



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**TRABAJO ESTRUCTURADO DE MANERA INDEPENDIENTE**

Previo a la obtención de título de:

**INGENIERO MECÁNICO**

**TEMA:**

---

"ESTUDIO DEL TRATAMIENTO TÉRMICO POST SOLDADURA GTAW EN TUBERÍAS DE PROCESO DE ACERO AL CARBONO ASTM A106 GR B Y SU INCIDENCIA EN LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN Y DUREZA"

---

**AUTOR:** Mauricio Sebastián Adame Analuisa

**TUTOR:** Ing. Mg. Henry Vaca

Ambato – Ecuador

2015

## CERTIFICACIÓN

En mi calidad de Tutor del presente Trabajo Estructurado de Manera Independiente previo a la obtención del Título de Ingeniero Mecánico, bajo el tema "**ESTUDIO DEL TRATAMIENTO TÉRMICO POST SOLDADURA GTAW EN TUBERÍAS DE PROCESO DE ACERO AL CARBONO ASTM A106 GR B Y SU INCIDENCIA EN LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN Y DUREZA**", ejecutado por el Sr. Mauricio Sebastian Adame Analuisa estudiante de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, de la Universidad Técnica de Ambato, CERTIFICO que el presente trabajo de investigación fue elaborado en su totalidad por el autor y ha sido concluida bajo el plan de tesis aprobado.

Ambato, Abril del 2015

Para constancia firma:



Ing. Mg. Henry Vaca

Tutor

## **AUTORÍA DEL TRABAJO DE GRADO**

Los criterios emitidos en el trabajo de investigación: "ESTUDIO DEL TRATAMIENTO TÉRMICO POST SOLDADURA GTAW EN TUBERÍAS DE PROCESO DE ACERO AL CARBONO ASTM A106 GR B Y SU INCIDENCIA EN LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN Y DUREZA", como también los contenidos, ideas, análisis, conclusiones y propuestas son de exclusiva responsabilidad de mi persona, como autor de este trabajo de grado.

Ambato, Abril del 2015

A rectangular box containing a handwritten signature in blue ink. The signature is somewhat stylized and appears to read "Mauricio Sebastian Adame Analuisa".

**AUTOR**

Mauricio Sebastian Adame Analuisa

C.I. 1803721206

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo de investigación se lo dedico principalmente a Dios por darme la oportunidad de concluir mi carrera profesional. A mi esposa que me acompaño en los momentos que más lo necesité.

**Mauricio**

## **AGRADECIMIENTO**

Mi agradecimiento sincero a mi esposa por darme su apoyo en los momentos cuando más lo necesité. A mi tutor el Ing. Henry Vaca por su ayuda y guía incondicional

**Mauricio**

## ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

PORTADA.....	i
CERTIFICACIÓN .....	ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE GRADO .....	iii
DEDICATORIA .....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS .....	ix
ÍNDICE DE GRÁFICOS .....	ix
RESUMEN EJECUTIVO .....	x
CAPÍTULO I.....	1
EL PROBLEMA .....	1
1.1.- Tema .....	1
1.2.- Planteamiento del problema.....	1
1.2.1.- Contextualización .....	1
Contexto Macro.....	1
Contexto Meso .....	2
Contexto Micro .....	3
1.2.2.- Análisis Crítico .....	3
1.2.3.- Prognosis.....	4
1.2.4.- Formulación del Problema.....	5
1.2.5.- Interrogantes .....	5
1.2.6.- Delimitación del objeto de investigación.....	5
De contenido .....	6
Espacial .....	6
Temporal .....	6
1.3.- Justificación .....	6
1.4.- Objetivos.....	8

1.4.1.- Objetivo General.....	8
1.4.2.- Objetivos Específicos .....	8
CAPÍTULO II .....	9
MARCO TEÓRICO.....	9
2.1.- Antecedentes Investigativos .....	9
2.2.- Fundamentación Filosófica.....	10
2.3.- Fundamentación Legal.....	11
2.4.- Categorías Fundamentales .....	12
2.5.- Hipótesis .....	34
2.6.- Señalamiento de variables .....	35
2.6.1.- Variable Independiente .....	35
2.6.2.- Variable dependiente .....	35
2.6.3.- Término de relación.....	35
CAPÍTULO III.....	36
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....	36
3.1.- Modalidad Básica de la Investigación .....	36
3.1.1.- Investigación de Campo.....	36
3.1.2.- Investigación Bibliográfica - Documental.....	37
3.1.3 Investigación Experimental.....	37
3.2.- Nivel o Tipo de Investigación.....	38
3.2.1 Investigación Exploratoria .....	38
3.2.2.- Investigación Descriptiva .....	38
3.3.- Población y Muestra .....	39
3.3.1.- Población .....	39
3.3.2.- Muestra .....	40
3.4.- Operacionalización de las Variables.....	42
3.5.- Plan de Recolección de la Información .....	44

CAPITULO IV .....	46
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	46
4.1. Análisis de los resultados .....	46
4.2. Interpretación de resultados .....	98
4.3. Verificación de la hipótesis.....	104
CAPITULO V .....	110
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	110
5.1 Conclusiones.....	110
5.2 Recomendaciones.....	112
CAPITULO VI.....	114
PROPUESTA.....	114
6.1 Datos Informativos.....	114
6.2 Antecedentes de la propuesta.....	115
6.3 Justificación.....	115
6.4 Objetivos .....	116
6.5 Análisis de factibilidad.....	116
6.6 Fundamentación .....	117
6.7 Metodología .....	117
6.8 Administración.....	135
6.9 Previsión de la Evaluación.....	136
BIBLIOGRAFÍA.....	137
ANEXOS.....	140



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 3.1.</b> Determinacion de la poblacion .....	39
<b>Tabla 3.2.</b> Cantidad de muestras .....	41
<b>Tabla 3.3.</b> Operacionalizacion de la variable independiente .....	42
<b>Tabla 3.4.</b> Operacionalización de la variable dependiente .....	43
<b>Tabla 4.1.</b> Registros .....	48
<b>Tabla 4.2.</b> Durezas sin tratamiento térmico .....	98
<b>Tabla 4.3.</b> Durezas con tratamiento térmico a 500°C .....	99
<b>Tabla 4.4.</b> Durezas con tratamiento térmico a 625°C .....	99
<b>Tabla 4.5.</b> Durezas con tratamiento térmico a 750°C .....	99
<b>Tabla 4.6.</b> Durezas con tratamiento térmico a 870°C .....	100
<b>Tabla 4.7.</b> Resistencia ultima a la tracción .....	101
<b>Tabla 4.8.</b> Porcentaje de elongación .....	102
<b>Tabla 4.9.</b> Verificación de la hipótesis de dureza .....	105
<b>Tabla 4.10.</b> Verificación de la hipótesis de traccion .....	106
<b>Tabla 4.11.</b> Resumen de resultados de las propiedades mecánicas .....	108
<b>Tabla 5.1.</b> Dispositivos de termocuplas .....	110
<b>Tabla 6.1.</b> Registros y actividades .....	118

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Grafico 4.1.</b> Junta Soldada .....	98
<b>Grafico 4.2.</b> Durezas promedio tomadas antes y después de tratamiento térmico .....	100
<b>Grafico 4.3.</b> Resistencia ultima a la tracción .....	102
<b>Grafico 4.4.</b> Porcentaje de elongación .....	103
<b>Grafica 4.5.</b> Hipotesis de dureza a 625°C .....	106
<b>Grafica 4.6.</b> Hipótesis de la resistencia al límite de rotura (Sut) a 625°C. ....	107
<b>Grafico 6.1.</b> Preparación de probetas para soldadura .....	119
<b>Grafico 6.2.</b> Preparación de probetas para soldadura .....	120
<b>Grafico 6.3.</b> Probeta de tensión .....	124

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**AUTOR:** Mauricio Sebastian Adame Analuisa

**TUTOR:** Ing. Henry Vaca

**RESUMEN EJECUTIVO**

La presente investigación está orientada al estudio del tratamiento térmico post soldadura GTAW en tuberías de proceso de acero al carbono ASTM A106 Gr B y su incidencia en la resistencia a la tracción y dureza, para lo cual se sometió las juntas soldadas a cuatro tipos de tratamientos térmico a diferentes temperaturas.

Las soldaduras realizadas fueron sometidas a pruebas de dureza, tracción y metalografía para determinar cuál es el que presenta mejores propiedades, obteniendo mejores resultados, con la soldadura que se sometió a tratamiento térmico a 625°C, que obtuvo una dureza de 157,33 Brinell y una resistencia última a la tracción de 527.80 Mpa, con respecto a los demás tratamientos térmicos.

Se determinó los parámetros que se deben utilizar para realizar este tipo de tratamiento térmico como son la tasa de calentamiento que es 222°C/h, tiempo de calentamiento 54 minutos, tiempo de mantenimiento 60 minutos, tasa de enfriamiento 280°C/h y tiempo de enfriamiento 43 minutos.

Finalmente se elaboró un procedimiento en el cual queda establecido todos los parámetros, procesos a seguir para disponer de una guía didáctica que permita realizar correctamente los trabajos y ensayos.

## **CAPÍTULO I**

### **EL PROBLEMA**

#### **1.1.- Tema**

Estudio del tratamiento térmico post soldadura GTAW en tuberías de proceso de acero al carbono ASTM A106 Gr-B y su incidencia en la resistencia a la tracción y dureza.

#### **1.2.- Planteamiento del problema**

##### **1.2.1.- Contextualización**

###### **Contexto Macro**

La soldadura es fundamental para una gran variedad de trabajos relacionados con la ingeniería. Alcanzar una mayor compresión de los procesos usados para unir materiales similares y distintos tiene gran importancia técnica y científica. Uno de los procesos de soldadura de amplia aplicación es el de electrodo de tungsteno protegido por gas o GTAW (Gas Tungsten Arc Welding).

La relación microestructura - propiedades en el proceso GTAW entre materiales disímiles es trascendente debido a que muchas veces los materiales a unir no son iguales por ende no tienen las mismas propiedades mecánicas y características metalúrgicas tanto antes como después de realizada la soldadura.

El acero ASTM A106 GR-B ha formado parte principal para el desarrollo de materiales con resistencias elevadas en el interior de las mismas, todas estas características se llegan a conseguir por la presencia en los aceros al carbono; porque

también son diferentes sus temperaturas críticas, por lo que en tuberías de proceso de los sistemas de reinyección de agua de producción donde se manejan altas presiones para poder inyectar hacia los pozos.

Se puede observar elevadas temperatura al momento de soldar lo que genera esfuerzos residuales, también llamados tensiones de contracción, razón por la cual se desea realizar un estudio sobre tratamiento térmico post soldadura que cambiará su microestructura y provocara un cambio en sus propiedades ayudando con esto a ser utilizado de mejor manera en el proceso a ser utilizado.

El estudio del tratamiento térmico post soldadura como una investigación ayudara a obtener más información en el Ecuador, sobre los fenómenos producidos por el proceso de soldadura y los cambios que se generan en el material base, por el proceso mismo de la soldadura de dos tuberías de acero al carbono, debido a esto se puede notar que no se presta la suficiente atención a este tipo de estudio que contribuye a obtener una materia prima de mejor calidad.

### **Contexto Meso**

En el Ecuador el tratamiento térmico post soldadura podría parecer un tema nuevo, debido al escaso conocimiento sobre esto nuestro país está construyendo sistemas donde se necesita resistencia a altas presiones, donde este tipo de proceso podría ser aplicado al poder unir un material que tiene excelentes características como su alta resistencia a la presión y temperaturas. Las cuales debido al escaso conocimiento y el no tener las posibilidades económicas para realizar este tipo de estudio con este material, soldadura y tratamiento térmico post soldadura en lo que evidentemente ayudaría al desarrollo tecnológico en el área petrolera.

Dándole mayor importancia al tratamiento térmico post soldadura, conoceremos los benéficos que nos brinda, permitiéndonos comprender de mejor manera el comportamiento del material al soldar y el alivio de esfuerzos de los materiales y así conocer la dureza lograda con la comparación antes y después del proceso, para

prolongar la vida del sistema conformado realizando un alivio de esfuerzos, ablandamiento y aumentado en los beneficios económicos.

Por lo tanto es esencial la investigación lo que nos permitirá el proceso adecuado del tratamiento térmico post soldadura que se encontraran mejorando las propiedades del material, generando de esta forma productos de mayor calidad y así mejorando la productividad de nuestras empresas y seguridad del producto que adquieren.

### **Contexto Micro**

La investigación del tratamiento térmico post soldadura en acero al carbono en la facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, carrera de Ingeniería Mecánica, es prácticamente imposible debido a la inexistencia de equipos para el estudio del tratamiento debido a que es tubería soldada, donde se debe realizar un proceso de soldadura para tener la menos cantidad de cambio de propiedades del material, para luego efectuar el tratamiento térmico donde se genera el alivio de tensiones, con este hecho se realizara los ensayos destructivos y no destructivos, es por esta razón que se hace indispensable realizar estos ensayos en lugares donde dispongan del equipo de soldadura, tratamiento térmico, durómetros, etc., llegando a tener un proceso adecuado de cómo mejorar las propiedades mecánicas de estos aceros con su soldadura.

#### **1.2.2.- Análisis Crítico**

Con el planteamiento del tema de investigación se quiere realizar un estudio adecuado de lo que pasará al darle un correcto tratamiento térmico post soldadura, con el fin de modificar las propiedades mecánicas como la dureza y la resistencia del acero al carbono ASTM A106 GR-B. Debido, a que la soldadura provoca esfuerzos residuales lo que provoca un aumento de la susceptibilidad a la fractura frágil, aumento de la susceptibilidad a las rajaduras por tensión corrosión y reducción de la estabilidad dimensional, lo que se debería prevenir o disminuir estos parámetro que se generan determinando las características mecánicas de los materiales; si se controla el aumento de esfuerzos al momento de soldar o con el tratamiento térmico post

soldadura se permitirá que éste alcance un incremento de su vida en sus diferentes procesos a ser utilizados.

Los esfuerzos, durezas y cambios en las estructuras que se generan por la soldadura en distintas formas genera mucha dificultad al elevar a altas temperaturas en el momento de ingresar en funcionamiento, con lo que esto genera serios problemas, manifestando con fugas de componentes siendo necesario en la mayoría el cambio de una serie de tuberías por otros, con lo que se forma una serie de problemas como volver a soldar, convirtiéndose en un reproceso dificultoso, por lo que se quiere prevenir y dar una solución, para que soporten mucho más tiempo de servicio.

El no aplicar esto, el tratamiento post soldadura ha generado grandes pérdidas en la industrias por los fenómenos generados como, esfuerzos residuales donde se pueden generar tensiones internas que suben a valores cercanos al punto de fluencia o limite elástico del material; así aumentando el interés por el estudio del tratamiento térmico post soldadura, para tener nuevas maneras de poder evitar fisuras en los materiales y sean capaces de resistir las condiciones de funcionamiento.

Por esta razón, esta investigación se enfocó en el tratamiento térmico post soldadura, ya que las industrias de hoy en día se ven obligadas a desarrollar programas de prevención.

Este tipo de fenómeno ha sido uno de los menos estudiados e inclusive al que menos se le ha prestado atención en el sector industrial, debido a la falta de información sobre datos obtenidos por pruebas.

### **1.2.3.- Prognosis**

La facultad de Ingeniería Civil y Mecánica carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, consiente de este fenómeno que se produce al momento de aplicar la soldadura (GTAW) y al no contar con datos experimentales sobre el tema, motivo por el cual se propone el estudio de los tratamiento térmico

post soldadura en el acero ASTM A106 GR-B para un mejoramiento de las propiedades mecánicas en tuberías de procesos.

El desconocimiento de lo que genera la soldadura en espesores muy grandes, en este tipo de materiales es lo que nos afecta, se decide estudiar este proceso, para contribuir con datos reales que sirvan en futuras investigaciones relacionadas con el presente tema, pero al no realizarse esto no se le podrá dar una manera de solución al problema que existe al soldar acero al carbono ASTM A106 GR-B, que es un material muy resistente a altas presiones.

#### **1.2.4.- Formulación del Problema**

¿Cómo incide el tratamiento térmico post soldadura GTAW en la tubería de proceso de acero al carbono ASTM A106 GR-B en la resistencia a la tracción y dureza?

#### **1.2.5.- Interrogantes**

Esta son las interrogantes planteadas que ayudaran a resolver la presente investigación.

- ✓ ¿Cuáles son los parámetros a tomar en cuenta para llevar a cabo el tratamiento térmico post soldadura, en tuberías de acero A106 GR -B?
- ✓ ¿Qué efecto tendrá el relevado de esfuerzos y el ablandamiento del cordón de soldadura y la zona térmicamente afectada?
- ✓ ¿Cuál será la temperatura, para un adecuado tratamiento térmico post soldadura?

#### **1.2.6.- Delimitación del objeto de investigación**

La presente investigación se manejó bajo los siguientes parámetros:

## **De contenido**

La investigación se centró en el área de:

- Tratamiento Térmico.
- Ingeniería de Materiales.

## **Espacial**

La investigación se realizó en la Universidad Técnica de Ambato, ubicada en la Av. De Los Chasquis y Av. Los Atis, entre Rio Guayllabamba y Rio Payamino, específicamente en el Laboratorio de Materiales de la Carrera de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

## **Temporal**

Periodo Septiembre – Enero 2015.

### **1.3.- Justificación**

La ciencia de los materiales estudia el comportamiento de los materiales, que están en unión por medio de soldadura, así como los fenómenos que de este se derivan, tales como, esfuerzos residuales debido a los efectos del calor y el cambio de propiedades de los materiales de aporte, como del material base, en general disminuye su productividad, debido a paros constantes de la producción con cambios de estos elementos, también aumentando los costos de producción, afectando directamente con la calidad del producto final.

En la actualidad se ha visto en la necesidad de estudiar su comportamiento, naturaleza e intensidad, que ocasiona daños por las dilataciones, contracciones experimentales por los materiales en el proceso de soldeo, con el tratamiento térmico se pretende disminuir los esfuerzos residuales.



En esta investigación, se realizó un análisis del tratamiento térmico, siguiendo las especificaciones de la Norma ASME B31.3, con el fin de medir las durezas y comparar los resultados obtenidos, ayudando de esta forma a la industria del centro del país a mejorar la calidad de los sistemas mecánicos a utilizarse, para cada proceso de producción y de manera principal incentivando que se realicen más estudios sobre temas de tratamientos térmicos, desarrollando a la carrera de Ingeniería Mecánica, permitiendo así que los futuros profesionales tomen decisiones adecuadas para eliminar los daños que causan al soldar diferentes materiales, para con esto incrementar las ganancias económicas.

El tratamiento térmico post soldadura en acero al carbono, es un proceso donde se quiere lograr un excelente resultado, que pueda dejar una base para poder realizar trabajos que requiera altas presiones.

Las características Físicas, Químicas y Mecánicas que ocasiona al momento de soldar, es unas de las principales causas por lo que las industrias se ven obligadas a desarrollar programas de prevención donde se estudia el tratamiento térmico como un método para poder controlar en su gran parte la vida del material con lo que nos lleva a tener un excelente sistema en funcionamiento.

La soldadura es un proceso donde se debe tener en cuenta varios aspectos que generan fallas como:

- Modificación de la estructura.
- Modificación de las propiedades mecánicas.
- Formación de entallas geométricas.
- Absorción de hidrogeno y fragilización de la estructura.
- Introducción de tensiones residuales.
- Formación de defectos de tipo grietas, poros, faltas de fusión, etc.

Este método de tratamiento térmico post soldadura en el acero ASTM A106 GR-B, consiste en calentar la unión a una temperatura adecuada, por debajo del rango crítico del metal base, seguido de un enfriamiento uniforme, con esto realizado se procederá a ser una prueba de laboratorio para determinar si las propiedades mecánicas han mejorado.

Se utilizaron las siguientes normas: ASME sección 8 división 1 Rules For Construction of Pressure Vessels, ASME 31.3 Process Piping, ASME IX Qualification Estándar for Welding and Brazing Procedures. ASTM E 8M Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials, ASTM E10 Standard Test Method for Brinell Hardness of Metallic Materials, ASTM E3 Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens.

#### **1.4.- Objetivos**

##### **1.4.1.- Objetivo General**

Determinar la incidencia del tratamiento térmico post soldadura GTAW en tuberías de proceso de acero al carbono ASTM A106 GR-B con la resistencia a la tracción y dureza para el mejoramiento de las propiedades mecánicas tanto en el cordón de soldadura como en la zona afectada térmicamente por el proceso de soldadura.

##### **1.4.2.- Objetivos Específicos**

- Determinar la variación de la resistencia de acero al carbono mediante un ensayo de tracción.
- Realizar una comparación antes y después del tratamiento térmico post soldadura.
- Estudiar que tratamiento térmico post soldadura es el adecuado en el acero al carbono ASTM A106 GR-B.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1.- Antecedentes Investigativos

El presente tema de investigación, tiene como antecedentes la información obtenida de estudios previos realizados en tesis, material bibliográfico y documental e información disponible en internet, que hacen referencia al tratamiento térmico post soldadura y a la resistencia y dureza.

En el trabajo de Investigación de (Laufgang, 2010, pág. 39) con el tema “Tratamiento térmico de soldadura – Prueba hidráulica de gasoductos” llegando a las siguientes conclusiones:

- “Se modifica el criterio de evaluación de la calidad de la junta soldada sin defectos en un criterio más realista de junta soldada con defectos aceptables”
- “Este nuevo criterio asigna a la Ingeniería moderna la reducción del margen de Indecisión debido al desconocimiento de la distribución real de Tensiones, debido fundamentalmente a la existencia de Tensiones Residuales, además de otros factores inseparables al material, como desviaciones en el proceso de fabricación y de control de calidad, grado de exactitud de la técnica de ensayos no destructivos utilizada, instrumentos utilizados, subjetividad del operador y por ultimo variaciones en las condiciones de servicio.”
- Con todo lo que puede salir mal durante la fabricación y utilización en servicio de una soldadura, un adecuado uso de los Tratamiento Térmicos puede influir más que cualquier otro factor en la obtención de buenos resultados en los trabajos.

En la Escuela superior Politécnica de Chimborazo en Ecuador se realizó la investigación “Relación, microestructura/propiedad en la soldadura Gtaw entre aceros inoxidable y aceros al carbono” por (Villavicencio, 2012, pág. 31).

Donde se plantea como objetivo general “Determinar la relación microestructura/propiedades en la soldadura GTAW entre aceros inoxidable y acero al carbono”.

Y como objetivos específicos:

- Determinar las transformaciones microestructurales que ocurren en la soldadura y el metal base durante el proceso GTAW.
- Diseñar un dispositivo de traslación lineal para ejecutar soldaduras semiautomáticas a velocidad constante.
- Realizar experimentos de soldadura en placas de aceros similares y entre aceros de diferente composición química para determinar variaciones de estructura y propiedades de las juntas soldadas.

## **2.2.- Fundamentación Filosófica**

Para desarrollar esta investigación se requirió del paradigma crítico propositivo que nos ayudara a la explicación de varios fenómenos presentes para este estudio, ya que el tema a investigar se encuentra influenciado por datos, como las variaciones de durezas, por lo cual se ha visto en la necesidad de realizar un estudio post soldadura para verificar que tan eficiente es este material de acero al carbono.

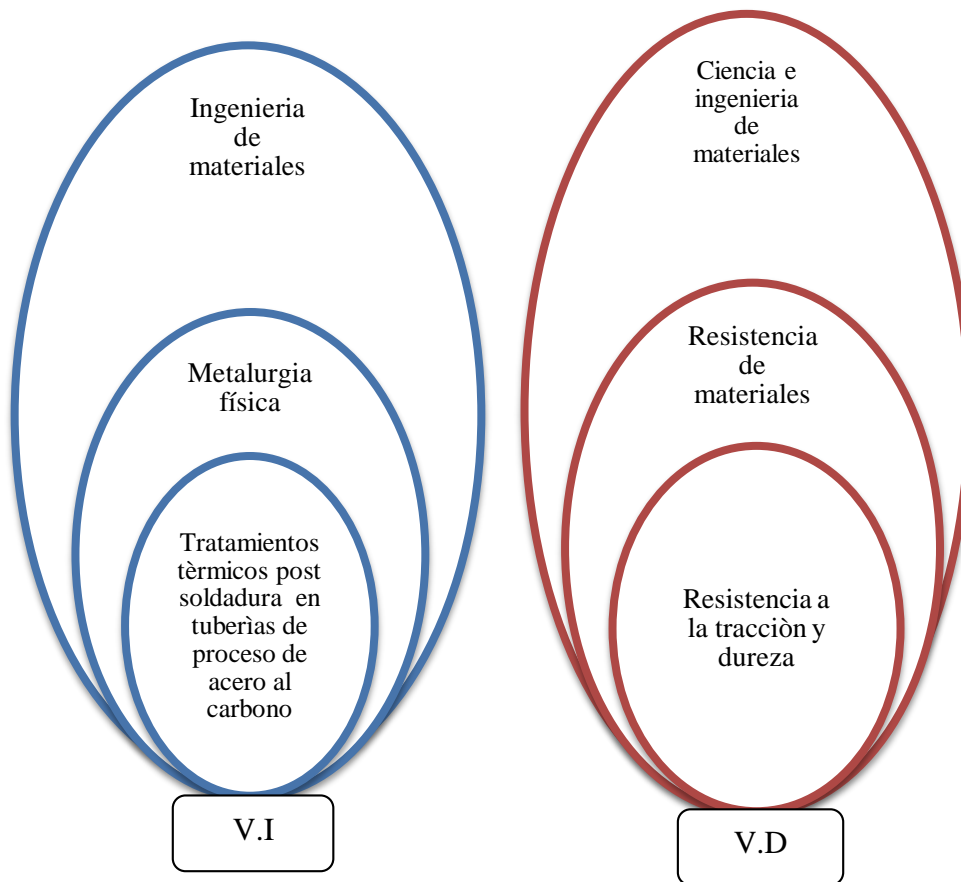
La investigación recogió datos de varias fuentes como textos, artículos y publicaciones en internet, tablas de propiedades de materiales, y otros documentos que ayudaron en el desarrollo de esta investigación. Se desarrolló principalmente esta investigación de forma cuantitativa ya que se tomarán datos estadísticos de la variación de durezas antes y después de este proceso.

### **2.3.- Fundamentación Legal**

Para el desarrollo de esta investigación, con el fin de evaluar los factores que puedan mejorar la resistencia a la fluencia en acero aleado realizando el tratamiento térmico post soldadura se basó en las Normas: ASME sección 8 división 1 Rules For Construction of Pressure Vessels, ASME 31.3 Process Piping, ASME IX Qualification Estándar for Welding and Brazing Procedures. ASTM E 8M Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials, ASTM E10 Standard Test Method for Brinell Hardness of Metallic Materials, ASTM E3 Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens.

## 2.4.- Categorías Fundamentales

Superordinación



**Grafico 2.1.** Superordinación  
**Autor:** Mauricio Adame

### **2.4.1. Ingeniería de materiales**

La ciencia e ingeniería de materiales, es un campo interdisciplinario que se ocupa inventar nuevos materiales y mejorar los ya conocidos, mediante el desarrollo de un conocimiento más profundo de las relaciones entre microestructura, composición, síntesis y procesamiento. (Martinez, 2011, pág. 42)

El término composición indica la constitución química de un material. El término estructura significa una descripción del arreglo atómico, visto con distintos grados de detalle. Los científicos y los ingenieros en materiales no sólo tienen que ver con el desarrollo de materiales, sino correspondientes a la producción de componentes.

El término síntesis indica la manera de fabricar los materiales a partir de elementos naturales o hechos por el hombre.

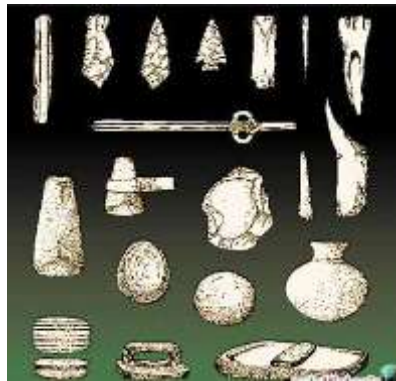
El término procesamiento indica el medio en que se conforman los materiales en componentes útiles y para causar cambios en las propiedades de distintos materiales. Una de las funciones más importantes de los científicos e ingenieros en materiales es establecer las relaciones entre las propiedades y el funcionamiento de un material o de un dispositivo, así como la microestructura, la composición y la forma en la que el material se sintetizó y procesó. (Donald, 2012, pág. 68)

En la ciencia de materiales se subrayan las relaciones subyacentes entre la síntesis y el procesamiento, la estructura y las propiedades de los materiales. En la ingeniería de materiales el enfoque es hacia cómo convertir o transformar los materiales en dispositivos o estructuras útiles. (Martinez, 2011, pág. 59)

La ingeniería de materiales está principalmente relacionada con el uso de los conocimientos básicos y aplicados de los materiales para la conversión de estos en productos necesarios o requeridos por la sociedad.

### 2.4.2. Metalurgia física

La capacidad del ser humano para fabricar y utilizar herramientas es quizá la razón más importante del notable progreso que ha dado por resultado la actual era tecnológica. Los primeros hombres utilizaron herramientas de madera, hueso y piedra (figura 2.2). Sin embargo, sin los metales, estas herramientas eran primitivas y burdas, lo que obstaculizaba el progreso. (Carbajal, 2011, pág. 78)



**Grafico 2.2.** Sierra y Hachas de piedra 0.1

**Fuente:** (Neely, 2002, pág. 74)

En tiempos pasados, el hierro se producía en hornos primitivos. El proceso de este originaba un producto, llamado por los historiadores antiguos como hierro “esponja”.

Esto se debió a que la masa de hierro no se fundía sino que las impurezas llamadas “ganga” eran las que se fundían debido a sus puntos bajos de fusión. Esta ganga se iba hasta el fondo de la fragua como escoria y dejaba una masa esponjosa de hierro blanco caliente, pero no fundida. Luego, esta masa se golpeaba. (Neely, 2002, pág. 75)

### 2.4.3. Tratamiento Térmico post soldadura en tuberías de proceso en acero al carbono.

#### 2.4.3.1. Tratamiento térmico de materiales



“Los tratamientos térmicos son procesos en los cuales un acero, en estado sólido experimenta uno o múltiples ciclos de calentamiento y enfriamiento para variar sus propiedades mecánicas dependiendo de la aplicación que se le da al material” (ASM HANDBOOK, 1992, pág. 86)

Los cambios de composición y propiedades permitiéndonos conseguir los siguientes objetivos:

- Estructura de mejor dureza y tenacidad en las juntas soldadas.
- Eliminar tensiones internas.
- Estructura más homogénea.
- Variar algunas de las propiedades físicas.

“El tratamiento térmico en el material es uno de los pasos fundamentales para que pueda alcanzar las propiedades mecánicas para las cuales está creado. Este tipo de procesos consisten en el calentamiento y enfriamiento de un metal en su estado sólido para cambiar sus propiedades físicas”. (Askeland, 2011, pág. 96).

Con el tratamiento térmico adecuado se pueden reducir los esfuerzos internos, el tamaño del grano, incrementar la tenacidad o producir una superficie dura con un interior dúctil.

La clave de los tratamientos térmicos consiste en las reacciones que se producen en el material, tanto en los aceros como en las aleaciones no férricas, y ocurren durante el proceso de calentamiento y enfriamiento de las piezas, con unos parámetros o tiempos establecido. (Askeland, 2011, pág. 98).

Para conocer a que temperatura debe elevarse el metal para que se reciba un tratamiento térmico es recomendable contar con los diagramas de cambio de fases como el de hierro – carbono. En este tipo de diagramas se especifican las temperaturas en las que suceden los cambios de fase (cambios de estructura cristalina), dependiendo de los materiales diluidos.

El tiempo y la temperatura son los factores principales y hay que fijarlos siempre de antemano, de acuerdo con la composición del acero, la forma y el tamaño de las piezas y las características que se desean obtener.

Las características mecánicas de un material dependen tanto de su composición química como de la estructura cristalina que tenga.

Los tratamientos térmicos modifican esa estructura cristalina sin alterar la composición química, dando a los materiales unas características mecánicas concretas, mediante un proceso de calentamientos y enfriamientos sucesivos hasta conseguir la estructura cristalina deseada. (Askeland, 2011, pág. 105).

Entre estas características están:

- a) **Resistencia al desgaste:** Es la resistencia que ofrece un material a dejarse erosionar cuando está en contacto de fricción con otro material.
- b) **Tenacidad:** Es la capacidad que tiene un material de absorber energía sin producir fisuras (resistencia al impacto).
- c) **Dureza:** Es la resistencia que ofrece un acero para dejarse penetrar. Se mide en unidades BRINELL (HB) o unidades ROCKWEL C (HRC), mediante el test del mismo nombre.

Las propiedades mecánicas de las aleaciones de un mismo metal, y en particular de los aceros, ocupan en la composición química de la aleación que la forma y el tipo de tratamiento térmico a los que se les somete. (Guadalupe, 2014, pág. 123)

#### **2.4.3.2. Tipos de Tratamientos Térmicos**

“Los tratamientos termo-físicos modifican esa estructura cristalina sin alterar la composición química, dando a los materiales unas características mecánicas

específicas, realizando procesos de calentamiento y enfriamientos periódicos hasta obtener una estructura cristalina deseada" (Apraiz, 2010, pág. 99)

Entre los tipos de tratamientos térmicos tenemos:

- Temple.
- Recocido.
- Revenido.
- Normalizado.

#### **a. Temple**

"El temple es un tratamiento térmico que consiste en enfriar muy rápidamente, la mezcla austenítica homogénea, que tenemos después de calentar el acero, con este enfriamiento rápido se consigue un aumento de dureza, ya que el resultado microscópico final es una mezcla martensítica" (Machado, 2010, pág. 134)

El acero se calienta por encima de la temperatura crítica inferior, unos 721°C, para que la perlita se disuelva en austenita. La temperatura de austenización debe ser superior a la temperatura de transformación total de la ferrita en austenita y depende de la composición del acero. Esta solución sólida de hierro y carbono al enfriarse repentinamente, la estructura cristalina se transforma de forma rápida y el carbono queda incluido dentro de la red deformándola y endureciéndola, se transforma en martensita. (Machado, 2010, pág. 135)

Esta microestructura es muy dura, frágil y tiene mayor resistencia a la tracción que el acero perlítico. Cuanto mayor sea el contenido de carbono mayor dureza adquiere. Después del temple siempre se suele hacer un revenido de la pieza porque el acero queda muy inestable y para darle mayor ductilidad y tenacidad.

La composición del acero, sobre todo su contenido en carbono, determina las características finales y la capacidad de temple del acero. El acero también se puede

usar con elementos aleantes pero no todos favorecen el temple. Elementos como el vanadio o el molibdeno conceden características al acero que hacen aumentar su templabilidad, su presencia hace inhibir la descomposición de la austenita en perlita y con ello se consigue transformar la austenita en martensita a bajas velocidades de enfriamiento. (Jimenez, 1990, pág. 129)

La temperatura y velocidad de los procesos de calentamiento en el temple determinarán su dureza y resistencia. El tiempo de calentamiento y permanencia a la temperatura de austenización será el estrictamente necesario para que todo el carbono esté en solución y la austenita sea homogénea.

