE V)			RAMERA FILETE, SOLDADURA DE TAPON (T, Y, K SOLAMENTE RAMERA P)		
Metal Base		GRUPO I A O GRUPO I			CUALQUIER METAL BASE CALIFICADO POR ANS D1.1		
		Ranura	Filete	Ranura	Filete		
Espesor de placa		3/8"	---	1/8" - 1/4"	1/8" Min.		
Tubería / Espesor del Tubo		---	---	1/8" - 1/4"	ILIMITADO		
Tubería / Diámetro		---	---	24" Min.	ILIMITADO		
Proceso de Soldadura		SMAW			SMAW		
Tipo (Manual, Semiautomático, Máquina, Automático)		MANUAL			MANUAL		
Refuerzo		CON			CON (INCLUIDO RANURADO DEL LADO DIFUESTO Y SOLDADURA DE RESPALDO)		
Metal de Aporte (AWS Spec.)		A 5.1			A 5.11		
Clasificación AWS		E7018			TODOS		
Número - F		---			---		
Posición		3G			---		
Ranura - Plancha y Tubería > 24 pulg.		---			PLANA HORIZONTAL VERTICAL		
Ranura - Tubería < 24 pulg.		---			---		
Filete - Plancha y Tubería > 24 pulg.		---			PLANA HORIZONTAL VERTICAL		
Filete - Tubería < 24 pulg.		---			PLANA HORIZONTAL VERTICAL		
Progresión		VERTICAL HACIA ARRIBA			VERTICAL HACIA ARRIBA		
Modo de Transferencia - GMAW		---			---		
Electrodo Simple o Múltiple		SIMPLE			---		
Tipo-Gas / Fuente		---			---		
							
RESULTADO DE ENSAYOS							
Tipo de Ensayo		Criterio de Aceptación		Resultado		Observaciones	
Inspección Visual § 13.1		§ 13.1		ACEPTABLE		---	
Cada posición: 1 Doble de raíz según § 10.3.1 y Fig. 6.3		§ 10.3		ACEPTABLE		---	
Cada posición: 1 Doble de raíz según § 10.3.1 y Fig. 6.3		§ 10.3		ACEPTABLE		---	
CERTIFICACIÓN							
Ensayo Realizado por							
Laboratorio	METAL PAZ ESTRUCTURAS E.I.R.L.						
Número de Ensayo	MPE - 03 - 2020						
Número de Expediente	---						
Nosotros, los abajo firmantes, certificamos que los datos registrados son correctos y que las pruebas fueron preparadas, soldadas y ensayadas de acuerdo a los requerimientos de la sección 4 de ANS D1.1 / D1.1M, (2020) Código de Soldadura Estructural - Acero.							
/s/							
Fabricante o Contratista	METAL PAZ ESTRUCTURAS E.I.R.L.			Autorizado por	METAL PAZ V.		
				Fecha	06 - 08 - 2020		



Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por **Turnitin**. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: Jhony Fernandez
Título del ejercicio: TESIS UNIVERSIDAD NAC. ...
Título de la entrega: TESIS ESTUDIO DEL AREA AFEC...
Nombre del archivo: udio_del_Area_Afectada_por_el_Ca...
Tamaño del archivo: 3.63M
Total páginas: 70
Total de palabras: 8,234
Total de caracteres: 49,947
Fecha de entrega: 01-nov-2020 12:01a.m. (UTC-0500)
Identificador de la entrega: 1432482626



FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL
DE INGENIERÍA MECÁNICA

“ESTUDIO DEL ÁREA AFECTADA POR EL CALOR EN LOS ACEROS AL
CARBONO, POR EFECTO DE PRECALENTAMIENTO Y SOLDADURA”

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
MECÁNICO

AUTORES:

- ❖ Bach. ORUNA CRUZ, Paul Alejandro
- ❖ Bach. FERNANDEZ URBANO, Jhomy Frank

ASESOR:

- ❖ Ing. ESCALANTE ESPINOZA, Nelver Javier

NUEVO CHIMBOTE – PERU

2020

ANALISIS DE TESIS "ESTUDIO DEL ÁREA AFECTADA POR EL CALOR EN LOS ACEROS AL CARBONO, POR EFECTO DE PRECALENTAMIENTO Y SOLDADURA."

INFORME DE ORIGINALIDAD

17%

INDICE DE SIMILITUD

16%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

5%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	bdigital.unal.edu.co Fuente de Internet	1%
2	www.scribd.com Fuente de Internet	1%
3	repositorio.unsaac.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	cdigital.dgb.uanl.mx Fuente de Internet	1%
5	repository.unilibre.edu.co Fuente de Internet	1%
6	docplayer.es Fuente de Internet	1%
7	repositorio.utn.edu.ec Fuente de Internet	1%
8	Submitted to Escuela Politecnica Nacional Trabajo del estudiante	1%

9	repositorio.ug.edu.ec Fuente de Internet	1%
10	Submitted to Universidad Privada Antenor Orrego Trabajo del estudiante	1%
11	rodin.uca.es Fuente de Internet	<1%
12	dspace.unitru.edu.pe Fuente de Internet	<1%
13	repositorio.unsa.edu.pe Fuente de Internet	<1%
14	repositorio.unp.edu.pe Fuente de Internet	<1%
15	materias.fi.uba.ar Fuente de Internet	<1%
16	tesis.ucsm.edu.pe Fuente de Internet	<1%
17	biblioteca.itson.mx Fuente de Internet	<1%
18	Submitted to Universidad Católica de Santa María Trabajo del estudiante	<1%
19	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	<1%

