

**Universidad Nacional**

**“José Faustino Sánchez Carrión”**

**FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA Y METALÚRGICA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA METALÚRGICA**



**“INFLUENCIA DEL TRATAMIENTO TERMICO POST  
SOLDADURA EN LAS PROPIEDADES MECANICAS DE LAS  
UNIONES SOLDADAS GTAW DEL ACERO ASTM A335 EN LA  
REFINERIA DE TALARA – 2018”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO  
METALURGICO**

**Autor**

**JUNIOR MAURO QUESADA RAMOS**

**Asesor**

**Mg. DELICIAS EUFEMIA NATIVIDAD HUASUPOMA**

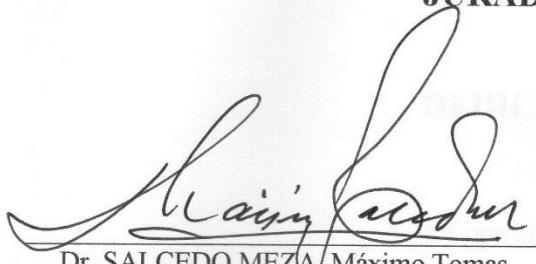
CIP: 085351

**Huacho - Perú**

**2019**

**INFLUENCIA DEL TRATAMIENTO TERMICO POST SOLDADURA EN LAS  
PROPIEDADES MECANICAS DE LAS UNIONES SOLDADAS GTAW DEL  
ACERO ASTM A335 EN LA REFINERIA DE TALARA – 2018**

**JURADO DE TESIS**



Dr. SALCEDO MEZA, Máximo Tomas

CIP. 15140

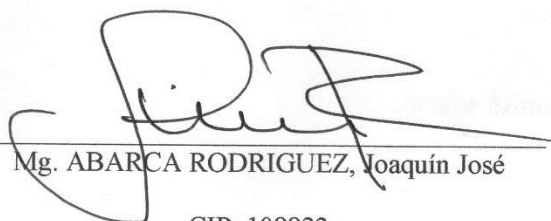
**PRESIDENTE**



Dr. RUIZ SANCHEZ, Berardo Beder

CIP. 26627

**SECRETARIO**



Mg. ABARCA RODRIGUEZ, Joaquín José

CIP. 108833

**VOCAL**



Mg. DELICIAS E. NATIVIDAD HUASUPOMA

CIP. 085351

**ASESOR**

## **DEDICATORIA**

La presente tesis está dedicado a mis padres y a toda mi familia que me han brindado su apoyo para poder culminar mi carrera profesional, lo cual me motiva a seguir mejorando en el ámbito personal y profesional para así lograr mis objetivos trazados con la bendición de Dios.

*Junior Mauro Quesada Ramos*

## **AGRADECIMIENTO**

Doy gracias a Dios por brindarme salud y fuerza para poder seguir luchando en este camino de amplia competencia.

También agradezco a los ingenieros que me brindaron sus conocimientos y enseñanzas en todo mi proceso académico y así poder seguir adelante para poder triunfar como profesional.

Agradezco a mi asesor por la dedicación, tiempo y paciencia para poder culminar satisfactoriamente la elaboración de esta tesis.

**Junior Mauro Quesada Ramos**

## INDICE

DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO .....	iv
RESUMEN .....	xiv
SUMMARY .....	xvi
INTRODUCCIÓN.....	xviii
CAPÍTULO I.....	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.1 DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA.....	1
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA. ....	1
1.2.1 Problema General. ....	1
1.2.2 Problemas Específicos. ....	2
1.3 OBJETIVOS.....	2
1.3.1 Objetivo General.....	2
1.3.2 Objetivos Específicos. ....	3
1.4 JUSTIFICACION DE LA INVESTIGACIÓN .....	3
1.4.1 Justificación técnica. ....	3
1.4.2 Justificación económica. ....	4
1.5 DELIMITACIÓN DEL ESTUDIO .....	4
1.5.1 Delimitación temporal. ....	4
1.5.2 Delimitación espacial.....	4
1.5.3 Delimitación académica.....	5

1.6 VIABILIDAD DEL ESTUDIO.....	5
1.6.1 Viabilidad de recurso teórico. ....	5
1.6.2 Viabilidad de recurso humano. ....	5
1.6.3 Viabilidad de recurso temporal.....	6
1.6.4 Viabilidad de recurso financiero.....	6
CAPÍTULO II.....	7
MARCO TEORICO .....	7
2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACION. ....	7
2.1.1 Investigación relacionada con el estudio. ....	7
2.1.2 Otras publicaciones.....	9
2.2 BASES TEORICAS .....	11
2.2.1 Acero ASTM A335.....	11
2.2.2 Microconstituyentes del acero. ....	14
2.2.2.1 Ferrita. ....	14
2.2.2.2 Cementita. ....	15
2.2.2.3 Perlita. ....	16
2.2.2.4 Austenita.....	16
2.2.2.5 Martensita.....	17
2.2.3 Carburos.....	17
2.2.4 Tratamientos térmicos.....	19
2.2.4.1 Tratamientos térmicos de recocidos.....	19
2.2.4.2 Tratamiento térmico de normalizado. ....	21

2.2.4.3 Tratamiento térmico de temple. ....	21
2.2.4.4 Tratamiento térmico de revenido. ....	22
2.2.5 Tratamientos térmicos en juntas soldadas. ....	23
2.2.5.1 Precalentamiento. ....	23
2.2.5.2 Tratamiento térmico post soldadura. ....	23
2.2.6 Propiedades mecánicas de los aceros. ....	24
2.2.6.1 Plasticidad. ....	24
2.2.6.2 Fragilidad. ....	24
2.2.6.3 Maleabilidad. ....	24
2.2.6.4 Dureza. ....	25
2.2.6.5 Tenacidad. ....	25
2.2.7 Proceso de soldadura GTAW. ....	25
2.2.7.1 Características y ventajas del sistema GTAW. ....	26
2.2.8 Zonas presentes en la soldadura. ....	26
2.2.8.1 Metal base. ....	27
2.2.8.2 Zona. ....	27
2.2.8.2 Zona afectada por el calor (ZAC). ....	27
2.3 DEFINICIONES CONCEPTUALES. ....	28
2.4 FORMULACION DE HIPOTESIS. ....	29
2.4.1 Hipótesis general. ....	29
2.4.2 Hipótesis específicas. ....	30
CAPÍTULO III .....	31

METODOLOGIA.....	31
3.1 DISEÑO METODOLOGICO. ....	31
3.1.1 Tipo de investigación.....	31
3.1.2 Nivel de investigación. ....	32
3.1.3 Diseño de investigación.....	32
3.1.4 Enfoque de la investigación.....	32
3.2 POBLACION Y MUESTRA. ....	32
3.2.1 Población. ....	32
3.2.2 Muestra. ....	32
3.4 OPERACIONALIZACION DE VARIABLES E INDICADORES. ....	33
3.5 TECNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCION DE DATOS. ....	33
3.5.1 Técnicas a emplear.....	34
3.5.2 Descripción de los instrumentos. ....	34
3.6 TECNICAS PARA EL PROCESAMIENTO DE LA INFORMACION.....	34
CAPÍTULO IV .....	36
RESULTADOS .....	36
4.1 ETAPAS DEL PROCESO. ....	36
4.1.1 Características del material. ....	36
4.1.2 Parámetros aplicados durante el proceso de soldadura.....	37
4.1.3 Tratamiento térmico post soldadura - PWHT.....	39
4.1.4 Ensayos mecánicos aplicados a las uniones soldadas.....	42
4.1.4.1 Ensayo de dureza.....	42



4.1.4.2 Ensayo metalográfico.....	43
4.1.4.3 Ensayo de tracción. ....	44
4.2 RESULTADOS DE LOS ENSAYOS.....	45
4.2.1 Resultado del ensayo de dureza. ....	45
4.2.2 Resultado del ensayo metalográfico. ....	46
4.2.3 Resultado del ensayo de tracción.....	49
CAPÍTULO V .....	52
DISCUSIÓN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	52
5.1 DISCUSION.....	52
5.1.1 Discusión del ensayo de dureza. ....	52
5.1.2 Discusión del ensayo metalográfico. ....	53
5.1.3 Discusión del ensayo de tracción.....	54
5.2 CONCLUSIONES.....	55
5.3 RECOMENDACIONES.....	57

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1:	Diagrama típico de transformación en enfriamiento continuo del acero ASTM A335	12
Figura 2:	Fotomicrografía de la microestructura del acero ASTM A335.	14
Figura 3:	Fotomicrografía de la microestructura de cementita en un acero al carbono.	15
Figura 4:	Fotomicrografía de la microestructura de perlita en un acero al carbono.	16
Figura 5:	Fotomicrografía de la microestructura de martensita en un acero al carbono templado.	17
Figura 6:	Ciclo térmico del recocido.	20
Figura 7:	Esquema de transformaciones de un acero con 0.45% de C durante el recocido.	20
Figura 8:	Ciclo térmico del normalizado.	21
Figura 9:	Ciclo térmico del temple.	22
Figura 10:	Ciclo térmico del revenido.	22
Figura 11:	Esquema del proceso GTAW.	26
Figura 12:	Zona afectada por el calor – ZAC.	28
Figura 13:	Equipo MILLER DYNASTY 350 AC/DC.	38
Figura 14:	Equipo de PWHT.	41
Figura 15:	Ciclo térmico en el PWHT.	42
Figura 16:	Puntos de medición de dureza.	43
Figura 17:	Ensayo mediante replicas metalográficas.	44

Figura 18:	Resultados del ensayo a tracción.	45
Figura 19:	Microestructura en estado de suministro del acero ASTM A335 grado P22.	46
Figura 20:	Microestructura del acero ASTM A335 grado P22 próxima a la ZAC.	47
Figura 21:	Microestructura zona ZAC del acero ASTM A335 grado P22.	48
Figura 22:	Microestructura zona ZAC luego de PWHT del acero ASTM A335 grado P22.	48
Figura 23:	Promedio de resultado del ensayo de dureza.	52

## INDICE DE TABLAS

Tabla	1: Composición química del acero ASTM A335.	12
Tabla	2: Influencia de la velocidad de enfriamiento sobre la microestructura y dureza del acero ASTM A335	13
Tabla	3: Variables e Indicadores.	33
Tabla	4: Composición química del acero ASTM A335 P22.	36
Tabla	5: Propiedades mecánicas del acero ASTM A335 P22.	37
Tabla	6: Parámetros que no variaron durante el proceso de soldeo.	38
Tabla	7: Parámetros que variaron durante el proceso de soldeo.	39
Tabla	8: Equipo de tratamiento térmico sistema de potencia.	40
Tabla	9: Equipo de tratamiento térmico sistema de comando y baja tensión.	40
Tabla	10: Parámetros de PWHT.	41
Tabla	11: Resultados del ensayo de dureza	45
Tabla	12: Resultados del ensayo a tracción, probeta 1 sin PWHT	49
Tabla	13: Resultados del ensayo a tracción, probeta 2 con PWHT	50
Tabla	14: Resultados del ensayo a tracción, probeta 3 con PWHT	51

## INDICE DE ANEXOS

Anexo 1:	Matriz de consistencia general.	63
Anexo 2:	Matriz de consistencia especifico	64
Anexo 3:	Especificaciones técnicas del durómetro Time 5100.	65
Anexo 4:	Estándar ASTM A335	66

## RESUMEN

La presente investigación se estará analizando la influencia de la aplicación del Tratamiento Térmico post Soldadura referente a las propiedades mecánicas que se presentan en las uniones de tuberías de acero ASTM A335 luego de haber aplicado el proceso de soldadura en la refinería de Talara.

En el capítulo I, se describe la realidad problemática que genera el ciclo térmico del proceso de soldadura y los efectos perjudiciales que pueden presentarse en la disminución y/o cambio de propiedades mecánicas del material adyacentes a las uniones soldadas; a la vez se define los objetivos que conlleva el trabajo, la justificación de porque se realiza el trabajo y la delimitación con la que cuenta como también su viabilidad.

El capítulo II presentamos los antecedentes de la investigación y el marco teórico donde se explicaron algunas teorías empleadas en el presente trabajo de investigación. Se formulan la hipótesis general y específicas bases para el inicio de la investigación.

El diseño metodológico se define en el capítulo III, donde se determina los tipos de investigación, el nivel y enfoque que se da al presente trabajo de investigación. Se limita la población y muestra que se va a abarcar; se describe las técnicas e instrumentos utilizados para la recolección de datos necesarios para realizar el presente trabajo.

En el capítulo IV, se detalla y presenta los resultados obtenidos durante el tiempo que se realizó el trabajo de investigación, mediante cuadros, gráficas y la realización de las interpretaciones de las mismas.

En el capítulo V, se realizó la discusión que se generaron al realizar el análisis de los resultados obtenidos; se determina las conclusiones y se da las recomendaciones necesarias en base a los resultados obtenidos.