La velocidad de enfriamiento ha de ser lo suficientemente rápida para impedir que se produzcan transformaciones de la austenita antes de alcanzar la temperatura crítica inferior. En esta velocidad influyen factores que dependen de la pieza (la temperatura de temple, el tamaño del grano de la austenita y la masa, forma y dimensiones de la pieza) y factores que dependen del medio de enfriamiento (volumen, temperatura, viscosidad, temperatura de ebullición, conductividad, calor específico, estado de reposo o movimiento, densidad, calor de vaporización, etc.). (Jimenez, 1990, pág. 131)

### **Medios de enfriamiento en el temple**

El fluido ideal de temple será aquel que produzca una velocidad de enfriamiento superior a la crítica hasta temperaturas inferiores a las de transformación de la perlita y bainita, y más baja en el intervalo de la transformación martensítica. (Jimenez, 1990, pág. 136)

De esta forma se evitará la transformación de la austenita en los constituyentes más blandos y se conseguirá que se transforme con uniformidad en martensita, sin peligro a que se formen grietas y deformaciones. Algunos medios utilizados son:

- **En agua:** el agua es el método más utilizado para el enfriamiento de acero en el temple. El agua a temperatura inferior a 30°C, tiene una severidad de temple baja si se deja la pieza en reposo pero si se agita o se le añaden sales esta severidad aumenta, llegando a conseguirse, uniendo ambos métodos, la máxima severidad.
- **En aceites minerales:** se puede emplear para aceros ordinarios altos en carbono y de sección pequeña. También se emplea para aceros aleados, cuya velocidad crítica de temple sea baja y su sección puede ser grande, en este caso se reduce el peligro de grietas y deformaciones.  
Los aceites deberán tener una volatilidad no muy elevada, temperatura de inflamación y de combustión lo más alta posible, gran resistencia a la oxidación y una viscosidad a temperatura ambiente. Los mejores aceites para este uso son los derivados del petróleo.
- **Temperatura Ambiente:** se usa en aceros con bajas velocidades de temple.  
Se enfrían las piezas por radiación, convección y conductividad por lo que desempeña un papel importante el estado de la superficie de la pieza favoreciendo que la superficie sea negra y dificultando que sea brillante.  
(Jimenez, 1990, pág. 142)

### **Tipos de temple**

- **Temple continuo de austenización completa:** Se utiliza para los aceros hipoeutectoides. Se calienta el material a 50°C por encima de la temperatura crítica superior  $A_3$ , enfriándose en el medio adecuado para obtener martensita.
- **Temple continuo de austenización incompleta:** Es aplicado a los aceros hipereutectoides. Se calienta el material hasta  $AC_1 + 50^\circ C$ , transformándose la perlita en austenita y dejando la cementita intacta. Se enfría a temperatura superior a la crítica, con lo que la estructura resultante es de martensita y cementita.
- **Temple superficial:** Este proceso influye en el temple superficial cuando se desea que una pieza presente elevada dureza superficial y buena resistencia exterior al

desgaste, pero que su alma siga manteniéndose con reducidas tensiones. Con el temple superficial se consigue que solamente la zona más exterior se transforme en martensita, y para ello el tiempo durante el que se mantiene el calentamiento debe ser el adecuado para que solamente un reducido espesor de acero se transforme en austenita.

- **Temple Escalonado (Martempering):** Su propósito es calentar el acero a temperatura de austenización y mantenerlo el tiempo necesario para que se transforme completamente en austenita. Posteriormente se enfría en un baño de sales bruscamente hasta una temperatura próxima, pero superior, a  $M_s$ , con el fin de homogeneizar la temperatura en toda la masa y se acaba reduciendo la temperatura para que toda la pieza se transforme en martensita.
- **Temple isotérmico (Austempering):** Estable en calentar el acero a temperatura de austenización y mantenerlo el tiempo necesario para obtener austenita. Posteriormente se enfría bruscamente en un baño de sales hasta una temperatura determinada, para igualar la temperatura en toda la masa y luego se vuelve a disminuir la temperatura para que toda la pieza se transforme en bainita. (El temple, 2013, pág. 61)

## **b. Recocido**

“El recocido es un tratamiento térmico propio de los productos semielaborados y acabados donde está diseñado para reducir al mínimo las tensiones internas creadas durante los procesos de fabricación. El recocido sirve también para aumentar el grado de cristalinidad de los materiales y así mejorar sus propiedades mecánicas” (Perez, 2010, pág. 72)

Se clasifican en función de la temperatura máxima a la que se calienta el acero y en función de las condiciones y velocidades de enfriamiento:

- 1) Con calentamientos a temperaturas superiores a la de austenización:

- Recocido de regeneración o de austenización completa: para aceros hipoeutectoides. Se calienta de modo que todo el material se transforme en austenita y se enfría lentamente (hasta 500° C) de manera que la austenita se transforma en ferrita y perlita de grano grueso. Después se enfría al aire.
- Recocido globular de austenización incompleta. Para aceros hipereutectoides y aceros aleados usados en herramientas. Se calienta el acero de modo que sólo la ferrita se transforma en austenita (la cementita no se transforma y adopta la forma de glóbulos incrustados en la austenita). Se hace luego un enfriamiento lento en el horno hasta que la austenita se transforma (500° C) y después se enfría al aire.

2) Con calentamientos a temperaturas inferiores a la de austenización (subcríticos).

- Recocido globular subcrítico: se enfría muy lentamente hasta 500° C y después al aire. Se consigue frente al anterior una cementita de estructura globular más perfecta. (La cementita que forma parte de la perlita en forma de láminas adopta ahora una estructura en forma de glóbulos- se forma perlita sorbítica)
- Recocido de ablandamiento o de homogenización: se calienta el acero a una temperatura de 700 a 725° C y se deja enfriar al aire. Se emplea en aceros después de la forja o laminación, generalmente en aceros aleados de gran resistencia devolverles sus propiedades mecánicas iniciales.
- Recocido de estabilización o de relajación de tensiones: se calienta la pieza a 100-200° C durante un tiempo muy prolongado (100 h o más). (Santamaria, 2011, pág. 59)

### **c. Revenido**

Se entiende por revenido de un acero, el proceso de calentamiento de un acero martensítico a temperaturas inferiores a las de la temperatura de transformación eutectoide, para así eliminar las tensiones generadas durante la transformación martensíticas y ablandar la estructura devolviendo tenacidad al material, primero se austeniza el acero, para después enfriarlo rápidamente y producir así la

transformación martensítica. De esta manera, se evita la transformación a perlitas. Después, el acero es calentado de nuevo a una temperatura por debajo de la de inicio de transformación austenítica, para ablandar la martensita mediante su transformación en una estructura de carburo de hierro esferoidal en una matriz de ferrita.

La martensita es una estructura metaestable y por lo tanto se transforma cuando se aporta energía al material. En martensitas de aceros ordinarios de bajo carbono, martensita en cintas o listones, existe una alta densidad de dislocaciones, y estas dislocaciones dan lugar a estados de menor energía para los átomos de carbono que sus posiciones intersticiales normales.

Para aceros martensíticos con más del 0.2% de carbono, el principal modo de redistribución del carbono, hasta temperaturas de revenido por debajo de los 200°C, es por precipitación de un carburo épsilon,  $Fe_2.4C$ , de tamaño muy pequeño que mantiene las distorsiones de la estructura generadas durante la transformación martensítica.

Cuando los aceros se revienen entre 200 y 300°C, el precipitado adopta formas aciculares que fragilizan enormemente el material. (Lopez, 2011, pág. 83).

### **Tipos del revenido**

#### **Revenido del exterior:**

La pieza de trabajo fría se calienta lentamente a través de las fuentes térmicas correspondientes y luego de alcanzar la temperatura de revenido se refrigera.

#### **Revenido del interior:**

La pieza de trabajo se enfría brevemente luego del temple, de tal forma que solamente la capa exterior está fría. Del interior penetra nuevamente el resto de calor, luego de alcanzar la temperatura de revenido se refrigera.



El mismo efecto se suspende cuando la pieza de trabajo se refrigera solamente de un lado y el calor restante contenido en el otro lado sale nuevamente. Luego del temple se debe frotar rápidamente el punto que se quiere revenir, con un esmeril hasta el blanco, de tal forma que se puedan reconocer los colores de revenido. (Wenghofer, 2004, pág. 96)

#### **d. Normalizado**

El proceso de normalización se completa calentando la pieza deseada de metal a una temperatura de alrededor de 100 grados Fahrenheit (40 grados celsius) por encima de la temperatura crítica superior. El acero se mantiene a esta temperatura durante un período de tiempo especificado para garantizar que el proceso de normalización ha concluido. Una vez calentado a la temperatura correcta, la normalización se ha completado enfriando la pieza de acero a temperatura ambiente, que es un proceso de enfriamiento más rápido que otros tratamientos de calor de acero que se utilizan comúnmente.

Al completar la normalización del acero, la resistencia de la pieza de acero se puede mejorar, en comparación con el acero que no se normaliza o se trata con otro proceso de calentamiento. El rendimiento dúctil del acero también se puede mejorar a través de la normalización; esto es posible sin la reducción de la dureza o resistencia como puede suceder con otros tratamientos térmicos.

Al utilizar el proceso de normalización, se pueden hacer modificaciones a la estructura del grano del acero para que sea utilizable para propósitos específicos. Los aceros con niveles bajos de carbono no tienen su tasa de ductilidad alterada utilizando el proceso de normalización. La normalización se utiliza generalmente para las piezas de acero que requieren la máxima cantidad de fuerza y resistencia al impacto. (Solis, 2014, pág. 118)

### **2.4.3.3. Métodos de Tratamiento Térmico de soldadura.**

#### **a. Integral**

- 1) Horno Estacionario
- 2) Horno Portátil
- 3) Calefaccionado interno con quemadores de alta velocidad de Tratamiento

#### **b. Localizado**

- 1) Resistencias Eléctricas
  - Calefactores Flexibles
  - Método de la Mampara
- 2) Inducción
- 3) Radiación con lámparas de cuarzo
- 4) Radiación por calefactores a gas tipo infrarrojo
- 5) Exotérmico
- 6) Llama (Laufgang, 2004, pág. 120)

#### **1. Resistencias eléctricas con calefactores flexibles.**

El Tratamiento Térmico localizado consiste en calentar a la Temperatura de Tratamiento la unión soldada y una banda e material base a cada lado del cordón de soldadura. Para ello se colocan sobre la banda de calentamiento calefactores eléctricos flexibles de diversas configuraciones que se adaptan a la forma de la parte tratada. Estos calefactores se fabrican con un cable de Nicron que oficia de resistencia eléctrica rodeado por cuentas cerámicas. (Laufgang, 2004, pág. 120)

Estos calefactores son alimentados en general por una tensión no superior a 85V, por seguridad del personal de la obra. Su potencia oscila alrededor de los 4 Kw.

El equipamiento necesario para calentamiento por resistencias eléctricas incluye además:

- Aislación refractaria de fibra cerámica.
- Fuente de poder, en general son equipos con un transformador de 70Kw.
- Programadores de ciclo térmico, generalmente son seis (6) por equipo lo que indica que se puede realizar seis (6) Tratamientos distintos al mismo tiempo.
- Registrador de temperaturas de hasta 12 Termocuplas
- Termocuplas tipo K aisladas en seda de vidrio con alambre de 0,5 / 0,8 mm de diámetro, para ser soldadas por descarga Capacitiva.
- Soldador de TC por descarga Capacitiva. (Laufgang, 2004, pág. 121)

### **Ventajas**

- Se puede mantener una temperatura de precalentamiento uniforme y continua durante la soldadura y durante las interrupciones de la misma en forma automatizada.
- La Temperatura puede ajustarse con exactitud y rápidamente.
- Los soldadores trabajan confortablemente y no necesitan interrumpir la soldadura para elevar la temperatura de precalentamiento. No hay quemadores que incomoden los movimientos del soldador.
- Puede distribuirse el calor no uniformemente como ocurre en la parte superior e inferior de una cañería horizontal o en piezas de distintos espesores como caños soldados a bridas de gran masa o espesor entregando mayor calor a las secciones gruesas y así mantener la temperatura uniforme. (Laufgang, 2004, pág. 122)

### **Desventajas**

- Los calefactores pueden quemarse durante el Tratamiento

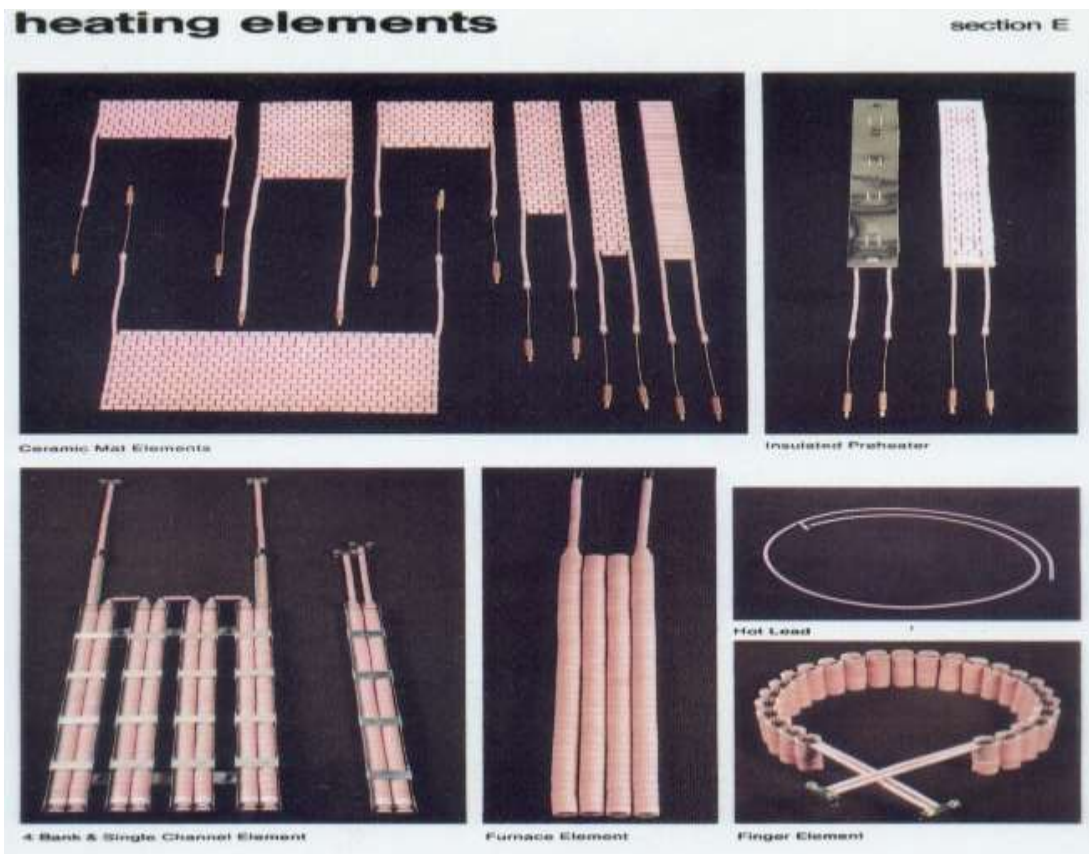
- Pueden ocurrir cortocircuitos entre el calefactor y la cañería quedando marcas en la misma.
- Esto no es frecuente si se usan calefactores en buen estado y adecuados. (Laufgang, 2004, pág. 122)

### **Resistencias Eléctricas.**

- **Tipo four-bank. Método de la Mampara**

Dentro del método de Calentamiento por resistencias eléctricas, además de los calefactores flexibles mencionados anteriormente existe un método que se llama " De la Mampara" que pasaremos a describir:

Cuando el ancho de banda de calentamiento es muy grande, por ejemplo en un recipiente de 3000 mm de diámetro y una pulgada de espesor el ancho de banda según ASME VIII sería dos veces el espesor a cada lado del cordón de soldadura, o sea aproximadamente 5" (130 mm) para nuestro ejemplo. Hay veces que las Especificaciones de Ingeniería exigen que el ancho de banda sea por ejemplo, como ya ha ocurrido, 1200 mm en vez de 130mm. En estos casos cubrir toda la superficie de la banda demandaría muchos calefactores flexibles (150 en vez de 35), una gran cantidad de Termocuplas y máquinas de Tratamiento Térmico. (Laufgang, 2004, pág. 124)



**Grafico 2.3.** Elementos de calefactores  
**Fuente:** Laufgang., 2004, pág. 125

En estos casos se puede proceder de la siguiente manera:

Se aísla exteriormente la banda de calentamiento y se colocan interiormente, donde finaliza la banda a calentar, dos "tapas" o mamparas aisladas con el objeto de crear un compartimiento que funciona como un horno donde se encuentra el propio recipiente, aislado exteriormente.

Dentro del compartimiento se colocan bandejas calefactoras de 12Kw de potencia (calefactores tipo Four-Bank) sobre estantes metálicos a diferentes alturas pero siempre dentro del tercio inferior del recipiente, ya que el aire caliente siempre tiende a elevarse. Estos calefactores son de 220V (tener en cuenta tema seguridad), se disponen eléctricamente en estrella y de esta manera con 12 calefactores y una fuente

de tensión trifásica es suficiente para lograr las temperaturas de hasta 720°C que se requieren como máximo en Tratamiento Térmico.

Con un posicionamiento adecuado de los calefactores se logra mantener una temperatura uniforme en todo el perímetro de la banda de calentamiento. (Laufgang, 2004, pág. 126)

#### **2.4.3.4. Efectos indeseables del ciclo térmico de soldadura**

Son esencialmente tres

- Generación de Tensiones Residuales y/o distorsión
- Modificación de la Estructura Metalográfica
- Absorción de gases por el metal fundido. (Laufgang, 2004, pág. 128)

##### **a. Tensiones residuales y/o distorsión**

Las construcciones soldadas contendrán usualmente Tensiones Residuales del orden de la resistencia a la Fluencia paralelas al eje de la Soldadura y una fracción de la misma (dependiendo del grado de embridamiento, espesor, o restricción a la contracción) en las direcciones perpendiculares al cordón. Las Tensiones Residuales también pueden estar presentes en el material base producto del laminado, rolado u otros Tratamientos Térmicos anteriores.

La mayoría de los Metales al calentarse se dilatan. Si el calentamiento es localizado como ocurre durante la soldadura, la falta de uniformidad de la Temperatura produce dilataciones diferentes en distintos puntos de la pieza en un mismo instante generándose por esa razón Tensiones Térmicas. (Welding Handbook, 2004).

**Los efectos de las tensiones residuales en el modo de falla se pueden resumir en lo siguiente:**

**Fluencia y Colapso Plástico.** El efecto de las Tensiones Residuales es insignificante para estructuras Soldadas bajo tensiones superiores a la fluencia.

**Fractura.** A medida que el nivel de las tensiones aplicadas aumenta, el efecto de las Tensiones Residuales disminuye.

Se suman a las Tensiones aplicadas. Cuando se combinan pueden causar fluencia localizada haciendo necesaria alguna corrección en el diseño.

Son perjudiciales en situaciones de baja tenacidad (Ej. Debajo de la Temperatura de Transición para aceros estructurales) pero no necesariamente en situaciones de alta Tenacidad.

**Fatiga.** Las Tensiones Residuales de Compresión pueden mejorar la resistencia a la fatiga de estructuras Soldadas. Las Tensiones Residuales de Tracción en cambio disminuyen la resistencia a la fatiga ya que elevan la Tensión Media y la Relación entre la Tensión Mínima y la Máxima ( $f_{min}/f_{max}$ ).

Su efecto es perjudicial al evitar el cierre de la fisura. Aumentan la Relación  $f_{min} / f_{max}$ . Independientemente de la Relación de las tensiones aplicadas. Las Tensiones Residuales de Compresión retardan o anulan el crecimiento de fisuras por fatiga al reducir  $f_{min} / f_{max}$  e inducir el cerramiento de la fisura.

Se pueden introducir Tensiones de Compresión localizadas por calentamiento local, compresión local, martillada, o sobrecargas.

El efecto de las tensiones residuales tiende a disminuir luego de cargas repetidas. "Fatigue Strength of Welded Structures.K.G.Richards. The Welding Institute"

**Corrosión bajo Tensión.** En un ambiente apropiado, tensiones Residuales de Tracción pueden ser suficientes para causar Corrosión bajo Tensión en un material particular con o sin la presencia de Tensiones adicionales.

**Pandeo.** Las Tensiones Residuales reducen significativamente la resistencia al Pandeo de columnas fabricadas por Soldadura.

**Creep.** Tiene poco o ningún efecto.

**Fisuración de Soldadura:** Las Tensiones Residuales pueden influir en distintos tipos de fisuración de Soldadura. Fisuración en caliente durante la solidificación. Fisuración por Hidrógeno en zonas duras de la ZAC, desgarre Laminar, fisuración por recalentamiento.

**Distorsión.** En estructuras esbeltas, las tensiones residuales aunque pequeñas pueden producir distorsiones importantes durante el posterior mecanizado. (Laufgang, 2004, pág. 128)

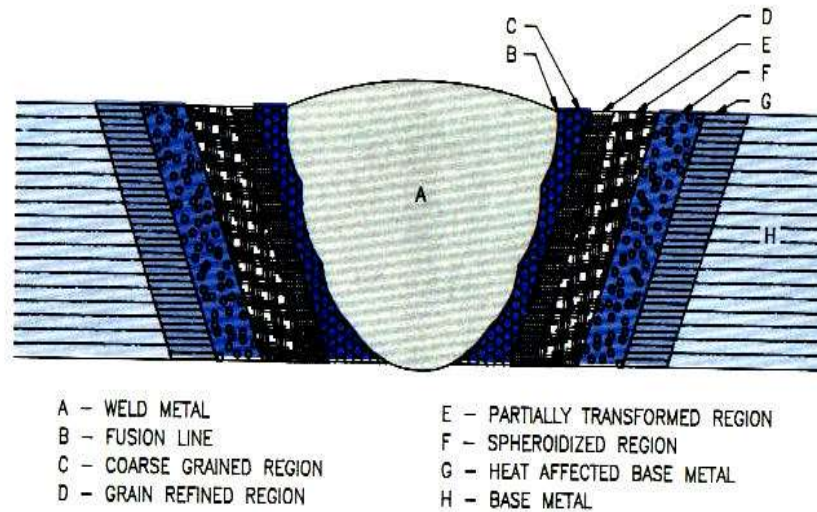
#### **b. Modificación de la estructura metalográfica**

La mayoría de los aceros modernos obtienen sus propiedades mecánicas por intermedio de procesos termomecánicos como Forja, laminación, extrusión, fundición o Tratamiento Térmico los que realizados correctamente proporcionan una microestructura óptima para soportar las solicitaciones mecánicas. Cuando a esta estructura se le aplica el ciclo térmico de la Soldadura se forman dos zonas perfectamente diferenciadas.

- Metal fundido con o sin presencia de metal de aporte.
- Zona afectada por el calor (ZAC). Esta zona está afectada estructuralmente sin haber llegado a la fusión. Estas dos zonas ya no tienen la Estructura óptima original del Material Base y por lo tanto puede considerarse a este cambio estructural un efecto Indeseable del ciclo térmico de Soldadura. Esto puede controlarse parcialmente por dos medios.
- Modificando el Ciclo Térmico de la Soldadura.
  - ✓ Actuando sobre las variables del proceso de Soldadura. El Calor Aportado (Heat Input). Su aplicación tiene limitaciones.
  - ✓ Por medio del Pre calentamiento del Material Base.
- Realizando un ciclo térmico luego de la Soldadura con Temperaturas y velocidades de calentamiento / enfriamiento controlado.



A este ciclo se le llama TRATAMIENTO TÉRMICO POST SOLDADURA. (TTPS) (PWHT) y conjuntamente con el Pre calentamiento es la forma idónea para evitar o corregir los Efectos Indeseables de la Soldadura. (Seferian, 1962, pág. 101)



**Grafico 2.4.** Microestructura de una Soldadura de un acero  
**Fuente:** Welding Journal.

#### 2.4.4. Tratamiento Térmico Post Soldadura De Acero Al Carbono

En todo tipo de aplicaciones en donde se requiera soportar esfuerzos por encima de los 600 MPa. (61 kgf/mm<sup>2</sup>), en donde se necesite una superficie con dureza media, 30 a 40 HRC, y un centro tenaz.

Aunque su maquinabilidad no es muy buena, se mejora con el estirado en frío, además con este acabado se vuelve ideal para flechas, tornillos, etc. de alta resistencia.

Por sus características de temple, se tiene una amplia gama de aplicaciones.

De resistencia media. Responde al tratamiento térmico y al endurecimiento por llama o inducción, pero no es recomendado para cementación o cianurado.

Cuando se hacen prácticas de soldadura adecuadas, presenta soldabilidad adecuada. Por su dureza y tenacidad es adecuado para la fabricación de componentes de maquinaria. (Salgueiro, 2012, pág. 104)

#### **2.4.4.1. Tratamiento térmicos recomendados (valores en °C):**

- Normalizado (850-880)° C Aire
- Recocido subcritic (670-710)° C 20°C/hasta 560 ° C aire
- Templado (840-860)° C Agua-Aceite
- Revenido (530-620)° C Aire (Tolosa Granados, 2012)

#### **2.4.4.2. Propiedades mecánicas del acero al carbono:**

- Dureza
- Esfuerzo de fluencia
- Esfuerzo máximo
- Elongación
- Módulo de elasticidad
- Maquinabilidad (Flores , 2012, pág. 105)

#### **2.4.4.3. Propiedad de los materiales**

Se denomina propiedades mecánicas a la forma en que los materiales responden a la aplicación de fuerzas. Este comportamiento depende del tipo de enlace interatómico, la disposición de los átomos o moléculas en estructuras cristalinas, el tipo y número de imperfecciones (que están siempre presentes en los sólidos) y de la microestructura granular. (Velasquez, 2012, pág. 90)

Describe también la forma en que un material soporta fuerzas aplicadas, incluyendo fuerzas de tensión, compresión, impacto, cíclicas o de fatiga, o fuerzas a altas temperaturas.

**a. Elasticidad.** Es la propiedad que tiene algunos materiales de soportar mucha tensión sin experimentar deformación permanente. Es decir, un material elástico es aquel que es difícil de formar permanente. Lo opuesto a elasticidad se denomina plasticidad y es la propiedad que tiene algunos materiales de sufrir deformación permanente con poca tensión. La elasticidad se relaciona con la tensión, no con la cantidad de deformación, y se mide en Megapascales

**b. Fragilidad.** Es la propiedad que tienen algunos materiales de fracturarse antes que experimentar deformación permanente. Lo contrario es ductilidad o maleabilidad, que son las propiedades que tienen algunos materiales de experimentar mucha deformación permanente bajo cargas de tracción o compresión respectivamente. La fragilidad se relaciona con deformación y se mide en % de deformación para una carga dada.

**c. Rigidez.** Es la propiedad que tienen algunos materiales de necesitar mucha tensión para deformarse elásticamente. Lo contrario es flexibilidad que es la propiedad que tienen algunos materiales de deformarse elásticamente bajo pequeñas tensiones. También las podemos definir como la posibilidad de sufrir poca o mucha deformación elástica respectivamente.

Es importante que quede clara la diferencia entre “elástico”, dificultad para deformarse permanentemente, y “flexible”, mucha deformación elástica que se produce más fácilmente, ya que estos términos suelen confundirse. Un material puede ser elástico y flexible (una goma) o elástico y rígido (el mármol).

**d. Resistencia.** Es la propiedad en algunos materiales de soportar mucha tensión antes de fracturarse. Lo contrario es la debilidad que es la propiedad que tienen algunos materiales de romperse bajo cargas pequeñas. La resistencia se relaciona con tensión y se mide en MPa.

**e. Dureza.** La dureza de un material es el resultado de muchas propiedades, entre ellas la resistencia a la compresión, el límite elástico, ductilidad y resistencia a la abrasión, por lo que es difícil de definir. La definición más adecuada de dureza es: la dureza es la oposición que realiza un material a ser penetrado, hendido o rayado. Lo contrario de duro es blando y en este caso la huella será más grande. Según el tipo de indentador utilizado existen diversos ensayos de dureza y diversas unidades de medida, que se llaman unidades Vicker, Brinell, Knoop, Rockwell etc.

**f. Resistencia al desgaste:** El desgaste de un material es la pérdida de estructura superficial del mismo. El desgaste puede ser de origen mecánico, debido al raspado de la superficie por sustancias abrasivas (desgaste abrasivo) o a tensiones intermitentes o microtraumatismos (desgaste por fatiga) y de origen químico por disolución o corrosión (desgaste erosivo). En la resistencia al desgaste influye la dureza del material y también su estructura, como veremos al hablar de las Resinas Compuestas.

Todas estas propiedades no se dan de manera absolutas ni aisladas dentro de cada material. El comportamiento mecánico de un material dado estará en función de la combinación y proporción de sus componentes. (Flores , 2012, pág. 100)

## **2.5.- Hipótesis**

EL tratamiento térmico post soldadura GTAW en tuberías de proceso de acero al carbono ASTM A 106 GR-B incide significativamente en la resistencia a la tracción y dureza.

## **2.6.- Señalamiento de variables**

### **2.6.1.- Variable Independiente**

Tratamiento térmico post soldadura GTAW en tuberías de proceso de acero al carbono ASTM A106 GR-B.

### **2.6.2.- Variable dependiente**

Resistencia a la tracción y dureza

### **2.6.3.- Término de relación**

Incidencia.

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

La presente investigación se enfocó en el análisis Cuanti - Cualitativo, este método de ensayo consiste en una prueba de laboratorio para determinar el mejoramiento en el alivio de tensiones en base a la medición de durezas y el ensayo a la resistencia a la compresión de un acero al carbono. Durante la prueba, se debe considerar los procedimientos normalizados, procedimiento de toma de lecturas, así como el análisis de datos y de resultados.

Se debe tomar en cuenta que los aceros al carbono se debe elegir un TTPS con especial cuidado por los efectos metalúrgicos que producirá en la tenacidad a la fractura, por lo anterior se recomienda realizar ensayos de fractura de probetas entalladas en la ZAC.

#### **3.1.- Modalidad Básica de la Investigación**

La presente investigación se enmarcó dentro de un diseño de investigación de campo y bibliográfica – documental.

##### **3.1.1.- Investigación de Campo**

Según (Hidalgo, 2010, pág. 42), es el estudio de los hechos en el lugar en el que se producen, a través del contacto directo del investigador con la realidad. Tiene como finalidad recolectar y registrar sistemáticamente información primaria referente al problema en estudio. Entre las técnicas de campo utilizadas se destacan: la observación, la entrevista y la encuesta.

Para el desarrollo del presente proyecto se utilizará la investigación de campo para la obtención de datos del ensayo de dureza y resistencia a la compresión bajo Norma ASME B31.3, realizado en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica identificando los valores que mejoro con el alivio de tensiones.

### **3.1.2.- Investigación Bibliográfica - Documental**

Para (Abril, 2003, pág. 65), “la investigación Bibliográfica documental tiene el propósito de comparar, profundizar y deducir de diferentes enfoques, teorías, conceptualizaciones y criterios de diversos autores sobre una cuestión determinada, basándose en documentos, libros, revistas, periódicos y otras publicaciones”.

Esta es muy importante, pues según (Aguilar, 1996, pág. 63), “Constituye la tarea inicial o punto de partida para cualquier otro tipo de estudio”, convirtiéndose así en la base para la elaboración de este trabajo.

Esta modalidad se desarrolló en su mayoría en el Capítulo II, por cuanto en este se estableció el marco teórico del trabajo, utilizando varios datos e información bibliográfica, dirigida al problema.

La investigación está respaldada en diferentes documentos bibliográficos y/o documental, se tomó en cuenta criterios y obras de diferentes autores, que permitieron añadir al proyecto de investigación información sustentada en citas bibliográficas los mismos que son: libros, investigaciones realizadas en años anteriores y páginas web de manera que han ayudado a fortalecer el marco teórico y el desarrollo de la operacionalización de variables.

### **3.1.3 Investigación Experimental**

En este tipo de investigación se realizaron diferentes ensayos para la comprobación o verificación de la variación de durezas, logrando obtener una lista de datos y poder plantear posibles soluciones al problema planteado.

En esta investigación se estudió las relaciones de causalidad utilizando la metodología experimental con la finalidad de controlar las variables que están presentes en el fenómeno de fragilidad. Se fundamentará en el manejo activo y el control sistemático de las variables.

### **3.2.- Nivel o Tipo de Investigación**

En el presente trabajo se utilizó la investigación exploratoria y descriptiva que se detallan a continuación:

#### **3.2.1 Investigación Exploratoria**

Se investigó todos y cada uno de los detalles del proyecto, tanto en su diseño como su funcionamiento. Para esto se indagará cada una de las variables del análisis, generando hipótesis y reconociendo las variables de interés investigativo.

#### **3.2.2.- Investigación Descriptiva**

Según (Naranjo, 2004, pág. 135) Permite predicciones rudimentarias de medición precisa que requiere de conocimientos suficiente para muchas investigaciones de este nivel tienen interés de acción social. Con la finalidad clasificar elementos y estructuras, modelos de comportamiento, según ciertos criterios

Para (Naranjo, 2004, pág. 135) Las investigaciones descriptivas constituyen el punto de partida de las líneas de investigación, su objetivo es determinar la situación de las variables involucradas en el estudio en un momento dado con 45 relación a su presencia o ausencia, la frecuencia con que se presenta un fenómeno (incidencia o prevalencia), características de las personas, lugar y periodo donde ocurre.

El nivel de investigación descrito con anterioridad fue el que se utilizó para el desarrollo, estudio, análisis e investigación del problema planteado ya que este vinculó a todos los actores objetos de estudio.



### 3.2.3 Estudio de Casos para ensayos

La combinación de los casos para el análisis del presente estudio se realizó de la siguiente forma:

#### 3.2.3.1 Condiciones del material (A):

Acero al carbono A106 GR-B sin tratamiento térmico, Acero al carbono A106 Gr-B con tratamiento térmico.

#### 3.2.3.2 Velocidad de calentamiento:

La velocidad fue de acuerdo a la norma B31.3 la cual nos indicó el proceso de todo el proceso de TTPS.

### 3.3.- Población y Muestra

#### 3.3.1.- Población

La población sobre la cual versa la investigación está constituida por placas de acero al carbono A106 Gr-B, a los cuales se realizó una serie de pruebas en el laboratorio con el objeto de obtener datos acerca de la disminución a la resistencia en la zona de la soldadura.

Tabla 3.1. Determinación de la Población

MATERIAL	TRATAMIENTO TÉRMICO TEMPERATURAS			
ASTM A 106 GR-B	500°C	625°C	750°C	870°C

Elaborado por: Mauricio Adame

### 3.3.2.- Muestra

Según Información de (Naranjo, 2004, pág. 135) la muestra es una parte de la población seleccionada de acuerdo con una regla o plan, debe ser representativa, y además ofrecer la ventaja de ser la más práctica, la más económica y la más eficiente en su aplicación.

La muestra de nuestra investigación se basó en la norma ASME SECCIÓN IX donde nos indica obtener de cada probeta dos muestras, una para tensión y una para metalografía, los datos se obtuvieron de las placas de acero al carbono A106 GR-B soldadas con GTAW.

Para realizar este ensayo se realizó tres probetas soldadas de tubería, donde se escogió dos de las probetas, a las cuales dividimos en dos a cada una, obteniendo un total de cuatro probetas, se realizó el tratamiento térmico respectivo, a diferentes intervalos de temperatura (500°C, 625°C, 750°C, 870°C), luego se sometieron a pruebas de tracción y dureza para la comparación respectiva.



**Grafico 3.1.** Probetas soldadas  
**Elaborado por:** Mauricio Adame

Se realiza el corte de las probetas para tratamiento térmico de las probetas 1 y 2 de probeta 3 no se realiza ningún corte debido a que esta no se le realizara tratamiento térmico para poder realizar posteriormente las comparaciones respectivas.