20	www.dspace.espol.edu.ec Fuente de Internet	<1%
21	R. González, F. Carrillo. "Análisis de la metalurgia y mecánica de la fractura en la ZAC en un proceso por arco sumergido", Revista de Metalurgia, 2010 Publicación	<1%
22	renati.sunedu.gob.pe Fuente de Internet	<1%
23	creativecommons.org Fuente de Internet	<1%
24	Bartolome Reyes Ramírez. "Sensores piezoeléctricos de tipo capacitivo para aplicaciones en tecnología de imágenes fotoacústicas", Universidad Nacional Autónoma de México, 2015 Publicación	<1%
25	soldadura.org.ar Fuente de Internet	<1%
26	www.dspace.uce.edu.ec Fuente de Internet	<1%
27	intranet.cip.org.pe Fuente de Internet	<1%
28	alertaphone.com Fuente de Internet	<1%

29	repositorio.uss.edu.pe Fuente de Internet	<1%
30	soldando.blogspot.com Fuente de Internet	<1%
31	repositorio.uncp.edu.pe Fuente de Internet	<1%
32	www.unesur.edu.ve Fuente de Internet	<1%
33	sucupira.capes.gov.br Fuente de Internet	<1%
34	dspace.espoch.edu.ec Fuente de Internet	<1%
35	www.yumpu.com Fuente de Internet	<1%
36	ar.scribd.com Fuente de Internet	<1%
37	worldwidescience.org Fuente de Internet	<1%

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias

Apagado

Excluir bibliografía

Activo



DECLARACION JURADA DE AUTORÍA

Yo, PAUL ALEJANDRO ORUNA CRUZ

Facultad:	Ciencias		Educación		Ingeniería	X
-----------	----------	--	-----------	--	------------	---

Escuela Profesional: INGENIERIA MECANICA

Departamento Académico: MECANICA

Escuela de Posgrado	Maestría		Doctorado	
---------------------	----------	--	-----------	--

Programa: PROYECTO DE TESIS

De la Universidad Nacional del Santa; Declaro que el trabajo de investigación intitulado:

ESTUDIO DEL ÁREA AFECTADA POR EL CALOR, EN LOS ACEROS AL CARBONO, POR EFECTO DE PRECALENTAMIENTO Y SOLDADURA

presentado en 04 folios, para la obtención del Grado académico: ()

Título profesional: (X) Investigación anual: ()

- He citado todas las fuentes empleadas, no he utilizado otra fuente distinta a las declaradas en el presente trabajo.
- Este trabajo de investigación no ha sido presentado con anterioridad ni completa ni parcialmente para la obtención de grado académico o título profesional.
- Comprendo que el trabajo de investigación será público y por lo tanto sujeto a ser revisado electrónicamente para la detección de plagio por el VRIN.
- De encontrarse uso de material intelectual sin el reconocimiento de su fuente o autor, me someto a las sanciones que determinan el proceso disciplinario.

Nuevo Chimbote, 28 de OCTUBRE de 20 20

Firma:

Nombres y Apellidos: PAUL ALEJANDRO ORUNA CRUZ

DNI: 47 11 39 25

NOTA: Esta Declaración Jurada simple indicando que su investigación es un trabajo inédito, no exime a tesistas e investigadores, que no bien se retome el servicio con el software antiplagio, ésta tendrá que ser aplicado antes que el informe final sea publicado en el Repositorio Institucional Digital UNS.



DECLARACION JURADA DE AUTORÍA

Yo, **JHONNY FRANK FERNANDEZ URBANO**

Facultad:	Ciencias		Educación		Ingeniería	<input checked="" type="checkbox"/>
Escuela Profesional:	MECANICA					
Departamento Académico:	MECANICA					
Escuela de Posgrado	Maestría			Doctorado		

Programa: **PROYECTO DE TESIS**

De la Universidad Nacional del Santa; Declaro que el trabajo de investigación intitulado:

ESTUDIO DEL AREA AFECTADA POR EL CALOR EN LOS ACEROS AL CARBONO, POR EFECTO DEL PRECALENTAMIENTO Y SOLDADURA

presentado en **04** folios, para la obtención del Grado académico: ()

Título profesional: () Investigación anual: ()

- He citado todas las fuentes empleadas, no he utilizado otra fuente distinta a las declaradas en el presente trabajo.
- Este trabajo de investigación no ha sido presentado con anterioridad ni completa ni parcialmente para la obtención de grado académico o título profesional.
- Comprendo que el trabajo de investigación será público y por lo tanto sujeto a ser revisado electrónicamente para la detección de plagio por el VRIN.
- De encontrarse uso de material intelectual sin el reconocimiento de su fuente o autor, me someto a las sanciones que determinan el proceso disciplinario.

Nuevo Chimbote, **28** de **OCTUBRE** de 20 **20**

Firma:

Nombres y Apellidos: **JHONNY FRANK FERNANDEZ URBANO**

DNI: **90174272**

NOTA: Esta Declaración Jurada simple indicando que su investigación es un trabajo inédito, no exime a tesisistas e investigadores, que no bien se retome el servicio con el software antiplagio, ésta tendrá que ser aplicado antes que el informe final sea publicado en el Repositorio Institucional Digital UNS.