Las fuentes bibliográficas que se usaron y fueron de apoyo durante la realización del presente trabajo se detalla en el capítulo VI; como parte final se anexa datos que son relevantes durante la ejecución del trabajo.

***Palabras claves:*** Propiedades Mecánicas, Tratamiento Térmico Post Soldadura, uniones soldadas, Proceso GTAW.

## SUMMARY

This paper analyzes the influence of the application of Post Welding Heat Treatment on the mechanical properties that occur in ASTM A335 steel pipe joints after having applied the welding process in the Talara refinery.

In chapter I, the problematic reality generated by the thermal cycle of the welding process is described and the harmful effects that may occur in the decrease and / or change of mechanical properties of the material adjacent to the welded joints; At the same time the objectives that the work entails, the justification of why the work is carried out and the delimitation with which it counts as well as its viability are defined.

Chapter II contains the background of the research and the theoretical framework where the main theories used in this research work were adopted. The general hypothesis and specific bases for the beginning of the investigation are formulated.

The methodological design is defined in Chapter III, which determines the types of research, the level and approach given to this research work. The population is limited and shows that it will be covered; The techniques and instruments used to collect the data necessary to carry out this work are described.

In Chapter VI, the results obtained during the time the research work was carried out are detailed and presented, through tables, graphs and the realization of their interpretations.



In Chapter V, the discussion that was generated when analyzing the results obtained was carried out; The conclusions are determined and the necessary recommendations are given based on the results obtained.

The bibliographic sources that were used and were supportive during the realization of this work are detailed in chapter VI; As a final part, data that is relevant during the execution of the work is attached.

**Keywords:** Mechanical Properties, Post Welding Heat Treatment, welded joints, GTAW Process.

## INTRODUCCIÓN

Las industrias a nivel mundial requieren de la fabricación de tuberías destinadas al transporte de líquidos y gases que producen o necesitan para su producción. En el caso de las refinerías de petróleo las tuberías son el nexo principal entre una etapa de producción y otra, haciendo vital el sistema de tuberías en sus plantas.

La industria petrolera requiere con frecuencia la fabricación de tuberías con materiales de propiedades mecánicas altas para cumplir con los requerimientos del servicio, un ejemplo de estos materiales son los aceros de baja aleación y alta resistencia dentro de los cuales se destaca el acero ASTM A335.

Las aplicaciones que se les da a las tuberías en las refinerías, mayormente están sometidas a presiones elevadas, haciendo crítico el cambio de propiedades en las uniones soldadas, es por tal motivo que se recomienda realizar tratamiento térmico post soldadura (PWHT) a las juntas soldadas con la finalidad de reducir los esfuerzos residuales, incrementar la resistencia a la fatiga y el control de la dureza en la zona afectada por el calor (ZAC), que se presenta luego del proceso de soldadura de la junta de tuberías.

# **CAPÍTULO I**

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.1 DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA.**

La refinería de Talara se encuentra en etapa de ampliación de su planta para poder elevar su producción y ser más competitivo en el mercado de hidrocarburos; las labores que se realizan durante la ampliación constan de la fabricación de nuevas redes de tuberías de proceso las cuales deben cumplir con los estándares internacionales exigidos.

Una unión o junta soldada que no se trate adecuadamente durante el proceso de soldeo podría generar en corto tiempo problemas como fatiga de material, dureza excesiva, discontinuidades volumétricas, etc., viéndose reflejado en las nuevas propiedades mecánicas que se generarían pudiendo ser estas negativas para el sistema nuevo de tuberías, no cumpliendo con los requerimientos.

### **1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.**

#### **1.2.1 Problema General.**

¿En qué medida influencia el tratamiento térmico post soldadura en las propiedades mecánicas de las uniones soldadas GTAW del acero ASTM A335 realizadas en la refinería de Talara?

### **1.2.2 Problemas Específicos.**

- ¿En qué medida la composición química del acero ASTM A355 determina los cambios en las propiedades mecánicas de la zona ZAC producida por el proceso de soldadura aplicado?
- ¿En qué medida los parámetros del proceso de soldadura aplicados durante la unión de la junta influyen en sus propiedades mecánicas?
- ¿En qué medida las temperaturas de tratamiento térmico post soldadura determina las propiedades mecánicas de las uniones soldadas del acero ASTM A335?

## **1.3 OBJETIVOS.**

### **1.3.1 Objetivo General.**

Realizar tratamiento térmico post soldadura para determinar su influencia en las propiedades mecánicas de las uniones soldadas GTAW del acero ASTM A335 realizadas en la refinería de Talara.

### **1.3.2 Objetivos Específicos.**

- Definir la composición química del acero ASTM A355 para identificar los cambios en las propiedades mecánicas de la zona ZAC producidas por el proceso de soldadura aplicado
- Analizar los parámetros del proceso de soldadura aplicados durante la unión de la junta y su influencia en las propiedades mecánicas.
- Seleccionar las temperaturas de tratamiento térmico post soldadura para determinar las propiedades mecánicas de las uniones soldadas del acero ASTM A355.

## **1.4 JUSTIFICACION DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.4.1 Justificación técnica.**

Toma como base la necesidad de establecer la influencia del tratamiento térmico post soldadura a las propiedades mecánicas de las uniones soldadas en vista que estas son alteradas durante el proceso de soldadura que se aplica, pudiendo estas no cumplir con los requerimientos exigidos para el trabajo que está destinado.

### **1.4.2 Justificación económica.**

La presencia de propiedades mecánicas no acordes a las requeridas en las uniones soldadas, pueden llevar a que las tuberías en un periodo corte fallen, generando costos económicos elevados en su reparación o sustitución de acuerdo amerite el caso. La determinación de la influencia del tratamiento térmico post soldadura ayuda a evaluar las propiedades deseadas para las uniones soldadas evitando así los sobrecostos.

## **1.5 DELIMITACIÓN DEL ESTUDIO**

### **1.5.1 Delimitación temporal.**

La información a ser consignada para la realización del trabajo de investigación propuesto, se centra en datos obtenidos durante el proceso de tratamiento térmico post soldadura realizada a las uniones soldadas del acero ASTM A335 en el periodo mayo a setiembre del año 2018.

### **1.5.2 Delimitación espacial.**

La investigación está realizada dentro del proyecto de ampliación de la empresa Refinería Talara ubicada en la provincia de Talara departamento de Piura.

### **1.5.3 Delimitación académica.**

Este trabajo cumple con los lineamientos exigidos por la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión plasmado en la resolución que hace referencia al grado de investigación y el esquema de presentación para el trabajo de tesis, esto se sustenta en bibliografías, textos, informes, reportes y estudios que proporcionan conceptos y teorías sobre tratamientos térmicos post soldadura aplicadas a uniones soldadas.

## **1.6 VIABILIDAD DEL ESTUDIO**

### **1.6.1 Viabilidad de recurso teórico.**

El tema de investigación “INFLUENCIA DEL TRATAMIENTO TERMICO POST SOLDADURA EN LAS PROPIEDADES MECANICAS DE LAS UNIONES SOLDADAS GTAW DEL ACERO ASTM A335 EN LA REFINERIA DE TALARA – 2018”; cuenta con el suficiente acceso de información primaria tanto en libros, revistas, código, normas, internet, etc.

### **1.6.2 Viabilidad de recurso humano.**

El estudio es viable, los recursos que el trabajo de investigación requiere es asumido por el tesista conjuntamente con apoyo del personal de la Refinería de Talara.

### **1.6.3 Viabilidad de recurso temporal.**

El presente trabajo de investigación se realiza en un corto plazo de aproximadamente cinco meses dentro del año 2018, por la ejecución de todos los procesos de investigación así como: el planteamiento del problema, marco teórico, diseño de la investigación, tabulaciones y conclusiones.

### **1.6.4 Viabilidad de recurso financiero.**

Si es viable, por medio de recursos económicos propios del tesista de manera que el proyecto no requiere de un financiamiento mayor o ser auspiciado por alguna empresa o entidad.



## CAPÍTULO II

### MARCO TEORICO

#### 2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACION.

##### 2.1.1 Investigación relacionada con el estudio.

a) Según Álvarez Rubiano A. (2015), manifiesta en su trabajo:

**Análisis de las propiedades mecánicas de un acero A36 sometido a un proceso de soldadura, antes y después de un tratamiento térmico post soldadura;** concluye que los valores del barrido de durezas concuerdan con los resultados obtenidos de las micrografías, donde se dio valores de dureza entre los 57 HRB y los 100 HRB, valores que pertenecen a microestructuras ferrítica y perlítica. Las magnitudes de dureza en el barrido comparado con las zonas en donde se tomaron dichos valores, indican que los valores de dureza mayor se encuentran en la zona de la soldadura donde generalmente las microestructuras reflejan una estructura perlítica a comparación de la ferrítica más blanda del material base. Las micrografías revelan una mayor transformación de una microestructura perlítica a una ferrítica dado o bien sea por una mayor temperatura de calentamiento o un mayor tiempo de sostenimiento. material base. Para los PWHT con temperaturas de calentamiento mayores a los 600° se aprecia una mayor homogeneidad entre los valores de dureza, que se confirman también con las micrografías que indican también una homogeneidad en sus microestructuras, siendo predominante la ferrita coincidiendo con los valores de dureza antes mencionados. Los PWHT con mayores temperaturas muestran un tamaño de

granos más consistentes y finos revalidados por el aumento de la ductilidad del material en los ensayos de tensión. El esquema de colores para las diferentes zonas MBASE-ZAC-SOLDADURA muestran que los valores de dureza decrecen conforme los puntos evaluados se acercan desde el cordón de soldadura a hacia el. A diferencia de las soldaduras sin PWHT las tratadas térmicamente mejoran las propiedades mecánicas incrementando la ductilidad del material y así el área de la zona plástica, sin embargo, se puede evidenciar que una alta temperatura de calentamiento aumenta la ductilidad, pero a cambio también disminuye la resistencia a la tracción del material. El tiempo de sostenimiento de un PWHT afecta considerablemente las propiedades mecánicas del material, aún más, que el aumento de la temperatura de calentamiento donde se deja ver por los ensayos mecánicos que un mayor tiempo de sostenimiento es más efectivo que una mayor temperatura de calentamiento. (Alvarez Rubiano, 2015, p. 78)

b) Según Olmos Molinares M. (2014), en el trabajo de investigación:

*Efecto de los ciclos térmicos sobre la microestructura de la zona afectada térmicamente de juntas soldadas de aceros inoxidables disímiles obtenidas por el proceso SMAW*; concluye que al momento de aplicar la soldadura a tope usando como material de aporte E-2209-16 y E-316L con el proceso SMAW, fue posible obtener dos entradas de calor 627,01 J/mm y 522,56 J/mm respectivamente, la variación entre las entradas de calor fue 20%, aproximadamente, siendo mayor para el E-2209-16. De igual manera el porcentaje de dilución fue mayor en el E-2209-16 obteniendo un valor de 33,3%. Los resultados muestran que las temperaturas máximas medidas en la

ZAT se encuentran en un intervalo entre 729,64 °C a 1062,90 °C en el 316L y 1085,36 °C a 1311,29 °C en el 430, con E-2209-16 como material de aporte, 777,40 °C a 1058,51°C en el 316L y 832,01°C a 968,78 °C en el 430, con E-309L como material de aporte dependiendo la posición del termopar. En el acero 316L no se presentan cambios microestructurales visibles, tal como la modificación del tamaño de grano o del maclado; sin embargo, es probable que se presente la precipitación de fases (carburos de cromo) las cuales no fueron caracterizadas por las técnicas aquí utilizadas. En contraste la baja alteración microestructural en el acero inoxidable austenítico es coherente con la baja alteración de la dureza en la ZAT. En el estudio de las transformaciones de fases de la ZAT con la ayuda de termodinámica computacional (Thermo-Calc®) mostró como resultados la predicción de las fases. En el acero inoxidable ferrítico, muestra una matriz ferrítica con probables apariciones de la fase sigma en temperaturas entre los 850°C y los 497°C. Por parte de los austeníticos tiene una estructura FCC con posibles apariciones de precipitados M<sub>23</sub>C<sub>6</sub> que son carburos de cromo y fase como la sigma puede permanecer desde 1062°C hasta temperatura ambiente, apareciendo también las fases Mu y Chi promovidas por el Mo. Las fases antes mencionadas no fueron observadas por la resolución de las técnicas de caracterización usadas. (Olmos Molinares, 2014, p. 84)

### **2.1.2 Otras publicaciones.**

- a) Según Burgos A., Rodríguez J., Svoboda H. y Surian E. (2018); en la publicación del artículo titulado:

***Tratamiento Térmico alternativo para el metal de soldadura de un acero 9Cr;*** concluyen que en este trabajo se encontró que la aplicación de un PWHT de solubilizado más un doble revenido, alternativo a los aplicados comúnmente a las soldaduras de aceros CSE9Cr, produce una mejora en las propiedades mecánicas a elevadas temperaturas. El tratamiento de solubilizado generó en la microestructura una distribución de tamaños de granos austeníticos primarios más homogénea, lo que pudo haber provocado que los precipitados a su alrededor estuvieran más espaciados logrando disminuir con esto la velocidad de coalescencia de los mismos durante la degradación a alta temperatura. La presencia de planos de una misma familia con cierto grado de alineamiento dentro de la microestructura podría estar provocando la generación de sistemas de deslizamientos que aceleraran el proceso de degradación mitigando la acción de los mecanismos de endurecimiento a alta temperatura. Esto se pudo observar en las muestras con PWHT convencional donde se registró una merma de propiedades en comparación al PWHT alternativo. La utilización de ensayos de HTT junto a metodologías de parametrización de creep se muestra como una estrategia robusta para aproximar en tiempos cortos datos de fluencia lenta. (Burgos , Rodríguez, Svoboda, & Surian, 2018, p. 86)

- b) Según Soria M., Reyes F., Carrillo F., Garcia F., Alvarez H. y Silva L. (2015); en la publicación del artículo titulado:

***Efecto del tratamiento térmico sobre las propiedades mecánicas y microestructura de un acero para tubería API 5CT J55;*** concluyen que es posible aplicar un diseño experimental como el Taguchi L9 para encontrar, con un número muy pequeño de pruebas, el efecto de las variables del

tratamiento térmico de austenizado y revenido sobre las propiedades mecánicas de un acero. En este caso, para muestras de tubo de acero API 5CT J55, la temperatura de revenido es el factor más importante para el logro de las propiedades mecánicas requeridas, seguido de la temperatura de austenizado. A partir del análisis de varianza (ANOVA), se obtienen curvas paramétricas, que facilitan visualizar de manera gráfica y en forma inmediata las condiciones óptimas del tratamiento térmico. De la misma manera, a partir de una regresión múltiple de los resultados en propiedades mecánicas obtenidos del diseño experimental, es posible obtener ecuaciones empíricas que permiten encontrar, de manera sencilla y práctica, las condiciones óptimas de los tratamientos térmicos, dentro del rango experimental del estudio. Los resultados de las propiedades mecánicas se explican mediante el estudio metalográfico de las muestras, ya que los tratamientos térmicos afectan la microestructura y el porcentaje de fases. Los resultados de este estudio indican que, a una menor temperatura de revenido, principalmente, y a menor temperatura de austenizado, es posible tener mayor porcentaje de martensita y un tamaño de grano pequeño, lo cual se traduce en mejores propiedades mecánicas. (Soria, y otros, 2015, p. 66)

## **2.2 BASES TEORICAS**

### **2.2.1 Acero ASTM A335.**

Los aceros Cr-Mo son ampliamente utilizados en centrales termoeléctricas, así como en componentes como calderas, tuberías y cañerías. El acero ASTM A335 también denominado acero de baja aleación 2-1/4Cr-1Mo ha sido estandarizado

en países de todo el mundo. Las aplicaciones más comunes son: en los tubos de los sobrecalentadores y recalentadores, así como en los cabezales donde la operación se realiza normalmente hasta temperaturas de aproximadamente 600°C.

(Alcantara Chavez & Esparza Vargas, 2019, p. 47)

Tabla 1

Composición química del acero ASTM A335

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
<b>Mínimo</b>	0.05	---	0.30	---	---	1.90	0.87
<b>Máximo</b>	0.15	0.50	0.60	0.025	0.025	2.60	1.13

La microestructura del acero ASTM A335 depende de la historia térmica; típicamente, velocidades de enfriamiento más lentas que están más cerca del equilibrio promueven la formación de ferrita con bainita, mientras que en condiciones de enfriamiento más rápido se incrementará el porcentaje de bainita.

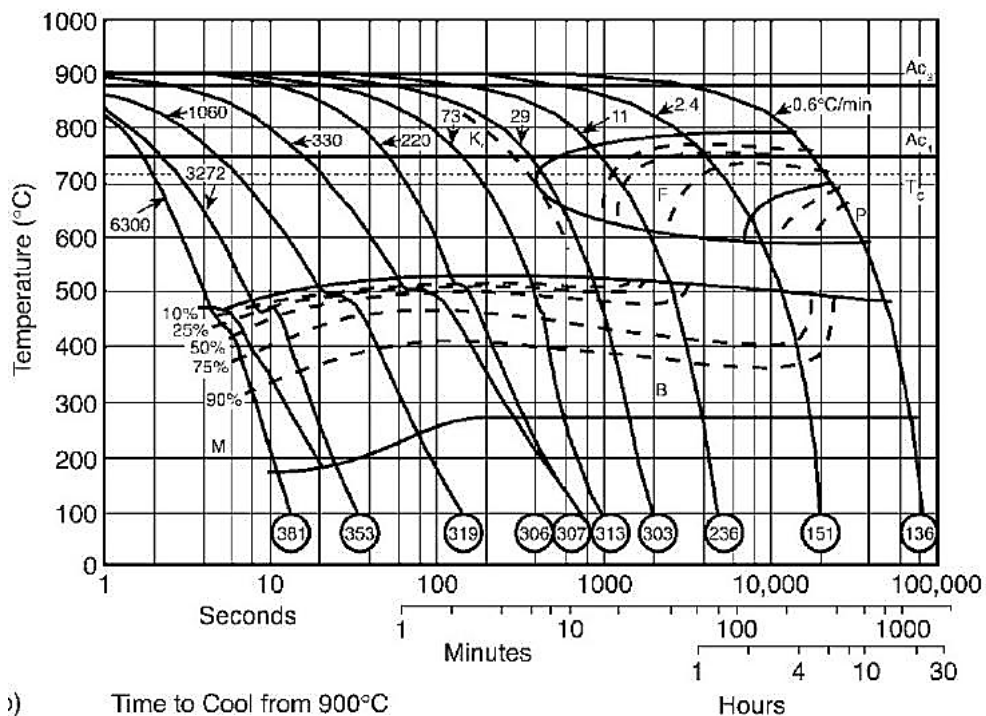


Figura 1. Diagrama típico de transformación en enfriamiento continuo del acero ASTM A335 (F= ferrita; P= bainita; M= martensita).

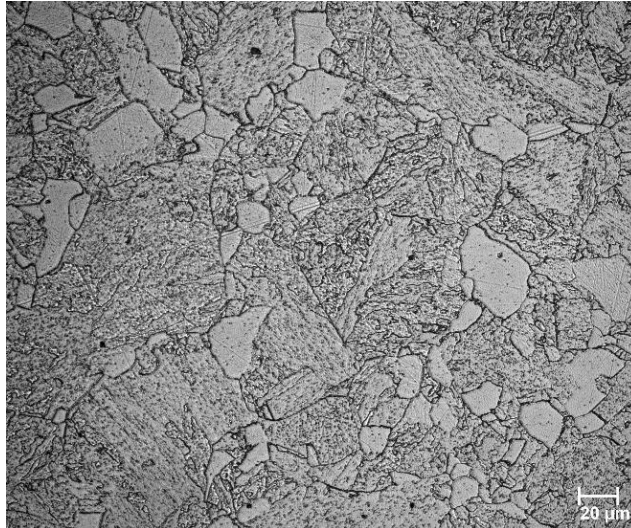
El diagrama de transformación por enfriamiento continuo (CCT), mostrado en la figura 1, puede ser utilizado para desarrollar microestructuras requeridas a través del control de los ciclos térmicos aplicados en los diferentes procesos de fabricación; ejemplos típicos se dan en la tabla 2.

Tabla 2

*Influencia de la velocidad de enfriamiento sobre la microestructura y dureza del acero ASTM A335*

<b>Velocidad de enfriamiento (°C/h)</b>	<b>Microestructura</b>		<b>Dureza Vickers</b>
	<b>Bainita</b>	<b>Ferrita</b>	
887	99%	1%	305
816	55%	45%	215
71	30%	70%	160
66	20%	80%	150

La temperatura de austenización del acero ASTM A335 está en el rango de 954°C a 1016°C, posteriormente es enfriado al aire (normalizado) y revenido en el rango de 580 °C a 720 °C. (Alcantara Chavez & Esparza Vargas, 2019, p. 58)



*Figura 2.* Fotomicrografía de la microestructura del acero ASTM A335. Estado de suministro, se observa la presencia de bainita con ferrita.

En materiales fundidos, lo cual involucra una solidificación desde el estado líquido, frecuentemente se desarrolla tamaños de grano de austenita gruesa. (Alcantara Chavez & Esparza Vargas, 2019, p. 59)

## **2.2.2 Microconstituyentes del acero.**

Los aceros en su mayoría están conformados principalmente por microestructuras formada por ferrita, austenita, martensita y distintos tipos de carburos dependiendo de los elementos aleantes del acero y del tratamiento térmico que han estado expuestos.

### **2.2.2.1 Ferrita.**

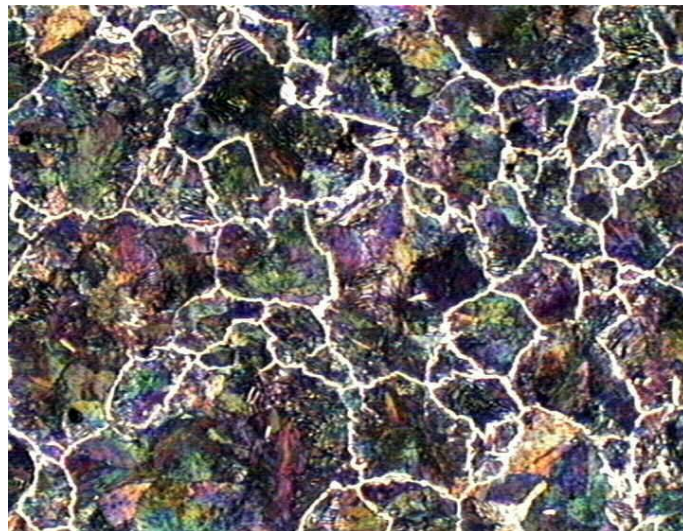
La ferrita es hierro  $\alpha$ , prácticamente puede contener cantidades muy pequeñas de carbono, siendo la solubilidad de este elemento en la ferrita, a temperatura ambiente, de tan sólo el 0.008% en masa. En los aceros aleados, sin embargo, la ferrita puede disolver



cantidades importantes de elementos como: cromo, molibdeno, wolframio, silicio, aluminio y vanadio, que por ello se denominan, genéricamente, elementos alfégenos. Tiene una resistencia mecánica apreciable de  $28 \text{ kg/mm}^2$  (280 MPa) y gran alargamiento (ductilidad) de hasta un 35%. Su dureza oscila alrededor de los 90 HB (unidades Brinell). (Criado Portal, 2008, p. 69)

#### **2.2.2.2 Cementita.**

La cementita es un carburo de hierro, FeC, que contiene un 6.67% en masa de carbono y un 93.33% en masa de hierro. Es el microconstituyente más duro de los aceros al carbono; llegando a tener una dureza superior a los 68 HRC (68 unidades Rockwell C), lo que le hace muy frágil. Su red cristalina consiste en un paralelepípedo ortorrómbico de gran volumen ( $4.5 \times 5 \times 6.7 \text{ \AA}$ ). Es magnética hasta los  $218^\circ\text{C}$ . (Criado Portal, 2008, p. 67)



*Figura 3.* Fotomicrografía de la microestructura de cementita en un acero al carbono.

### 2.2.2.3 Perlita.

Se trata del agregado eutectoide, formado por capas alternativas de ferrita y C). Posee una composición bastante definida, tiene seis partes de hierro por una de carbono, 88% de ferrita y 12% de cementita. Su pureza es de alrededor de los 250 HB (unidades Brinell), dependiendo de su espaciado interlaminar, que depende de si el enfriamiento se ha llevado a cabo en el horno (200 HB) o al aire (normalizado)(250HB). (Criado Portal, 2008, pág. 35)



*Figura 4.* Fotomicrografía de la microestructura de perlita en un acero al carbono.

### 2.2.2.4 Austenita.

Es una solución sólida de carbono en hierro gamma. Puede contener hasta un 2.06% de carbono en masa a la temperatura de 1147°C. La austenita presenta una dureza de 300 HB (unidades Brinell) y una resistencia de 88 a 105 kg/ mm<sup>2</sup> (1050 MPa) con un alargamiento del 30% al 60%. Claro está, que estos datos se corresponden cuando la austenita está retenida a temperatura ambiente (aceros de alto contenido en carbono o

aleados). A alta temperatura es blanda, muy dúctil, tenaz y no es magnética. Es resistente al desgaste y es la fase más densa de los aceros. (Criado Portal, 2008, p. 48)

#### **2.2.2.5 Martensita.**

Es el constituyente típico de los aceros templados. Consiste en una solución sobresaturada de carbono en hierro  $\alpha$ , aunque el cristal formado es del sistema tetragonal. (Criado Portal, 2008, p. 59)



*Figura 5.* Fotomicrografía de la microestructura de martensita en un acero al carbono templado.