**Grafico 3.2.** Probetas soldadas por la mitad  
**Elaborado por:** Mauricio Adame

**Tabla 3.2.** Cantidad de muestras

<b>Tipo de Ensayo</b>	<b>Tratamiento Térmico 500°C</b>	<b>Tratamiento Térmico 625°C</b>	<b>Tratamiento Térmico 750°C</b>	<b>Tratamiento Térmico 870°C</b>
Dureza	9	9	9	9
Tracción	5	5	5	5
Metalografía	1	1	1	1

**Elaborado por:** Mauricio Adame

### 3.4.- Operacionalización de las Variables

Variable Independiente: Tratamientos Térmicos Post Soldadura en tuberías de proceso de acero al carbono

**Tabla 3.3.** Operacionalización de la variable independiente

Conceptualización	Categorías	Indicadores	Ítems	Técnica /Instrumento
Tratamiento térmico post soldadura con variación de operaciones de calentamiento y enfriamiento, bajo condiciones controladas de temperatura, tiempo de permanencia, velocidad, presión, de los metales.	Aporte de soldadura	Tipo de electrodo	ER-70S6 90 – 100 (A)	Norma  Catálogos  Observaciones
Distorsión que presentan en la estructura de propiedades de los elementos soldados.	Tipo de tratamiento térmico	Temperatura de Revenido	Temperatura (500°C, 625°C, 750°C, 870°C)	Norma  (ASME B31.3)
		Tiempo	1 Hora	

Elaborado por: Mauricio Adame

**Variable Dependiente: Resistencia a la tracción y dureza**

**Tabla 3.4.** Operacionalización de la Variable Dependiente

Conceptualización	Categorías	Ítems	Indicadores	Técnica /Instrumento
<p>PROPIEDADES MÈCANICAS</p> <p>Transformación de componentes estructurales mediante esfuerzos aplicados en elementos de prueba para determinar resistencia de la zona soldada</p>	Ensayo de tracción	Resistencia a la tracción (MPa)	415 (MPa)	<p>Normas</p> <p>Observaciones</p> <p>Bibliografía.</p> <p>Catálogos</p>
		Resistencia a la fluencia (MPa)	240 (MPa)	
		Modulo elástico (GPa)	208(GPa)	
	Ensayo de dureza	Brinell	225 Brinell	<p>Normas</p> <p>Observaciones</p> <p>Bibliografía.</p> <p>Catálogos</p>
		Análisis metalográfico.	Componentes micro estructurales.	

**Elaborado por:** Mauricio Adame

## **Técnicas e Instrumentos**

Las técnicas utilizadas para la recolección de la información fueron:

- La observación directa, puesto que se estará en contacto con el objeto de estudio en escenarios y ambientes debidamente preparado y equipado para realizar la investigación.
- En la investigación en diversas fuentes bibliográficas mediante la investigación documentada de las variables que se está investigando.

### **3.5.- Plan de Recolección de la Información**

En función del logro de los objetivos de este estudio, y una vez definido el tipo de la investigación fue necesario definir las técnicas de recolección de datos para construir los instrumentos que nos permitan obtenerlos de la realidad.

Recolección de datos

- Datos primarios: son aquellos que el investigador obtiene directamente de la realidad, recolectándolos con sus propios instrumentos.
- Datos secundarios: son registros escritos que proceden también de un contacto con la práctica, pero que ya han sido elegidos y procesados por otros investigadores.

Este plan contempla estrategias metodológicas requeridas por los objetivos e hipótesis de investigación, de acuerdo con el enfoque escogido, considerando diferentes elementos.

### **3.6. Plan de Procedimiento de la Información**

Se realizó una revisión crítica de la información recogida, es decir se desechará todo tipo de información contradictorio, incompatible o con algún tipo de errores, que altere la información real.

En el procesamiento de la información se consideró importante consultar los objetivos planteados; para verificar los planes originales referentes a la presentación de datos y la realización del análisis estadístico.

Después de hacer esto, se elaboró una estrategia que le permita organizar los datos en bruto y efectuar los cálculos necesarios. Adicionalmente el procesamiento de datos se entiende habitualmente las técnicas eléctricas, electrónicas o mecánicas usadas para manipular datos para el empleo humano o de máquina.

Para investigar la variación de tensiones residuales al momento de realizar el tratamiento térmico, se basó en la Norma ASTM A-106 GR.B la cual define la reducción de esfuerzos residuales en la zona soldada, para obtener resultados experimentales.

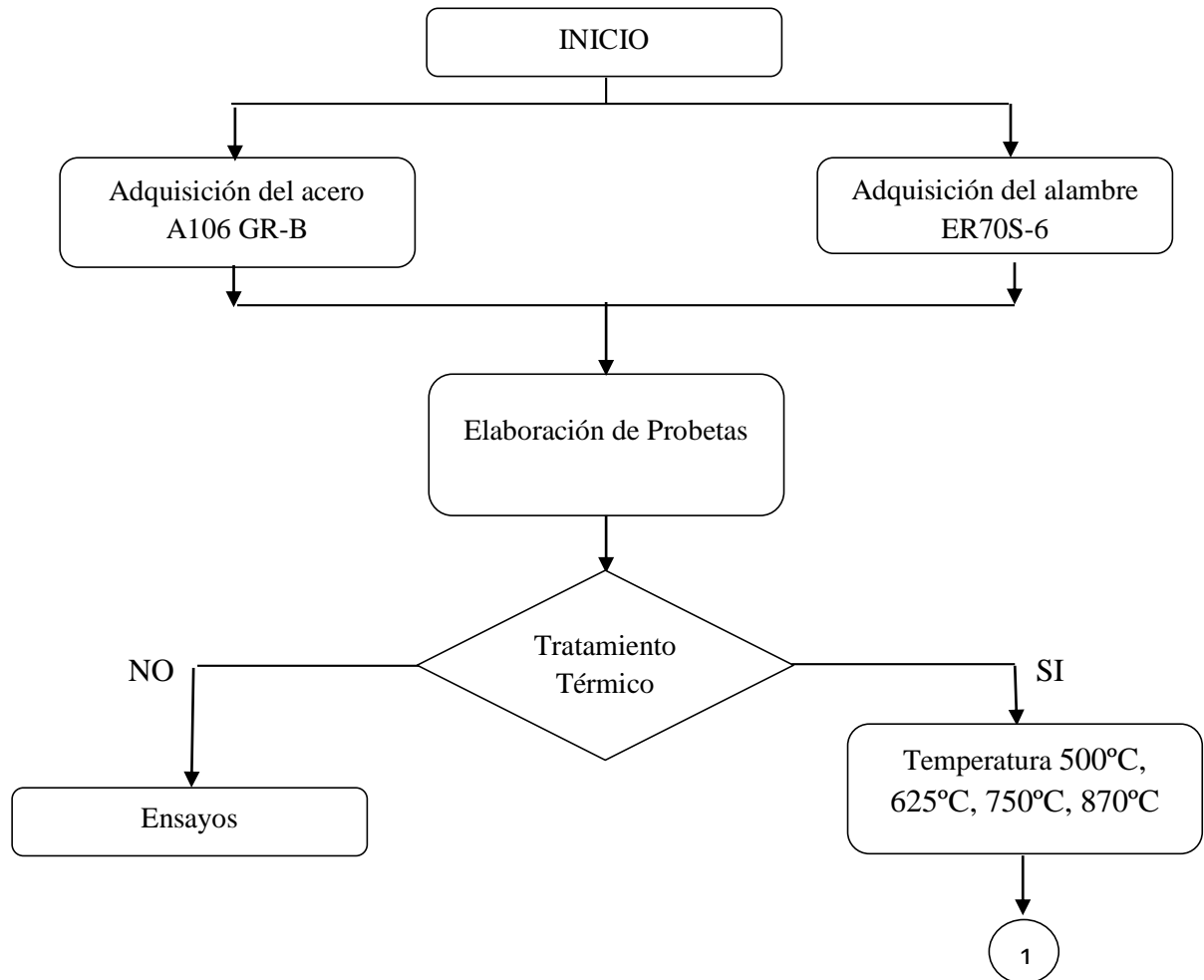
Mediante el tratamiento térmico post soldadura se pudo verificar la variación de esfuerzos residuales que se genera por soldadura.

## CAPITULO IV

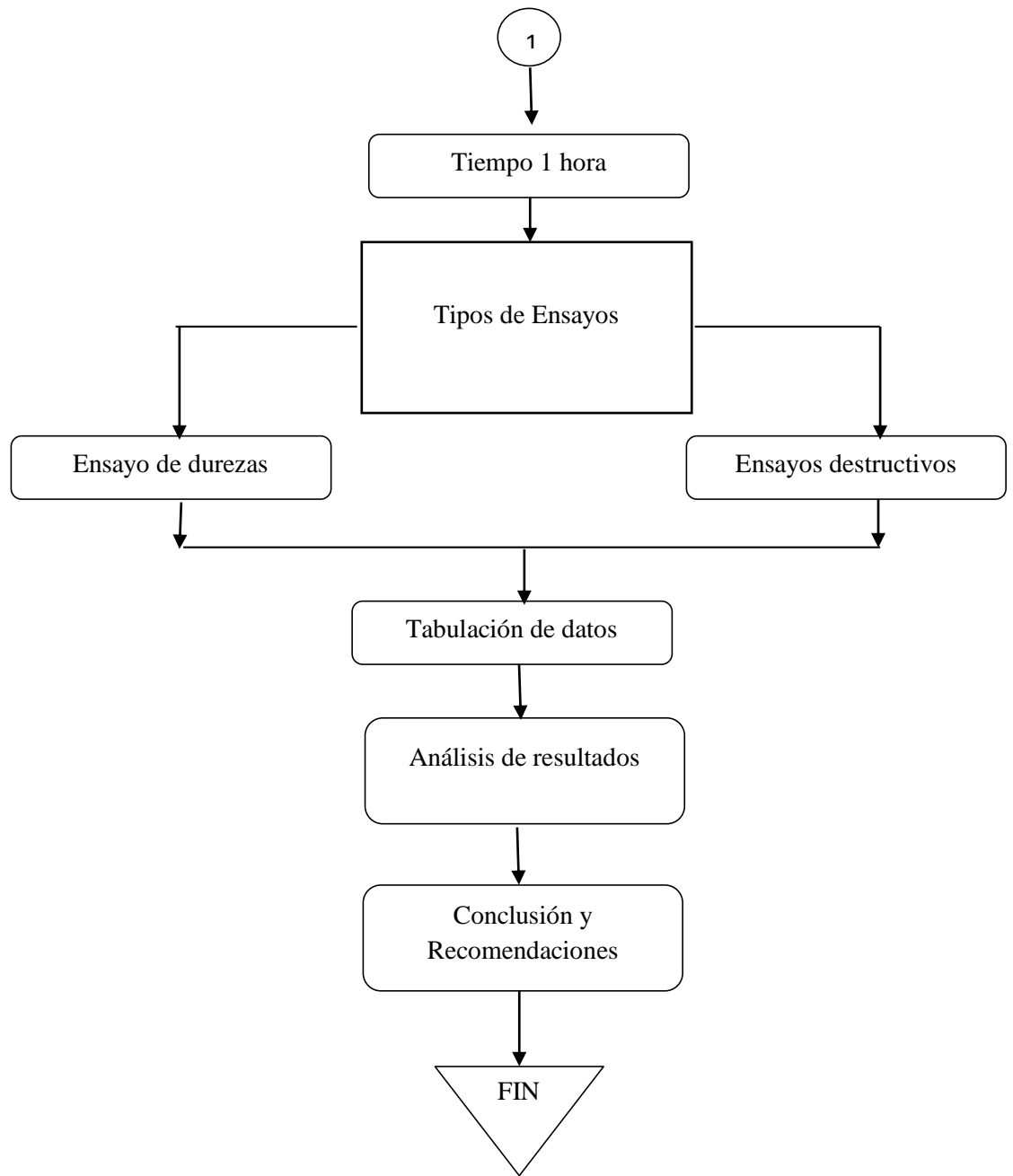
### ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1. Análisis de los resultados

Una vez realizado las probetas, el tratamiento térmico y sus ensayos respectivos, se tomó los resultados los cuales se pueden considerar como válidos y aceptables para su posterior ejecución basada en el diagrama que se indica a continuación.









#### 4.1.1 Registro de procesos de tratamiento térmico post soldadura.

Tabla 4.1. Registros



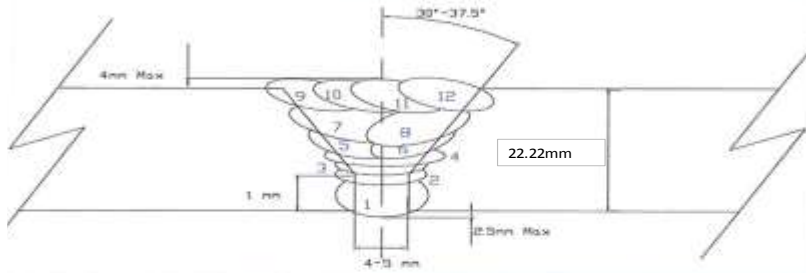
Item No.	DESCRIPCION DEL PROCESO Y ACTIVIDADES DE CONTROL	CRITERIO DE ACEPTACIÓN * NOTA 1	VERIFICACION DE DOCUMENTOS	LIBERADO POR:	
				VERIFICADO POR	FECHA
 <b>SISTEMA DE CALIDAD</b> <b>PLAN DE INSPECCION Y PRUEBAS PARA TRABAJOS MECANICOS</b> <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> REG: UTA-MEC-001      LUGAR: U.T.A FECHA: 20/12/2014 					
<b>1,0 SOLDADURA</b>					
	Registro de datos informativos del proceso	ASME SECC IX	UTA-MEC-002	ING. MG. HENRY VACA	29/12/2014
<b>2,0 TRATAMIENTO TÉRMICO POST SOLDADURA</b>					
	Reporte de curva de tratamiento térmico posterior a la soldadura	ASME B31.3, ASME VIII SECC1	UTA-MEC-004	ING. MG. HENRY VACA	10/02/2015
	Reporte Temperaturas del tratamiento térmico.		UTA-MEC-005	ING. MG. HENRY	14/02/2015
<b>3,0 ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS</b>					
	Reporte de durezas antes del tratamiento térmico	ASTM E10	UTA-MEC-003	ING. MG. HENRY VACA	09/02/2015
	Reporte de durezas despues del tratamiento térmico	ASTM E10	UTA-MEC-006	ING. MG. HENRY VACA	26/02/2015
<b>4,0 ENSAYOS DESTRUCTIVOS</b>					
	Reporte de macrografía	ASTM E3	UTA-MEC-007	ING. MG. HENRY	23/03/2015
	Reporte de ensayos de	ASTM E8	UTA.MEC-008	MAURICIO	01/03/2015
* NOTA 1: EN ESTE CAMPO SE REGISTRARA LA NORMA O SI FUERA EL CASO EL PROCEDIMIENTO QUE RIGUE LA PRUEBA					

Elaborado por: Mauricio Adame

#### Presentación de resultados



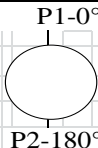
Luego de realizar todos los ensayos se obtuvieron datos, los expongo de manera clara y entendible, para lo cual se utilizó formatos de proceso de soldadura, Ensayos de Dureza y de Tracción.

Proceso de soldadura

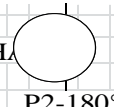
		<b>REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS</b> <b>UTA-MEC-002</b>				
<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>						
REG. No.:	UTA-MEC-002-01	LUGAR:	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO			
FECHA:	29/12/2014					
PROBETA N.-	AUTORIZADO POR.-	REALIZADO POR.-	NORMA.-	TIPO DE MATERIAL	PROCESO DE	
01, 02, 03	ING. MG. HENRY VACA	EGDO. MAURICIO ADAME	ASME SECCION IX	ASTM A106 Gr. B	GTAW	
ESPECIFICACIONES DEL PROCESO DE SOLDADURA						
TIPO DE JUNTA:	POSICIÓN DE SOLDADURA:	PROGRESIÓN:	DISEÑO DE JUNTA:	PRECALENTAMIENTO ENTRE PASES:		
A TOPE	6G	ASCENDENTE	V	200°C		
						
METAL BASE						
ESPECIFICACIÓN:	ASTM A106 Gr. B		ESPEJOR CUPON DE PRUEBA:	22.22 mm		
GRUPO:	P1 GRUPO 1		DIÁMETRO CUPON DE PRUEBA:	8in		
RESISTENCIA A LA TRACCIÓN:	60000 PSI (415 MPa)		FLUENCIA MIN:	35000PSI (240MPa)		
			DUREZA:	225 BRINELL (APROXIMADAMENTE)		
MATERIAL DE APORTE						
GRUPO:	F6 (GTAW)		ESPECIFICACIÓN AWS:	A5.18 (GTAW)		
TIPO:	ER70S-6		DIÁMETRO:	3/32" (GTAW)		
TAMAÑO Y TIPO DE ELECTRODO DE TUGSTENO:	SFA 5,12 E con 2% Torio - 2,4 mm					
GAS DE PROTECCIÓN:	ARGÓN (99,99%); Flujo = 22 lt/min					
CARACTERÍSTICAS ELECTRICAS						
TIPO DE CORRIENTE:	DC		POLARIDAD:	DC-		

## Ensayos de durezas

### Antes de tratamiento térmico



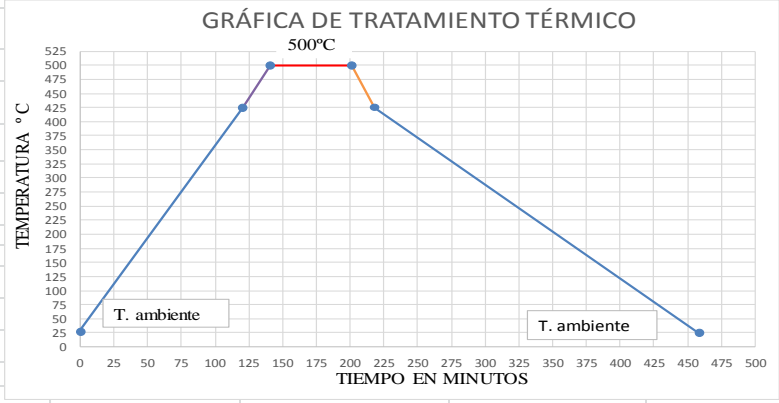
		<b>REGISTRO DE MEDICIÓN DE DUREZAS ANTES DEL PWHT</b> <b>UTA-MEC-003</b>																
		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>																
REG. No.:	UTA-MEC-003-01	LUGAR:	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO															
FECHA:	09/02/2015																	
PROBETA N.-	AUTORIZADO POR.-	REALIZADO POR.-	NORMA.-		TIPO DE MATERIAL.-													
1, 2, 3	ING. MG. HENRY VACA	EGDO. MAURICIO ADAME	ASME B31.3; ASME VIII (DIV 1)		ASTM A106 Gr. B													
<b>ELEMENTO:</b>	JUNTA SOLDADA 8 NPS, SCH XXS																	
<b>MATERIAL:</b>	A 106 GR-B		<b>ESCALA:</b>	BRINELL														
<b>EQUIPO DE MEDICIÓN:</b>	DURÓMETRO			<b>PROCESO DE SOLDADURA:</b>	GTAW													
MEDICIONES DE DUREZAS																		
PROBETA 1	P1 (1)			P2 (2)														
	1	2	3	1	2	3												
<b>UBICACIÓN</b>	0°			180°														
<b>DUREZA</b>	191	187	194	170	165	172	136	126	127	179	186	180	174	184	172	130	124	127
<b>PROMEDIO</b>	191			169			130			182			177			127		
PROBETA 2	P1 (3)			P2 (4)														
	1	2	3	1	2	3												
<b>UBICACIÓN</b>	0°			180°														
<b>DUREZA</b>	180	185	190	187	167	170	139	130	127	182	187	190	183	170	174	135	127	129
<b>PROMEDIO</b>	185			175			132			186			176			130		
PROBETA 3 (NO SE REALIZARA PWHT)	P1			P2														
	1	2	3	1	2	3												
<b>UBICACIÓN</b>	0°			180°														
<b>DUREZA</b>	185	188	192	170	173	174	127	131	130	185	183	181	165	167	170	137	130	125
<b>PROMEDIO</b>	188			172			129			183			167			131		
<b>Observaciones :</b> Las medidas de durezas fueron tomadas de cada probeta a 0° y 180° para así obtener dos medidas las cuales los valores muestran P1(1), P2(2), P1(3), P2(4) las cuales fueron separadas de esta manera para poder realizar el tratamiento térmico a las diferentes temperaturas cada una de estas probetas, la probeta número 3 no se realizará tratamiento térmico para poder realizar las debidas comparaciones en los cambios de sus propiedades mecánicas que sufrirían las otras probetas que se someterán a tratamiento térmico con sus respectivos ensayos.																		
MEDICIÓN 1	SOBRE EL CORDÓN DE SOLDADURA																	
MEDICIÓN 2	SOBRE LA ZONA AFECTADA POR EL CALOR																	
MEDICIÓN 3	SOBRE EL MATERIAL BASE																	
EQUIPO	DURÓMETRO																	

Luego de tratamiento térmico

PROBETA N.-	AUTORIZADO POR.-	REALIZADO POR.-	NORMA.-	TIPO DE MATERIAL.-					
01	ING. MG. HENRY VACA	EGDO. MAURICIO ADAME	ASME B31.3; ASME VIII	ASTM A106 Gr. B					
<b>ELEMENTO:</b>	JUNTA SOLDADA 8 NPS, SCH XXS								
<b>MATERIAL:</b>	A 106 GR-B	<b>ESCALA:</b>	BRINELL						
<b>EQUIPO DE MEDICIÓN:</b>	DURÓMETRO		<b>PROCESO DE SOLDADURA:</b>	GTAW					
<b>MEDICIONES DE DUREZAS</b>									
<b>PROBETA 1</b>	<b>P1 (1) a 500°C</b>								
	1	2	3						
<b>UBICACIÓN</b>	0°								
<b>DUREZA</b>	193	199	199	164	172	157	130	136	122
<b>PROMEDIO</b>	197		164		129				
<b>PROBETA 1</b>	<b>P2 (2) a 870°C</b>								
	1	2	3						
<b>UBICACIÓN</b>	180°								
<b>DUREZA</b>	120	119	116	117	129	131	133	140	121
<b>PROMEDIO</b>	118		126		131				
<b>PROBETA 2</b>	<b>P1 (3) a 750°C</b>								
	1	2	3						
<b>UBICACIÓN</b>	0°								
<b>DUREZA</b>	138	134	132	160	158	157	132	122	130
<b>PROMEDIO</b>	135		158		128				
<b>PROBETA 2</b>	<b>P2 (4) a 625°C</b>								
	1	2	3						
<b>UBICACIÓN</b>	180°								
<b>DUREZA</b>	174	169	171	165	157	150	129	131	135
<b>PROMEDIO</b>	171		157		132				
<b>MEDICION 1</b>	SOBRE EL CORDON DE SOLDADURA								
<b>MEDICION 2</b>	SOBRE LA ZONA AFECTADA POR EL CALOR (H.A.)								
<b>MEDICION 3</b>	SOBRE EL MATERIAL BASE								
<b>EQUIPO</b>	DURÓMETRO								
<b>SERIE</b>	24899000005								

## Curvas de Tratamiento Térmico

### Tratamiento Térmico a 500°C

	<b>CURVA DE TRATAMIENTO TÉRMICO</b>				
	<b>UTA-MEC-004</b>				
	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>				
<b>REG. No.:</b>	UTA-MEC-004-01				
<b>FECHA:</b>	10/02/2015				
<b>REALIZADO POR:</b>	Egdo. Mauricio	<b>PROJECT / Proyecto:</b>	PWHT EN JUNTAS DE TUBERÍA DE 8" SCH XXS		
<b>AUTORIZADO POR:</b>	Ing. Mg. Henry Vaca				
<b>APPLICABLE CODE / Código Aplicable:</b>	ASME B31.3; ASME VIII (DIV 1)	<b>MATERIAL / Material:</b>	ASTM A 106, GRADO B		
<b>NOMINAL THICKNESS / Espesor Nominal:</b>	0,875 [in] ; 22.22 [mm]	<b>PWHT METHOD / Método de PWHT:</b>	LOCALIZADO		
<b>GROUP NUMBER / Número de Grupo:</b>	1	<b>P NUMBER / Número P:</b>	1		
<b>ATTACHMENT METHOD /</b>	<input type="checkbox"/> PD WITH PAD / Con protección	<input checked="" type="checkbox"/> WD WELDED / Soldada			
<b>EQUIPMENT / Equipo:</b>	GLOBE HEAT TREATMENT MACHINE, 75 kVA				
<b>HEATING RATES</b>	<b>HOLDING RATES</b>	<b>COOLING RATES</b>			
<b>Tasa de Calentamiento</b>	<b>Tiempo de Calentamiento</b>	<b>Temperatura de Mantenimiento</b>	<b>Tiempo de Mantenimiento</b>	<b>Tasa de Enfriamiento</b>	<b>Tiempo de Enfriamiento</b>
°C/h	min	°C	min	°C/h	min
222	21	500	60	280	17
 <p style="text-align: center;"><b>GRÁFICA DE TRATAMIENTO TÉRMICO</b></p>					
<p>Se debe realizar el calentamiento no necesariamente controlando la velocidad ni el tiempo que demora en llegar a 425 °C a partir de esta temperatura se procederá a utilizar el tiempo y velocidades establecidas, como nos muestra la curva, para el enfriamiento se debe llegar asta 425°C con el equipo en funcionamiento, luego de esto se deja enfriar a temperatura ambiente sin un limite de horas asta llegar a una temperatura normal.</p>					

## CÁLCULOS:

Basados en la norma ASME 8 SECC1 se puede utilizar las siguientes formulas:

### TASA DE CALENTAMIENTO:

$$V_c = \frac{222 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{h}}}{e}$$

#### Donde:

$V_c$  = Velocidad de calentamiento.

$e$  = Espesor de tubería.

$$V_c = \frac{222 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{h}}}{0,875 \text{in}} = 253.71 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{h.in}}$$

$$56 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{h}} \leq V_c \leq 222 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{h}}$$

Por lo que se toma el máximo valor:

$$222 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{h}}$$

### TIEMPO DE CALENTAMIENTO:

$$T_c = \frac{\Delta T}{V_c}$$

#### Donde:

$T_c$  = Temperatura de Calentamiento.

$\Delta T$  = Diferencia de temperaturas.

$V_c$  = Velocidad de calentamiento.

$$T_c = \frac{500^{\circ}\text{C} - 425^{\circ}\text{C}}{222 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{h}}} = 0,338 \text{h} = \mathbf{21 \text{min}}$$

### TIEMPO DE MANTENIMIENTO

$$T_m = 2,4 \frac{\text{min}}{\text{mm}} \times e$$

Según la Norma ASME B31.3 se toma el tiempo mínimo es **60 min.**

**Donde:**

$T_m$  = Temperatura de mantenimiento

$e$  = Espesor de tubería.

$$T_m = 2,4 \frac{\text{min}}{\text{mm}} \times 22,22 \text{ mm} = 53,328 \text{ min}$$

### **TASA DE ENFRIAMIENTO**

$$V_{en} = \frac{280 \frac{^\circ\text{C}}{\text{h}}}{e}$$

**Donde:**

$V_{en}$  = Velocidad de enfriamiento.

$e$  = Espesor de tubería.

$$T_c = \frac{280 \frac{^\circ\text{C}}{\text{h}}}{0,875 \text{ in}} = 320 \frac{^\circ\text{C}}{\text{h.in}}$$

La velocidad máxima de enfriamiento es de:

$$T_c = 280 \frac{^\circ\text{C}}{\text{h}}$$

Por lo que se toma este valor de enfriamiento.

### **TIEMPO DE ENFRIAMIENTO**

$$T_{en} = \frac{\Delta T}{V_{en}}$$

**Donde:**

$T_{en}$  = Temperatura de enfriamiento.




$\Delta T$  = Diferencia de temperaturas.

$V_{en}$  = Velocidad de enfriamiento

$$T_{en} = \frac{500^\circ\text{C} - 425^\circ\text{C}}{280 \frac{^\circ\text{C}}{\text{h}}} = 0,268 \text{ h} = \mathbf{17 \text{ min}}$$



## Tratamiento Térmico a 625°C

	<b>CURVA DE TRATAMIENTO TÉRMICO</b>				
	<b>UTA-MEC-004</b>				
	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b>				
	<b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b>				
<b>REG. No.:</b>		UTA-MEC-004-02			
<b>FECHA:</b>		11/02/2015			
<b>REALIZADO POR:</b>	Egdo. Mauricio	<b>PROJECT / Provento:</b>	PWHT EN JUNTAS DE TUBERÍA DE 8" SCH XXS		
<b>AUTORIZADO POR:</b>		Ing. Mg. Henry Vaca			
<b>APPLICABLE CODE / Código Aplicable:</b>		ASME B31.3; ASME VIII (DIV 1)	<b>MATERIAL / Material:</b>	ASTM A 106, GRADO B	
<b>NOMINAL THICKNESS / Espesor Nominal:</b>		0,875 [in] ; 22.22 [mm]	<b>PWHT METHOD / Método de PWHT:</b>	LOCALIZADO	
<b>GROUP NUMBER / Número de Grupo:</b>		1	<b>P NUMBER / Número P:</b>	1	
<b>ATTACHMENT METHOD /</b>	<input type="checkbox"/> PD WITH PAD / Con protección		<input checked="" type="checkbox"/> WD WELDED / Soldada		
<b>EQUIPMENT / Equipo:</b>		GLOBE HEAT TREATMENT MACHINE, 75 kVA			
<b>HEATING RATES</b>		<b>HOLDING RATES</b>		<b>COOLING RATES</b>	
<b>Tasa de Calentamiento</b>	<b>Tiempo de Calentamiento</b>	<b>Temperatura de Mantenimiento</b>	<b>Tiempo de Mantenimiento</b>	<b>Tasa de Enfriamiento</b>	<b>Tiempo de Enfriamiento</b>
°C/h	min	°C	min	°C/h	min
222	54	625	60	280	43
<b>GRÁFICA DE TRATAMIENTO TÉRMICO</b>					
 <p>Detailed description of the graph: The graph plots Temperature (°C) on the y-axis (0 to 675) against Time (min) on the x-axis (0 to 550). The curve starts at 'T. ambiente' (approx. 25°C) at 0 min, rises linearly to 425°C at 125 min. It then rises to 625°C at 175 min, where it remains constant for 60 minutes (until 235 min). Finally, it cools linearly back to 'T. ambiente' at 525 min.</p>					

Se debe realizar el calentamiento no necesariamente controlando la velocidad ni el tiempo que demora en llegar a 425 °C a partir de esta temperatura se procederà a utilizar el tiempo y velocidades establecidas, como nos muestra la curva, para el enfriamiento se debe llegar asta 425°C con el equipo en funcionamiento, luego de esto se deja enfriar a temperatura ambiente sin un limite de horas asta llegar a una temperatura normal.

## CÁLCULOS:

Basados en la norma ASME 8 SECC1 se puede utilizar las siguientes formulas:

### TASA DE CALENTAMIENTO:

$$Vc = \frac{222 \frac{^{\circ}C}{h}}{e}$$

#### Donde:

Vc = Velocidad de calentamiento.

e = Espesor de tubería.

$$Vc = \frac{222 \frac{^{\circ}C}{h}}{0,875in} = 253.71 \frac{^{\circ}C}{h.in}$$

$$56 \frac{^{\circ}C}{h} \leq Vc \leq 222 \frac{^{\circ}C}{h}$$

Por lo que se toma el máximo valor:

$$222 \frac{^{\circ}C}{h}$$

### TIEMPO DE CALENTAMIENTO:

$$Tc = \frac{\Delta T}{Vc} = \frac{625^{\circ}C - 425^{\circ}C}{222 \frac{^{\circ}C}{h}} = 0,9h = 54min$$

#### Donde:

Tc = Temperatura de Calentamiento.

$\Delta T$  = Diferencia de temperaturas.

Vc = Velocidad de calentamiento.

### TIEMPO DE MANTENIMIENTO

$$Tm = 2,4 \frac{min}{mm} \times e$$

Según la Norma ASME B31.3 se toma el tiempo mínimo es **60 min.**

**Donde:**

$T_m$  = Temperatura de mantenimiento

$e$  = Espesor de tubería.

$$T_m = 2,4 \frac{\text{min}}{\text{mm}} \times 22,22 \text{ mm} = 53,328 \text{ min}$$

### **TASA DE ENFRIAMIENTO**

$$V_{en} = \frac{280 \frac{^\circ\text{C}}{h}}{e}$$

La velocidad máxima de enfriamiento es de

$$Tc = 280 \frac{^\circ\text{C}}{h}$$

Por lo que se toma este valor de enfriamiento.

**Donde:**

$V_{en}$  = Velocidad de enfriamiento.

$e$  = Espesor de tubería.

### **TIEMPO DE ENFRIAMIENTO**

$$T_{en} = \frac{\Delta T}{V_{en}}$$

**Donde:**



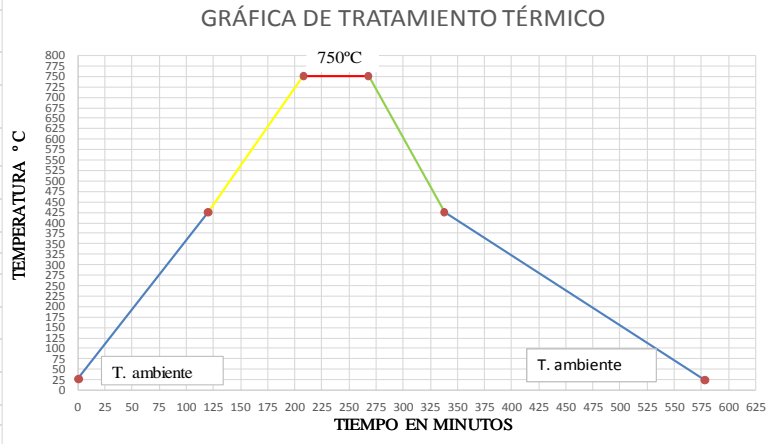
$T_{en}$  = Temperatura de enfriamiento.

$\Delta T$  = Diferencia de temperaturas.

$V_{en}$  = Velocidad de enfriamiento

$$T_{en} = \frac{625^\circ\text{C} - 425^\circ\text{C}}{280 \frac{^\circ\text{C}}{h}} = 0,714 h = \mathbf{43 \text{ min}}$$

## Tratamiento Térmico a 750°C

		CURVA DE TRATAMIENTO TÉRMICO UTA-MEC-004			
		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
<b>REG. No.:</b>		UTA-MEC-004-03			
<b>FECHA:</b>		12/02/2015			
<b>REALIZADO POR:</b>	Egdo. Mauricio Adame	<b>PROJECT / Proyecto:</b>	PWHT EN JUNTAS DE TUBERÍA DE 8" SCH XXS		
<b>AUTORIZADO POR:</b>		Ing. Mg. Henry Vaca			
<b>APPLICABLE CODE / Código Aplicable:</b>		ASME B31.3; ASME VIII (DIV 1)	<b>MATERIAL / Material:</b>	ASTM A 106, GRADO B	
<b>NOMINAL THICKNESS / Espesor Nominal:</b>		0,875 [in] ; 22.22 [mm]	<b>PWHT METHOD / Método de PWHT:</b>	LOCALIZADO	
<b>GROUP NUMBER / Número de Grupo:</b>		1	<b>P NUMBER / Número P:</b>	1	
<b>ATTACHMENT METHOD /</b>	<input type="checkbox"/> PD WITH PAD / Con protección	<input checked="" type="checkbox"/> WD WELDED / Soldada			
<b>EQUIPMENT / Equipo:</b>		GLOBE HEAT TREATMENT MACHINE, 75 kVA			
<b>HEATING RATES</b>		<b>HOLDING RATES</b>		<b>COOLING RATES</b>	
<b>Tasa de Calentamiento</b> °C/h	<b>Tiempo de Calentamiento</b> min	<b>Temperatura de Mantenimiento</b> °C	<b>Tiempo de Mantenimiento</b> min	<b>Tasa de Enfriamiento</b> °C/h	<b>Tiempo de Enfriamiento</b> min
222	88	750	60	280	70
<b>GRÁFICA DE TRATAMIENTO TÉRMICO</b>					
 <p>Detailed description of the graph: The graph plots Temperature (°C) on the y-axis (0 to 800) against Time (min) on the x-axis (0 to 625). The curve starts at 'T. ambiente' (approx. 25°C) at 0 min, rises linearly to 750°C at 88 min. It then remains constant at 750°C for 60 min. Finally, it cools linearly back to 'T. ambiente' at 70 min after the start of the cooling phase (at 148 min total time).</p>					
<p>Se debe realizar el calentamiento no necesariamente controlando la velocidad ni el tiempo que demora en llegar a 425 °C a partir de esta temperatura se procederá a utilizar el tiempo y velocidades establecidas, como nos muestra la curva, para el enfriamiento se debe llegar asta 425°C con el equipo en funcionamiento, luego de esto se deja enfriar a temperatura ambiente sin un limite de horas asta llegar a una temperatura normal.</p>					

## CÁLCULOS:

Basados en la norma ASME 8 SECC1 se puede utilizar las siguientes formulas:

### TASA DE CALENTAMIENTO:

$$Vc = \frac{222 \frac{^{\circ}C}{h}}{e}$$

#### Donde:

Vc = Velocidad de calentamiento.

e = Espesor de tubería.

$$Tm = \frac{222 \frac{^{\circ}C}{h}}{0,875in} = 253.71 \frac{^{\circ}C}{h.in}$$

$$56 \frac{^{\circ}C}{h} \leq Vc \leq 222 \frac{^{\circ}C}{h}$$

Por lo que se toma el máximo valor:

$$222 \frac{^{\circ}C}{h}$$

### TIEMPO DE CALENTAMIENTO:

$$Tc = \frac{\Delta T}{Vc}$$

#### Donde:

Tc = Temperatura de Calentamiento.

$\Delta T$  = Diferencia de temperaturas.

Vc = Velocidad de calentamiento.

$$Tc = \frac{750^{\circ}C - 425^{\circ}C}{222 \frac{^{\circ}C}{h}} = 1,464h = 88min$$

## TIEMPO DE MANTENIMIENTO

$$Tm = 2,4 \frac{min}{mm} \times e$$

Según la Norma ASME B31.3 se toma el tiempo mínimo es **60 min.**

### Donde:

Tm = Temperatura de mantenimiento

e = Espesor de tubería.

$$Tm = 2,4 \frac{min}{mm} \times 22,22 \text{ mm} = 53,328min$$

## TASA DE ENFRIAMIENTO

$$Ven = \frac{280 \frac{^{\circ}C}{h}}{e} = \frac{280 \frac{^{\circ}C}{h}}{0,875in} = 320 \frac{^{\circ}C}{h.in}$$

La velocidad máxima de enfriamiento es de

$$Tc = 280 \frac{^{\circ}C}{h}$$

Por lo que se toma este valor de enfriamiento.

### Donde:

Ven = Velocidad de enfriamiento.

e = Espesor de tubería.

## TIEMPO DE ENFRIAMIENTO

$$Ten = \frac{\Delta T}{Ven}$$

### Donde:



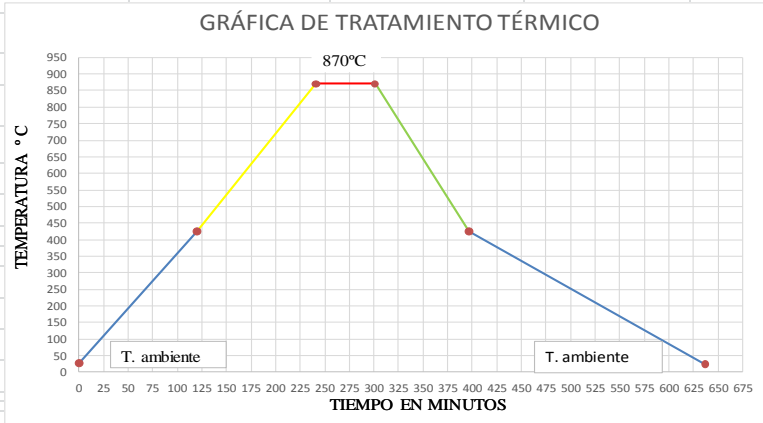
Ten = Temperatura de enfriamiento.

$\Delta T$  = Diferencia de temperaturas.

Ven = Velocidad de enfriamiento

$$Ten = \frac{750^{\circ}C - 425^{\circ}C}{280 \frac{^{\circ}C}{h}} = 1,16h = \mathbf{70min}$$

## Tratamiento Térmico a 870°C

	<b>CURVA DE TRATAMIENTO TÉRMICO</b>				
	<b>UTA-MEC-004</b>				
	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b>				
	<b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b>				
<b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>					
<b>REG. No.:</b>	UTA-MEC-004-04				
<b>FECHA:</b>	13/02/2015				
<b>REALIZADO POR:</b>	Egdo. Mauricio Adame	<b>PROJECT / Proyectto:</b>	PWHT EN JUNTAS DE TUBERÍA DE 8" SCH XXS		
<b>AUTORIZADO POR:</b>		Ing. Mg. Henry Vaca			
<b>APPLICABLE CODE / Código Aplicable:</b>	ASME B31.3; ASME VIII (DIV 1)	<b>MATERIAL / Material:</b>	ASTM A 106, GRADO B		
<b>NOMINAL THICKNESS / Espesor Nominal:</b>	0,875 [in] ; 22.22 [mm]	<b>PWHT METHOD / Método de PWHT:</b>	LOCALIZADO		
<b>GROUP NUMBER / Número de Grupo:</b>	1	<b>P NUMBER / Número P:</b>	1		
<b>ATTACHMENT METHOD /</b>	<input type="checkbox"/> PD WITH PAD / Con protección	<input checked="" type="checkbox"/> WD WELDED / Soldada			
<b>EQUIPMENT / Equipo:</b>	GLOBE HEAT TREATMENT MACHINE, 75 kVA				
<b>HEATING RATES</b>		<b>HOLDING RATES</b>		<b>COOLING RATES</b>	
<b>Tasa de Calentamiento</b>	<b>Tiempo de Calentamiento</b>	<b>Temperatura de Mantenimiento</b>	<b>Tiempo de Mantenimiento</b>	<b>Tasa de Enfriamiento</b>	<b>Tiempo de Enfriamiento</b>
°C/h	min	°C	min	°C/h	min
222	121	870	60	280	96
<b>GRÁFICA DE TRATAMIENTO TÉRMICO</b>					
					

Se debe realizar el calentamiento no necesariamente controlando la velocidad ni el tiempo que demora en llegar a 425 °C a partir de esta temperatura se procederá a utilizar el tiempo y velocidades establecidas, como nos muestra la curva, para el enfriamiento se debe llegar hasta 425°C con el equipo en funcionamiento, luego de esto se deja enfriar a temperatura ambiente sin un límite de horas hasta llegar a una temperatura normal.

## CÁLCULOS:

Basados en la norma ASME 8 SECC1 se puede utilizar las siguientes formulas:

### TASA DE CALENTAMIENTO:

$$V_c = \frac{222 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{h}}}{e}$$

#### Donde:

$V_c$  = Velocidad de calentamiento.

$e$  = Espesor de tubería.

$$V_c = \frac{222 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{h}}}{0,875 \text{in}} = 253.71 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{h.in}}$$

$$56 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{h}} \leq V_c \leq 222 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{h}}$$

Por lo que se toma el máximo valor:

$$222 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{h}}$$

### TIEMPO DE CALENTAMIENTO:

$$T_c = \frac{\Delta T}{V_c}$$

#### Donde:

$T_c$  = Temperatura de Calentamiento.

$\Delta T$  = Diferencia de temperaturas.

$V_c$  = Velocidad de calentamiento.

$$T_c = \frac{870^{\circ}\text{C} - 425^{\circ}\text{C}}{222 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{h}}} = 2,005 \text{h} = \mathbf{121 \text{min}}$$



## TIEMPO DE MANTENIMIENTO

Según la Norma ASME B31.3 se toma el tiempo mínimo es **60 min.**

**Donde:**

$T_m$  = Temperatura de mantenimiento

$e$  = Espesor de tubería.

## TASA DE ENFRIAMIENTO

$$V_{en} = \frac{280 \frac{^{\circ}C}{h}}{e}$$

La velocidad máxima de enfriamiento es de

$$T_c = 280 \frac{^{\circ}C}{h}$$

Por lo que se toma este valor de enfriamiento.

**Donde:**

$V_{en}$  = Velocidad de enfriamiento.

$e$  = Espesor de tubería.

$$V_{en} = \frac{280 \frac{^{\circ}C}{h}}{0,875in} = 320 \frac{^{\circ}C}{h.in}$$

## TIEMPO DE ENFRIAMIENTO

$$T_{en} = \frac{\Delta T}{V_{en}}$$

**Donde:**

$T_{en}$  = Temperatura de enfriamiento.



$\Delta T$  = Diferencia de temperaturas.

$V_{en}$  = Velocidad de enfriamiento

$$T_{en} = \frac{870^{\circ}C - 425^{\circ}C}{280 \frac{^{\circ}C}{h}} = 1,59h = \mathbf{96min}$$



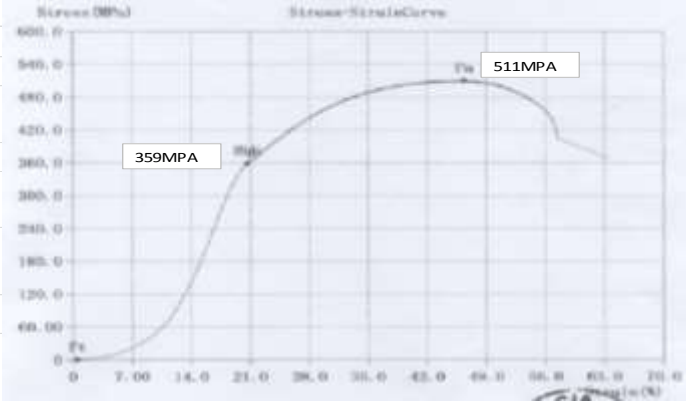



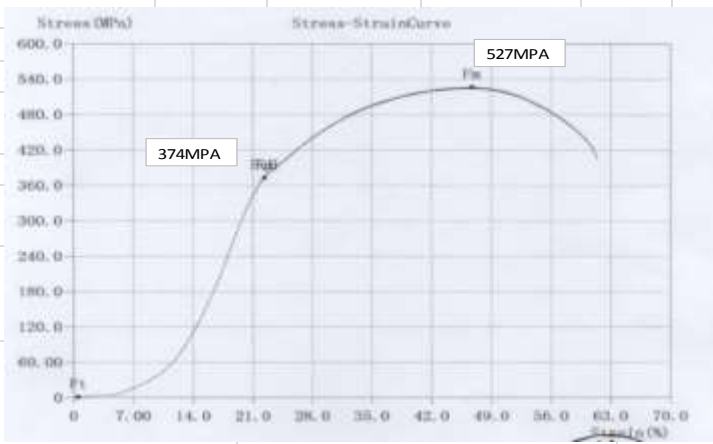




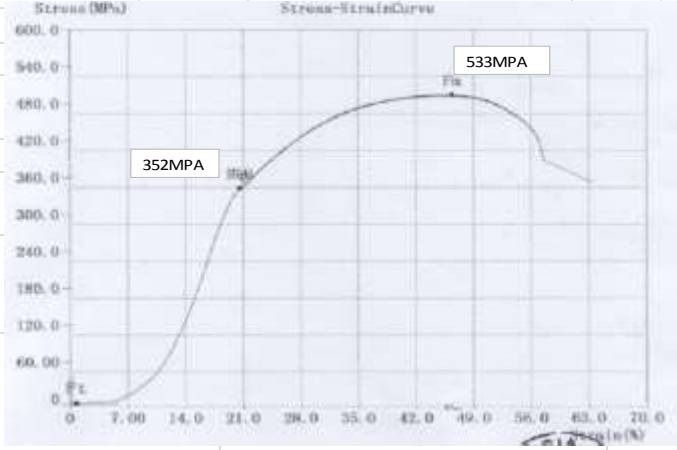
<b>REGISTRO DE TEMPERATURAS</b> <b>UTA-MEC-005</b>						
<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>						 
<b>REG. No.:</b>	UTA-MEC-005-03	<b>LUGAR:</b>	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO			
<b>FECHA:</b>	16/02/2015					
<b>INFORME:</b>	<b>1</b>	<b>ARRANQUE:</b>	<b>1</b>	<b>MATERIAL</b> ASTM A 106 GR-B		
<b>PROBETA N.-</b>	<b>PROBETA 2 P1 (3) 750°C</b>					
<b>HORA</b>	<b>PROCESO</b>	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>	<b>T4</b>	<b>T prom</b>
		<b>°C</b>	<b>°C</b>	<b>°C</b>	<b>°C</b>	<b>°C</b>
9:20	Calentamiento	424				424
9:30	Calentamiento	465				465
9:40	Calentamiento	498				498
9:50	Calentamiento	536				536
10:00	Calentamiento	564				564
10:10	Calentamiento	603				603
10:20	Calentamiento	644				644
10:30	Calentamiento	673				673
10:40	Calentamiento	702				702
10:50	Calentamiento	726				726
11:00	Calentamiento	736				736
11:10	Calentamiento	745				745
11:20	Permanencia	750				750
11:30	Permanencia	752				752
11:40	Permanencia	750				750
11:50	Permanencia	752				752
12:00	Permanencia	752				752
12:10	Permanencia	750				750
12:20	Enfriamiento	745				745
12:30	Enfriamiento	714				714
12:40	Enfriamiento	684				684
12:50	Enfriamiento	631				631
13:00	Enfriamiento	590				590
13:10	Enfriamiento	544				544
13:20	Enfriamiento	527				527
13:30	Enfriamiento	491				491
13:40	Enfriamiento	443				443
13:50	Enfriamiento	425				425
14:00	Enfriamiento	al aire				
14:10						
EQUIPO: MAQUINA DE RELEVADO DE ESFUERZOS P1 130 KVA						

<b>REGISTRO DE TEMPERATURAS</b>							
<b>UTA-MEC-005</b>							
<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b>							
<b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b>							
<b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>							
<b>REG. No.:</b>	UTA-MEC-005-04	<b>LUGAR:</b>	UNIVERSIDAD TÈCNICA DE AMBATO				
<b>FECHA:</b>	17/02/2015						
<b>INFORME:</b>	<b>1</b>	<b>ARRANQUE:</b>	<b>1</b>	<b>MATERIAL</b> ASTM A 106 GR-B			
<b>PROBETA N.-</b>	PROBETA 1 P1 (2) 870°C						
<b>HORA</b>	<b>PROCESO</b>	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>	<b>T4</b>	<b>T prom</b>	
		°C	°C	°C	°C	°C	
10:40	Calentamiento	425				425	
10:50	Calentamiento	443				443	
11:00	Calentamiento	468				468	
11:10	Calentamiento	495				495	
11:20	Calentamiento	523				523	
11:30	Calentamiento	542				542	
11:40	Calentamiento	573				573	
11:50	Calentamiento	588				588	
12:00	Calentamiento	616				616	
12:10	Calentamiento	632				632	
12:20	Calentamiento	660				660	
12:30	Calentamiento	680				680	
12:40	Calentamiento	709				709	
12:50	Calentamiento	726				726	
13:00	Calentamiento	749				749	
13:10	Calentamiento	773				773	
13:20	Calentamiento	802				802	
13:30	Calentamiento	822				822	
13:40	Calentamiento	850				850	
13:50	Permanencia	870				870	
14:00	Permanencia	872				872	
14:10	Permanencia	870				870	
14:20	Permanencia	871				871	
14:30	Permanencia	870				870	
14:40	Permanencia	870				870	
14:50	Enfriamiento	820				820	
15:00	Enfriamiento	774				774	
15:10	Enfriamiento	730				730	
15:20	Enfriamiento	687				687	
15:30	Enfriamiento	635				635	
15:40	Enfriamiento	590				590	
15:50	Enfriamiento	540				540	
16:00	Enfriamiento	492				492	
16:10	Enfriamiento	445				445	
16:20	Enfriamiento	422				422	
16:30	Enfriamiento	al aire					
16:40							
EQUIPO: MAQUINA DE RELEVADO DE ESFUERZOS							
P1 130 KVA							



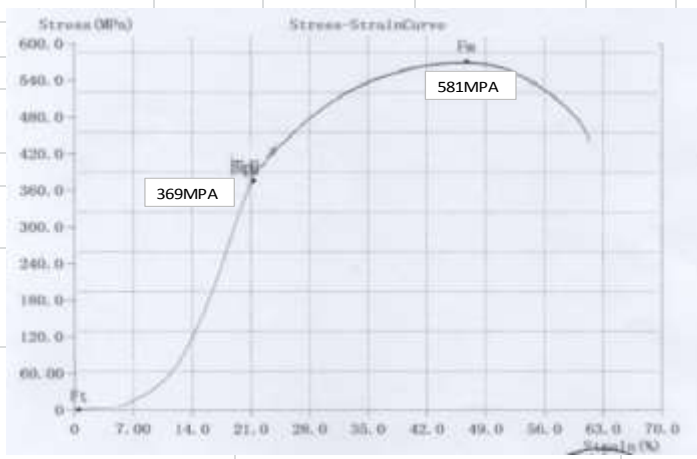
Ensayos de tracción.





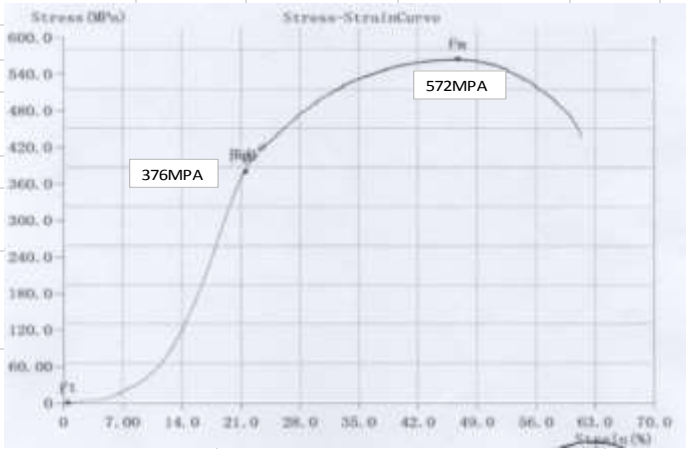
	<b>REGISTRO DE ENSAYOS DE TRACCIÓN UTA-MEC-008</b>						
	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>						
	<b>REG. No:</b>	UTA-MEC-008-01	<b>LUGAR:</b>	UNIVERSIDAD TÈCNICA DE AMBATO			
	<b>FECHA:</b>	01/03/2015					
<b>PROBETA N.-</b>		<b>AUTORIZADO POR.-</b>		<b>REALIZADO POR.-</b>			
01		ING. MG. HENRY VACA		EGDO. MAURICIO ADAME			
<b>NORMA.-</b>			<b>TIPO DE MATERIAL.-</b>				
ASTM A370 / ASTM E8			ASTM A106 Gr. B				
<b>ELEMENTO:</b>			JUNTA SOLDADA 8 NPS, SCH XXS				
<b>TEMPERATURA:</b>	20°C		<b>HUMEDAD RELATIVA:</b>	72%			
<b>EQUIPO DE MEDICIÓN:</b>	MAQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS			<b>PROCESO DE SOLDADURA:</b>	GTAW		
<b>DATOS INICIALES</b>							
<b>PROBETA 3 (P1)</b>	<b>SIN TRATAMIENTO TÉRMICO</b>						
	<b>ESPESOR PROMEDIO</b>	<b>ANCHO PROMEDIO</b>	<b>LONGITUD INICIAL</b>		<b>LONGITUD FINAL</b>		
	<b>mm</b>	<b>mm</b>	<b>mm</b>		<b>mm</b>		
	19,9	19,89	50		63,75		
<b>DATOS OBTENIDOS EN EL ENSAYO</b>							
<b>ÁREA</b>	<b>CARGA DE FLUENCIA</b>	<b>LÍMITE DE FLUENCIA Sy</b>		<b>CARGA DE ROTURA</b>	<b>LÍMITE DE ROTURA SUT</b>		
<b>mm2</b>	<b>KN</b>	<b>KPSI</b>	<b>Mpa</b>	<b>KN</b>	<b>KPSI</b>	<b>MPA</b>	
395,81	142,1	52,07	359	202,2	74,09	511	
<b>CURVA DE DEFORMACIÓN</b>							
							
<b>Calculo del porcentaje de Alargamiento (%)</b>							
$\varepsilon = \frac{l_f - l_o}{l_o} \times 100 \rightarrow \varepsilon = \frac{63,75 - 50}{50} \times 100 \rightarrow \varepsilon = 27,5 \%$							




REGISTRO DE ENSAYOS DE TRACCIÓN UTA-MEC-008		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				
	REG. No.:	UTA-MEC-008-02	LUGAR: UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO			
	FECHA:	01/03/2015				
PROBETA N.-	AUTORIZADO POR.-		REALIZADO POR.-			
02	ING. MG. HENRY VACA		EGDO. MAURICIO ADAME			
NORMA.-		TIPO DE MATERIAL.-				
ASTM A370 / ASTM E8		ASTM A106 Gr. B				
ELEMENTO:		JUNTA SOLDADA 8 NPS, SCH XXS				
TEMPERATURA:	20°C	HUMEDAD RELATIVA:	72%			
EQUIPO DE MEDICIÓN:	MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS	PROCESO DE SOLDADURA:	GTAW			
DATOS INICIALES						
PROBETA 3 (P2)	SIN TRATAMIENTO TERMICO					
	ESPESOR PROMEDIO	ANCHO PROMEDIO	LONGITUD INICIAL			
	mm	mm	mm			
	19,9	21,7	50			
DATOS OBTENIDOS EN EL ENSAYO						
AREA	CARGA DE FLUENCIA	LIMITE DE FLUENCIA		CARGA DE	LIMITE DE ROTURA	
mm <sup>2</sup>	KN	KPSI	Mpa	KN	KPSI	MPA
431,83	161,3	54,18	374	227,6	76,44	527
CURVA DE DEFORMACIÓN						
						
Cálculo del porcentaje de Alargamiento (%)						
$\varepsilon = \frac{l_f - l_0}{l_0} \times 100 \rightarrow \varepsilon = \frac{65,30 - 50}{50} \times 100 \rightarrow \varepsilon = 30,6\%$						



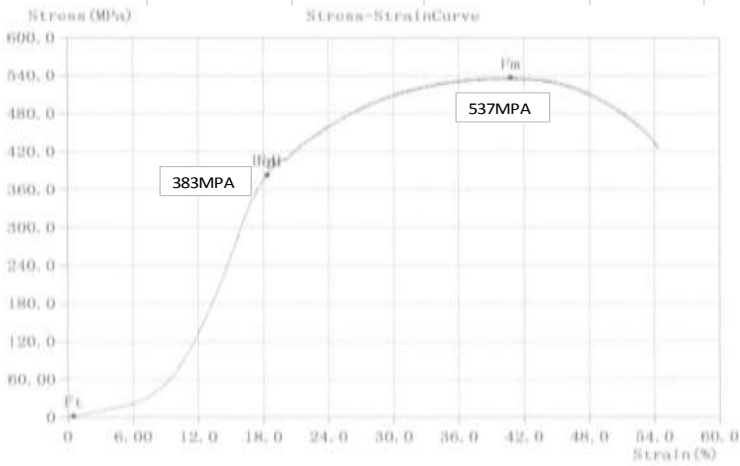
		<b>REGISTRO DE ENSAYOS DE TRACCIÓN</b> <b>UTA-MEC-008</b>					
		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>					
REG. No.:		UTA-MEC-008-03		LUGAR:		UNIVERSIDAD TÈCNICA DE AMBATO	
FECHA:		01/03/2015					
PROBETA N.-		AUTORIZADO POR.-		REALIZADO POR.-			
03		ING. MG. HENRY VACA		EGDO. MAURICIO ADAME			
NORMA.-			TIPO DE MATERIAL.-				
ASTM A370 / ASTM E8			ASTM A106 Gr. B				
ELEMENTO:			JUNTA SOLDADA 8 NPS, SCH XXS				
TEMPERATURA:		20°C		HUMEDAD RELATIVA:		72%	
EQUIPO DE MEDICIÓN:		MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS		PROCESO DE SOLDADURA:		GTAW	
DATOS INICIALES							
SIN TRATAMIENTO TERMICO							
PROBETA 3 (P3)	ESPESOR PROMEDIO	ANCHO PROMEDIO	LONGITUD INICIAL	LONGITUD FINAL			
	mm	mm	mm	mm			
	19,3	20,9	50	61,63			
DATOS OBTENIDOS EN EL ENSAYO							
AREA	CARGA DE FLUENCIA	LIMITE DE FLUENCIA		CARGA DE ROTURA	LIMITE DE ROTURA		
mm2	KN	KPSI	Mpa	KN	KPSI	MPA	
403,37	151,8	51	352	214,8	77,24	533	
CURVA DE DEFORMACIÓN							
							
Calculo del porcentaje de Alargamiento (%)							
$\varepsilon = \frac{l_f - l_o}{l_o} \times 100 \rightarrow \varepsilon = \frac{61,63 - 50}{50} \times 100 \rightarrow \varepsilon = 23,26\%$							



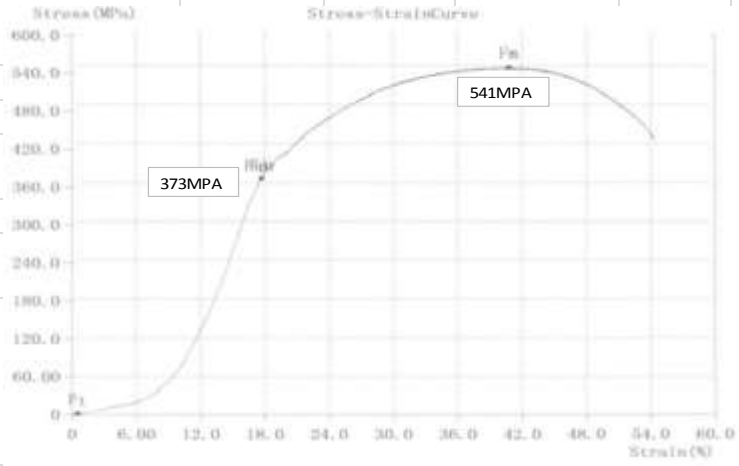








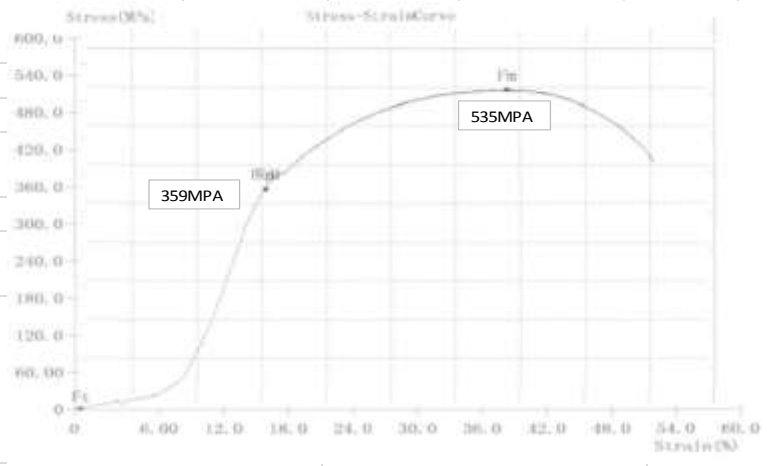
		<b>REGISTRO DE ENSAYOS DE TRACCIÓN</b> <b>UTA-MEC-008</b>					
		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>					
REG. No.:		UTA-MEC-008-04		LUGAR:		UNIVERSIDAD TÈCNICA DE AMBATO	
FECHA:		01/03/2015					
PROBETA N.-		04		AUTORIZADO POR.-		REALIZADO POR.-	
				ING. MG. HENRY VACA		EGDO. MAURICIO ADAME	
NORMA.-				TIPO DE MATERIAL.-			
ASTM A370 / ASTM E8				ASTM A106 Gr. B			
ELEMENTO:				JUNTA SOLDADA 8 NPS, SCH XXS			
TEMPERATURA:		20°C		HUMEDAD RELATIVA:		72%	
EQUIPO DE MEDICIÓN:		MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS		PROCESO DE SOLDADURA:		GTAW	
DATOS INICIALES							
SIN TRATAMIENTO TERMICO							
PROBETA 3 (P4)	ESPESOR PROMEDIO	ANCHO PROMEDIO	LONGITUD INICIAL	LONGITUD FINAL			
	mm	mm	mm	mm			
	19,6	19,8	50	64,6			
DATOS OBTENIDOS EN EL ENSAYO							
ÁREA	CARGA DE FLUENCIA	LÍMITE DE FLUENCIA		CARGA DE ROTURA	LÍMITE DE ROTURA		
mm2	KN	KPSI	Mpa	KN	KPSI	MPA	
388,08	159,3	53,5	369	225,4	84,24	581	
CURVA DE DEFORMACIÓN							
							
Calculo del porcentaje de Alargamiento (%)							
$\varepsilon = \frac{l_f - l_o}{l_o} \times 100 \rightarrow \varepsilon = \frac{64,6 - 50}{50} \times 100 \rightarrow \varepsilon = 29,2\%$							



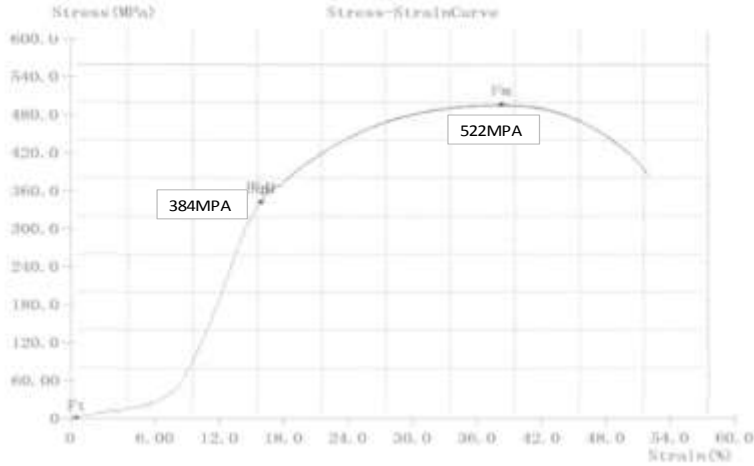
		REGISTRO DE ENSAYOS DE TRACCIÓN				
		UTA-MEC-008				
		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO				
		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA				
		REG. No.:	UTA-MEC-008-05	LUGAR:	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO	
		FECHA:	01/03/2015			
PROBETA N.-		AUTORIZADO POR.-		REALIZADO POR.-		
05		ING. MG. HENRY VACA		EGDO. MAURICIO ADAME		
NORMA.-			TIPO DE MATERIAL.-			
ASTM A370 / ASTM E8			ASTM A106 Gr. B			
ELEMENTO:			JUNTA SOLDADA 8 NPS, SCH XXS			
TEMPERATURA:	20°C		HUMEDAD RELATIVA:	72%		
EQUIPO DE MEDICIÓN:	MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS		PROCESO DE SOLDADURA:	GTAW		
DATOS INICIALES						
SIN TRATAMIENTO TERMICO						
PROBETA 3 (P5)	ESPESOR PROMEDIO	ANCHO PROMEDIO	LONGITUD INICIAL	LONGITUD FINAL		
	mm	mm	mm	mm		
	20,8	19,3	50	65,9		
DATOS OBTENIDOS EN EL ENSAYO						
AREA	CARGA DE FLUENCIA	LIMITE DE FLUENCIA		CARGA DE ROTURA	LIMITE DE ROTURA	
mm <sup>2</sup>	KN	KPSI	Mpa	KN	KPSI	MPA
401,44	162,4	54,5	376	229,8	83,03	572
CURVA DE DEFORMACIÓN						
						
Calculo del porcentaje de Alargamiento (%)						
$\varepsilon = \frac{l_f - l_o}{l_o} \times 100 \rightarrow \varepsilon = \frac{65,9 - 50}{50} \times 100 \rightarrow \varepsilon = 31,8\%$						



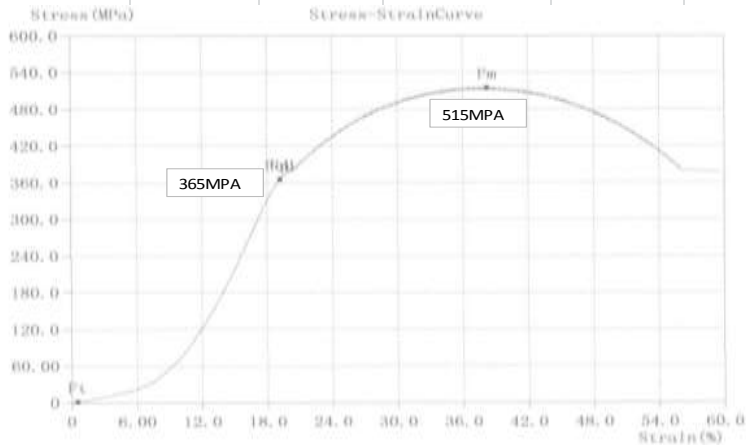
		<b>REGISTRO DE ENSAYOS DE TRACCIÓN</b> <b>UTA-MEC-008</b>						
<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>		<b>REG. No.:</b> UTA-MEC-008-06		<b>LUGAR:</b>		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		
<b>FECHA:</b>		18/03/2015						
<b>PROBETA N.-</b>		<b>AUTORIZADO POR.-</b>			<b>REALIZADO POR.-</b>			
01		ING. MG. HENRY VACA			EGDO. MAURICIO ADAME			
<b>NORMA.-</b>				<b>TIPO DE MATERIAL.-</b>				
ASTM A370 / ASTM E8				ASTM A106 Gr. B				
<b>ELEMENTO:</b>				JUNTA SOLDADA 8 NPS, SCH XXS				
<b>TEMPERATURA:</b>		20°C		<b>HUMEDAD RELATIVA:</b>		72%		
<b>EQUIPO DE MEDICIÓN:</b>		MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS			<b>PROCESO DE SOLDADURA:</b>		GTAW	
<b>DATOS INICIALES</b>								
<b>TRATAMIENTO TÉRMICO A 500°C - P1 (1)</b>								
<b>PROBETA P1</b>	<b>ESPESOR PROMEDIO</b>		<b>ANCHO PROMEDIO</b>		<b>LONGITUD INICIAL</b>		<b>LONGITUD FINAL</b>	
	<b>mm</b>		<b>mm</b>		<b>mm</b>		<b>mm</b>	
	15,85		19,8		50		66,45	
<b>DATOS OBTENIDOS EN EL ENSAYO</b>								
<b>ÁREA</b>	<b>CARGA DE FLUENCIA</b>	<b>LÍMITE DE FLUENCIA</b>		<b>CARGA DE ROTURA</b>	<b>LÍMITE DE ROTURA</b>			
		<b>KN</b>	<b>KPSI</b>		<b>Mpa</b>	<b>KPSI</b>	<b>MPA</b>	
313,83	122,9	56,8	392	171,7	79,35	547		
<b>CURVA DE DEFORMACIÓN</b>								
								
<b>Calculo del porcentaje de Alargamiento (%)</b>								
$\varepsilon = \frac{l_f - l_0}{l_0} \times 100 \rightarrow \varepsilon = \frac{66,45 - 50}{50} \times 100 \rightarrow \varepsilon = 33 \%$								