#### **2.2.3 Carburos.**

Los elementos de aleación afectan la formación de otras fases, tales como se deduce de la regla de las fases, el número máximo de fases que pueden estar en equilibrio aumenta con el incremento del número de componentes. Por otra parte, la experiencia indica que, además aumenta la cantidad de fases meta estables. (Alcantara Chavez & Esparza Vargas, 2019, p. 69)

Tal como ocurre con los carburos de Fe, algunos carburos aleados son menos estables que otros, y sólo aparecen como carburos de transición. (Alcantara Chavez & Esparza Vargas, 2019, p. 87)

Cuando estos elementos están presentes en los aceros, y dependiendo de su proporción, y presencia de los otros formadores de carburos, y el tratamiento térmico que se le haya realizado al acero, aparecen una serie de carburos. Algunos son en realidad cementitas “aleadas”, es decir carburos de estructura ortorrómbica donde algunos átomos de Fe han sido reemplazados por algún otro elemento formador de carburos. Este tipo de carburo se denomina genéricamente  $M_3C$ , la M indica “metal” que puede ser una combinación de Fe y otros elementos formadores de carburos, En cambio, pueden aparecer carburos con una estructura diferente a la de la cementita, como los cúbicos, hexagonales, etc. (Alcantara Chavez & Esparza Vargas, 2019, p. 87)

En un determinado acero que contiene elementos formadores de carburos, existe uno o más carburos que son los más estables y que aparecerán cuando el ciclo térmico. Esto suele aparecer en los diagramas de equilibrio o en diagramas que aun cuando no son exactamente de equilibrio, reflejan la estructura que se obtiene cuando el acero es sometido a un recocido.

Por definición los carburos son las fases más duras en los aceros de modo que su fracción en volumen, tamaño, forma y distribución tienen gran influencia en todas las propiedades mecánicas más importantes: resistencia mecánica, dureza, ductilidad, tenacidad, resistencia a la fatiga, resistencia al creep, etc. En general endurecen y reducen la ductilidad y tenacidad de los aceros. (Alcantara Chavez & Esparza Vargas, 2019, p. 88)

#### **2.2.4 Tratamientos térmicos.**

El Tratamiento Térmico involucra varios procesos de calentamiento y enfriamiento para efectuar cambios estructurales en un material, los cuales modifican sus propiedades mecánicas. El objetivo de los tratamientos térmicos es proporcionar a los materiales unas propiedades específicas adecuadas para su conformación o uso final. Se pueden realizar Tratamientos Térmicos sobre una parte o la totalidad de la pieza, de uno o varios pasos de la secuencia de manufactura. En algunos casos, el tratamiento se aplica antes del proceso de formación (recocido para ablandar el metal y ayudar a formarlo más fácilmente mientras se encuentra caliente). En otros casos, se usa para aliviar los efectos del endurecimiento por deformación. (García Pablo, 2017, p. 61)

Teniendo en cuenta que la estructura viene definida por:

- Composición química.
- Tamaño de las fases y constituyentes.
- Forma de las fases y constituyentes.
- Distribución de éstos.

##### **2.2.4.1 Tratamientos térmicos de recocidos.**

El calentamiento se hace a una temperatura ligeramente superior a  $A_3$  y luego se enfría lentamente (por lo general dentro del horno). El principal objetivo es ablandar el acero, deseándose a veces también regenerar su estructura o eliminar tensiones internas.

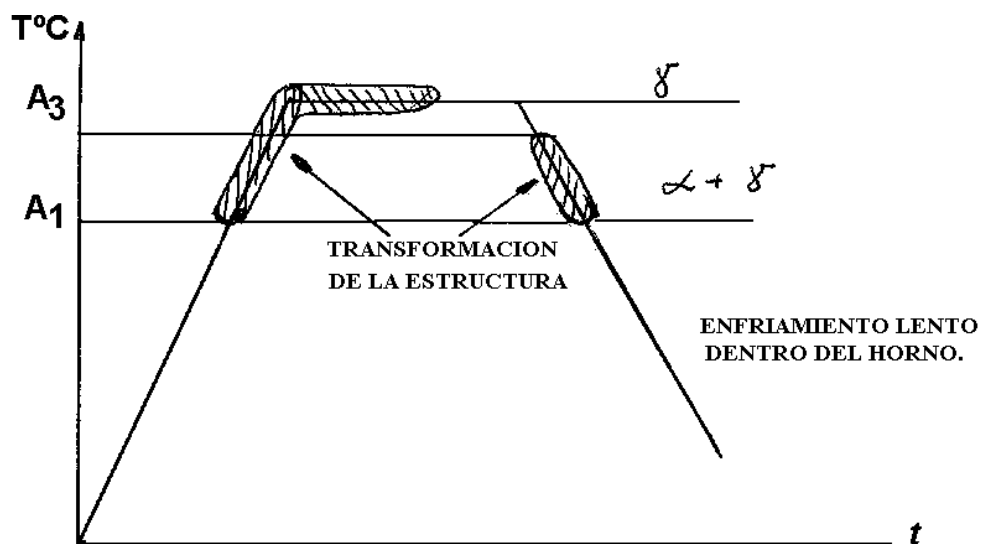


Figura 6. Ciclo térmico del recocido.

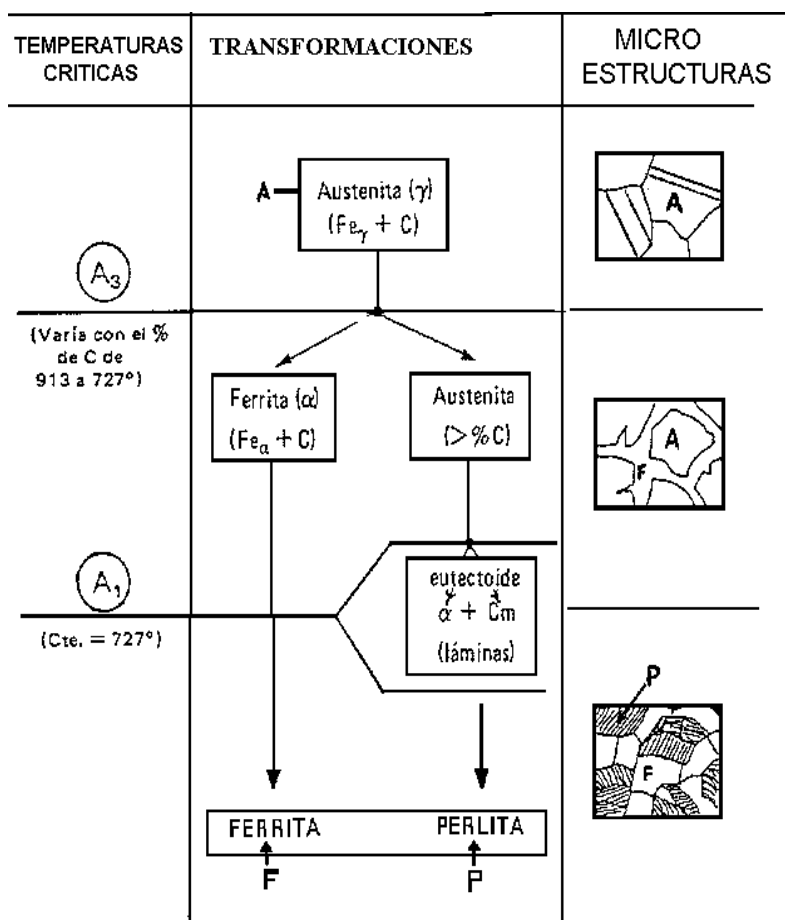


Figura 7. Esquema de transformaciones de un acero con 0.45% de C durante el recocido.

### 2.2.4.2 Tratamiento térmico de normalizado.

Se emplea en piezas undidas, forjadas o conformadas mecánicamente. Su objetivo es afinar la estructura y eliminar las tensiones que suelen aparecer en la solidificación u otras operaciones posteriores. Los aceros se calientan a una temperatura superior a la crítica  $A_3$  o  $A_{cm}$  y luego se dejan enfriar al aire tranquilo.

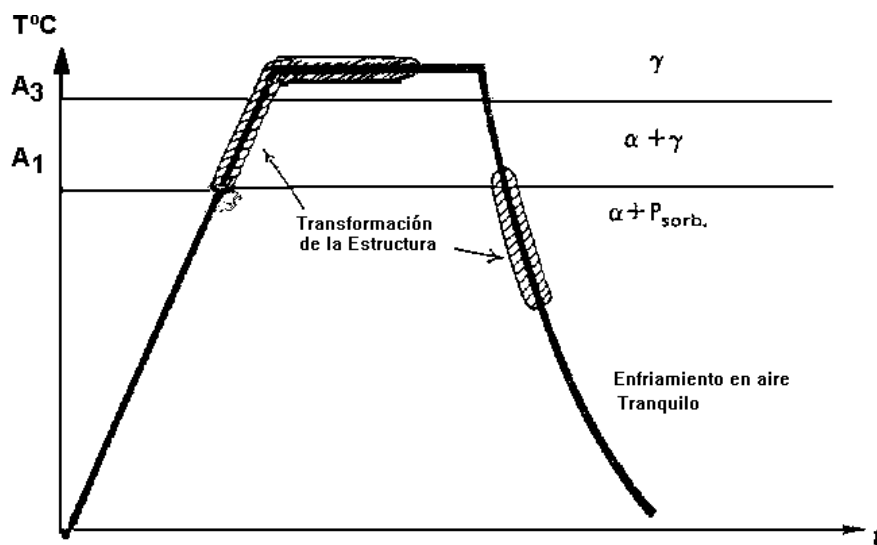


Figura 8. Ciclo térmico del normalizado.

### 2.2.4.3 Tratamiento térmico de temple.

Consiste en austenizar un acero y luego enfriarlo en forma más o menos rápida (según composición química y tamaño de las piezas) en un medio adecuado como ser: agua, aceite o sales fundidas. Tiene por objeto endurecer y aumentar la resistencia del acero.

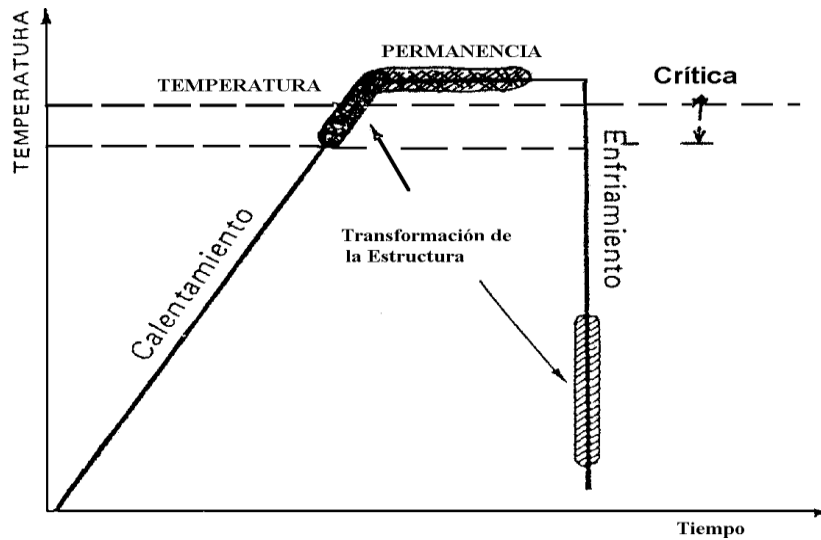


Figura 9. Ciclo térmico del temple.

#### 2.2.4.4 Tratamiento térmico de revenido.

Es el tratamiento térmico que sigue a todo temple. El objetivo es modificar y no eliminar los efectos del temple. El revenido consiste en calentar el acero, previamente templado, a temperaturas inferiores a la crítica  $A_1$  ( $723^{\circ}\text{C}$ ), mantenerlo un tiempo adecuado y luego enfriarlo a temperatura ambiente.

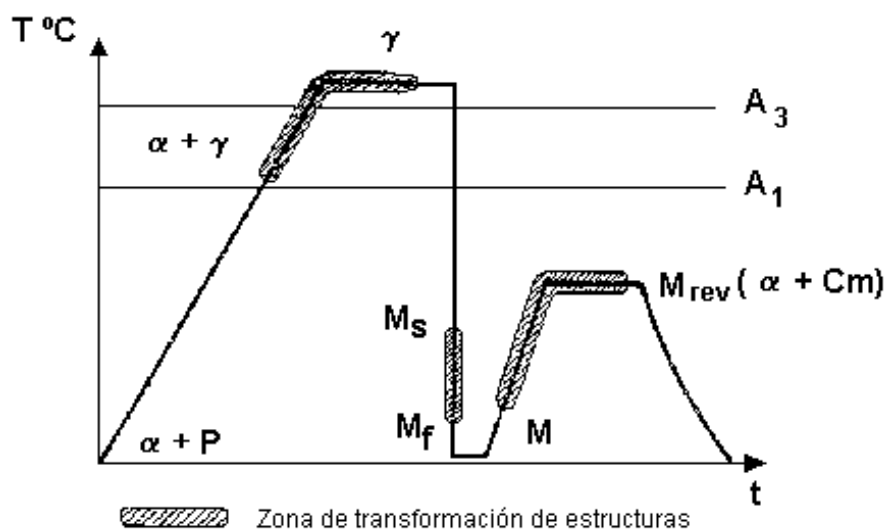


Figura 10. Ciclo térmico del revenido.