		<b>REGISTRO DE ENSAYOS DE TRACCIÓN</b> <b>UTA-MEC-008</b>						
		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>						
REG. No.:		UTA-MEC-008-07		LUGAR:		UNIVERSIDAD TÈCNICA DE AMBATO		
FECHA:		18/03/2015						
PROBETA N.-		AUTORIZADO POR.-		REALIZADO POR.-				
02		ING. MG. HENRY VACA		EGDO. MAURICIO ADAME				
NORMA.-			TIPO DE MATERIAL.-					
ASTM A370 / ASTM E8			ASTM A106 Gr. B					
ELEMENTO:			JUNTA SOLDADA 8 NPS, SCH XXS					
TEMPERATURA:		20°C		HUMEDAD RELATIVA:		72%		
EQUIPO DE MEDICIÓN:		MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS		PROCESO DE SOLDADURA:		GTAW		
DATOS INICIALES								
TRATAMIENTO TÉRMICO A 500°C - P1 (1)								
PROBETA 1	ESPESOR PROMEDIO		ANCHO PROMEDIO		LONGITUD INICIAL		LONGITUD FINAL	
	mm		mm		mm		mm	
	18,1		18,61		50		64,56	
DATOS OBTENIDOS EN EL ENSAYO								
AREA	CARGA DE FLUENCIA	LÍMITE DE FLUENCIA		CARGA DE	LÍMITE DE ROTURA			
mm <sup>2</sup>	KN	KPSI	Mpa	KN	KPSI	MPA		
336,84	129	55,55	383	180,8	77,85	537		
CURVA DE DEFORMACIÓN								
								
Calculo del porcentaje de Alargamiento (%)								
$\varepsilon = \frac{l_f - l_o}{l_o} \times 100 \rightarrow \varepsilon = \frac{64,56 - 50}{50} \times 100 \rightarrow \varepsilon = 29\%$								



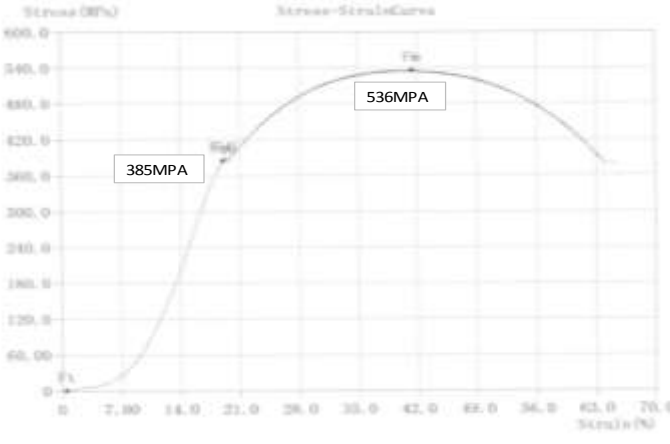
		<b>REGISTRO DE ENSAYOS DE TRACCIÓN</b> <b>UTA-MEC-008</b>						
		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>						
REG. No.:		UTA-MEC-008-08		LUGAR:		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		
FECHA:		18/03/2015						
PROBETA N.-		AUTORIZADO POR.-		REALIZADO POR.-				
03		ING. MG. HENRY VACA		EGDO. MAURICIO ADAME				
NORMA.-			TIPO DE MATERIAL.-					
ASTM A370 / ASTM E8			ASTM A106 Gr. B					
ELEMENTO:			JUNTA SOLDADA 8 NPS, SCH XXS					
TEMPERATURA:		20°C		HUMEDAD RELATIVA:		72%		
EQUIPO DE MEDICIÓN:		MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS		PROCESO DE SOLDADURA:		GTAW		
DATOS INICIALES								
TRATAMIENTO TÉRMICO A 500°C - P1 (1)								
PROBETA 1	ESPESOR PROMEDIO		ANCHO PROMEDIO		LONGITUD INICIAL		LONGITUD FINAL	
	mm		mm		mm		mm	
	17,2		18,92		50		62,92	
DATOS OBTENIDOS EN EL ENSAYO								
AREA	CARGA DE FLUENCIA	LÍMITE DE FLUENCIA		CARGA DE	LÍMITE DE ROTURA			
mm <sup>2</sup>	KN	KPSI	Mpa	KN	KPSI	MPA		
325,424	125,7	54,14	373	176,2	78,53	541		
CURVA DE DEFORMACIÓN								
								
Calculo del porcentaje de Alargamiento (%)								
$\varepsilon = \frac{l_f - l_0}{l_0} \times 100 \rightarrow \varepsilon = \frac{62,92 - 50}{50} \times 100 \rightarrow \varepsilon = 25.8\%$								



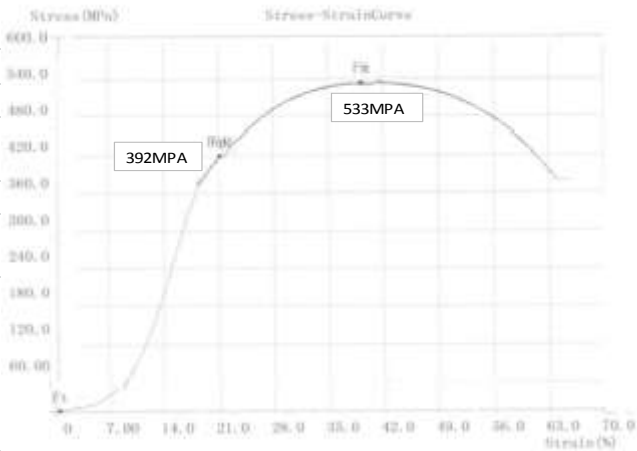
		REGISTRO DE ENSAYOS DE TRACCIÓN					
		UTA-MEC-008					
		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO					
		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA					
		REG. No.:	UTA-MEC-008-09	LUGAR:	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		
		FECHA:	18/03/2015				
PROBETA N.-		AUTORIZADO POR.-		REALIZADO POR.-			
04		ING. MG. HENRY VACA		EGDO. MAURICIO ADAME			
NORMA.-			TIPO DE MATERIAL.-				
ASTM A370 / ASTM E8			ASTM A106 Gr. B				
ELEMENTO:			JUNTA SOLDADA 8 NPS, SCH XXS				
TEMPERATURA:	20°C		HUMEDAD RELATIVA:	72%			
EQUIPO DE MEDICIÓN:	MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS		PROCESO DE SOLDADURA:	GTAW			
DATOS INICIALES							
PROBETA 1	TRATAMIENTO TÉRMICO A 500°C - P1 (1)						
	ESPESOR PROMEDIO	ANCHO PROMEDIO	LONGITUD INICIAL	LONGITUD FINAL			
	mm	mm	mm	mm			
	18,4	18,89	50	60,53			
DATOS OBTENIDOS EN EL ENSAYO							
AREA	CARGA DE FLUENCIA	LÍMITE DE FLUENCIA		CARGA DE	LÍMITE DE ROTURA		
mm <sup>2</sup>	KN	KPSI	Mpa	KN	KPSI	MPA	
347,576	120,92	52,08	359	185,8	77,53	535	
CURVA DE DEFORMACIÓN							
							
Calculo del porcentaje de Alargamiento (%)							
$\varepsilon = \frac{l_f - l_o}{l_o} \times 100 \rightarrow \varepsilon = \frac{60,53 - 50}{50} \times 100 \rightarrow \varepsilon = 21.06 \%$							



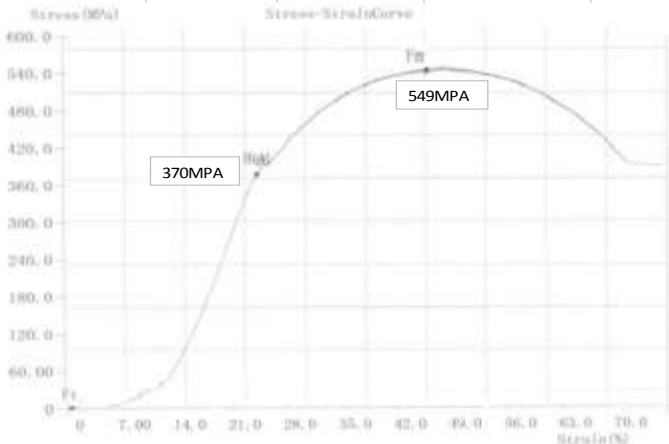
		<b>REGISTRO DE ENSAYOS DE TRACCIÓN</b> <b>UTA-MEC-008</b>						
		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>						
REG. No.:		UTA-MEC-008-10		LUGAR:		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		
FECHA:		18/03/2015						
PROBETA N.-		AUTORIZADO POR.-			REALIZADO POR.-			
05		ING. MG. HENRY VACA			EGDO. MAURICIO ADAME			
NORMA.-				TIPO DE MATERIAL.-				
ASTM A370 / ASTM E8				ASTM A106 Gr. B				
ELEMENTO:				JUNTA SOLDADA 8 NPS, SCH XXS				
TEMPERATURA:		20°C		HUMEDAD RELATIVA:		72%		
EQUIPO DE MEDICIÓN:		MAQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS		PROCESO DE SOLDADURA:		GTAW		
DATOS INICIALES								
TRATAMIENTO TÉRMICO A 500°C - P1 (1)								
PROBETA 1	ESPESOR PROMEDIO		ANCHO PROMEDIO		LONGITUD INICIAL		LONGITUD FINAL	
	mm		mm		mm		mm	
	17,9		19,4		50		64,75	
DATOS OBTENIDOS EN EL ENSAYO								
ÁREA	CARGA DE FLUENCIA	LÍMITE DE FLUENCIA		CARGA DE	LÍMITE DE ROTURA			
		KPSI	Mpa		KPSI	MPA		
mm <sup>2</sup>	KN	KPSI	Mpa	KN	KPSI	MPA		
347,26	129,33	55,71	384	181,3	75,72	522		
CURVA DE DEFORMACION								
								
Calculo del porcentaje de Alargamiento (%)								
$\varepsilon = \frac{l_f - l_0}{l_0} \times 100 \rightarrow \varepsilon = \frac{64,75 - 50}{50} \times 100 \rightarrow \varepsilon = 29.5\%$								



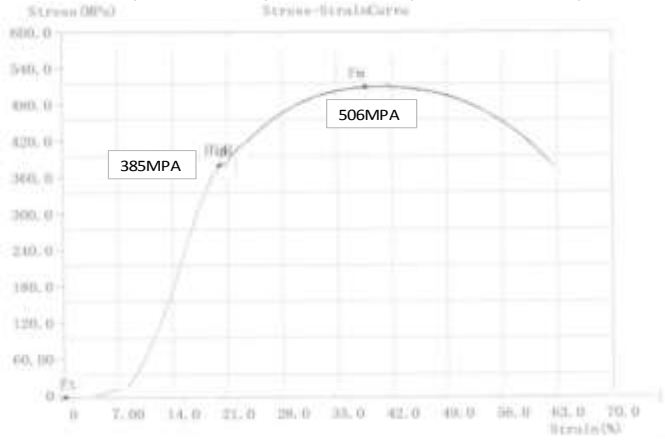
		REGISTRO DE ENSAYOS DE TRACCIÓN				
		UTA-MEC-008				
		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO				
		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA				
		CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				
REG. No.:	UTA-MEC-008-11	LUGAR:	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO			
FECHA:	18/03/2015					
PROBETA N.-	01	AUTORIZADO POR.-	ING. MG. HENRY VACA		REALIZADO POR.-	EGDO. MAURICIO ADAME
NORMA.-	ASTM A370 / ASTM E8		TIPO DE MATERIAL.-			ASTM A106 Gr. B
ELEMENTO:	JUNTA SOLDADA 8 NPS, SCH XXS					
TEMPERATURA:	20°C		HUMEDAD RELATIVA:	72%		
EQUIPO DE MEDICIÓN:	MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS			PROCESO DE SOLDADURA:	GTAW	
DATOS INICIALES						
PROBETA 2	TRATAMIENTO TÉRMICO A 625°C - P2 (4)					
	ESPESOR PROMEDIO	ANCHO PROMEDIO	LONGITUD INICIAL		LONGITUD FINAL	
	mm	mm	mm		mm	
	17,05	19,26	50		66,95	
DATOS OBTENIDOS EN EL ENSAYO						
ÁREA	CARGA DE FLUENCIA	LÍMITE DE FLUENCIA		CARGA DE ROTURA	LÍMITE DE ROTURA SUT	
mm <sup>2</sup>	KN	KPSI	Mpa	KN	KPSI	MPA
328,38	120	53	365	169,1	74,69	515
CURVA DE DEFORMACIÓN						
						
Calculo del porcentaje de Alargamiento (%)						
$\varepsilon = \frac{l_f - l_o}{l_o} \times 100 \rightarrow \varepsilon = \frac{66,95 - 50}{50} \times 100 \rightarrow \varepsilon = 34 \%$						



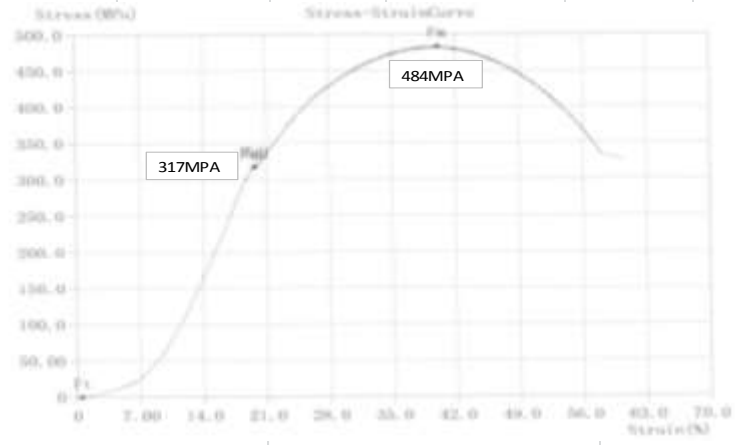



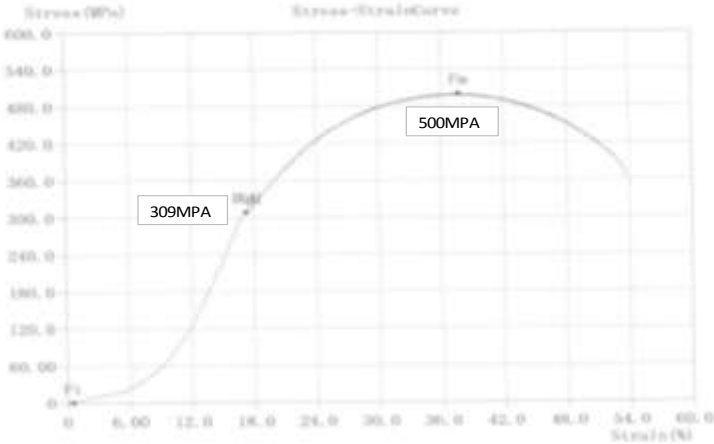
		<b>REGISTRO DE ENSAYOS DE TRACCIÓN</b> <b>UTA-MEC-008</b>						
		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>						
REG. No.:		UTA-MEC-008-12		LUGAR:		UNIVERSIDAD TÈCNICA DE AMBATO		
FECHA:		18/03/2015						
PROBETA N.-		AUTORIZADO POR.-			REALIZADO POR.-			
02		ING. MG. HENRY VACA			EGDO. MAURICIO ADAME			
NORMA.-				TIPO DE MATERIAL.-				
ASTM A370 / ASTM E8				ASTM A106 Gr. B				
ELEMENTO:				JUNTA SOLDADA 8 NPS, SCH XXS				
TEMPERATURA:		20°C		HUMEDAD RELATIVA:		72%		
EQUIPO DE MEDICIÓN:		MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS		PROCESO DE SOLDADURA:		GTAW		
DATOS INICIALES								
TRATAMIENTO TÉRMICO A 625°C - P2 (4)								
PROBETA 2	ESPESOR PROMEDIO		ANCHO PROMEDIO		LONGITUD INICIAL		LONGITUD FINAL	
	mm		mm		mm		mm	
	19,5		19,3		50		69,78	
DATOS OBTENIDOS EN EL ENSAYO								
ÁREA	CARGA DE FLUENCIA	LÍMITE DE FLUENCIA Sy		CARGA DE ROTURA	LÍMITE DE ROTURA SUT			
		KPSI	Mpa		KPSI	MPA		
mm2	KN	KPSI	Mpa	KN	KPSI	MPA		
376,35	144,8	55,8	385	201,7	77,73	536		
CURVA DE DEFORMACIÓN								
								
Calculo del porcentaje de Alargamiento (%)								
$\varepsilon = \frac{l_f - l_o}{l_o} \times 100 \rightarrow \varepsilon = \frac{69,78 - 50}{50} \times 100 \rightarrow \varepsilon = 40 \%$								



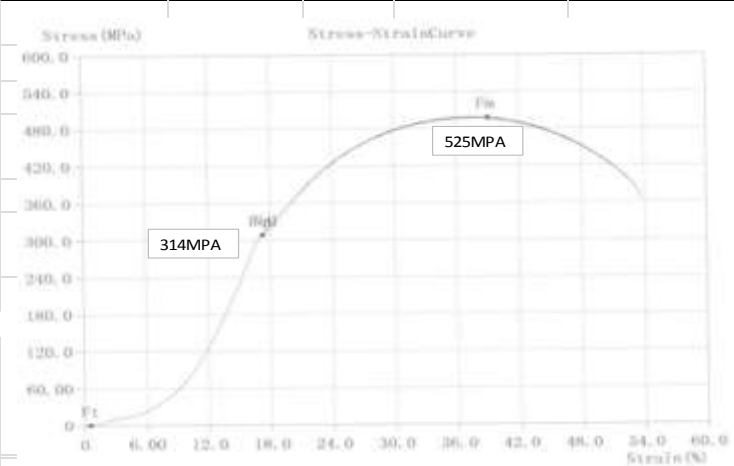
		<b>REGISTRO DE ENSAYOS DE TRACCIÓN</b> <b>UTA-MEC-008</b>					
		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>					
<b>REG. No.:</b>		UTA-MEC-008-13		<b>LUGAR:</b>		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO	
<b>FECHA:</b>		18/03/2015					
<b>PROBETA N.-</b>		<b>AUTORIZADO POR.-</b>			<b>REALIZADO POR.-</b>		
03		ING. MG. HENRY VACA			EGDO. MAURICIO ADAME		
<b>NORMA.-</b>				<b>TIPO DE MATERIAL.-</b>			
ASTM A370 / ASTM E8				ASTM A106 Gr. B			
<b>ELEMENTO:</b>				JUNTA SOLDADA 8 NPS, SCH XXS			
<b>TEMPERATURA:</b>		20°C		<b>HUMEDAD RELATIVA:</b>		72%	
<b>EQUIPO DE MEDICIÓN:</b>		MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS		<b>PROCESO DE SOLDADURA:</b>		GTAW	
DATOS INICIALES							
<b>TRATAMIENTO TÉRMICO A 625°C - P2 (4)</b>							
<b>PROBETA</b> 2	<b>ESPESOR PROMEDIO</b>		<b>ANCHO PROMEDIO</b>		<b>LONGITUD INICIAL</b>		<b>LONGITUD FINAL</b>
	mm		mm		mm		mm
	18,9		19,1		50		68,01
DATOS OBTENIDOS EN EL ENSAYO							
<b>ÁREA</b>	<b>CARGA DE FLUENCIA</b>	<b>LÍMITE DE FLUENCIA Sy</b>		<b>CARGA DE ROTURA</b>	<b>LÍMITE DE ROTURA SUT</b>		
		mm2	KN		KPSI	Mpa	KN
360,99	123,3	56,9	392	192,4	77,30	533	
CURVA DE DEFORMACIÓN							
							
Calculo del porcentaje de Alargamiento (%)							
$\epsilon = \frac{l_f - l_0}{l_0} \times 100 \rightarrow \epsilon = \frac{68,01 - 50}{50} \times 100 \rightarrow \epsilon = 36.02 \%$							






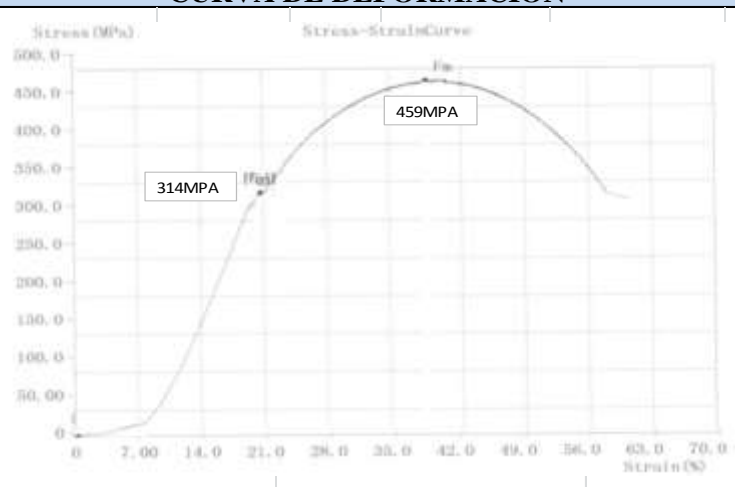
REGISTRO DE ENSAYOS DE TRACCIÓN							
UTA-MEC-008							
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO							
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA							
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA							
	REG. No.:	UTA-MEC-008-14	LUGAR:	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO			
	FECHA:	18/03/2015					
PROBETA N.-		AUTORIZADO POR.-		REALIZADO POR.-			
04		ING. MG. HENRY VACA		EGDO. MAURICIO ADAME			
NORMA.-			TIPO DE MATERIAL.-				
ASTM A370 / ASTM E8			ASTM A106 Gr. B				
ELEMENTO:			JUNTA SOLDADA 8 NPS, SCH XXS				
TEMPERATURA:	20°C		HUMEDAD RELATIVA:	72%			
EQUIPO DE MEDICIÓN:	MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS		PROCESO DE SOLDADURA:	GTAW			
DATOS INICIALES							
PROBETA 2	TRATAMIENTO TÉRMICO A 625°C - P2 (4)						
	ESPESOR PROMEDIO	ANCHO PROMEDIO	LONGITUD INICIAL	LONGITUD FINAL			
	mm	mm	mm	mm			
	19,5	19,19	50	70,29			
DATOS OBTENIDOS EN EL ENSAYO							
ÁREA	CARGA DE FLUENCIA	LÍMITE DE FLUENCIA Sy		CARGA DE ROTURA	LÍMITE DE ROTURA SUT		
mm2	KN	KPSI	Mpa	KN	KPSI	MPA	
374,205	148,86	53,6	370	205,6	79,69	549	
CURVA DE DEFORMACIÓN							
							
Calculo del porcentaje de Alargamiento (%)							
$\epsilon = \frac{l_f - l_o}{l_o} \times 100 \rightarrow \epsilon = \frac{70,29 - 50}{50} \times 100 \rightarrow \epsilon = 40,6 \%$							

		<b>REGISTRO DE ENSAYOS DE TRACCIÓN</b> <b>UTA-MEC-008</b>						
		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>						
REG. No.:		UTA-MEC-008-15		LUGAR:		UNIVERSIDAD TÈCNICA DE AMBATO		
FECHA:		18/03/2015						
PROBETA N.-		AUTORIZADO POR.-			REALIZADO POR.-			
05		ING. MG. HENRY VACA			EGDO. MAURICIO ADAME			
NORMA.-				TIPO DE MATERIAL.-				
ASTM A370 / ASTM E8				ASTM A106 Gr. B				
ELEMENTO:				JUNTA SOLDADA 8 NPS, SCH XXS				
TEMPERATURA:		20°C		HUMEDAD RELATIVA:		72%		
EQUIPO DE MEDICIÓN:		MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS		PROCESO DE SOLDADURA:		GTAW		
DATOS INICIALES								
TRATAMIENTO TÉRMICO A 625°C - P2 (4)								
PROBETA 2	ESPESOR PROMEDIO		ANCHO PROMEDIO		LONGITUD INICIAL		LONGITUD FINAL	
	mm		mm		mm		mm	
	19,7		19,32		50		68,6	
DATOS OBTENIDOS EN EL ENSAYO								
ÁREA	CARGA DE FLUENCIA	LÍMITE DE FLUENCIA Sy		CARGA DE ROTURA	LÍMITE DE ROTURA SUT			
		KPSI	Mpa		KPSI	MPA		
mm <sup>2</sup>	KN	KPSI	Mpa	KN	KPSI	MPA		
380,604	138,1	55,8	385	192,4	73,32	506		
CURVA DE DEFORMACIÓN								
								
Calculo del porcentaje de Alargamiento (%)								
$\epsilon = \frac{l_f - l_o}{l_o} \times 100 \rightarrow \epsilon = \frac{68,6 - 50}{50} \times 100 \rightarrow \epsilon = 37,2 \%$								


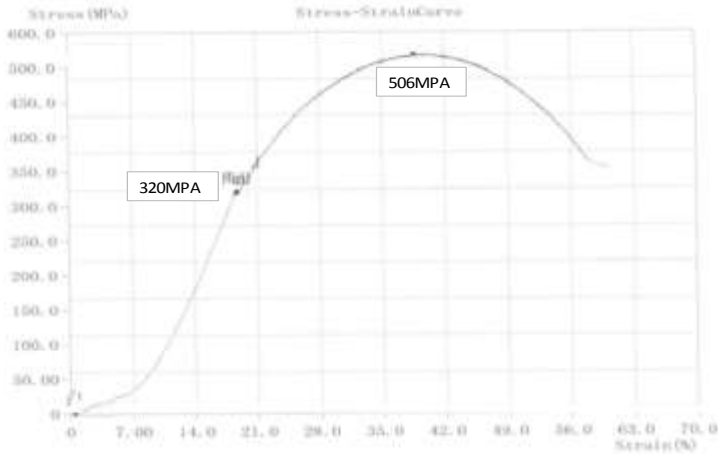
		<b>REGISTRO DE ENSAYOS DE TRACCIÓN</b> <b>UTA-MEC-008</b>						
<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>		<b>REG. No.:</b> UTA-MEC-008-16		<b>LUGAR:</b> UNIVERSIDAD TÈCNICA DE AMBATO				
<b>FECHA:</b>		18/03/2015						
<b>PROBETA N.-</b>		<b>AUTORIZADO POR.-</b>			<b>REALIZADO POR.-</b>			
01		ING. MG. HENRY VACA			EGDO. MAURICIO ADAME			
<b>NORMA.-</b>				<b>TIPO DE MATERIAL.-</b>				
ASTM A370 / ASTM E8				ASTM A106 Gr. B				
<b>ELEMENTO:</b>				<b>JUNTA SOLDADA 8 NPS, SCH XXS</b>				
<b>TEMPERATURA:</b>		20°C		<b>HUMEDAD RELATIVA:</b>		72%		
<b>EQUIPO DE MEDICIÓN:</b>		MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS		<b>PROCESO DE SOLDADURA:</b>		GTAW		
<b>DATOS INICIALES</b>								
<b>TRATAMIENTO TÉRMICO A 750°C - P1 (3)</b>								
<b>PROBETA</b> 2	<b>ESPESOR PROMEDIO</b>		<b>ANCHO PROMEDIO</b>		<b>LONGITUD INICIAL</b>		<b>LONGITUD FINAL</b>	
	mm		mm		mm		mm	
	17,64		18,92		50		66,9	
<b>DATOS OBTENIDOS EN EL ENSAYO</b>								
<b>ÁREA</b>	<b>CARGA DE FLUENCIA</b>	<b>LÍMITE DE FLUENCIA</b>		<b>CARGA DE ROTURA</b>	<b>LÍMITE DE ROTURA SUT</b>			
		KPSI	Mpa		KPSI	MPA		
mm2	KN	45,98	317	KN	70,14	484		
333,75	105,8	45,98	317	161,4	70,14	484		
<b>CURVA DE DEFORMACIÓN</b>								
 <p>The graph plots Stress (MPa) on the y-axis (0 to 500) against Strain (%) on the x-axis (0 to 70). The curve starts at the origin, rises to a yield point at 317 MPa, reaches a peak at 484 MPa, and then begins to decline. Key points are labeled: \$E_s\$ at the origin, \$F_{0.2}\$ at 317 MPa, and \$F_u\$ at 484 MPa.</p>								
<b>Calculo del porcentaje de Alargamiento (%)</b>								
$\varepsilon = \frac{l_f - l_0}{l_0} \times 100 \rightarrow \varepsilon = \frac{66,90 - 50}{50} \times 100 \rightarrow \varepsilon = 34 \%$								



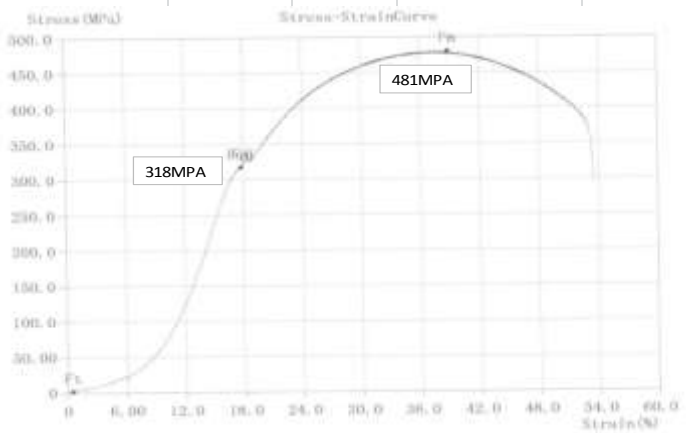
REGISTRO DE ENSAYOS DE TRACCIÓN						
UTA-MEC-008						
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO						
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA						
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA						
	REG. No.:	UTA-MEC-008-17	LUGAR:	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		
	FECHA:	18/03/2015				
PROBETA N.-		AUTORIZADO POR.-		REALIZADO POR.-		
02		ING. MG. HENRY VACA		EGDO. MAURICIO ADAME		
NORMA.-			TIPO DE MATERIAL.-			
ASTM A370 / ASTM E8			ASTM A106 Gr. B			
ELEMENTO:			JUNTA SOLDADA 8 NPS, SCH XXS			
TEMPERATURA:	20°C		HUMEDAD RELATIVA:	72%		
EQUIPO DE MEDICIÓN:	MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS			PROCESO DE SOLDADURA:	GTAW	
DATOS INICIALES						
PROBETA 2	TRATAMIENTO TÉRMICO A 750°C - P1 (3)					
	ESPESOR PROMEDIO	ANCHO PROMEDIO	LONGITUD INICIAL		LONGITUD FINAL	
	mm	mm	mm		mm	
	15,1	18,46	50		66,38	
DATOS OBTENIDOS EN EL ENSAYO						
AREA	CARGA DE FLUENCIA	LIMITE DE FLUENCIA Sy		CARGA DE ROTURA	LIMITE DE ROTURA SUT	
mm <sup>2</sup>	KN	KPSI	Mpa	KN	KPSI	MPA
278,75	86,1	44,8	309	139,4	72,53	500
CURVA DE DEFORMACIÓN						
						
Calculo del porcentaje de Alargamiento (%)						
$\epsilon = \frac{l_f - l_0}{l_0} \times 100 \rightarrow \epsilon = \frac{66,38 - 50}{50} \times 100 \rightarrow \epsilon = 33\%$						



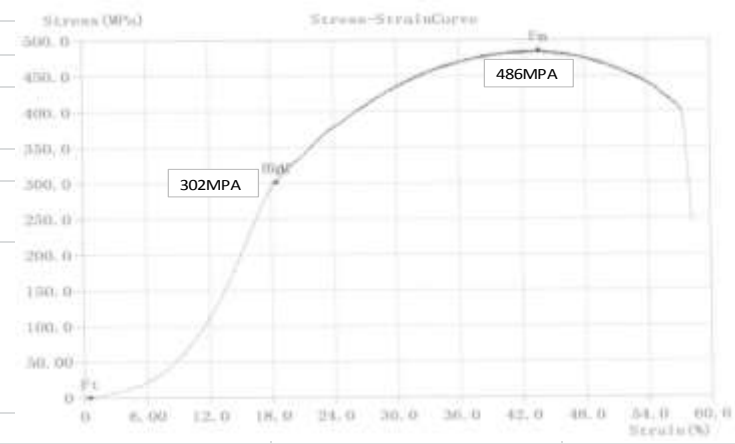
		<b>REGISTRO DE ENSAYOS DE TRACCIÓN</b> <b>UTA-MEC-008</b> <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>					
<b>REG. No.:</b>		UTA-MEC-008-18		<b>LUGAR:</b>		UNIVERSIDAD TÈCNICA DE AMBATO	
<b>FECHA:</b>		18/03/2015					
<b>PROBETA N.-</b>		<b>AUTORIZADO POR.-</b>			<b>REALIZADO POR.-</b>		
03		ING. MG. HENRY VACA			EGDO. MAURICIO ADAME		
<b>NORMA.-</b>				<b>TIPO DE MATERIAL.-</b>			
ASTM A370 / ASTM E8				ASTM A106 Gr. B			
<b>ELEMENTO:</b>				JUNTA SOLDADA 8 NPS, SCH XXS			
<b>TEMPERATURA:</b>		20°C		<b>HUMEDAD RELATIVA:</b>		72%	
<b>EQUIPO DE MEDICIÓN:</b>		MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS			<b>PROCESO DE SOLDADURA:</b>		GTAW
DATOS INICIALES							
TRATAMIENTO TÉRMICO A 750°C - P1 (3)							
PROBETA	ESPESOR PROMEDIO	ANCHO PROMEDIO		LONGITUD INICIAL		LONGITUD FINAL	
	mm	mm		mm		mm	
	2	16,2	18,7		50		67,38
DATOS OBTENIDOS EN EL ENSAYO							
ÁREA	CARGA DE FLUENCIA	LÍMITE DE FLUENCIA Sy		CARGA DE ROTURA	LÍMITE DE ROTURA SUT		
		KPSI	Mpa		KPSI	MPA	
mm2	KN	45,52	314	KN	76,51	527	
302,94	98,7	45,52	314	159,8	76,51	527	
CURVA DE DEFORMACIÓN							
							
Calculo del porcentaje de Alargamiento (%)							
$\epsilon = \frac{l_f - l_0}{l_0} \times 100 \rightarrow \epsilon = \frac{67,1 - 50}{50} \times 100 \rightarrow \epsilon = 34,2\%$							



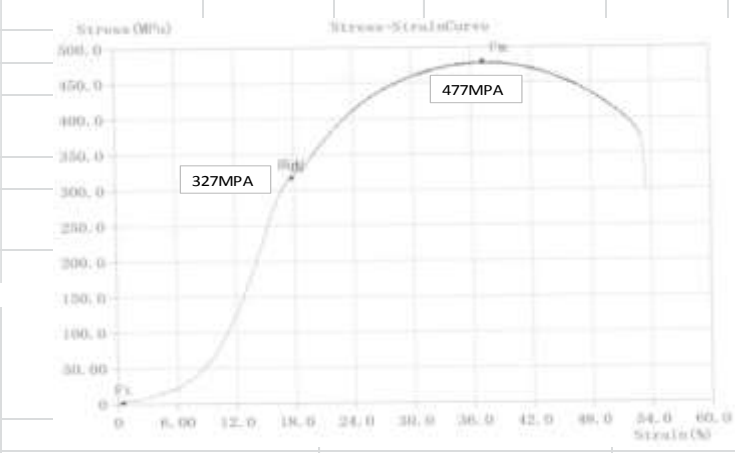
		REGISTRO DE ENSAYOS DE TRACCIÓN				
		UTA-MEC-008				
		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO				
		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA				
		CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		
		REG. No.:	UTA-MEC-008-19	LUGAR:	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO	
		FECHA:		18/03/2015		
		PROBETA N.-		AUTORIZADO POR.-		REALIZADO POR.-
04		ING. MG. HENRY VACA		EGDO. MAURICIO ADAME		
NORMA.-			TIPO DE MATERIAL.-			
ASTM A370 / ASTM E8			ASTM A106 Gr. B			
ELEMENTO:			JUNTA SOLDADA 8 NPS, SCH XXS			
TEMPERATURA:		20°C		HUMEDAD RELATIVA:		
				72%		
EQUIPO DE MEDICIÓN:		MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS		PROCESO DE SOLDADURA:		
				GTAW		
DATOS INICIALES						
TRATAMIENTO TÉRMICO A 750°C - P1 (3)						
PROBETA 2	ESPESOR PROMEDIO	ANCHO PROMEDIO	LONGITUD INICIAL	LONGITUD FINAL		
	mm	mm	mm	mm		
	16,9	18,1	50	68,8		
DATOS OBTENIDOS EN EL ENSAYO						
AREA	CARGA DE FLUENCIA	LIMITE DE FLUENCIA Sy		CARGA DE ROTURA	LIMITE DE ROTURA SUT	
mm2	KN	KPSI	Mpa	KN	KPSI	MPA
305,89	86,66	45,52	314	140,3	66,53	459
CURVA DE DEFORMACIÓN						
						
Calculo del porcentaje de Alargamiento (%)						
$\epsilon = \frac{l_f - l_0}{l_0} \times 100 \rightarrow \epsilon = \frac{68,8 - 50}{50} \times 100 \rightarrow \epsilon = 37,6 \%$						



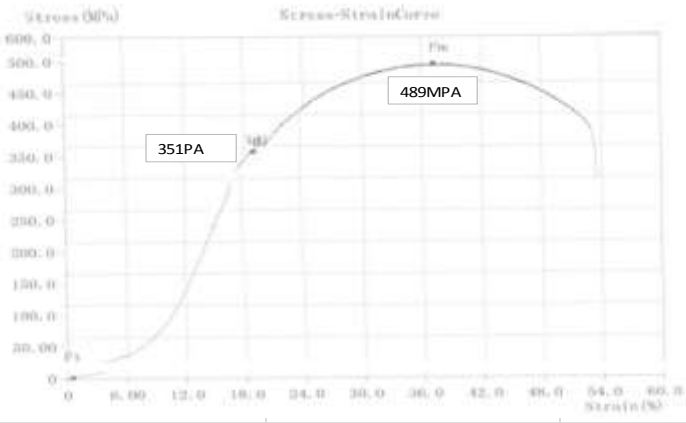




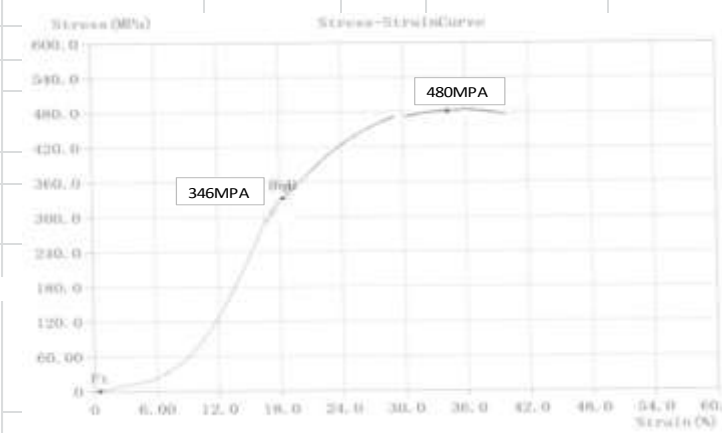
REGISTRO DE ENSAYOS DE TRACCIÓN						
UTA-MEC-008						
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO						
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA						
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA						
	REG. No.:	UTA-MEC-008-20	LUGAR:	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		
	FECHA:	18/03/2015				
PROBETA N.-		AUTORIZADO POR.-		REALIZADO POR.-		
05		ING. MG. HENRY VACA		EGDO. MAURICIO ADAME		
NORMA.-			TIPO DE MATERIAL.-			
ASTM A370 / ASTM E8			ASTM A106 Gr. B			
ELEMENTO:			JUNTA SOLDADA 8 NPS, SCH XXS			
TEMPERATURA:	20°C		HUMEDAD RELATIVA:	72%		
EQUIPO DE MEDICIÓN:	MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS			PROCESO DE SOLDADURA:	GTAW	
DATOS INICIALES						
PROBETA 2	TRATAMIENTO TÉRMICO A 750°C - P1 (3)					
	ESPESOR PROMEDIO	ANCHO PROMEDIO	LONGITUD INICIAL		LONGITUD FINAL	
	mm	mm	mm		mm	
	17,2	18,7	50		68,7	
DATOS OBTENIDOS EN EL ENSAYO						
AREA	CARGA DE FLUENCIA	LIMITE DE FLUENCIA Sy		CARGA DE ROTURA	LIMITE DE ROTURA SUT	
mm <sup>2</sup>	KN	KPSI	Mpa	KN	KPSI	MPA
321,64	106,78	46,41	320	162,9	73,46	506
CURVA DE DEFORMACIÓN						
						
Calculo del porcentaje de Alargamiento (%)						
$\epsilon = \frac{l_f - l_0}{l_0} \times 100 \rightarrow \epsilon = \frac{68,7 - 50}{50} \times 100 \rightarrow \epsilon = 37,4\%$						

REGISTRO DE ENSAYOS DE TRACCIÓN						
UTA-MEC-008						
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO						
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA						
	REG. No.:	UTA-MEC-008-21	LUGAR:	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE		
	FECHA:	18/03/2015				
	PROBETA N.-	AUTORIZADO POR.-		REALIZADO POR.-		
01	ING. MG. HENRY VACA		EGDO. MAURICIO ADAME			
NORMA.-			TIPO DE MATERIAL.-			
ASTM A370 / ASTM E8			ASTM A106 Gr. B			
ELEMENTO:			JUNTA SOLDADA 8 NPS, SCH XXS			
TEMPERATURA:	20°C		HUMEDAD RELATIVA:	72%		
EQUIPO DE MEDICIÓN:	MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS		PROCESO DE SOLDADURA:	GTAW		
DATOS INICIALES						
PROBETA 1	TRATAMIENTO TÉRMICO A 870°C - P2 (2)					
	ESPESOR	ANCHO	LONGITUD	LONGITUD		
	mm	mm	mm	mm		
	16,4	19,78	50	66,58		
DATOS OBTENIDOS EN EL ENSAYO						
ÁREA	CARGA DE FLUENCIA	LÍMITE DE FLUENCIA		CARGA DE	LÍMITE DE ROTURA	
mm <sup>2</sup>	KN	KPSI	Mpa	KN	KPSI	MPA
324,39	103	46,05	318	155,9	69,7	481
CURVA DE DEFORMACIÓN						
						
Calculo del porcentaje de Alargamiento (%)						
$\varepsilon = \frac{l_f - l_0}{l_0} \times 100 \rightarrow \varepsilon = \frac{66,58 - 50}{50} \times 100 \rightarrow \varepsilon = 33\%$						

REGISTRO DE ENSAYOS DE TRACCIÓN						
UTA-MEC-008						
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO						
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA						
	REG. No.	UTA-MEC-008-22	LUGAR:	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE		
	FECHA:	18/03/2015				
PROBETA N.-		AUTORIZADO POR.		REALIZADO POR.-		
02		ING. MG. HENRY VACA		EGDO. MAURICIO ADAME		
NORMA.-			TIPO DE MATERIAL.-			
ASTM A370 / ASTM E8			ASTM A106 Gr. B			
ELEMENTO:			JUNTA SOLDADA 8 NPS, SCH XXS			
TEMPERATURA:	20°C		HUMEDAD RELATIVA:	72%		
EQUIPO DE MEDICIÓN:	MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS			PROCESO DE SOLDADURA:	GTAW	
DATOS INICIALES						
PROBETA 1	TRATAMIENTO TÉRMICO A 870°C - P2 (2)					
	ESPESOR PROMEDIO	ANCHO PROMEDIO	LONGITUD INICIAL	LONGITUD FINAL		
	mm	mm	mm	mm		
	19,15	19,27	50	64,48		
DATOS OBTENIDOS EN EL ENSAYO						
ÁREA	CARGA DE FLUENCIA	LÍMITE DE FLUENCIA		CARGA DE	LÍMITE DE ROTURA	
mm <sup>2</sup>	KN	KPSI	Mpa	KN	KPSI	MPA
369,02	111,4	43,78	302	179,3	70,47	486
CURVA DE DEFORMACIÓN						
						
Calculo del porcentaje de Alargamiento (%)						
$\epsilon = \frac{l_f - l_o}{l_o} \times 100 \rightarrow \epsilon = \frac{64,48 - 50}{50} \times 100 \rightarrow \epsilon = 29\%$						

		<b>REGISTRO DE ENSAYOS DE TRACCIÓN</b> <b>UTA-MEC-008</b>							
		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b>							
REG. No.:	UTA-MEC-008-23	LUGAR:	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE						
FECHA:	18/03/2015								
PROBETA N.-	03	AUTORIZADO POR.-	ING. MG. HENRY VACA		REALIZADO POR.-	EGDO. MAURICIO ADAME			
NORMA.-			ASTM A370 / ASTM E8			TIPO DE MATERIAL.-		ASTM A106 Gr. B	
ELEMENTO:			JUNTA SOLDADA 8 NPS, SCH XXS			TEMPERATURA:		20°C	
HUMEDAD RELATIVA:			72%			EQUIPO DE MEDICIÓN:		MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS	
PROCESO DE SOLDADURA:			GTAW			DATOS INICIALES			
PROBETA A 1	TRATAMIENTO TÉRMICO A 870°C - P2 (2)								
	ESPESOR PROMEDIO	ANCHO PROMEDIO	LONGITUD INICIAL			LONGITUD FINAL			
	mm	mm	mm			mm			
	19,23	19,12	50			65,1			
DATOS OBTENIDOS EN EL ENSAYO									
ÁREA	CARGA DE FLUENCIA	LÍMITE DE FLUENCIA		CARGA DE	LÍMITE DE ROTURA				
mm <sup>2</sup>	KN	KPSI	Mpa	KN	KPSI	MPA			
367,678	106,03	47,41	327	175,5	69,23	477			
CURVA DE DEFORMACIÓN									
									
Calculo del porcentaje de Alargamiento (%)									
$\varepsilon = \frac{l_f - l_o}{l_o} \times 100 \rightarrow \varepsilon = \frac{65,1 - 50}{50} \times 100 \rightarrow \varepsilon = 30.2\%$									



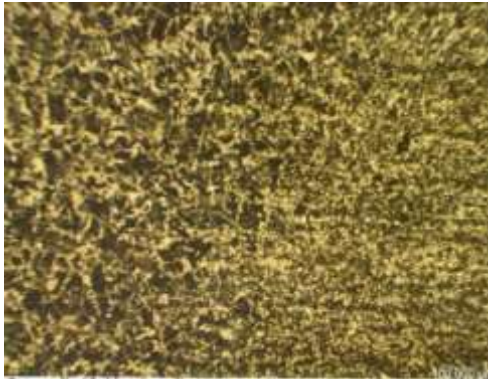
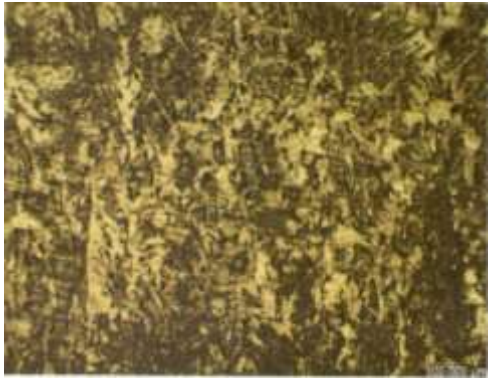
		<b>REGISTRO DE ENSAYOS DE TRACCIÓN</b> <b>UTA-MEC-008</b> <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b>						
<b>REG. No.:</b>		UTA-MEC-008-24		<b>LUGAR:</b>		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE		
<b>FECHA:</b>		18/03/2015						
<b>PROBETA N.-</b>		<b>AUTORIZADO POR.-</b>		<b>REALIZADO POR.-</b>				
04		ING. MG. HENRY VACA		EGDO. MAURICIO ADAME				
<b>NORMA.-</b>				<b>TIPO DE MATERIAL.-</b>				
ASTM A370 / ASTM E8				ASTM A106 Gr. B				
<b>ELEMENTO:</b>				JUNTA SOLDADA 8 NPS, SCH XXS				
<b>TEMPERATURA:</b>		20°C		<b>HUMEDAD RELATIVA:</b>		72%		
<b>EQUIPO DE MEDICIÓN:</b>		MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS		<b>PROCESO DE SOLDADURA:</b>		GTAW		
DATOS INICIALES								
<b>TRATAMIENTO TÉRMICO A 870°C - P2 (2)</b>								
<b>PROBETA A 1</b>	<b>ESPESOR PROMEDIO</b>		<b>ANCHO PROMED</b>		<b>LONGITUD INICIAL</b>		<b>LONGITUD FINAL</b>	
	mm		mm		mm		mm	
	18,3		19,25		50		64,32	
DATOS OBTENIDOS EN EL ENSAYO								
<b>ÁREA</b>	<b>CARGA DE FLUENCIA</b>	<b>LÍMITE DE FLUENCIA</b>		<b>CARGA DE</b>	<b>LÍMITE DE ROTURA</b>			
mm <sup>2</sup>	KN	KPSI	Mpa	KN	KPSI	MPA		
352,275	113,9	50,92	351	172,4	70,98	489		
CURVA DE DEFORMACIÓN								
								
Calculo del porcentaje de Alargamiento (%)								
$\varepsilon = \frac{l_f - l_o}{l_o} \times 100 \rightarrow \varepsilon = \frac{64,32 - 50}{50} \times 100 \rightarrow \varepsilon = 28.6\%$								

		<b>REGISTRO DE ENSAYOS DE TRACCIÓN</b> <b>UTA-MEC-008</b>						
		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b>						
REG. No.:		UTA-MEC-008-25		LUGAR:		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE		
FECHA:		18/03/2015						
PROBETA N.-		05		AUTORIZADO POR.-		REALIZADO POR.-		
				ING. MG. HENRY VACA		EGDO. MAURICIO ADAME		
NORMA.-				TIPO DE MATERIAL.-				
ASTM A370 / ASTM E8				ASTM A106 Gr. B				
ELEMENTO:				JUNTA SOLDADA 8 NPS, SCH XXS				
TEMPERATURA:		20°C		HUMEDAD RELATIVA:		72%		
EQUIPO DE MEDICIÓN:		MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS		PROCESO DE SOLDADURA:		GTAW		
DATOS INICIALES								
TRATAMIENTO TÉRMICO A 870°C - P2 (2)								
PROBETA 1	ESPESOR PROMEDIO		ANCHO PROMEDIO		LONGITUD INICIAL		LONGITUD FINAL	
	mm		mm		mm		mm	
	18,56		19,04		50		65,02	
DATOS OBTENIDOS EN EL ENSAYO								
ÁREA	CARGA DE FLUENCIA	LÍMITE DE FLUENCIA		CARGA DE	LÍMITE DE ROTURA			
mm <sup>2</sup>	KN	KPSI	Mpa	KN	KPSI	MPA		
353,382	112,12	50,12	346	169,7	69,65	480		
CURVA DE DEFORMACIÓN								
								
Calculo del porcentaje de Alargamiento (%)								
$\varepsilon = \frac{l_f - l_o}{l_o} \times 100 \rightarrow \varepsilon = \frac{65,02 - 50}{50} \times 100 \rightarrow \varepsilon = 30\%$								



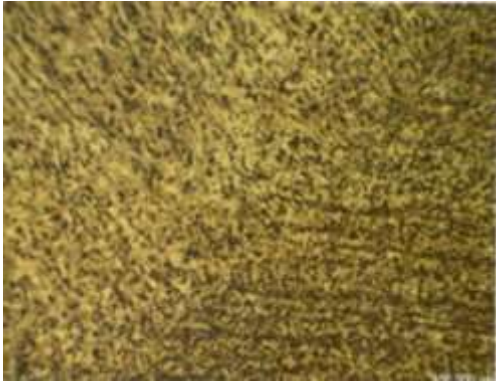
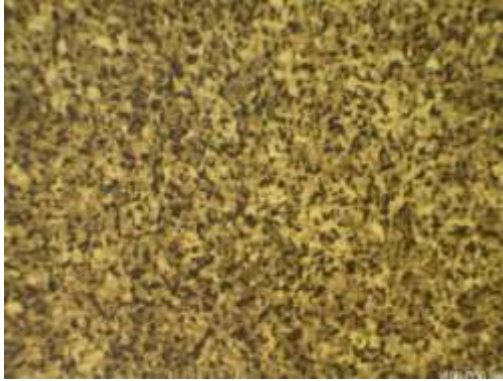
## Ensayos Metalográficos



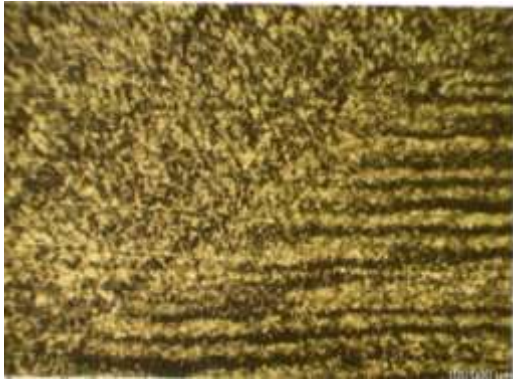

	<b>REGISTRO DE ENSAYO METALGRÁFICO UTA-MEC-007</b>				
	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>				
	<b>REG. No.</b>	UTA-MEC-007-01	<b>LUGAR:</b>		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
	<b>FECHA:</b>	23/03/2015			
<b>PROBETA SIN TRATAMIENTO TÉRMICO</b>					
<b>PROBETA N.-</b>		<b>AUTORIZADO POR.-</b>		<b>REALIZADO POR.-</b>	
PROBETA 3		ING. MG. HENRY VACA		EGDO. MAURICIO ADAME	
<b>NORMA.-</b>		<b>TIPO DE MATERIAL.-</b>		<b>PROCESO DE SOLDADURA</b>	
ASTM E3		ASTM A106 Gr. B		GTAW	
<b>TIPO DE ESTUDIO</b>		<b>TEMPERATURA AMBIENTE</b>		<b>HUMEDAD</b>	
DE LABORATORIO		21°C		77%	
<b>ACONDICIONAMIENTO DE LA SUPERFICIE</b>		<b>ATAQUE QUÍMICO DE LA SUPERFICIE CON:</b>		<b>AUMENTO</b>	
PULIDO MECÁNICO TIPO ESPEJO		NITAL 2		100X	
					
Fotografía A1. Metalografía 100X Intercara		Fotografía A2. Metalografía 100X Material de aporte			
<b>INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS</b>					
En la zona de intercara se observa fusión completa entre el material base y material de aporte con microestructura de ferrita acicular. El material base presenta bandas de segregación.					



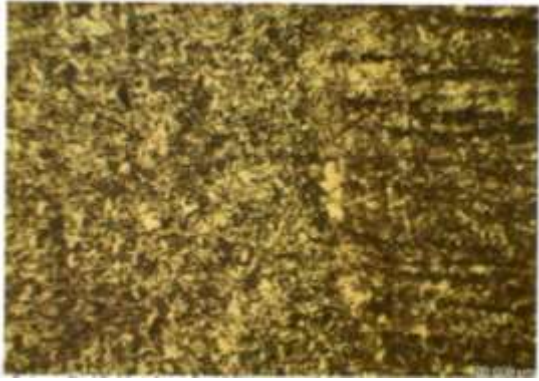



	<b>REGISTRO DE ENSAYO METALOGRAFICO UTA-MEC-007</b>				
	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>				
	<b>REG. No.:</b>	UTA-MEC-007-02	<b>LUGAR:</b>		UNIVERSIDAD TÈCNICA DE AMBATO
	<b>FECHA:</b>	23/03/2015			
<b>PROBETA CON TRATAMIENTO TÉRMICO A 500°C</b>					
<b>PROBETA N.-</b>		<b>AUTORIZADO POR.-</b>		<b>REALIZADO POR.-</b>	
PROBETA 3		ING. MG. HENRY VACA		EGDO. MAURICIO ADAME	
<b>NORMA.-</b>		<b>TIPO DE MATERIAL.-</b>		<b>PROCESO DE SOLDADURA</b>	
ASTM E3		ASTM A106 Gr. B		GTAW	
<b>TIPO DE ESTUDIO</b>		<b>TEMPERATURA AMBIENTE</b>		<b>HUMEDAD</b>	
DE LABORATORIO		21°C		77%	
<b>ACONDICIONAMIENTO DE LA SUPERFICIE</b>		<b>ATAQUE QUÍMICO DE LA SUPERFICIE CON:</b>		<b>AUMENTO</b>	
PULIDO MECÁNICO TIPO ESPEJO		NITAL 2		100X	
					
Fotografía A3. Metalografía 100X Intercara		Fotografía A4. Metalografía 100X Material de aporte			
<b>INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS</b>					
En la zona de intercapa se observa fusión completa entre el material base y material de aporte con microestructura de ferrita acicular. El material base presenta bandas de segregación.					



<b>REGISTRO DE ENSAYO METALOGRAFICO UTA-MEC-007</b>					
	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>				
	<b>REG. No.</b>	UTA-MEC-007-03	<b>LUGAR:</b>		UNIVERSIDAD TÈCNICA DE AMBATO
	<b>FECHA:</b>	24/03/2015			
<b>PROBETA CON TRATAMIENTO TÉRMICO A 625°C</b>					
<b>PROBETA N.-</b>		<b>AUTORIZADO POR.-</b>	<b>REALIZADO POR.-</b>		
PROBETA 3		ING. MG. HENRY VACA	EGDO. MAURICIO		
<b>NORMA.-</b>		<b>TIPO DE MATERIAL.-</b>	<b>PROCESO DE SOLDADURA</b>		
ASTM E3		ASTM A106 Gr. B	GTAW		
<b>TIPO DE ESTUDIO</b>		<b>TEMPERATURA AMBIENTE</b>	<b>HUMEDAD</b>		
DE LABORATORIO		21°C	77%		
<b>ACONDICIONAMIENTO DE LA SUPERFICIE</b>		<b>ATAQUE QUÍMICO DE LA SUPERFICIE CON:</b>	<b>AUMENTO</b>		
PULIDO MECÁNICO TIPO ESPEJO		NITAL 2	100X		
					
Fotografía A5. Metalografía 100X Intercara		Fotografía A6. Metalografía 100X Material de aporte			
<b>INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS</b>					
<p>Se observa en el material de aporte granos columnares a partir del material base, el material base presenta una microestructura de ferrita acicular con bandas de segregación. Se observa fusión completa entre material base y de aporte</p>					

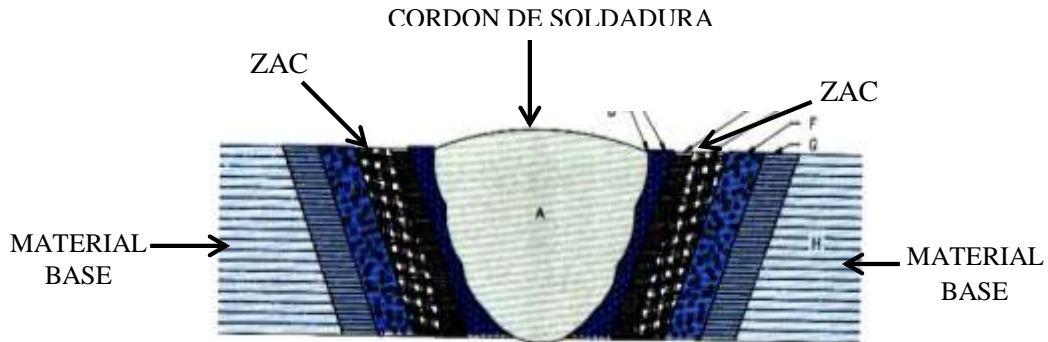
	<b>REGISTRO DE ENSAYO METALOGRAFICO UTA-MEC-007</b>				
	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>				
	<b>REG. No.:</b>	UTA-MEC-007-04		<b>LUGAR:</b>	UNIVERSIDAD TÈCNICA DE AMBATO
	<b>FECHA:</b>	24/03/2015			
<b>PROBETA CON TRATAMIENTO TÉRMICO A 750°C</b>					
<b>PROBETA N.-</b>		<b>AUTORIZADO POR.-</b>	<b>REALIZADO POR.-</b>		
PROBETA 3		ING. MG. HENRY VACA	EGDO. MAURICIO		
<b>NORMA.-</b>		<b>TIPO DE MATERIAL.-</b>	<b>PROCESO DE SOLDADURA</b>		
ASTM E3		ASTM A106 Gr. B	GTAW		
<b>TIPO DE ESTUDIO</b>		<b>TEMPERATURA AMBIENTE</b>	<b>HUMEDAD</b>		
DE LABORATORIO		21°C	77%		
<b>ACONDICIONAMIENTO DE LA SUPERFICIE</b>		<b>ATAQUE QUÍMICO DE LA SUPERFICIE CON:</b>	<b>AUMENTO</b>		
PULIDO MECÁNICO TIPO ESPEJO		NITAL 2	100X		
					
Fotografía A7. Metalografía 100X Intercara		Fotografía A8. Metalografía 100X Material de aporte			
<b>INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS</b>					
Se observa la formación de granos columnares y granos aciculares en la zona de aporte, el material base presenta una microestructura de ferrita acicular con fuertes bandas de segregación. Se observa fusión completa entre material base y de aporte					

<b>REGISTRO DE ENSAYO METALOGRAFICO UTA-MEC-007</b>					
	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>				
	<b>REG. No.</b>	UTA-MEC-007-05	<b>LUGAR:</b>		UNIVERSIDAD TÈCNICA DE AMBATO
	<b>FECHA:</b>	25/03/2015			
<b>PROBETA CON TRATAMIENTO TÉRMICO A 870°C</b>					
<b>PROBETA N.-</b>	<b>AUTORIZADO POR.-</b>	<b>REALIZADO POR.-</b>			
PROBETA 3	ING. MG. HENRY VACA	EGDO. MAURICIO			
<b>NORMA.-</b>	<b>TIPO DE MATERIAL.-</b>	<b>PROCESO DE SOLDADURA</b>			
ASTM E3	ASTM A106 Gr. B	GTAW			
<b>TIPO DE ESTUDIO</b>	<b>TEMPERATURA AMBIENTE</b>	<b>HUMEDAD</b>			
DE LABORATORIO	21°C	77%			
<b>ACONDICIONAMIENTO DE LA SUPERFICIE</b>	<b>ATAQUE QUÍMICO DE LA SUPERFICIE CON:</b>	<b>AUMENTO</b>			
PULIDO MECÁNICO TIPO ESPEJO	NITAL 2	100X			
					
Fotografía A9. Metalografía 100X Intercara		Fotografía A10. Metalografía 100X Material de aporte			
<b>INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS</b>					
El material base y de aporte presenta una microestructura de ferrita acicular, el material base presenta fuertes bandas de segregación. Se observa fusión completa entre material base y de aporte					

## 4.2. Interpretación de resultados

### 4.2.1 Durezas

Datos obtenidos en medición de durezas en cada una de las probetas con tratamiento térmico y sin tratamiento en dureza BRINELL.



**Grafico 4.1.** Junta soldada  
Elaborado por: Mauricio Adame

**Tabla 4.2.** Durezas sin Tratamiento Térmico

<b>DUREZAS PROMEDIO SIN TRATAMIENTO TÉRMICO</b>			
<b>MUESTRAS</b>	<b>MATERIAL BASE (HB)</b>	<b>ZAC (HB)</b>	<b>CORDÓN DE SOLDADURA (HB)</b>
1	130	169	191
2	127	177	182
3	132	175	185
4	130	176	186
5	129	172	188
6	131	167	183
<b>TOTAL</b>	<b>779</b>	<b>1036</b>	<b>1115</b>
<b>PROMEDIO</b>	<b>129.83</b>	<b>172.61</b>	<b>185.83</b>

Elaborado por: Mauricio Adame

**Tabla 4.3.** Durezas con Tratamiento Térmico a 500°C

<b>DUREZAS PROMEDIO CON TRATAMIENTO TÉRMICO P1(1) a 500°C</b>			
<b>MUESTRAS</b>	<b>MATERIAL BASE (HB)</b>	<b>ZAC (HB)</b>	<b>CORDÓN DE SOLDADURA (HB)</b>
1	130	164	193
2	136	172	199
3	122	157	199
<b>TOTAL</b>	<b>388</b>	<b>493</b>	<b>591</b>
<b>PROMEDIO</b>	<b>129.33</b>	<b>164.33</b>	<b>197.00</b>

Elaborado por: Mauricio Adame

**Tabla 4.4.** Durezas con Tratamiento Térmico a 625°C

<b>DUREZAS PROMEDIO CON TRATAMIENTO TÉRMICO P2 (4) a 625°C</b>			
<b>MUESTRAS</b>	<b>MATERIAL BASE (HB)</b>	<b>ZAC (HB)</b>	<b>CORDÓN DE SOLDADURA (HB)</b>
1	129	165	174
2	131	157	169
3	135	150	171
<b>TOTAL</b>	<b>395</b>	<b>472</b>	<b>514</b>
<b>PROMEDIO</b>	<b>131.67</b>	<b>157.33</b>	<b>171.33</b>

Elaborado por: Mauricio Adame

**Tabla 4.5.** Durezas con Tratamiento Térmico a 750°C

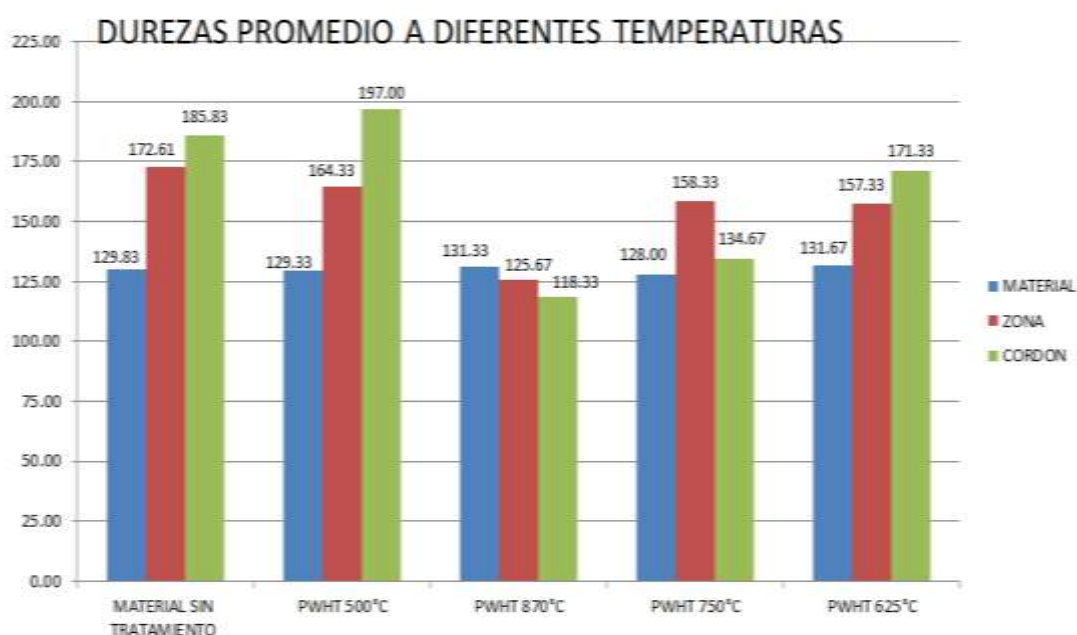
<b>DUREZAS PROMEDIO CON TRATAMIENTO TÉRMICO P1 (3) a 750°C</b>			
<b>MUESTRAS</b>	<b>MATERIAL BASE (HB)</b>	<b>ZAC (HB)</b>	<b>CORDÓN DE SOLDADURA (HB)</b>
1	132	160	138
2	122	158	134
3	130	157	132
<b>TOTAL</b>	<b>384</b>	<b>475</b>	<b>404</b>
<b>PROMEDIO</b>	<b>128.00</b>	<b>158.33</b>	<b>134.67</b>

Elaborado por: Mauricio Adame

**Tabla 4.6.** Durezas con Tratamiento Térmico a 870°C

<b>DUREZAS PROMEDIO CON TRATAMIENTO TÉRMICO P1 (2) a 870°C</b>			
<b>MUESTRAS</b>	<b>MATERIAL BASE (HB)</b>	<b>ZAC (HB)</b>	<b>CORDÓN DE SOLDADURA (HB)</b>
1	133	117	120
2	140	129	119
3	121	131	116
<b>TOTAL</b>	<b>394</b>	<b>377</b>	<b>355</b>
<b>PROMEDIO</b>	<b>131.33</b>	<b>125.67</b>	<b>118.33</b>

Elaborado por: Mauricio Adame



**Gráfico 4.2.** Durezas promedio tomadas antes y después de tratamiento térmico

Elaborado por: Mauricio Adame

En la gráfica 4.2 se encuentra valores promedios de las tomas que se realizaron en los diferentes puntos indicados, los cuales nos muestran, en qué estado se encuentra la soldadura de un material ASTM A106 GR-B antes y después del tratamiento térmico a las diferentes temperaturas, con la razón principal para un PWHT no es hacer que el material de base sea más suave, que es sólo un efecto secundario, las principales razones son para liberar tensiones residuales después de la soldadura y para eliminar la susceptibilidad a la corrosión bajo tensión, para esto se encontró un valor inicial de



dureza del cordón de soldadura que es 185.83 Brinell en las probetas sin tratamiento, las tomas realizadas en las probetas con tratamiento térmico los valores promedio de durezas son: a 500°C se aumentó la dureza a 197 Brinell de la inicial, 625°C se obtuvo una disminución a 171.33 Brinell, 750°C se obtuvo también disminución a 134.67 Brinell, 870°C se tiene una gran disminución llegando a 118.33 Brinell.

Los valores de la zona afecta térmicamente los valores de dureza son al inicio con 172.61 Brinell sin tratamiento térmico, con PWHT es a 500°C se obtuvo una disminución a 164.33 Brinell, 625°C se logró aún más la disminución donde se obtuvo 157.33 Brinell, 750°C se disminuyó pero no como el tratamiento térmico anterior obteniendo 158.33 Brinell, 870°C se alcanzó una disminución muy representativa llegando a 125.67 Brinell.

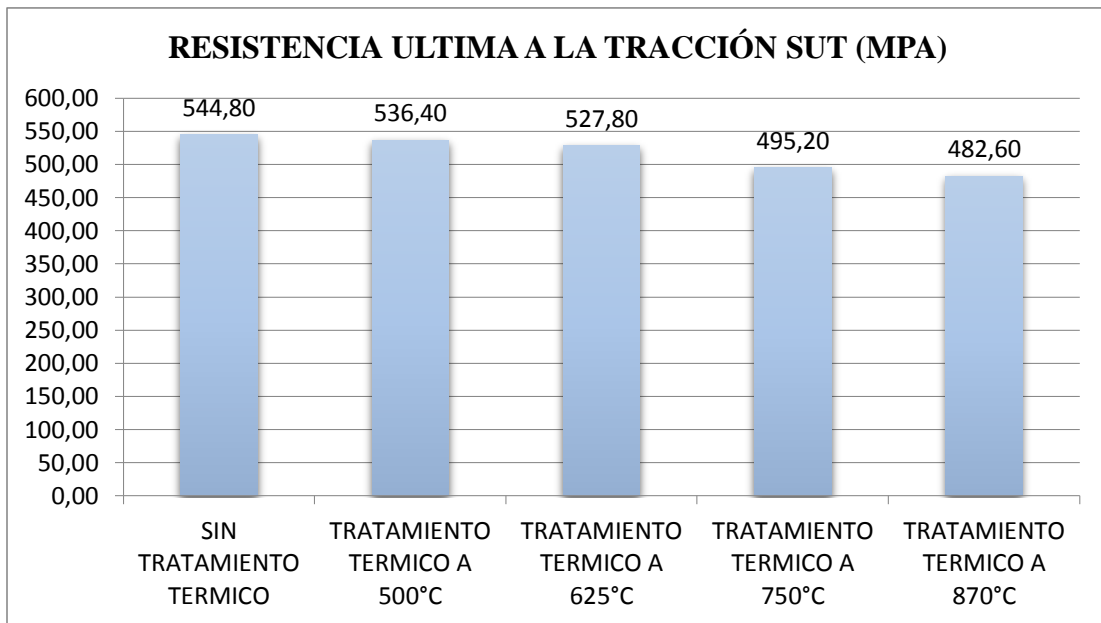
En el material las durezas ya no fue afectada ya que no sufrió mayor contacto con el cambio térmico, con lo que se puede mostrar en los siguientes valores: inicio con 129.83 Brinell sin tratamiento térmico, con PWHT es a 500°C se obtuvo 129.33 Brinell, 625°C se obtuvo 131.67 Brinell, 750°C se obtuvo 128 Brinell, 870°C se obtuvo 131.33 Brinell.