## **2.2.5 Tratamientos térmicos en juntas soldadas.**

### **2.2.5.1 Pre calentamiento.**

El pre calentamiento solo se realiza en materiales que presentan problemas de soldabilidad y que de no aplicarse podrían dar lugar a agrietamiento en las soldaduras. También se realizaría un pre calentamiento cuando no se pudiesen conseguir las temperaturas de soldeo adecuadas por la gran conductividad térmica del material. Los objetivos que se buscan con el pre calentamiento son, reducir la velocidad de enfriamiento de las piezas y, disminuir pérdidas de calor en materiales muy conductores de calor. (Retamozo Meza, 2015, p. 48)

### **2.2.5.2 Tratamiento térmico post soldadura.**

Es en este último punto donde crece la importancia de conocer la respuesta del material al someterlo a un ciclo térmico y su respuesta a un tratamiento de envejecimiento. (Retamozo Meza, 2015, p. 48)

La ejecución de una soldadura además provoca, como consecuencia del gradiente térmico originado, un estado tensional durante el proceso de soldeo (tensiones térmicas) y una vez concluido éste y enfriada la pieza (tensiones residuales). Estas tensiones son autoequilibradas y de magnitud suficiente como para poder tener influencia sobre las propiedades mecánicas de la unión. (Retamozo Meza, 2015, p. 48)

## **2.2.6 Propiedades mecánicas de los aceros.**

Las propiedades mecánicas y físicas del acero pueden variar enormemente dependiendo de su composición y porcentaje de impurezas (como fósforo o sulfuro). de esta manera, cuando se quieren lograr unas mejores propiedades mecánicas y físicas sobre otras, el acero puede ser aleado con cromo, cobalto, cobre, molibdeno, níquel, nitrógeno, selenio, tántalo, titanio, tungsteno o vanadio. (Esquivias Llerena , 2018, p. 78)

### **2.2.6.1 Plasticidad.**

Es la capacidad que tiene el acero de conservar su forma después de ser sometido a un esfuerzo. Los aceros que son aleados con pequeños porcentajes de carbón, son más plásticos. (Esquivias Llerena , 2018, p. 78)

### **2.2.6.2 Fragilidad.**

La fragilidad es la facilidad con la que el acero puede ser roto al ser sometido a un esfuerzo. Cuando el acero es aleado, con un porcentaje alto de carbón, tiende a ser más frágil. (Esquivias Llerena , 2018, p. 79)

### **2.2.6.3 Maleabilidad.**

La maleabilidad es la facilidad que tiene el acero para ser laminado. De esta manera, algunas aleaciones de acero inoxidable tienden a ser más maleables que otras. (Esquivias Llerena , 2018, p. 79)

#### **2.2.6.4 Dureza.**

La dureza es la resistencia que opone un metal ante agentes abrasivos. Mientras más carbón se adicione a una aleación de acero, más duro será. (Esquivias Llerena , 2018)

#### **2.2.6.5 Tenacidad.**

La tenacidad es el concepto que denota la capacidad que tiene el acero de resistir la aplicación de una fuerza externa sin romperse. En el caso del acero con una concentración mediana de carbón, la tenacidad tiende a ser más alta. (Esquivias Llerena , 2018)

#### **2.2.7 Proceso de soldadura GTAW.**

La soldadura mediante el proceso GTAW efectúa la unión del metal por medio del calentamiento que produce el arco eléctrico. Una terminal es generalmente un electrodo de tungsteno y la otra es la pieza a soldar que se va a trabajar. El arco eléctrico es protegido de la contaminación de la atmósfera, mediante la pantalla de un gas inerte. (Esquivias Llerena , 2018)

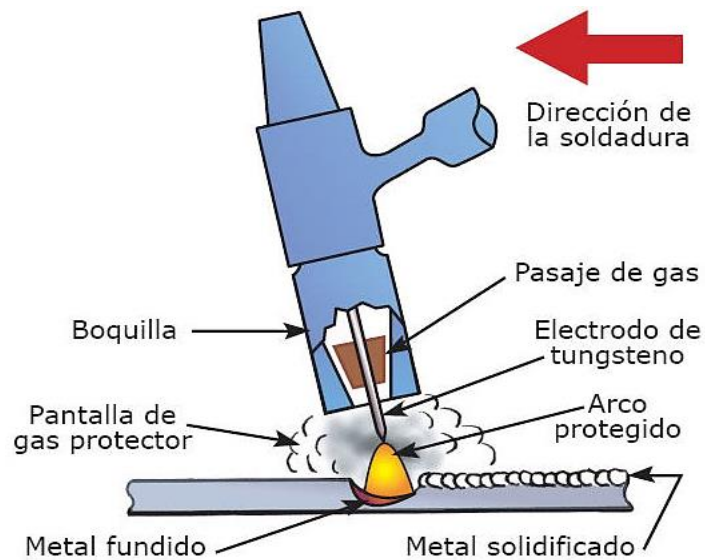


Figura 11. Esquema del proceso GTAW.

### 2.2.7.1 Características y ventajas del sistema GTAW.

- No se requiere de fundente y no hay necesidad de limpieza posterior en la soldadura
- No hay salpicadura, chispas ni emanaciones, al no circular metal de aporte a través del arco
- Brinda soldaduras de alta calidad en todas las posiciones, sin distorsión
- Al igual que todos los sistemas de soldadura con protección gaseosa, el área de soldadura es claramente visible

### 2.2.8 Zonas presentes en la soldadura.

Una vez realizado el proceso de soldadura por fusión se distinguen tres (03) zonas metalúrgicas diferentes en la unión, que tendrán unas u otras dimensiones en función de los aportes térmicos y procesos de solidificación. (Retamozo Meza, 2015)

### **2.2.8.1 Metal base.**

El metal base es la pieza metálica que sirve de base para ser revestido por otro o para recepcionar material adicional y poder unir dos piezas semejantes, es decir, es la zona que experimenta un calentamiento sin modificaciones de sus características iniciales, siendo el elemento metálico principal base de la soldadura. (Esquivias Llerena , 2018)

### **2.2.8.2 Zona de fusión.**

Es la zona donde el metal de soldadura fue depositado, es la parte del metal que se fundió y después se solidificó durante el proceso de soldadura. Esta zona puede estar compuesta de metal base fundido, metal de aporte o una mezcla de metal de aporte y metal base. (Remond Hernández, 2016, p. 95)

### **2.2.8.2 Zona afectada por el calor (ZAC).**

Es la zona adyacente al cordón de soldadura que se calienta en gran medida y se ve afectada por el calor, pero no se funde. Esta zona sufre cambios metalúrgicos y cambios en sus características mecánicas. (Retamozo Meza, 2015)

El material que se encuentra dentro de la ZAC sufre un cambio que puede o no resultar beneficioso para la unión soldada.

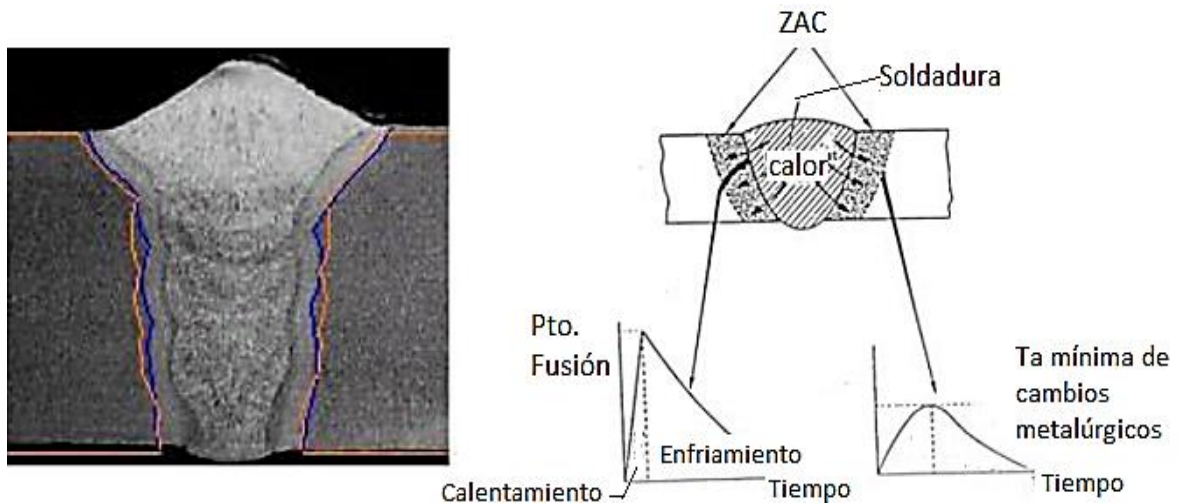


Figura 12. Zona afectada por el calor – ZAC.

## 2.3 DEFINICIONES CONCEPTUALES.

- **$A_{cm}$ .** En aceros hipereutectoides, límite de solubilidad de carbono en la austenita.
- **$A_{c1}$ .** Temperatura a la cual comienza a formarse austenita durante el calentamiento (la *c* deriva del francés chauffant)
- **$A_{c3}$ .** Temperatura a la cual se completa la transformación de ferrita en austenita durante el calentamiento.
- **$A_{ecm}$ ,  $A_{e1}$ ,  $A_{e3}$ .** Temperaturas de cambios de fase en equilibrio.
- **$A_{rm}$ .** En aceros hipereutectoides, temperatura a la que comienza la precipitación de omentito durante el enfriamiento (la *r* deriva del francés refroidissant)
- **Buena maquinabilidad.** Se dice que el acero tiene buena maquinabilidad cuando puede ser sometido a procesos de arranque de viruta con facilidad.

- **Ductilidad.** Es la capacidad de un material de deformarse plásticamente sin fracturarse. Un material muy dúctil es fácilmente deformado en frío (embutido, doblado) y/o mecanizado. El material es blando.
- **Tenacidad.** La tenacidad es la capacidad de absorber energía sin que falle el material por fractura. Se caracteriza generalmente por una combinación de resistencia y ductilidad.
- **Ms.** Temperatura a la cual comienza la transformación de austenita a °martensita durante el enfriamiento.
- **Mf.** Temperatura a la cual finaliza la transformación de austenita a martensita durante el enfriamiento.
- **Temperatura de transformación.** Es aquella a la que ocurren cambios de fase; algunas veces define los límites de un rango de transformación.

## **2.4 FORMULACION DE HIPOTESIS.**

### **2.4.1 Hipótesis general.**

El tratamiento térmico post soldadura influye en las propiedades mecánicas de las uniones soldadas GTAW del acero ASTM A335 realizadas en la refinería de Talara.

#### **2.4.2 Hipótesis específicas.**

- La definición de la composición química del acero ASTM A355 nos permite identificar los cambios en las propiedades mecánicas de la zona ZAC producidas por el proceso de soldadura aplicado.
- La evaluación del análisis granulométrico determinara calcular la eficiencia de los equipos usados en el Ensayo al Fuego.
- La selección de las temperaturas de tratamiento térmicos post soldadura nos determinara las propiedades mecánicas de las uniones soldadas del acero ASTM A355.



# **CAPÍTULO III**

## **METODOLOGIA**

### **3.1 DISEÑO METODOLOGICO.**

Teniendo como finalidad obtener resultados confiables durante la recolección de los datos de la influencia en las propiedades mecánicas en las uniones soldadas luego del tratamiento térmico post soldadura, es prescindible seguir ciertos lineamientos estipulados en los códigos de fabricación para poder determinar una metodología de trabajo adecuada.

La presente investigación se enfocó en el análisis Cuantitativa - Descriptiva, este método consiste en la evaluación de los resultados obtenidos de los Ensayos No Destructivos luego de la aplicación del tratamiento térmico post soldadura a las uniones soldadas para determinar las condiciones de mejoramiento del proceso en base a la corrección y modificación de parámetros aplicados durante los ciclos de calentamiento, mantenimiento y enfriamiento usados en el PWHT. Durante la evaluación, se debe considerar los procedimientos normalizados, procedimiento de toma de muestras, así como el análisis de datos y de resultados.

#### **3.1.1 Tipo de investigación.**

En el presente trabajo de investigación se clasifica como una investigación Cuantitativa – Descriptiva, por ser un trabajo donde se busca determinar las condiciones de las uniones soldadas realizadas en las tuberías de acero ASTM A335, donde se deben describir los procesos, medir resultados mediante criterios para poder determinar el nivel de calidad de las estructuras.