#### 4.2.1 Resistencia Última a la Tracción (Sut):

**Tabla 4.7.** Resistencia ultima a la tracción

<b>PROMEDIO DE LA RESISTENCIA ULTIMA A LA TRACCIÓN</b>		
<b>MUESTRAS</b>	<b>SUT (KPSI)</b>	<b>SUT (MPA)</b>
SIN TRATAMIENTO TÉRMICO	79.01	544.80
TRATAMIENTO TÉRMICO A 500°C	76.44	536.40
TRATAMIENTO TÉRMICO A 625°C	75.51	527.80
TRATAMIENTO TÉRMICO A 750°C	71.83	495.20
TRATAMIENTO TÉRMICO A 870°C	70.01	482.60

**Elaborado por:** Mauricio Adame



**Gráfico 4.3.** Resistencia ultima a la tracción  
**Elaborado por:** Mauricio Adame

En el gráfica 4.2 se encuentra los valores promedios de la resistencia ultima a la tracción del acero ASTM A-106 GR-B a sus diferentes temperaturas con lo cual se puede realizar comparaciones. Se puede observar un valor inicial de 544.80 MPa antes del tratamiento térmico y con tratamiento térmico a la temperatura de 500°C se obtuvo 536.40 MPa, 625°C se consiguió 527.80 MPa, 750°C se adquirió 495.20 MPa, 870°C se logró 482.60 MPa.

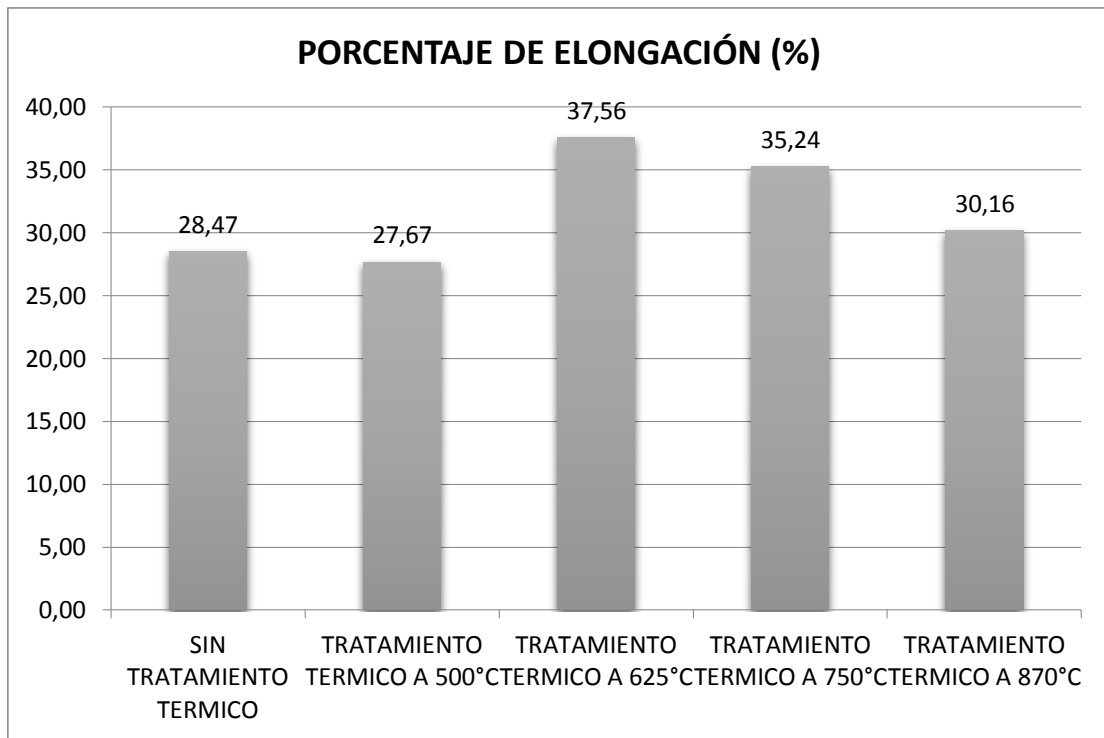
#### 4.2.1 Porcentaje de Elongación (ε):

**Tabla 4.8.** Porcentaje de elongación

<b>PROMEDIO DE PORCENTAJE DE ELONGACIÓN</b>	
<b>MUESTRAS</b>	<b>%</b>
SIN TRATAMIENTO TÉRMICO	28.47
TRATAMIENTO TÉRMICO A 500°C	27.67
TRATAMIENTO TÉRMICO A 625°C	37.56
TRATAMIENTO TÉRMICO A 750°C	35.24
TRATAMIENTO TÉRMICO A 870°C	30.16

**Elaborado por:** Mauricio Adame





**Gráfico 4.4.** Porcentaje de elongación  
**Elaborado por:** Mauricio Adame

En la gráfica 4.3 se puede observar los valores de elongación con lo cual se puede realizar las comparaciones a las diferentes temperaturas. Se puede visualizar un valor inicial promedio de 28.47% sin tratamiento térmico y con tratamiento térmico a sus diferentes temperaturas de 500°C se puede observar un aumento al 27.67%, a un tratamiento térmico de 625°C se ve un aumento considerable que llegó a 37.56%, a una temperatura de 750°C se tiene un aumento que es 35.24%, la última temperatura que se llegó a realizar el tratamiento es a 870°C donde no llegó a tener un variación considerable que es de 30.16%.

### 4.3. Verificación de la hipótesis

#### 4.3.1 Verificación

La hipótesis se verificó realizando la Prueba “t” para observaciones pareadas en los grupos de datos de: Dureza del material de la zona afectada térmicamente por la soldadura, mejoramiento del Límite de rotura (Sut). Para la comprobación de la hipótesis se realizará un ensayo bilateral, hacia las dos colas, con un nivel de significación  $\alpha = 5\%$  obteniendo el siguiente “t” tabulado:

$$\text{PROBABILIDAD (P)} = \frac{\alpha}{100} = \frac{5}{100} = 0.05$$

Como se analiza para las dos colas la probabilidad y se divide para 2 teniendo:

$$P = \frac{0.05}{2} = 0.025$$

Los grados de libertad de acuerdo a la muestra son:

$$gl = n - 1 = 5 - 1 = 4$$

Con P y gl vamos a la tabla de “t” (ver anexo C) y tenemos:

$$“t” = \text{tab. (6 gl, 0.025 p)} = 2.776$$

Como se analiza a las dos colas

$$t_t = \pm 2.776$$

#### 4.5.2 Regla de decisión

Se acepta la hipótesis alterna  $H_a$ , es decir el tratamiento térmico post soldadura GTAW en tuberías de proceso de acero al carbono ASTM A 106 GR-B permite alcanzar mejores propiedades en la resistencia a la tracción y dureza, si el valor de  $t$  a

calcularse se encuentra fuera del intervalo de  $- 2.776$  a  $2.776$ , caso contrario si el valor se encuentra dentro del intervalo se acepta la  $H_0$ , es decir el tratamiento térmico post soldadura GTAW en tuberías de proceso de acero al carbono ASTM A 106 GR-B no permite alcanzar mejores propiedades en la resistencia a la tracción y dureza.

### 4.5.3 Verificación de la hipótesis con respecto al efecto que tiene la dureza al realizar un tratamiento térmico post soldadura a $625^{\circ}\text{C}$

**Tabla 4.9.** Verificación de la hipótesis con respecto al efecto que tiene a la dureza un tratamiento térmico post soldadura a  $625^{\circ}\text{C}$

<b>DUREZA (BRINELL)</b>				
<b>N.-</b>	<b>ANTES</b>	<b>DESPUÉS</b>	<b>D=h<sub>A1</sub> - h<sub>A2</sub></b>	<b>D<sup>2</sup></b>
1	183	165	18	324
2	170	157	13	169
3	174	150	24	576
4	190	169	21	441
SUMA	717	641	76	1510
PROMEDIO	179.25	160.25	19	

**Elaborado por:** Mauricio Adame

$$S^2d = \frac{(\sum D^2) - \frac{(\sum D)^2}{n}}{n(n-1)} = \frac{(1510) - \frac{(76)^2}{4}}{4(4-1)} = 5.5$$

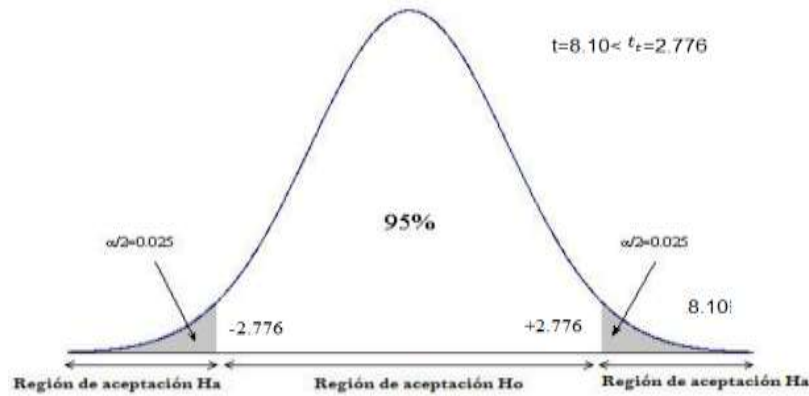
$$Sd = \sqrt{S^2d} = 2.345$$

$$t = \frac{D}{Sd} = \frac{19}{2.345} = 8.10$$

$$t = 8.10 < t_t = 2.776$$

Se encuentra dentro del intervalo  $\pm 2.776$ , por lo tanto se acepta  $H_a$ , es decir el tratamiento térmico post soldadura GTAW en tuberías de proceso de acero al carbono

ASTM A 106 GR-B permite alcanzar mejoras en la dureza. En la figura se presenta la relación de la dureza obtenida en el acero ASTM A 106 GR-B.



**Grafica 4.5.** Hipotesis de dureza a 625°C

Elaborado por: Mauricio Adame

#### 4.5.4 Verificación de la hipótesis con respecto al efecto que tiene a la resistencia a la tracción al realizar un tratamiento térmico post soldadura a 625°C

**Tabla 4.10.** Verificación de la hipótesis con respecto al efecto que tiene a la resistencia a la tracción al realizar un tratamiento térmico post soldadura a 625°C.

LIMITE DE ROTURA (SUT) EN MPA				
N.-	ANTES	DESPUÉS	$D=h_{A1} - h_{A2}$	$D^2$
1	511	515	-4	16
2	527	536	-9	81
3	518	533	-15	225
4	523	549	-26	676
SUMA	2079	2133	-54	998
PROMEDIO	519.75	533.25	-13.5	

Elaborado por: Mauricio Adame

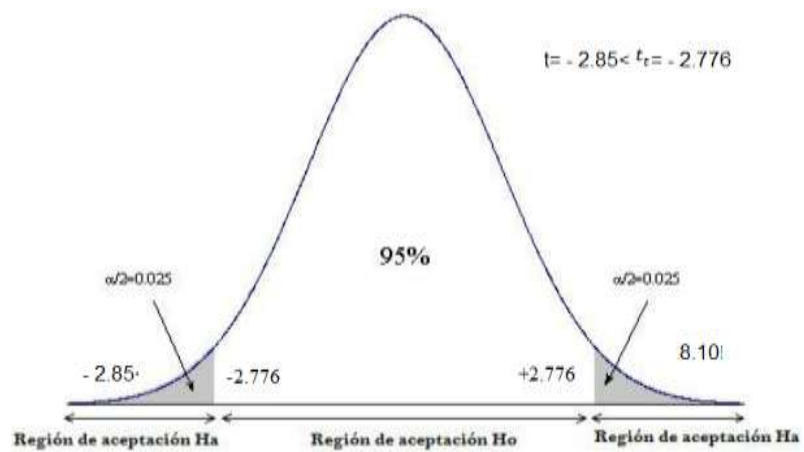
$$s^2_d = \frac{(\sum D^2) - \frac{(\sum D)^2}{n}}{n(n-1)} = \frac{(998) - \frac{(-54)^2}{4}}{4(4-1)} = 22.41$$

$$Sd = \sqrt{S^2d} = 4.73$$

$$t = \frac{D}{Sd} = \frac{-13.5}{4.73} = -2.85$$

$$t = -2.85 < t_t = -2.776$$

Se encuentra dentro del intervalo  $\pm 2.776$ , por lo tanto se acepta  $H_a$ , es decir el tratamiento térmico post soldadura GTAW en tuberías de proceso de acero al carbono ASTM A 106 GR-B permite alcanzar mejoras en la resistencia al límite de rotura (Sut). En la figura se presenta la relación de la resistencia al límite de rotura (Sut) obtenida en el acero ASTM A 106 GR-B.



**Grafica 4.6.** Hipótesis de la resistencia al límite de rotura (Sut) a 625° C

**Elaborado por:** Mauricio Adame

**Tabla 4.11.** Resumen de resultados de las propiedades mecánicas

<b>Mecánica</b>	<b>Sin tratamiento Térmico</b>	<b>Tratamiento Térmico a 500°C</b>	<b>Tratamiento Térmico a 625°C</b>	<b>Tratamiento Térmico a 750°C</b>	<b>Tratamiento Térmico a 870°C</b>
<b>Dureza Brinell Material Base.</b>	129.83	129.33	131.67	128	131.33
<b>Dureza Brinell Zona.</b>	172.61	164.33	157.33	158.33	125.67
<b>Dureza Brinell Cordón de soldadura</b>	185.83	197	171.33	134.67	118.33
<b>Resistencia última a la Tracción (Sut) MPa</b>	544.80	536.40	527.80	495.20	482.60
<b>Porcentaje de Elongación (<math>\epsilon</math>)</b>	28.47	27.67	37.56	35.24	30.16

**Elaborado por:** Mauricio Adame

Como se puede observar, los valores promedios mecánicos obtenidos después del Tratamiento Térmico nos ayuda a comprobar la variación, a la temperatura de 625°C, se verificar la Hipótesis Alternativa (Ha), donde lo planteado se cumple al haber obtenido disminución de la dureza del cordón de soldadura a 171.33 Brinell, tanto en la zona afectada térmica mente por la soldadura también se logró una reducción de

durezas de a 157.33 Brinell con esto se puede observar que existe una mejora en la dureza que es un parámetro muy importante, la resistencia a tracción se consiguió mejorar a 527.80 MPa con lo que estamos mejorando este parámetro, obteniendo un porcentaje de elongación de 37.56% todo esto es una mejora en las propiedades mecánicas para poder comprobar nuestro estudio.

Con esto se ha logrado mejorar la resistencia y la dureza con lo que el cordón de soldadura y la zona afectada no serán tan frágil en comparación a un cordón y zona de soldadura normal sin ningún tipo de alivio de esfuerzos, con esto se logró mayor porcentaje de elongación como se puede observar en la tabla 4.8; los valores obtenidos en los diferentes ensayos nos ha dado una visión de mejora al realizar el alivio de esfuerzos a esta temperatura y poder proteger de la corrosión a este tipo de soldadura.

Este tipo de tratamiento térmico a la temperatura de 625°C presenta en el material de aporte granos columnares a partir del material base, el material base presenta una microestructura de ferrita acicular con bandas de segregación, esta microestructura es ventajosa sobre otras microestructuras debido a su ordenamiento caótico, lo que hemos logrado aumentar la tenacidad.

Con estos datos obtenidos este tipo de soldadura para este material, realizado el tratamiento térmico se puede utilizar para los diferentes sistemas de reinyección de agua donde se manejan altas presiones y tuberías de mucho más espesor.

## CAPITULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 Conclusiones

Una vez concluido todo el proceso desde el momento de soldar, verificar las propiedades mecánicas, realizar el tratamiento térmico hasta realizar los ensayos se obtenido diferentes datos favorables a este estudio que se realizó por lo cual se menciona las siguientes conclusiones:

- Con los resultados de los ensayos a tracción a una temperatura de 625°C, la resistencia a tracción es de 520.80 MPa con esto se consiguió mejorar el límite de rotura que es lo que se quería lograr con el alivio de esfuerzos.
- Se pudo verificar las propiedades mecánicas del acero ASTM A-106 GR-B con los ensayos realizados, con esto podemos comparar con los datos obtenidos del tratamiento térmico que se encuentra en la tabla 4.11.
- Se determinó que la temperatura adecuada para realizar el tratamiento térmico es 625°C, partiendo de una temperatura de inicio como final de 425°C, al terminar se le deberá dejar con la resistencias para que pueda terminar con el enfriamiento moderadamente y poder llegar a temperatura ambiente.
- El tiempo adecuado para realizar el relevado de esfuerzos y el ablandamiento es de 54 minutos para el tiempo de calentamiento, 60 minutos para permanencia, 43 minutos para enfriamiento, tal como se puede observar en registro UTA-MEC-005, una vez terminado se podrá seguir realizando los ensayos.



- En el proceso se debe controlar la temperatura de la soldadura entre pases teniendo un calentado para no tener un enfriamiento brusco, porque el espesor de la tubería es considerable y al momento de soldar se recalienta toda la zona de la tubería donde se podría alterar las propiedades mecánicas.
- Las variaciones que se ha realizado para poder hacer estas comparaciones, es cambiando la temperatura de permanencia, para el tratamiento térmico donde se tomó valores de 500°C, 625°C, 750°C y 870°C, con los cuales se logró un excelente resultado con una temperatura de 625°C, como se pudo comprobar realizando los Ensayos de Dureza y Ensayos de Tracción, como se presenta todos los resultados obtenido en el CAPITULO IV.
- Todas las durezas obtenidas en los diferentes puntos del cordón de soldadura, ZAC y material base, se observó un excelente resultado de dureza del cordón de soldadura a 171.33 Brinell, tanto en la zona afectada térmicamente por la soldadura también se logró una reducción de durezas a 157.33 Brinell a la temperatura de 625°C, los demás valores de dureza tomadas con las diferentes temperaturas no se tomó en consideración por que tiene disminución de dureza pero es significativa, con la temperatura mencionada que se obtuvo buenos resultados se logra que el material no se tan frágil, con esto se gana una mejora en el cordón de soldadura y en zona térmica mente afectada que es lo que se está buscando.
- De los datos obtenidos se puede observar claramente que después de realizado el tratamiento térmico post soldadura (PWHT) los valores de dureza del cordón de soldadura disminuyeron por debajo de los 180 HB, con lo cual este es un parámetro para poder observar el mejoramiento de las propiedades mecánicas.
- Los valores de dureza del ZAC luego del PWHT disminuyeron por debajo de 170 HB.
- También se debe recalcar y recordar que el tratamiento térmico post soldadura no solamente sirve para el ablandamiento del cordón de soldadura y de la

ZAC; sino que también el PWHT se aplica para eliminar tensiones residuales causadas por el proceso de soldadura.

- La reducción de la dureza y de los esfuerzos residuales en el cordón de soldadura y la ZAC mejora o aumenta la resistencia a la fatiga.

## 5.2 Recomendaciones

Una vez terminado todos los Tratamiento Térmicos y realizado los ensayos correspondientes sea logrado excelentes resultados con esto se puede realizar las siguientes recomendaciones para facilitar las futuras investigaciones o trabajos que se realicen con este tipo de proceso:

- Toda la junta será aislada completamente con mantas térmicas, para evitar un excesivo gradiente de temperaturas en el espesor del material, que pueden ser perjudiciales para la estructura del material.
- Para las juntas soldadas se tomará en cuenta en cada caso de acuerdo a las normas, el número de termocuplas necesarias, su ubicación a lo largo del cordón de soldadura. En general se considerara la siguiente disposición:

**Tabla 5.1.** Dispositivos de Termocuplas

DISPOSICIÓN DE TERMOCUPLAS		
Tamaño de la tubería	# de termocuplas	Ubicación de la tubería
$\varnothing \leq 5$	1	
$5 < \varnothing \leq 8$	2	Separación de 180°
<b><math>8 &lt; \varnothing \leq 18</math></b>	<b>3</b>	<b>Separación de 120°</b>
$18 < \varnothing \leq 24$	4	Separación de 90°
$\varnothing \geq 26$	Mínimo 4	Uniforme

**Elaborado por:** Mauricio Adame

- Se deberá considerar que es **ESTRICTAMENTE** mandatorio que en la zona de la junta a ser tratada se aplique la temperatura que el metal requiera, que exista

uniformidad de la temperatura en la zona tratada y que exista control de temperatura.

- Se debe empezar el Tratamiento Térmico de una temperatura de 425°C para poder tener todas las resistencias colocadas en la tubería en el mismo punto de calentamiento para así poder tener un calentamiento controlado, distribuido y no varíe considerablemente ya que son procesos que se realizan en lugares abiertos (campo) y no en laboratorios.
- Se recomienda dejar que repose la junta soldada para que se reacomode la granulometría del material por lo menos 24 horas para poder realizar algún tipo de ensayo.
- Para proceder con la preparación de las probetas para los ensayos de tracción se debe basar en la norma ASME IX donde nos indica las dimensiones de los cortes.
- Los parámetros de los equipos de utilizados tanto como para tratamiento térmico, como para los ensayos deben estar calibrados para no tener mediciones erróneas.
- Se debe tomar las mediciones de dureza en la escala que disponga el durómetro para no tener problemas de lecturas de valores.
- Al realizar el proceso de soldadura se debe utilizar todo el equipo de protección personal (EPP), para poder evitar algún tipo de lesiones.

## **CAPITULO VI**

### **PROPUESTA**

#### **PROCEDIMIENTO PARA EL DESARROLLO DE TRATAMIENTO TÉRMICO POST SOLDADURA A 625 °C CON UNA PERMANENCIA DE UNA HORA EN TUBERIAS DE PROCESO DE ACERO AL CARBONO ASTM A 106 GR-B.**

##### **6.1 Datos Informativos**

Para realizar el tratamiento térmico post soldadura se debe seguir los siguientes lineamientos, para lograr mejores resultados:

La temperatura a la cual se debe realizar el tratamiento térmico es de 625°C durante 1 hora de permanencia, la velocidad de elevación y de enfriamiento debe ser gradualmente para que no exista cambios bruscos en la zona soldada y en el material térmicamente afectado.

Los datos obtenidos son un inicio para poder trabajar en complejos sistemas que necesiten presiones elevadas, lo cual este estudio queda para futuras investigaciones.

La Carrera de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato campus Huachi de la Provincia de Tungurahua, cuenta con los equipos necesarios para realizar los ensayos destructivos, por lo cual es muy satisfactorio para nuestra investigación.

## **6.2 Antecedentes de la propuesta**

Existe poca información sobre el tema de la propuesta, pero esto no ha impedido la realización del tratamiento térmico post soldadura en Acero ASTM A-106 GR-B.

Una vez realizado todos los ensayos respectivamente basados en normas se obtuvo buenos resultados a una temperatura de 625°C, con esto se puede tener una mejora en las propiedades del cordón de soldadura y en la zona térmicamente afectada, que es todo lo que se estaba buscando.

## **6.3 Justificación**

Este proceso de tratamiento post soldadura resultó ser eficiente ya que se ganó una mejoría en las propiedades mecánicas del cordón y en la zona afectada térmicamente por la soldadura misma de un material ASTM A-106 GR-B, este estudio se volvió una investigación que aportara en el desarrollo de las industrias para poder controlar las dificultades de la soldadura que nos genera al unir dos materiales con espesores grandes.

Este material es muy utilizado para la construcción de sistemas de producción de petróleo razón por la cual se utiliza la soldadura para poder realizar las uniones donde se genera diferentes situaciones de defectos por el espesor, donde se tiene sometido a diferentes temperaturas donde afecta al cordón de soldadura y se necesita realizar un alivio de esfuerzos y un ablandamiento del material de aporte (cordón) para que se puede mejorar las propiedades mecánicas y poder tener un cordón no muy frágil, así en cambios bruscos o cambios del fluido puedan soportar la tubería

Al realizar este tratamiento térmico post soldadura se facilita el trabajo por que el equipo puede realizar en campo el tratamiento, en sistemas complejos de desmontaje razón por la cual se vuelve muy factible realizar y así poder garantizar el trabajo que se realice con este tipo de tubería ASTM A-106 GR-B para darle mejor propiedades mecánicas.

La investigación realizada ha tomado una visión mucho más amplia para poder realizar este tipo de procedimiento con diferentes tipos de electrodos y material con esto se puede dejar con un principio para realizar futuras investigaciones de este tipo y poder mejorar las propiedades mecánicas del cordón de soldadura.

## **6.4 Objetivos**

### **6.4.1 General**

“REALIZAR UN PROCEDIMIENTO PARA EL DESARROLLO DE TRATAMIENTO TÉRMICO POST SOLDADURA A 625 °C CON UNA PERMANENCIA DE UNA HORA EN TUBERIAS DE PROCESO DE ACERO AL CARBONO ASTM A 106 GR-B.”

### **6.4.2 Específicos**

- Establecer los parámetros que se debe tomar en consideración, para realizar el procedimiento de tratamiento térmico post soldadura
- Determinar las actividades y registros necesarios para realizar el tratamiento térmico post soldadura.
- Realizar el procedimiento para el tratamiento térmico post soldadura.
- Determinar un análisis costo – beneficio del procedimiento a ser realizado.

## **6.5 Análisis de factibilidad**

El presente proyecto de investigación es factible, debido a que el equipo para tratamiento térmico se lo puede encontrar, los instrumentos y equipos adecuados, el Laboratorio de Ingeniería de Materiales se encuentra en condiciones adecuadas de funcionamiento y cuenta con los equipos necesarios para realizar el análisis metalográfico, de dureza y por esta razón el presente estudio es factible.

La carrera de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato cuenta con los equipos necesarios para realizar los

ensayos que se necesita para esta investigación, a la vez se contó con el apoyo de personal capacitado para poder solucionar cualquier tipo de problema o inquietud que se presente en la realización de estos ensayos.

## **6.6 Fundamentación**

Para poder tener una propuesta con la cual se pueda tener unos resultados satisfactorios, se realizó una serie de ensayos en la cual se pudo ejecutar comprobaciones de durezas y resistencia donde se observó cambios en las juntas soldadas teniendo un alivio de esfuerzos, los resultados se puede ver en el Capítulo IV con sus respectiva interpretación, con esto se llegó a una serie de conclusiones y recomendaciones teniendo buenos resultados para nuestro estudio de tratamiento térmico post soldadura de un acero ASTM A-106 GR-B.



## **6.7 Metodología**

Para poder realizar este procedimiento se debe tomar en consideración los siguientes parámetros:

1. Adquisición de material.
2. Soldadura de las probetas.
3. Preparación de juntas para Tratamiento Térmico.
4. Realización de Tratamiento Térmico.
5. Preparación de probetas para ensayos destructivos.
6. Medición de Durezas.
7. Realización de ensayos de tracción.
8. Ensayos de metalografía.
9. Evaluación de resultados
10. Conclusiones

## 6.7.1 Actividades y registros de tratamiento térmico post soldadura.

Tabla 6.1. Registros y Actividades

	<b>SISTEMA DE CALIDAD</b>				
	<b>PLAN DE INSPECCION Y PRUEBAS PARA TRABAJOS MECANICOS</b>				
	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b>				
	<b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b>				
	<b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>				
<b>REG:</b> UTA-MEC-001		<b>LUGAR:</b> U.T.A			
<b>FECHA:</b>		20/12/2014			
Item No.	DESCRIPCION DEL PROCESO Y ACTIVIDADES DE CONTROL	CRITERIO DE ACEPTACIÓN * NOTA 1	VERIFICACION DE DOCUMENTOS	LIBERADO POR:	
				VERIFICADO POR	FECHA
<b>1,0</b>	<b>SOLDADURA</b>				
	Registro de datos informativos del proceso	ASME SECC IX	UTA-MEC-002	ING. MG. HENRY VACA	29/12/2014
<b>2,0</b>	<b>TRATAMIENTO TÉRMICO POST SOLDADURA</b>				
	Reporte de curva de tratamiento térmico posterior a la soldadura	ASME B31.3, ASME VIII SECC1	UTA-MEC-004	ING. MG. HENRY VACA	10/02/2015
	Reporte Temperaturas del tratamiento térmico.		UTA-MEC-005	ING. MG. HENRY	14/02/2015
<b>3,0</b>	<b>ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS</b>				
	Reporte de durezas antes del tratamiento térmico	ASTM E10	UTA-MEC-003	ING. MG. HENRY VACA	09/02/2015
	Reporte de durezas despues del tratamiento térmico	ASTM E10	UTA-MEC-006	ING. MG. HENRY VACA	26/02/2015
<b>4,0</b>	<b>ENSAYOS DESTRUCTIVOS</b>				
	Reporte de macrografía	ASTM E3	UTA-MEC-007	ING. MG. HENRY	23/03/2015
	Reporte de ensayos de	ASTM E8	UTA.MEC-008	MAURICIO	01/03/2015
<b>* NOTA 1: EN ESTE CAMPO SE REGISTRARA LA NORMA O SI FUERA EL CASO EL PROCEDIMIENTO QUE RIGUE LA PRUEBA</b>					

Elaborado por: Mauricio Adame



### **6.7.2 Adquisición de material**

El material utilizado es una tubería de 8in de Schedule XXS de acero al carbono ASTM A-106 GR-B el cual se utiliza para procesos.



**Grafico 6.1.** Preparación de probetas para soldadura  
**Elaborado por:** Mauricio Adame

### **6.7.3 Soldadura de probetas**

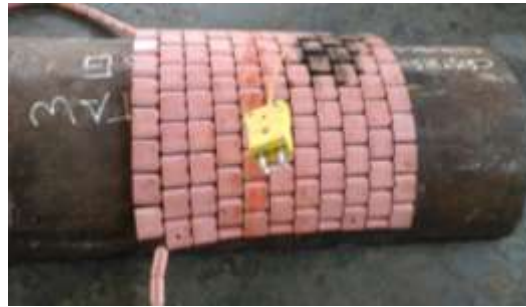
Se debe realizar la junta soldada con proceso GTAW con varilla de aporte ER70S-6 tomando en cuenta los datos del registro UTA-MEC-002, que se encuentra en el capítulo IV.

### **6.7.4 Preparación de juntas para Tratamiento Térmico**

El tratamiento térmico de cualquier soldadura circunferencial o de cualquier ramal conectado se realiza de modo que la soldadura y la zona afectada por el calor, alcancen la temperatura requerida.

- El área a calentarse debe ser por lo menos tres veces el ancho del grosor máximo de la soldadura y nunca menor a 25 mm (1 pulg) a cada lado de la junta.

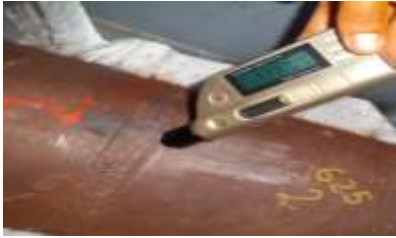

- Las áreas que quedan fuera del área calentada deben protegerse utilizando mantas de resistencia eléctrica con cerámica. El ancho mínimo de los cobertores es de 3 pulg. multiplicado por cinco veces el grosor de la pared de la tubería. En sistemas instalados donde se requiera tratamiento térmico las válvulas, conexiones, roscas, superficies de empaquetaduras u otras superficies se protegerán o quitarán, según sea aplicable, para evitar una oxidación excesiva durante el tratamiento térmico.





**Grafico 6.2.** Preparación de probetas para soldadura  
**Elaborado por:** Mauricio Adame




- Láminas protectoras y aislantes o lana mineral se colocarán sobre la resistencia de cerámica.
- El método de calentamiento debe garantizar que se alcance la temperatura requerida del metal, la uniformidad de la temperatura a lo largo de la junta soldada y su control apropiado.
- El método de enfriamiento debe garantizar el gradiente de temperatura especificado.

### 6.7.5 Realización del Tratamiento Térmico

<b>Secuencia de Etapas</b>	<b>Actividad</b>
Medición de Durezas en soldadura	<p>Previo el inicio de los trabajos de tratamiento térmico se realizará la medición de durezas en la soldadura y se consignará los valores en la tabla correspondiente, para posteriormente compararla con la medición luego del tratamiento.</p> <p>La medición de dureza se lo realiza en el cordón de soldadura, en la zona afectada por el calor y en el material base.</p>  <p>Estas mediciones se las realizara de acuerdo a la distribución de las termocuplas.</p>
Montaje mantas cerámicas	<p>Se realizará el montaje de las mantas cerámicas de calentamiento alrededor o a lo largo de la junta soldada.</p> 

Soldadura de termocupla	Se procederá a soldar los sensores de termocupla por el método de descarga capacitiva.
Aislamiento de junta	<p>Se aislará la junta con fibra cerámica, para garantizar que no existan gradientes excesivos debido a la temperatura ambiente.</p> 
Conexión a la fuente	<p>Finalmente se conectará las mantas cerámicas y los sensores a la fuente de poder para realizar el tratamiento térmico.</p> 
Control de velocidades y temperaturas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se realizará un estricto control de las velocidades y temperaturas de acuerdo a la curva del calentamiento previamente establecida.</li> <li>• La máquina de relevado tiene un registro automático de temperaturas, con lo cual grafica la curva Temperatura vs. Tiempo en forma continua. Estos valores serán corroborados por el operador, el cual consignará los datos de temperatura de cada termocupla cada 10 minutos.</li> </ul>

### 6.7.6 Curva de Tratamiento Térmico

		<b>CURVA DE TRATAMIENTO TÉRMICO</b> <b>UTA-MEC-004</b>					
		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>					
<b>REG. No.:</b>		UTA-MEC-004-02					
<b>FECHA:</b>		11/02/2015					
<b>REALIZADO POR:</b>	Egdo. Mauricio	<b>PROJECT / Proyecto:</b>	PWHT EN JUNTAS DE TUBERÍA DE 8" SCH XXS				
<b>AUTORIZADO POR:</b>	Ing. Mg. Henry Vaca						
<b>APPLICABLE CODE / Código Aplicable:</b>	ASME B31.3; ASME VIII (DIV 1)		<b>MATERIAL / Material:</b>	ASTM A 106, GRADO B			
<b>NOMINAL THICKNESS / Espesor Nominal:</b>	0,875 [in] ; 22.22 [mm]		<b>PWHT METHOD / Método de PWHT:</b>	LOCALIZADO			
<b>GROUP NUMBER / Número de Grupo:</b>	1		<b>P NUMBER / Número P:</b>	1			
<b>ATTACHMENT METHOD /</b>	<input type="checkbox"/> PD WITH PAD / Con protección		<input checked="" type="checkbox"/> WD WELDED / Soldada				
<b>EQUIPMENT / Equipo:</b>	GLOBE HEAT TREATMENT MACHINE, 75 kVA						
<b>HEATING RATES</b>	<b>HOLDING RATES</b>		<b>COOLING RATES</b>				
<b>Tasa de Calentamiento</b>	<b>Tiempo de Calentamiento</b>	<b>Temperatura de Mantenimiento</b>	<b>Tiempo de Mantenimiento</b>	<b>Tasa de Enfriamiento</b>	<b>Tiempo de Enfriamiento</b>		
°C/h	min	°C	min	°C/h	min		
222	54	625	60	280	43		
<b>GRÁFICA DE TRATAMIENTO TÉRMICO</b>							
							
<p>Se debe realizar el calentamiento no necesariamente controlando la velocidad ni el tiempo que demora en llegar a 425 °C a partir de esta temperatura se procederá a utilizar el tiempo y velocidades establecidas, como nos muestra la curva, para el enfriamiento se debe llegar hasta 425°C con el equipo en funcionamiento, luego de esto se deja enfriar a temperatura ambiente sin un límite de horas hasta llegar a una temperatura normal.</p>							

### 6.7.7 Preparación de probetas para ensayos destructivos

- **PROBETA DE TENSION**

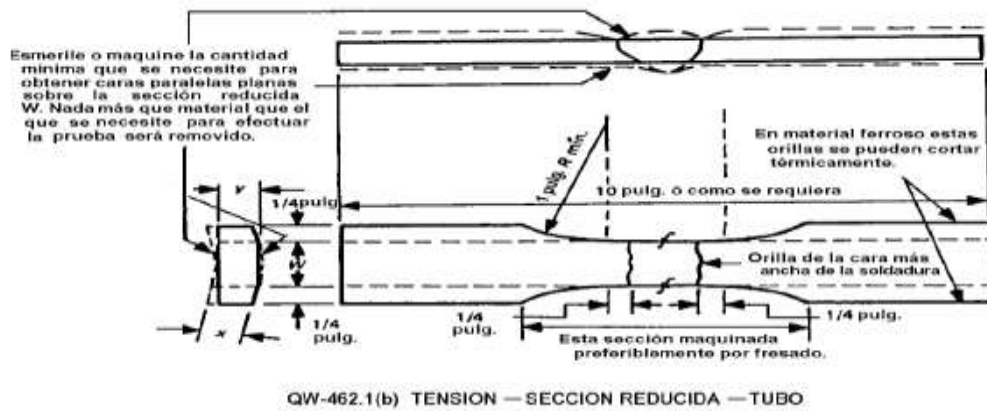
El propósito de las figuras de QW-462 es para dar dimensiones de los especímenes de prueba para las pruebas requeridas. A menos que se dé un mínimo, un máximo, o una tolerancia.

x = espesor de muestras con inclusión de refuerzo

y = espesor de espécimen

T = espesor de muestra con exclusión de refuerzo

W = ancho de espécimen  $\frac{3}{4}$  pulg.