### **3.1.2 Nivel de investigación.**

Se realizará una investigación descriptiva, donde se busca realizar una relación causal de los elementos, caracteres o propiedades para la aplicación de la variable dependiente.

### **3.1.3 Diseño de investigación.**

El diseño a aplicarse es de investigación no experimental; el propósito de este método es describir variables y analizar su incidencia e interrelación en un momento dado. El Diseño transversales descriptivos que tiene como objetivo indagar la incidencia y los valores en que se manifiesta una o más variables.

### **3.1.4 Enfoque de la investigación.**

Se aplicará el Método correlacional, donde se basará en la observación, no obstante, se emplea una correlación de Pearson para el análisis de los datos.

## **3.2 POBLACION Y MUESTRA.**

### **3.2.1 Población.**

La población sobre la cual se basa la investigación está constituida por las uniones soldadas de las tuberías que comprende el proyecto de la ampliación en planta de la refinería de Talara, con el objeto de obtener certeros datos sobre su calidad.

### **3.2.2 Muestra.**

La muestra de nuestra investigación son las uniones soldadas realizadas con procesos GTAW en las tuberías ASTM A335 del proyecto de ampliación de la planta refinería de Talara.

### 3.4 OPERACIONALIZACION DE VARIABLES E INDICADORES.

Influencia del Tratamiento Térmico Post Soldadura en las Propiedades Mecánicas de las Uniones Soldadas GTAW del Acero ASTM A335 en la Refinería de Talara – 2018

Tabla 3

*Variables e Indicadores.*

<b>Variable Independiente</b>	<b>Indicador</b>
Influencia del Tratamiento Térmico Post Soldadura	- Composición química.
	- Tipo de tratamiento térmico.
	- Velocidad de calentamiento.
	- Tiempo de permanencia.
	- Velocidad de enfriamiento.
<b>Variable Dependiente</b>	<b>Indicador</b>
Propiedades Mecánicas de las Uniones Soldadas GTAW del acero ASTM A335	- Microestructuras.
	- Resistencia a la tracción.
	- Resistencia a fluencia.
	- Limite elástico.
	- Dureza.

### 3.5 TECNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCION DE DATOS.

De acuerdo con el número de muestras tomas y de los datos obtenidos se elaborará un informe el mismo que debe de cumplir con los parámetros de ensayo realizados. La

recolección de la información se realizará mediante formatos que se adjuntaran a los informes emitidos para su posterior análisis.

### **3.5.1 Técnicas a emplear.**

La técnica que se aplicará es una técnica descriptiva, debido a que la evaluación y recolección de datos se realiza a las uniones soldadas de las tuberías ASTM A335.

### **3.5.2 Descripción de los instrumentos.**

- Consulta a expertos.
- Revisión de archivos y documentos.
- Revisión de literatura.
- Trabajo de campo.
- Internet.
- Captación de información directa de la fuente
- Informes técnicos.
- Normas.
- Escalas libreta de notas.
- Filmadora.
- Cámara fotográfica y grabadora.

## **3.6 TECNICAS PARA EL PROCESAMIENTO DE LA INFORMACION.**

De acuerdo con los datos observados y de los resultados que se obtendrán en los ensayos realizados en los laboratorios, su procesamiento se ejecutará:

- De acuerdo con la técnica de ensayo se verificará la validez del formato dispuesto de acuerdo con la norma correspondiente.
- De acuerdo con el propósito específico, estas serán recolectadas y analizadas según el requerimiento previsto.
- Se verificará la correcta disposición de los puntos de toma de muestra y los instrumentos y aparatos requeridos.
- Se llevará por escrito, un control de las observaciones, en el formato referido para prueba realizada, incluyendo fotografías si así se requiere y detalles específicos.
- De acuerdo a los informes, estos serán analizados e interpretados de acuerdo con los requerimientos bajo su respectiva normalización.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS

#### 4.1 ETAPAS DEL PROCESO.

##### 4.1.1 Características del material.

El material en estudio es el acero ASTM A335 P22, teniendo como presentación de tuberías de diámetro entre 3” hasta 12”, la composición química y las propiedades mecánicas que presentan están comprobadas por los certificados del material con la que cuentan, estando dentro de los límites establecidos para este tipo de acero aplicado en trabajos bajo presión.

Tabla 4

*Composición química del acero ASTM A335 P22*

	<b>C</b>	<b>Si</b>	<b>Mn</b>	<b>P</b>	<b>S</b>	<b>Cr</b>	<b>Mo</b>
<b>Mínimo</b>	0.05	---	0.30	---	---	1.90	0.87
<b>Máximo</b>	0.15	0.50	0.60	0.025	0.025	2.60	1.13

Tabla 5

*Propiedades mecánicas del acero ASTM A335 P22*

Resistencia a la Tracción		Rendimiento		Elongación (min %)	
Ksi	MPa	Ksi	MPa	Longitudinal	Transverso
60	415	30	205	27	18

#### **4.1.2 Parámetros aplicados durante el proceso de soldadura.**

Los parámetros de soldadura aplicados en la unión de las tuberías están estipulados en el WPS ya establecido y validado de acuerdo al trabajo a realizarse en las uniones de las tuberías en la refinería de Talara.

Para la realización de los cordones de soldadura mediante proceso GTAW se utilizó el equipo MILLER DYNASTY 350 AC/DC.

Los parámetros del proceso de soldadura que se controlaron fueron:

- Velocidad de soldeo.
- Selección de tipo corriente de soldadura.
- Selección de la tensión.
- Selección de polaridad.
- Selección de diámetro del electrodo.
- Tipo de encendido de arco.
- Geometría de la junta.

Los parámetros predefinidos son:

- Flujo de pre gas: 5 segundos.
- Pre corriente: 50% de la corriente de soldadura.
- Flujo post gas: 5 a 15 segundos.
- Frecuencia: 60 Hz.



Figura 13. Equipo MILLER DYNASTY 350 AC/DC.

Las variables del proceso de soldeo aplicados que permanecieron constante fueron el caudal del gas protector, longitud de arco, intensidad de corriente:

Tabla 6

*Parámetros que no variaron durante el proceso de soldeo*

Gas Protector	Argón
Material de aporte	TIGFIL ER80S-G
Longitud de arco	2.5 mm
Caudal de gas protector	11.5 l.p.m.
Polaridad	Directa



Las variables que se modificaron durante el proceso de soldeo de las tuberías son los que se indican en la tabla 7 eso dependiendo del diámetro y geometría de la junta a unir.

Tabla 7

*Parámetros que variaron durante el proceso de soldeo*

Condición	Intensidad (I)	Tensión (V)	Velocidad (mm/min)	T°	Calor de Aportación (Kj/cm)
				Pre calentamiento (°C)	
1	122	14.1	220	220	8.7
2	122	14.1	150	220	8.1
3	122	14.1	100	220	7.5
4	122	14.1	220	200	7.9
5	122	14.1	150	200	7.1
6	122	14.1	100	200	7.1

#### **4.1.3 Tratamiento térmico post soldadura - PWHT.**

Para la realización del tratamiento térmico de las uniones soldadas se realizaron mediante el método de resistencias eléctricas utilizando máquinas de tratamiento térmico con programación de ciclo térmico por microprocesador computarizado.

Tabla 8

*Equipo de tratamiento térmico sistema de potencia*

Potencia	75 KVA
Tensión de red	3 x 380 – 440 V
Frecuencia	60 Hz
Intensidad de fase	115 A
Polaridad	Directa

Tabla 9

*Equipo de tratamiento térmico sistema de comando y baja tensión*

<b>Sistema de Comando</b>	
Potencia	750 W
Alimentación	110 V
<b>Sistema de Baja Tensión</b>	
Entrega de tensión	85 V
Intensidad	135 A
Numero de salidas	6
Calefactores por salida	3
Total de calefactores	18



Figura 14. Equipo de PWHT.

Se determina las seis variables del ciclo térmico:

- Temperatura hasta la cual la velocidad de calentamiento es libre (TLC)
- Velocidad de calentamiento (VC).
- Temperatura de Mantenimiento (TM).
- Tiempo de mantenimiento (T).
- Velocidad de enfriamiento (VE)
- Temperatura por debajo de la cual la velocidad de enfriamiento es libre (TLE).

Tabla 10

*Parámetros de PWHT*

Calentamiento libre	435 °C +/- 10 °C
Temperatura de sostenimiento	2 horas
Velocidad de calentamiento	< 200 °C/h
Velocidad de enfriamiento	< 100 °C/h

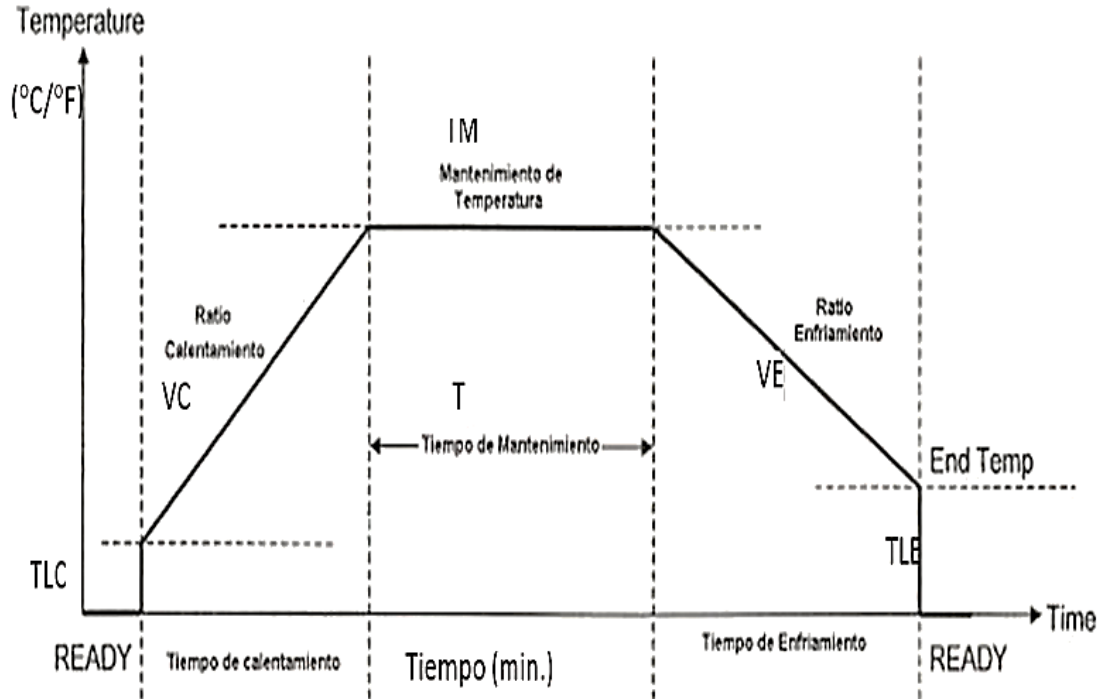


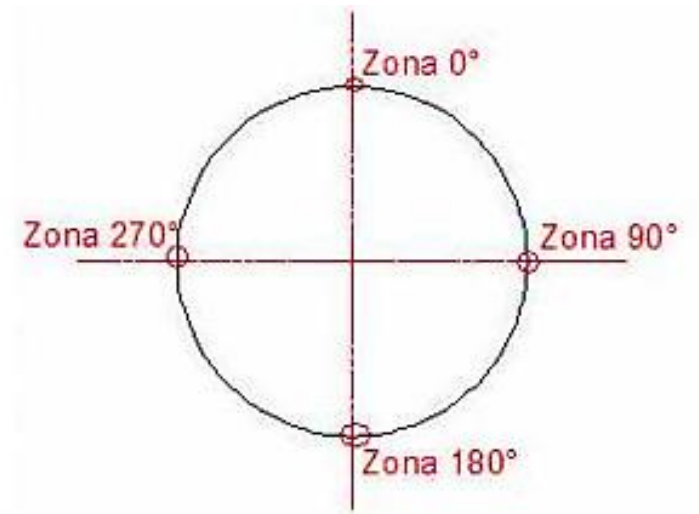
Figura 15. Ciclo térmico en el PWHT.

#### 4.1.4 Ensayos mecánicos aplicados a las uniones soldadas.

Para poder determinar la influencia del tratamiento térmico post soldadura en el cambio de propiedades de las uniones soldadas de tuberías de acero ASTM A335 P22, se realizaron diversos tipos de ensayos mecánicos como se detalla a continuación.

##### 4.1.4.1 Ensayo de dureza.

El ensayo de dureza se realizó en el área de la ZAC de las uniones soldadas, zona que presenta modificaciones mecánicas a consecuencia del ciclo térmico que sufre durante el proceso de soldadura. En determinadas zonas del área de soldadura se realizaron pequeñas indentaciones; para ello se utilizó un Durómetro Integrado TIME 5100, la toma de las mediciones se realizó de acuerdo al esquema de la figura 16.



*Figura 16.* Puntos de medición de dureza.

De un total de 180 uniones soldadas a las cuales se realizaron las mediciones de dureza, se consideraron 18 mediciones de uniones soldadas aleatoriamente para efecto del estudio. Las mediciones se realizaron antes y después del realizado el tratamiento térmico post soldadura.

#### **4.1.4.2 Ensayo metalográfico.**

Para la observación de las microestructuras presentes en las zonas afectadas por el proceso de soldadura, se realizaron replicas metalográficas en las zonas ZAC y metal de soldadura, antes y después de realizar el Tratamiento Térmico Post Soldadura con la finalidad de poder observar el cambio de microestructura que se presentan. Las muestras que se consideraron para efecto del estudio son en forma aleatoria, ya que los mismos tipos de estructuras se presentan en las mismas zonas dependiendo del caso, su variación en mínima entre una zona ZAC de una unión como en otra. Los cambios notorios se dan al cambiar al tipo de zonas en estudio.



Figura 17. Ensayo mediante replicas metalográficas.

#### 4.1.4.3 Ensayo de tracción.

Para realizar este tipo de ensayo y determinar su conformidad se prepararon tres probetas de acuerdo a las especificaciones del ensayo, de los resultados obtenidos se determina su conformidad. La primera probeta pertenece a la unión soldada sin tratamiento térmico, las dos restantes luego del tratamiento térmico post soldadura realizada a la junta soldada.

El requisito de conformidad para el ensayo de tracción se basa en que la resistencia a la tracción de la unión soldadas a ensayar no debe ser menor del mínimo de la resistencia a la tracción especificada del metal base usado. Los valores requeridos para el metal base es detallan en el Anexo 3 (Estándar ASTM A335).



Figura 18. Probetas para ensayo de tracción.

## 4.2 RESULTADOS DE LOS ENSAYOS.

### 4.2.1 Resultado del ensayo de dureza.

Las mediciones de la dureza presente en las uniones soldadas se tomaron en la escala de Vickers, obteniendo como resultado lo siguiente:

Tabla 11

*Resultados del ensayo de dureza*

Junta	Metal	ZAC Inicial				ZAC PWHT			
	base	0°	90°	180°	270°	0°	90°	180°	270°
L002-J003	230	251	250	251	251	245	243	239	246
L002-J012	232	249	253	254	253	246	247	240	241
L002-J015	235	254	249	254	254	242	245	245	240
L002-J023	230	250	248	252	251	245	245	246	239
L002-J031	233	254	250	253	251	249	244	245	245
L005-J015	230	250	250	251	246	242	245	244	245

L005-J020	231	248	256	251	254	248	243	240	245
L005-J025	233	251	250	249	252	243	244	245	244
L005-J030	230	252	251	251	253	241	240	243	241
L005-J035	229	254	250	251	252	243	245	245	244
L010-J002	234	254	248	251	252	245	246	246	246
L010-J007	231	254	258	252	251	248	245	244	247
L010-J012	234	250	254	251	254	244	243	240	241
L010-J015	231	251	252	252	248	246	247	245	238
L010-J020	230	254	250	251	251	248	242	243	240
L022-J010	232	252	250	250	254	247	251	241	243
L022-J015	229	249	250	248	251	248	245	244	244
L022-J018	235	251	253	254	256	242	245	242	244

---

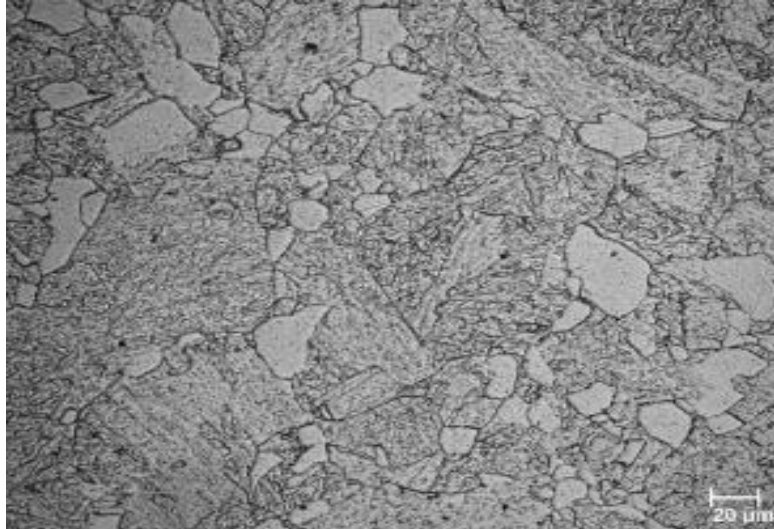
#### 4.2.2 Resultado del ensayo metalográfico.



*Figura 19.* Microestructura en estado de suministro acero ASTM A335 grado P22.

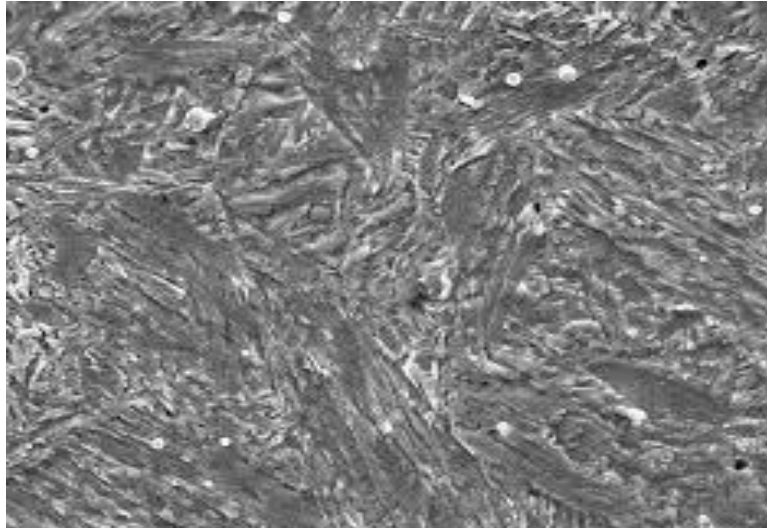


En la fotomicrografía de la figura 19 se puede observar la presencia de bainita en una matriz ferrítica, microestructura que presenta el acero ASTM A335 P22 en su estado de suministro.



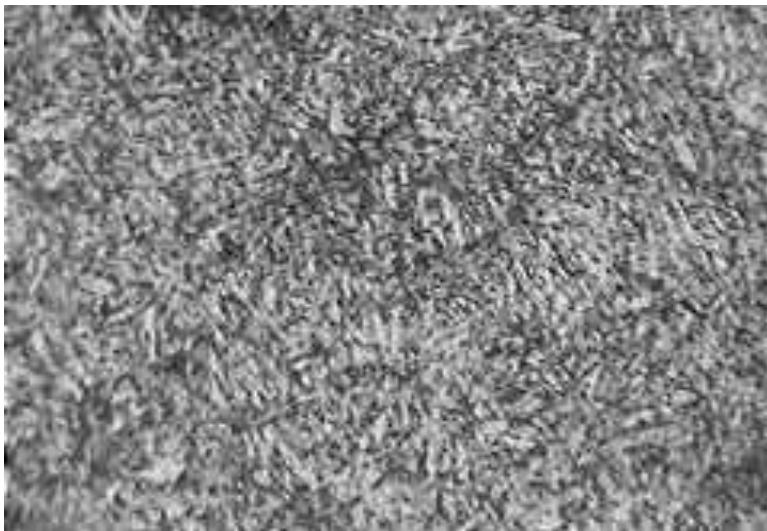
*Figura 20.* Microestructura del acero ASTM A335 grado P22 próxima a la ZAC.

En la fotomicrografía de la figura 20 se puede observar la presencia de perlita en una matriz ferrítica, microestructura que presenta el acero ASTM A335 P22 propiciado por un enfriamiento lento.



*Figura 21.* Microestructura zona ZAC del acero ASTM A335 grado P22.

En la fotomicrografía de la figura 21 se puede observar la presencia martensita laminar en la zona ZAC, producida por el enfriamiento acelerado que ocurre durante en proceso de soldadura.



*Figura 22.* Microestructura zona ZAC luego de PWHT del acero ASTM A335 grado P22.

En la fotomicrografía de la figura 22 se puede observar la presencia martensita revenida (Cementita + ferrita) en la zona ZAC luego de haber aplicado PWHT, producida por el enfriamiento lento que se le aplica para homogenizar la microestructura y disminuir la dureza.

#### 4.2.3 Resultado del ensayo de tracción.

Tabla 12

*Resultados del ensayo de tracción, probeta 1 sin PWHT*

Norma de Ensayo		Tipo de Material				
ASTM A370/ASTM E8		ASTM A335 P22				
<b>Elemento:</b>	Junta Soldada Spool P1	<b>Proceso de soldadura:</b>			GTAW	
<b>Temperatura:</b>	20 °C	<b>Humedad Relativa:</b>			85%	
<b>Equipo de medición:</b>	Maquina universal de ensayos mecánicos					
	<b>Espesor</b>	<b>Ancho</b>	<b>Longitud inicial</b>	<b>Longitud final</b>		
<b>Probeta 1</b>	mm	mm	mm	mm		
	12.7	22	53	68.3		
Resultados del Ensayo						
Área	Carga de fluencia	Límite de fluencia		Carga	Límite de rotura	
		KPSI	MPa		KPSI	MPa
mm <sup>2</sup>	KN	KPSI	MPa	KN	KPSI	MPa
374.75	158.3	52.17	370	220.6	70.44	518

Tabla 13

*Resultados del ensayo de tracción, probeta 2 con PWHT*

<b>Norma de Ensayo</b>		<b>Tipo de Material</b>				
ASTM A370/ASTM E8		ASTM A335 P22				
<b>Elemento:</b>	Junta Soldada Spool P2	<b>Proceso de soldadura:</b>			GTAW	
<b>Temperatura:</b>	20 °C	<b>Humedad Relativa:</b>			85%	
<b>Equipo de medición:</b>	Maquina universal de ensayos mecánicos					
	<b>Espesor</b>	<b>Ancho</b>	<b>Longitud inicial</b>	<b>Longitud final</b>		
<b>Probeta 1</b>	mm	mm	mm	mm		
	12.7	21.6	53.4	69.4		
<b>Resultados del Ensayo</b>						
<b>Área</b>	<b>Carga de fluencia</b>	<b>Límite de fluencia</b>		<b>Carga</b>	<b>Límite de rotura</b>	
mm <sup>2</sup>	KN	KPSI	MPa	KN	KPSI	MPa
370.65	157.0	52.00	369	218.00	75.41	520

Tabla 14

*Resultados del ensayo de tracción, probeta 3 con PWHT*

<b>Norma de Ensayo</b>		<b>Tipo de Material</b>				
ASTM A370/ASTM E8		ASTM A335 P22				
<b>Elemento:</b>	Junta Soldada Spool P3	<b>Proceso de soldadura:</b>			GTAW	
<b>Temperatura:</b>	20 °C	<b>Humedad Relativa:</b>			85%	
<b>Equipo de medición:</b>	Maquina universal de ensayos mecánicos					
	<b>Espesor</b>	<b>Ancho</b>	<b>Longitud inicial</b>	<b>Longitud final</b>		
<b>Probeta 1</b>	mm	mm	mm	mm		
	12.7	22	54.5	68.2		
<b>Resultados del Ensayo</b>						
<b>Área</b>	<b>Carga de fluencia</b>	<b>Límite de fluencia</b>		<b>Carga</b>	<b>Límite de rotura</b>	
mm <sup>2</sup>	KN	KPSI	MPa	KN	KPSI	MPa
371.2	157.5	52.21	3670	218.00	75.00	522

## CAPÍTULO V

### DISCUSIÓN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 DISCUSION.

##### 5.1.1 Discusión del ensayo de dureza.

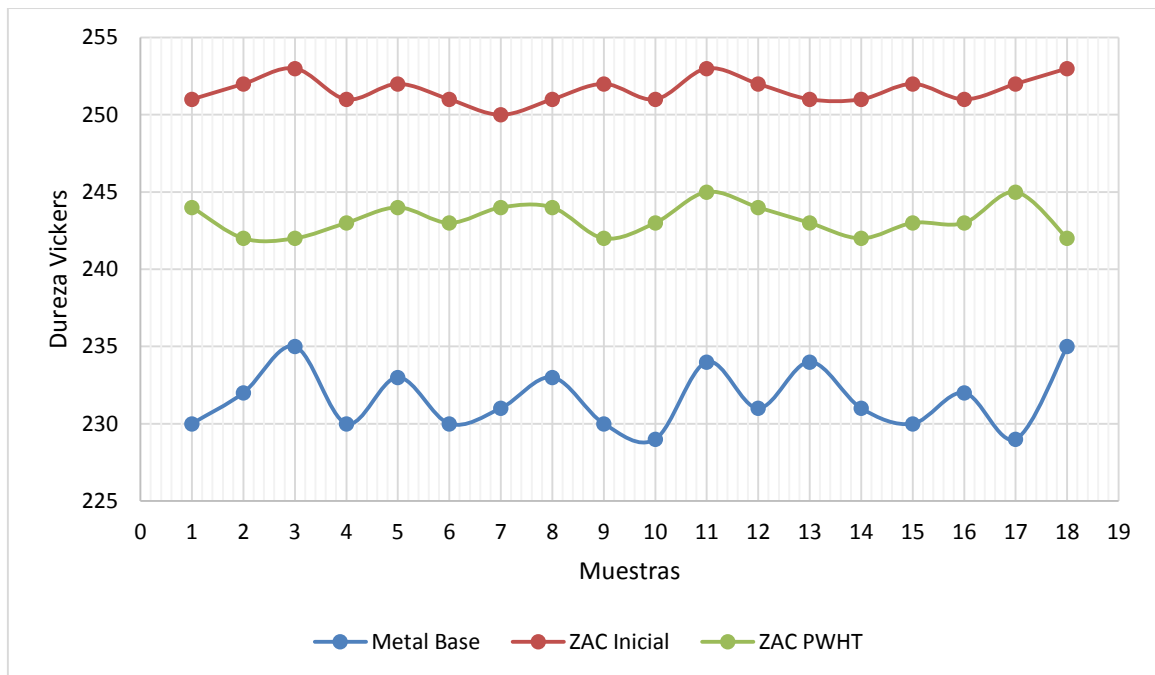


Figura 23. Promedio de resultado del ensayo de dureza.