**Grafico 6.3.** Probeta de tensión  
**Elaborado por:** Mauricio Adame

Los ensayos realizados de tracción a una temperatura de 625°C, se puede verificar en el registro UTA-MEC-008, los que se encuentran en el capítulo IV.

### **6.7.8 Realización de ensayos metalográficos**

Para la realización de este ensayo se debe preparar de la siguiente manera las probetas:



- La parte donde se encuentra el cordón de soldadura se debe rebajar con una amoladora y luego pasar una grata para poder tener una superficie plana y lo más lisa posible.
- Luego se procede a pasar por un banco de lijas para desbastar con un número de lijas 60, 80 granos para el primer pase, para el segundo pase se debe utilizar las lijas número 100, 120 y el último pase con la lija más fina para tener un terminado espejo y que se pueda realizar el ataque químico.
- Una vez realizado esta preparación de las probetas, se procede a realizar el ataque químico con NITAL 2, con lo que se podrá ver las propiedades metalográficas por medio de un microscopio.

Los ensayos metalográficos realizados a una temperatura de 625°C, se puede verificar en el registro UTA-MEC-007, los que se encuentran en el capítulo IV.

### **6.7.9 Evaluación de resultados**

Después del proceso de soldadura, tratamiento térmico y todos los ensayos respectivos, se ha logrado tener excelente resultado donde se puede observar todos los cambios que se ha generado en el cordón de soldadura y la zona afectada térmicamente del material base, donde se puede determinar un avance en el estudio realizado, en el cual se ha podido dar un tipo de procedimiento a seguir para poder llegar a los resultados requeridos, con esto obtener un avance para futuros estudios que se podrían realizar con la variación de parámetros en el tratamiento térmico.

### 6.7.9.1 Procedimiento hacer ejecutado.

	<b>SISTEMA DE GESTIÓN DE CALIDAD</b>	
	<b>PROCEDIMIENTOS</b>	
	<b>TRATAMIENTO TÉRMICO POST-SOLDADURA</b>	

## ÍNDICE

- 1. OBJETIVO**
- 2. ALCANCE**
- 3. DEFINICIONES**
- 4. RESPONSABILIDADES**
- 5. PROCEDIMIENTO**
- 6. ANEXOS**



## **1. Objetivo**

Procedimiento para el desarrollo de tratamiento térmico post soldadura a 625 °C con una permanencia de una hora en tuberías de proceso de acero al carbono ASTM a 106 GR-B.

## **2. Alcance**

Este procedimiento se aplica a los cordones de soldadura que requieren tratamiento térmico post-soldadura mediante el uso de hornos estacionarios o equipo portátil para tratamientos térmicos locales, el método de fundición, el método de resistencia local, y el método de inducción local.

## **3. Definiciones**

### **Tratamiento Térmico Post Soldadura (PWHT)**

Es el calentamiento uniforme de una estructura a una temperatura adecuada, inferior a la temperatura crítica del metal, seguido por un enfriamiento también uniforme.

### **Prueba de dureza**

Es la prueba realizada para obtener el valor de dureza (número) de un material por medio de la medición de la profundidad de un agujero hecho por un penetrómetro (esfera, cono o diamante) en la muestra de prueba.

### **Termocupla o termopar**

Sensor de temperatura, conformado por dos alambres de materiales distintos unidos en un extremo, en el cual al aplicar una temperatura, genera un voltaje muy pequeño el cual aumenta con la temperatura.

### **HAZ**

Zona afectada por el calor en el proceso de soldadura.

## **Gradiente**

Diferencia de temperatura en los lados de una pared.

## **Resistencias eléctricas.**

Material con alta resistencia eléctrica, el cual se calienta al someterlo a una diferencia de voltaje.

## **Fibra cerámica**

Material con una baja conductividad térmica, evita la disipación de calor, y mejora el aprovechamiento del mismo en el calentamiento de las juntas soldadas.

## **4. Responsabilidades**

**4.1** El encargado del proceso será responsable de asegurarse del cumplimiento de las normas, especificaciones del Proyecto y este procedimiento para el tratamiento término post-soldadura.

**4.2** El Supervisor de PWHT es responsable del cumplimiento de los requisitos detallados en las normas aplicables y este procedimiento durante la realización de los tratamientos térmicos.

4.2.1 Verificar que el equipo, mantas, conexiones, instrumentos y otras partes que se utilicen el tratamiento térmico estén en buenas condiciones de uso. Se usará solamente equipo e instrumental bien calibrado para la realización de los tratamientos térmicos.

4.2.2 Certificar que las juntas soldadas que deban tratarse térmicamente hayan sido liberadas de los ensayos no destructivos.

4.2.3 Certificar que el equipo e instrumental aplicable estén debidamente calibrados y cuenten con su “certificado de calibración” y que éstos tengan la “Etiqueta de calibración” respectiva.

4.2.4 Chequear y certificar que los cuadros de tratamiento post-soldadura observen los requisitos de código, las especificaciones del Proyecto y las disposiciones de este procedimiento.

## **5. Descripción del procedimiento**

### **5.1 CONFINADO**

Se realizará el confinamiento del área en la que tendrá lugar el PWHT, aislando la máquina de PWHT, así como también del área alrededor de las juntas soldadas a ser tratadas, evitando de esta manera que personal ajeno a la obra manipule tanto la maquina como los accesorios.

### **5.2 INSPECCIÓN DEL EQUIPO Y ACCESORIOS A UTILIZARSE**

Tanto el equipo como los accesorios, entendiéndose por accesorios, termocuplas, cableado y mantas, serán revisados e inspeccionados de tal manera que no se utilicen accesorios en mal estado o defectuosos, la inspección principalmente se realizará visualmente y mediante un óhmetro para verificar conductividad en los cables.

### **5.3 SUJECCIÓN DE MANTAS CERÁMICAS**

En el caso de que se trate de superficies lisas en las que no se pueda sujetar la manta cerámica, se recomienda soldar ganchos en la superficie de tal manera que se pueda fijar a estos la manta cerámica para que su contacto con la superficie a tratar sea óptimo durante la realización del relevado.

### **5.4 VARIABLES**

Se debe tener en cuenta antes del PWHT, el tipo de material, el espesor, velocidades de calentamiento y enfriamiento, temperaturas, de arranque, mantenimiento, y finalización, tiempo de mantenimiento, los mismos que son especificados en las diferentes normas.

## 5.5 PARÁMETROS

El tratamiento térmico a efectuarse será de tipo local, es decir se calentará únicamente la zona de soldadura (HAZ), en el cual las bandas de calentamiento tendrán un ancho mínimo especificado en la norma correspondiente o adecuada.

Toda la junta será aislada completamente con mantas térmicas, para evitar un excesivo gradiente de temperaturas en el espesor del material, que pueden ser perjudiciales para la estructura del material.

Para las juntas soldadas se tomará en cuenta en cada caso de acuerdo a las normas, el número de termocuplas necesarias, su ubicación a lo largo del cordón de soldadura. En general se considerara la siguiente disposición:

DISPOSICIÓN DE TERMOCUPLAS		
Tamaño de la tubería	# de termocuplas	Ubicación de la tubería
$\emptyset \leq 5$	1	
$5 < \emptyset \leq 8$	2	Separación de 180°
$8 < \emptyset \leq 18$	3	Separación de 120°
$18 < \emptyset \leq 24$	4	Separación de 90°
$\emptyset \geq 26$	Mínimo 4	Uniforme

En caso de que las condiciones de las juntas a ser tratadas impidan la instalación de las termocuplas, ya sea por su ubicación o condiciones del terreno, el número de termocuplas a ser instaladas y su ubicación queda a discreción de quien ejecute el tratamiento.

Se deberá considerar que es **ESTRICTAMENTE** mandatorio que en la zona de la junta a ser tratada se aplique la temperatura que el metal requiera, que exista uniformidad de la temperatura en la zona tratada y que exista control de temperatura.

El PWHT se lo realizará después de las inspecciones por ensayos no destructivos y luego de haberse corregido cualquier defecto.

En juntas soldadas de diferente espesor, se tomará el mayor espesor del material para elaborar la curva de tratamiento de la junta.

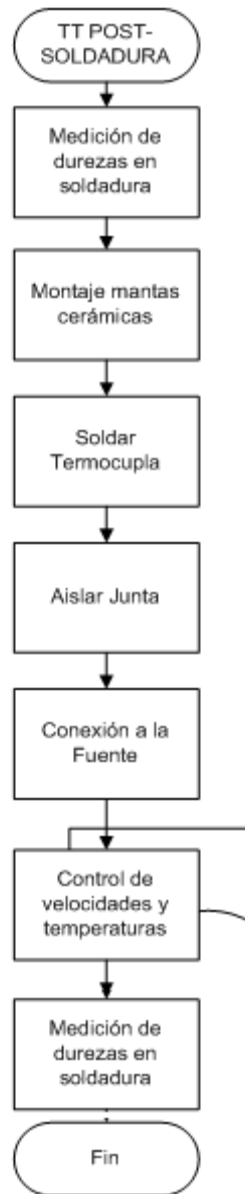
El método de calentamiento garantiza la temperatura del metal requerida por el código, la uniformidad de la temperatura a lo largo de la junta soldada y su control respectivo, este calentamiento se lo realizará mediante el uso de banda de calentamiento por resistencias eléctricas.

## 5.6 PROCESO

<b>Secuencia de Etapas</b>	<b>Actividad</b>	<b>Responsable</b>
Medición de Durezas en soldadura	<p>Previo el inicio de los trabajos de tratamiento térmico se realizará la medición de durezas en la soldadura y se consignará los valores en la tabla correspondiente, para posteriormente compararla con la medición luego del tratamiento.</p> <p>La medición de dureza se lo realiza en el cordón de soldadura, en la zona afectada por el calor y en el material base. Estas mediciones se las realizara de acuerdo a la distribución de las termocuplas.</p>	Supervisor PWHT

Montaje mantas cerámicas	Se realizará el montaje de las mantas cerámicas de calentamiento alrededor o a lo largo de la junta soldada.	Supervisor PWHT
Soldadura de termocupla	Se procederá a soldar los sensores de termocupla por el método de descarga capacitiva.	Supervisor PWHT
Aislamiento de junta	Se aislará la junta con fibra cerámica, para garantizar que no existan gradientes excesivos debido a la temperatura ambiente.	Supervisor PWHT
Conexión a la fuente	Finalmente se conectará las mantas cerámicas y los sensores a la fuente de poder para realizar el tratamiento térmico.	Supervisor PWHT
Control de velocidades y temperaturas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se realizará un estricto control de las velocidades y temperaturas de acuerdo a la curva del calentamiento previamente establecida de acuerdo a las normas correspondientes.</li> <li>• La máquina de relevado tiene un registro automático de temperaturas, con lo cual grafica la curva Temperatura vs. Tiempo en forma continua. Estos valores serán corroborados por el operador, el cual consignará los datos de temperatura de cada termocupla cada 10 minutos.</li> </ul>	Supervisor PWHT

## 6. Anexos - Diagrama de Flujo



	<b>Elaborado por :</b>	<b>Aprobado por:</b>
<b>Nombre</b>	Mauricio Adame	Ing. Mg. Henry Vaca
<b>Fecha</b>	04/03/2015	04/03/2015

### **6.7.10 Conclusiones**

Con los resultados obtenidos satisfactoriamente con valores de dureza en el cordón de soldadura se obtuvo a 625°C se obtuvo 171.33 Brinell donde el porcentaje de dureza disminuye el 8% del valor inicial, tanto en la zona afectada térmica mente por la soldadura también se logró una reducción de durezas de a 157.33 Brinell con esto se puede observar que existe una mejora en la dureza que es un parámetro muy importante.

La resistencia a tracción se consiguió mejorar a 520.80 MPa con lo que estamos mejorando, obteniendo un porcentaje de elongación de 37.56% todo esto es una mejora en las propiedades mecánicas para poder comprobar nuestro estudio, donde me muestra un valor considerable ya que si tomamos valores de dureza menores se podría tener un cordón de soldadura debilitado debido a que existe demasiada variación de durezas lo cual este comportamiento no es muy satisfactorio por las variaciones de la microestructura de estas zonas.

Este tipo de tratamiento térmico a la temperatura de 625°C, presenta en el material de aporte, granos columnares a partir del material base, presenta una microestructura de ferrita acicular con bandas de segregación, esta microestructura es ventajosa sobre otras microestructuras debido a su ordenamiento caótico, lo que hemos logrado aumentar la tenacidad teniendo un material mejorado.



## 6.8 Administración

<b>RECURSOS MATERIALES</b>			
<b>Cantidad</b>	<b>Detalle</b>	<b>Precio U.</b>	<b>Valor \$</b>
3	Tubos de 8in SCH XXS	30	90
2	Material de porte de soldadura	100	100
	Botellas de gas y oxigeno	80	80
25	Corte y mecanizado de probetas	20	500
15	Consumibles (lijas de diferente tamaño)	0,6	9
		<b>TOTAL</b>	<b>779</b>

<b>RECURSOS HUMANOS</b>			
<b>Cantidad</b>	<b>Detalle</b>	<b>Precio U.</b>	<b>Valor \$</b>
1	Ayudante para ensayos	50	50
1	Soldador	750	750
		<b>TOTAL</b>	<b>800</b>

<b>RECURSOS VARIOS</b>			
<b>Cantidad</b>	<b>Detalle</b>	<b>Precio U.</b>	<b>Valor \$</b>
1	Máquina de relevado de esfuerzos	500	500
1	Transporte	10	10
5	Cartuchos de tinta para impresora	140	140
4	Resma de hojas	4,5	18,0
		<b>TOTAL</b>	<b>668</b>

<b>COSTOS DE TRATAMIENTO TÉRMICO POST SOLDADURA</b>			
<b>Actividad</b>	<b>Costo Unitario \$</b>	<b>Costo Total \$</b>	<b>Observaciones</b>
Tratamiento térmico para tubería de 8"	500	2000	Por junta soldada
Medición de durezas	3	108	Por medición realizada
	<b>Total</b>	2108	

### **6.9 Previsión de la Evaluación**

Después de haber presentado los resultados obtenidos, al realizar el tratamiento térmico de alivio de esfuerzos se ha determinado, que se debe efectuar a una temperatura de 625°C con 1 hora de permanencia en la maquina relevadora de esfuerzos, para finalizar con una disminución de la temperatura gradual mente con ayuda de la máquina, hasta llegar a una temperatura de 425°C donde se desconecta el equipo para continuar con el enfriamiento a temperatura ambiente, con esto se tiene una disminución de la dureza y resistencia a la tracción, logrando con esto que el material no sea tan frágil en comparación a las tuberías de proceso que no tengan tratamiento térmico post soldadura.

El presente trabajo se realizó en su totalidad en los laboratorios de la carrera de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, ya que se cuenta con los equipos suficientes para desarrollar el estudio de la mejor manera, además se tiene una gran apertura por parte de las Autoridades de la facultad para ocupar dichas instalaciones.

Se sugiere para futuras investigaciones variar los parámetros como tiempo, velocidades de calentamiento y enfriamiento para el tratamiento térmico o a su vez un tipo diferente de equipo para realizar el tratamiento térmico.

## **BIBLIOGRAFÍA**

### **LIBROS**

- Abril, V. (2003). Población. V. Abril, técnicas de Investigación Científica. Ambato. Ecoediciones.
- Aguilar, R. (1996). R. Aguilar, Metodología de la Investigación Científica. Loja. Interamericana Editores S.A
- Askeland, R. (2011). Ciencia e ingeniería en materiales . Mexico D.F.
- ASME HANDBOOK. (1992). ASME HANDBOOK. USA.
- ASTM E3. (2011). Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens USA.
- ASTM E10. (2014). Standard Test Method for Brinell Hardness of Metallic Materials. USA.
- ASME. (2010). sección 8 división 1 Rules For Construction of Pressure Vessels. USA.
- ASME 31.3. (2010). Process Piping. USA.
- ASME IX. (2010). Qualification Estándar for Welding and Brazing Procedures. USA.
- ASTM E 8M. (2009). Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials. USA.
- Hidalgo, T. (2010). Investigación de Campo. T. Hidalgo, Tesis de Graduación .
- Martínez. (2006).B. Martínez, Estadística y Muestreo, Bogota: Ecoediciones.
- Naranjo, G. (2004). Muestra. G. Naranjo, Tutoría de la Investigación Científica Quito. Interamericana Editores.
- Seferian, D. (1962). Metalurgia de la soldadura. Madrid: TECNOS.

## SITIOS WEB

- Apraiz, J. (2010). Tratamiento termico de los aceros.  
[http://blog.utp.edu.co/metalografia/files/2010/10/Tratamientos-9rmicos\\_1.pdf](http://blog.utp.edu.co/metalografia/files/2010/10/Tratamientos-9rmicos_1.pdf)
- Carbajal, F. (2010) Aceros. <http://es.slideshare.net/chimbotero/3-aceros-7311485>
- El temple. (2013) [http://cosasmundometal.crearblog.com/?page\\_id=420](http://cosasmundometal.crearblog.com/?page_id=420)
- Flores, D. (2012). Propiedades mecanicas de los materiales  
<http://blog.utp.edu.co/metalografia/2012/07/31/2-propiedades-mecanicas-de-los-materiales/>
- Guadalupe, A. (2014). Tratamiento termico del acero  
<http://es.slideshare.net/AngelicaGuadalupe1/tratamiento-termico-del-acero>
- Jimenez, R. (1990). temple del acero <http://materiales.wikispaces.com/file/view/Temple+del+acero.doc>
- Laufgang, S. (2004). <http://materias.fi.uba.ar/6713/CursoIASListook.pdf>
- Lopez, S. (2011). Revenido. [http://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm13/pfcm13\\_2\\_2.html](http://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm13/pfcm13_2_2.html)
- Machado, I. (2010). Naturaleza Fisioquimica del acero. <http://es.scribd.com/doc/249821922/Naturaleza-Fisicoquimica-Del-Acero#scribd>
- Martinez, I. (2011). Ingenieria y ciencias de los materiales.  
<http://es.slideshare.net/IVANAARON/ingenieria-y-ciencia-de-los-materiales>
- Neely, J. (2002). Metalurgia y materiales industriales. Mexico.
- Perez, D. (2010). El Recocido. <http://www.ensinger.es/es/semielaborados/informacion-general-sobre-los-productos-semielaborados/mecanizado-de-piezas-semielaboradas>
- Salgueiro, M. (2012). Acero 1045. <http://www.buenastareas.com/ensayos/Acero-1045/5510607.html>
- Santamaria, L. (2011). Clasificación del temple. <http://www.vespino.com/~tecnologia/tecnologia/RES%20DAMENES/14%20tratamientos%20aceros.pdf>
- Solis, D. (2014). La normalización del acero <http://www.buenastareas.com/ensayos/Fiona/51288107.html>

- Granados,D.(2012).Tratamientotermico.www.monografias.com/trabajos93/guia-ingenieros-areas-inspeccion-tuberias-mantenimiento-y-corrosion/guia-ingenieros-areas-inspe
- Velasquez, S. (2012). Los metales. <http://es.slideshare.net/DeiviPg/los-metales-13866589>
- Villavicencio,J.(2012).www.rapitest.epn.edu.ec/index.php?page=browse&op=index...3...
- Wenghofer, F. (2004). Revenido.<http://www.nzdl.org/gsdmod?e=d-00000-00-->

# ANEXOS

## ANEXO A

### EQUIPOS UTILIZADOS PARA LOS PROCESOS.



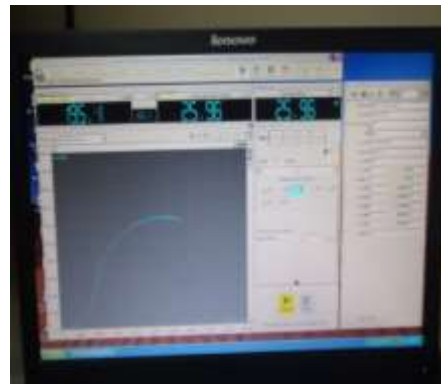
Máquina para ensayo a tracción



Durómetro



Microscopio Invertido



Computador de lectura de datos para ensayos de tracción.





Microscopio Invertido



Máquina para ensayo a tracción

## ANEXO B

### CERTIFICADOS DE CALIBRACIÓN.

	
<b>ANTECEDENTES DE EQUIPOS E INSTRUMENTOS</b>	
Empresa	ILPM Cía. Ltda.
Código	ENS-04
<b>ESPECIFICACIONES TÉCNICAS</b>	
DETALLE	CARACTERÍSTICAS
Nombre del equipo	Microscopio Invertido
Marca	micros AUSTRIA
Modelo	Gold MCX1700
Serial	4-100072
Rango de Medición	50x - 1000x
<b>Requisitos e indicaciones dadas por el fabricante</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mantener el microscopio en un lugar donde no tenga contacto directo con la luz del sol, alta temperatura o humedad.</li> <li>• La temperatura de trabajo del equipo debe estar entre un rango de de 5°C a 40°C (41°F a 104°F) y la humedad no debe ser superior al 85%.</li> <li>• Asegurarse que el microscopio se encuentre sobre una superficie liza, horizontal y firme.</li> <li>• Evitar colocar el equipo en ambientes sucios.</li> <li>• Cuando se termine de utilizar el equipo cubrir el mismo con un cobertor para protegerlo del polvo</li> <li>• Evitar tocar los componentes ópticos como lentes y filtros con los dedos.</li> <li>• Cuando se mueva el microscopio , agarre de los dos lados de la parte inferior del microscopio con sus dos manos.</li> <li>• Cuando el microscopio este en uso y las lamparas o partes cercanas al microscopio esten muy calientes asegures que haiga suficiente ventilación.</li> <li>• Asegurarse que el microscopio este conectado a tierra.</li> <li>• Por seguridad antes de realizar cambios de bombillas o fusibles se debe mantener apagado el microscopio y si son reemplazados despues de su uso esperar a que se enfrien completamente.</li> </ul>
<b>Mantenimiento indicado por el fabricante</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Limpiar cuidadosamente los lentes objetivos del equipo con presión de aire o bien con paños o cepillos suaves.</li> <li>• Utilizar un paño suave con alcohol al 50 % max. para eliminar ciertas contaminaciones de los lentes tales como grasa, aceite dejadas por las impresiones de los dedos.</li> <li>• Las parte pintadas como las plásticas deben ser limpiadas con un paño ligeramente húmedo.</li> <li>• Evitar realizar ajustes o manipular componentes ópticos o mecánicos puesto que podría terminar dañando el equipo.</li> </ul>



**HOJA DE VIDA**

Empresa	ILPM Cía. Ltda.
Equipo #	ENS-09



**ESPECIFICACIONES TÉCNICAS**

DETALLE	CARACTERÍSTICAS
Nombre del equipo	Máquina de ensayo de Tensión
Marca	
Modelo	
Serie	
Fabricante y lugar de origen	
Capacidad	
Apreciación	
Requisitos e indicaciones dadas por el fabricante	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verificar la fuente de alimentación y asegurarse que el cable de tierra este conectado antes de poner en marcha la máquina.               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Verificar el sistema de lubricación.</li> </ul> </li> <li>• Estar seguro que la hoja de la sierra se fije firmemente en el arco.</li> <li>• Verificar que el refrigerante tenga su nivel nominal, y asegurarse que el mismo este limpio y no haya impurezas en su depósito.</li> </ul>
Mantenimiento indicado por el fabricante	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Llenar la bomba con aceite hidraulico Mobil DTE 26 (ISOVG), y reemplazar por aceite nuevo cada 6 meses.</li> <li>• Cambiar el lubricante del equipo cuando este ya este sucio o se encuentre con impurezas en el depósito.</li> </ul>
Calibración (Periodicidad)	Anual

## ANEXO C

**TABLA DE VALORES DE “t” DE STUDENT Y PROBABILIDADES “P”  
ASOCIADA EN FUNCIÓN DE LOS GRADOS DE LIBERTAD “gl”**

gl	P (de una cola)									
	0.4	0.25	0.1	0.05	0.025	0.01	0.005	0.0025	0.001	0.0005
2	0.289	0.816	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925	14.089	22.326	31.596
3	0.277	0.765	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841	7.453	10.215	12.924
4	0.271	0.741	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604	5.598	7.173	8.610
5	0.267	0.727	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032	4.773	5.893	6.869
6	0.265	0.718	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707	4.317	5.208	5.959
7	0.263	0.711	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499	4.029	4.785	5.408
8	0.262	0.706	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355	3.833	4.501	5.041
9	0.261	0.703	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250	3.690	4.297	4.781
10	0.260	0.700	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169	3.581	4.144	4.587
11	0.260	0.697	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106	3.497	4.025	4.437
12	0.259	0.695	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055	3.428	3.930	4.318
13	0.259	0.694	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012	3.372	3.852	4.221
14	0.258	0.692	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977	3.326	3.787	4.140
15	0.258	0.691	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947	3.286	3.733	4.073
16	0.258	0.690	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921	3.252	3.686	4.015
17	0.257	0.689	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898	3.222	3.646	3.965
18	0.257	0.688	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878	3.197	3.610	3.922
19	0.257	0.688	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861	3.174	3.579	3.883
20	0.257	0.687	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845	3.153	3.552	3.850
21	0.257	0.686	1.323	1.721	2.080	2.518	2.831	3.135	3.527	3.819
22	0.256	0.686	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819	3.119	3.505	3.792
23	0.256	0.685	1.319	1.714	2.069	2.500	2.807	3.104	3.485	3.768
24	0.256	0.685	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797	3.091	3.467	3.745
25	0.256	0.684	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787	3.078	3.450	3.725
26	0.256	0.684	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779	3.067	3.435	3.706
27	0.256	0.684	1.314	1.703	2.052	2.473	2.771	3.057	3.421	3.690
28	0.256	0.683	1.313	1.701	2.048	2.467	2.763	3.047	3.408	3.674
29	0.256	0.683	1.311	1.699	2.045	2.462	2.756	3.038	3.396	3.659
30	0.256	0.683	1.310	1.697	2.042	2.457	2.750	3.030	3.385	3.646
40	0.255	0.681	1.303	1.684	2.021	2.423	2.704	2.971	3.307	3.551
60	0.254	0.679	1.296	1.671	2.000	2.390	2.660	2.915	3.232	3.460
120	0.254	0.677	1.289	1.658	1.980	2.358	2.617	2.860	3.160	3.373
Infinito	0.253	0.674	1.282	1.645	1.960	2.326	2.576	2.807	3.090	3.291

## ANEXO D

### 2010 SECTION VIII — DIVISION 1

vessels or pressure vessel parts shall be given a postweld heat treatment at a temperature not less than specified in those Tables when the nominal thickness, as defined in UW-40(f), including corrosion allowance, exceeds the limits in those Tables. The exemptions provided in Table UCS-56 or Table UCS-56.1 are not permitted when postweld heat treatment is a service requirement as set forth in UCS-68, when welding ferritic materials greater than  $\frac{1}{4}$  in. (3 mm) thick with the electron beam welding process, or when welding P-No. 3, P-No. 4, P-Nos. 5A, 5B, and 5C, P-No. 10, and P-No. 15E materials of any thickness using the inertia and continuous drive friction welding processes. Electroslag welds in ferritic materials over  $1\frac{1}{2}$  in. (38 mm) thickness at the joint shall be given a grain refining (austenitizing) heat treatment. Electrogas welds in ferritic materials with any single pass greater than  $1\frac{1}{2}$  in. (38 mm) shall be given a grain refining (austenitizing) heat treatment. For P-No. 1 materials only, the heating and cooling rate restrictions of (d)(2) and (d)(5) below do not apply when the heat treatment following welding is in the austenitizing range.

The materials in Table UCS-56 are listed in accordance with Section IX P-Number material groupings of QW-422 and also listed in Table UCS-23.

(b) Except where prohibited in Table UCS-56, holding temperatures and/or holding times in excess of the minimum values given in Table UCS-56 may be used. Intermediate postweld heat treatments need not conform to the requirements of Table UCS-56. The holding time at temperature as specified in Table UCS-56 need not be continuous. It may be an accumulation of time of multiple postweld heat treatment cycles.

(c) When pressure parts of two different P-Number groups are joined by welding, the postweld heat treatment shall be that specified in either of Tables UCS-56 or UHA-32, with applicable notes, for the material requiring the higher postweld temperature. When nonpressure parts are welded to pressure parts, the postweld heat treatment temperature of the pressure part shall control.

(d) The operation of postweld heat treatment shall be carried out by one of the procedures given in UW-40 in accordance with the following requirements:

(1) The temperature of the furnace shall not exceed 800°F (425°C) at the time the vessel or part is placed in it.

(2) Above 800°F (425°C), the rate<sup>5</sup> of heating shall be not more than 400°F/hr (222°C/h) divided by the maximum metal thickness of the shell or head plate in inches, but in no case more than 400°F/hr (222°C/h). During the heating period there shall not be a greater variation in temperature throughout the portion of the vessel being

<sup>5</sup> The rates of heating and cooling need not be less than 10°F/hr (5°C/h). However, in all cases consideration of closed chambers and complex structures may indicate reduced rates of heating and cooling to avoid structural damage due to excessive thermal gradients.

heated than 250°F (140°C) within any 15 ft (4.6 m) interval of length.

(3) The vessel or vessel part shall be held at or above the temperature specified in Table UCS-56 or Table UCS-56.1 for the period of time specified in the Tables. During the holding period, there shall not be a greater difference than 150°F (83°C) between the highest and lowest temperature throughout the portion of the vessel being heated, except where the range is further limited in Table UCS-56.

(4) During the heating and holding periods, the furnace atmosphere shall be so controlled as to avoid excessive oxidation of the surface of the vessel. The furnace shall be of such design as to prevent direct impingement of the flame on the vessel.

(5) Above 800°F (425°C), cooling shall be done in a closed furnace or cooling chamber at a rate<sup>5</sup> not greater than 500°F/hr (280°C/h) divided by the maximum metal thickness of the shell or head plate in inches, but in no case more than 500°F/hr (280°C/h). From 800°F (425°C) the vessel may be cooled in still air.

(e) Except as permitted in (f) below, vessels or parts of vessels that have been postweld heat treated in accordance with the requirements of this paragraph shall again be postweld heat treated after welded repairs have been made.

(f) Weld repairs to P-No. 1 Group Nos. 1, 2, and 3 materials and to P-No. 3 Group Nos. 1, 2, and 3 materials and to the weld metals used to join these materials may be made after the final PWHT but prior to the final hydrostatic test, without additional PWHT, provided that PWHT is not required as a service requirement in accordance with UW-2(a), except for the exemptions in Table UCS-56, or as a service requirement in accordance with UCS-68. The welded repairs shall meet the requirements of (1) through (6) below. These requirements do not apply when the welded repairs are minor restorations of the material surface, such as those required after removal of construction fixtures, and provided that the surface is not exposed to the vessel contents.

(1) The Manufacturer shall give prior notification of the repair to the user or to his designated agent and shall not proceed until acceptance has been obtained. Such repairs shall be recorded on the Data Report.

(2) The total repair depth shall not exceed  $1\frac{1}{2}$  in. (38 mm) for P-No. 1 Group Nos. 1, 2, and 3 materials and  $\frac{3}{8}$  in. (16 mm) for P-No. 3 Group Nos. 1, 2, and 3 materials. The total depth of a weld repair shall be taken as the sum of the depths for repairs made from both sides of a weld at a given location.

(3) After removal of the defect, the groove shall be examined, using either the magnetic particle or the liquid penetrant examination methods, in accordance with Appendix 6 for MT and Appendix 8 for PT.

(4) In addition to the requirements of Section IX for qualification of Welding Procedure Specifications for

DIMENSIONES PROBETA DE TRACCIÓN NORMA ASTM E 8 - 04

E 8 - 04



	Dimensions				
	Specimen 1	Specimen 2	Specimen 3	Specimen 4	Specimen 5
G—Gage length	2.000 ± 0.005	1.000 ± 0.005	1.000 ± 0.005	2.000 ± 0.005	2.000 ± 0.005
D—Diameter (shank)	0.500 ± 0.010	0.500 ± 0.010	0.500 ± 0.010	0.500 ± 0.010	0.500 ± 0.010
R—Radius of fillet, min	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4
A—Length of reduced section	2 1/4, min	2 1/4, min	4, approximately	2 1/4, min	2 1/4, min
L—Over-all length, approximate	8	2 1/2	2 1/2	4 1/2	8 1/2
S—Length of end section (shank)	1 1/4, approximately	1, approximately	1/2, approximately	1 1/4, approximately	3, min
C—Diameter of end section	1/2	1/2	1 1/4	1/2	1/2
E—Length of shoulder and fillet section, approximate	—	1/4	—	1/4	1/4
F—Diameter of shoulder	—	1/2	—	1/2	1 1/4

NOTE 1—The reduced section may have a gradual taper from the ends toward the center with the ends not more than 0.005 in. larger in diameter than the center.

NOTE 2—On Specimens 1 and 2, any standard thread is permissible that provides for proper alignment and aids in assuring that the specimen will bend within the reduced section.

NOTE 3—On Specimen 3 it is desirable, if possible, to make the length of the gage section great enough to allow the specimen to extend into the grips a distance equal to two thirds or more of the length of the grips.

FIG. 9 Various Types of Ends for Standard Round Tension Test Specimens