De acuerdo a la gráfica obtenido de los promedios de los resultados del ensayo de dureza practicado en el metal base, zona ZAC antes del tratamiento térmico post soldadura y en la zona ZAC luego de realizado el tratamiento térmico post soldadura (PWHT); se observa que:

- El metal base no afectado por el ciclo térmico del proceso de soldadura, presenta una dureza promedio de 231 Vickers, lo cual pertenece a su estado de suministro del acero ASTM A335 P22, la cual llega con un tratamiento térmico de recocido a 675 °C.
- Los valores de dureza que se presentan en la zona ZAC antes de realizar el tratamiento térmico, son mayores en referente al metal base no afectado por el ciclo térmico, este incremento de dureza se debe a las microestructuras martensíticas que se generaron durante el ciclo térmico de la soldadura, dando como resultado una zona con alta fragilidad en la unión soldada excediendo los valores (246 HV) que se requieren para el trabajo que están diseñadas las tuberías.
- En referencia a los valores obtenidos en la zona ZAC luego del tratamiento térmico post soldadura, se evidencia una disminución en los valores de dureza, esto se debe a que durante el tiempo de sostenimiento de la temperatura en el PWHT (635 °C) se presenta un ablandamiento de la martensita revenida que es la fase que se presenta el acero ASTM A335 P22, después del revenido.

### **5.1.2 Discusión del ensayo metalográfico.**

Del ensayo metalográfico realizado a las zonas de la unión soldada se pudieron obtener los siguiente:

- La microestructura predominante en el metal base no afectado por el ciclo térmico de la soldadura es la bainita presente en una matriz ferrítica, estructura propia del acero ASTM A335 P22, en condición de recocido como se presenta en estado de suministro,

a la vez se puede ir observando que de acuerdo se acerca a la zona ZAC, se evidencia la presencia de pequeñas zonas de Ferrita + Perlita, producto de las temperaturas generadas por el Inter pase, estas hacen que el enfriamiento sea lento y de tiempo a la austenita a que se transforme en ferrita + perlita.

- La microestructura que presenta la zona ZAC sin tratamiento térmico post soldadura (PWHT) de la unión de las tuberías, es martensita laminar que es una estructura típica del producto de un proceso de templado de los aceros, también se puede observar estructura ferrítica con una disposición dendrítica próximo al metal de soldadura producto de cambios bruscos entre el material y el metal base de soldadura, la presencia de martensita laminar en la zona ZAC determina una alta fragilidad del material en esa zona, el cual altera las propiedades mecánicas requeridas para el trabajo al cual está destinado las tuberías.
- La zona ZAC luego de haberle realizado tratamiento Térmico Post Soldadura (PWHT) presenta una estructura de martensita revenida y no se evidencia presencia de martensita laminar. La estructura homogénea y la transición uniforme que presenta la zona ZAC (metal base y metal de soldadura) luego de haberle hecho PWHT, presenta los valores óptimos acorde con lo exigido en el código de construcción.

### **5.1.3 Discusión del ensayo de tracción.**

- De las tres probetas ensayadas en tracción, podemos observar que, los resultados obtenidos de la primera probeta la cual no presenta tratamiento térmico post soldadura se obtiene un valor de límite de rotura de 518 MPa, esta disminución en relación al



material base se debe al cambio microestructural que se presentó en la zona ZAC, presentando un aumento en su dureza y fragilidad.

- Las probetas 2 y 3 fueron tratadas térmicamente, luego del proceso de soldadura, y se obtuvieron resultados del límite de rotura entre 520 MPa y 522 MPa, esto debido a que presenta una nueva microestructura en la zona ZAC un poco más similar a la del material base antes de las modificaciones producido por el ciclo térmico de la soldadura aumentando su límite de rotura.

## **5.2 CONCLUSIONES.**

- Los mayores valores de dureza que se presentan en las uniones soldadas se dan en la zona ZAC, haciendo muchas veces que estas sobrepasen los valores máximos permitidos por los códigos de construcción para los sistemas de tuberías en refinerías de hidrocarburos.
- Las uniones de soldadas sin tratar térmicamente poseen una dureza y resistencia a la tracción elevada y poca ductilidad dada por su elongación (alrededor de 10%) muy inferior a la del material base ASTM A335 P22.
- La aplicación de PWHT a las uniones soldadas y el control correcto de los gradientes de temperatura durante el proceso, determinan en gran medida las propiedades mecánicas que presenten las uniones, permitiendo el cumplimiento de los valores permitidos por los códigos de construcción.

- La aplicación de PWHT a las uniones soldadas también permiten que estas presenten una homogenización de las fases metalográficas presente en la zona ZAC, tanto en tamaño de granos, tipos de microestructuras, alivio de tensiones residuales, etc.
- La presencia de martensita en la zona ZAC, evidencia los altos valores de dureza que presenta, motivo por el cual es asociado a la fragilidad de la unión soldada.
- Los ensayos metalográficos ayudan a la elección del tratamiento térmico que se puede realizar a la unión soldada, dependiendo del tipo de microestructura que se observa.
- El revenido de la unión soldada ayuda a la disminución de la dureza del material afectado por el calor durante el proceso de soldadura y a la vez la disminución de la fragilidad del mismo.
- La aplicación de PWHT a las uniones soldadas puede eliminar tensiones residuales como también aumentar la ductilidad y por ende su elongación; es ideal que los materiales deben tener propiedades mecánicas equilibradas y muy similares al material base y de aporte que garantice una buena calidad de la unión y que cumpla con las especificaciones para la cual fue diseñada.
- La aplicación de PWHT a las uniones también permite en cierta forma restituir las propiedades mecánicas que tenía el material base antes del proceso de soldadura, esto se refleja en los valores obtenidos en el ensayo de tracción.

### **5.3 RECOMENDACIONES.**

- Luego de realizar uniones soldadas se debe aplicar PWHT a estas con la finalidad de homogenizar sus propiedades mecánicas.
- Se debe establecer el desarrollo de procedimientos de PWHT específicos para cada tipo de material a tratarse.
- Se deben de comprobar los valores de propiedades mecánicas de las uniones soldadas mediante la realización de ensayos mecánicos ya sea destructivos como no destructivos, dependiendo requiera el caso.
- La capacitación del personal a aplicar los ensayos debe ser prioridad, ya que de eso depende la confiabilidad de los valores obtenidos, tanto por la técnica como la experiencia del personal calificado.
- Se debe continuar con la evaluación de las uniones soldadas de los aceros ASTM A335, especialmente bajo condiciones de soldadura que generan cambios en las propiedades mecánicas del acero, esto puede producir una reducción en la vida de servicio de la tubería.
- Un adecuado tratamiento térmico y el control de los parámetros del mismo conllevan a obtener los resultados idóneos en propiedades mecánicas del material.

- La aplicación de procedimientos para la aplicación de ensayos metalográficos y la correcta aplicación de las normas o códigos pertinentes nos ayudan a obtener resultados fiables.
- Es conveniente realizar ensayo de tracción al material antes y después de un proceso de soldadura para determinar los cambios en los límites de rotura que se han generado.
- Los PWHT son necesarios para poder garantizar que las propiedades mecánicas de la junta soldada sean aproximadamente similares a las del material base antes del proceso de soldadura.

## CAPÍTULO VI

### FUENTES DE INFORMACION

#### 6.1 FUENTES BIBLIOGRAFICAS.

- Alcantara Chavez, V., & Esparza Vargas, J. (2019). *Precipitación de partículas de segunda fases, dureza y microestructura del acero ASTM A335-P22 tratado térmicamente a diferentes tiempos de revenido*. Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de Trujillo, Facultad de Ingeniería, Trujillo, Perú. Recuperado el Marzo de 2019, de <http://dspace.unitru.edu.pe>
- Alvarez Rubiano, A. (2015). *Análisis de las Propiedades Mecánicas de un Acero A36 sometido a un Proceso de Soldadura, antes y después de un Tratamiento Térmico Post Soldadura*. Tesis de Pregrado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Facultad de Tecnología, Bogotá, Colombia. Recuperado el Diciembre de 2018, de <http://repository.udistrital.edu.co>
- Burgos , A., Rodríguez, J., Svoboda, H., & Surian, E. (2018). Tratamiento Térmico alternativo para el metal de soldadura de un acero 9Cr. *Revista Meteria*, 23(2). Recuperado el Enero de 2019, de <https://revistas.ufrj.br>
- Criado Portal, A. (2008). *Estructuras Metalográficas de Aleaciones Hierro- Carbono: Aceros al Carbono y Fundiciones*. (A. Criado Portal, Ed.) Madrid, España. Recuperado el Enero de 2019, de <http://www.antoniocriado.es>
- Esquivias Llerena , J. (2018). *Estudio de Investigación de los Parámetros de Operación en el Proceso de Soldadura GTAW para la recuperación de los Álabes de un Impulsor*. Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Unidad de Post Grado de la Facultad de Ingeniería de Procesos, Arequipa, Perú. Recuperado el Enero de 2019, de <http://repositorio.unsa.edu.pe>
- Garcia Pablo, R. (2017). *Modificación de las características estructurales y resistentes en soldaduras MAG a tope del acero F-1140, con hilo de acero al carbono, con y sin tratamiento térmico*. Tesis de Pregrado, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España. Recuperado el Enero de 2019, de <https://riunet.upv.es>
- Olmos Molinares, M. (2014). *Efecto de los Ciclos Térmicos sobre las Microestructuras de la Zona Afectada Térmicamente de Juntas Soldadas de Aceros Inoxidables Disímiles obtenidas por proceso SMAW*. Tesis de Pregrado, Universidad Autónoma del Caribe, Departamento de Ingeniería Mecánica, Barranquilla, Colombia. Recuperado el Enero de 2018, de <http://repositorio.uac.edu.co>
- Remond Hernández, O. (2016). *Tratamiento Térmico de un Acero Refractario Soldado con Proceso de Soldadura por Arco Eléctrico*. Tesis de Pregrado, Instituto Superior Minero Metalúrgico

de Moa "Dr. Antonio Núñez Jiménez", Facultad Metalurgia Electromecánica, Moa, Cuba.  
Recuperado el Diciembre de 2018, de <http://ninive.ismm.edu.cu>

Retamozo Meza, C. (2015). *Estudio del Comportamiento Mecánico de los Materiales durante el Proceso de Soldadura Manual por Arco Eléctrico con Electrodo Revestido*. Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Química y Textil, Lima, Perú. Recuperado el Enero de 2019, de <http://cybertesis.uni.edu.pe>

Soria, M., Reyes, F., Carrillo, F., Garcia, F., Alvarez, H., & Silva, L. (Octubre-Diciembre de 2015). Efecto del tratamiento térmico sobre las propiedades mecánicas y microestructura de un acero para tubería API 5CT J55. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, XVI(4), 239-550. Recuperado el Enero de 2019, de <http://www.revistaingenieria.unam.mx>

## **ANEXOS**

## Anexo 01

### Matriz de consistencia

#### Anexo 1 Matriz de consistencia general

Titulo	Problema Generales	Objetivos General	Hipótesis General	Variable Independiente	Indicadores
“INFLUENCIA DEL TRATAMIENTO TERMICO POST SOLDADURA EN LAS PROPIEDADES MECANICAS DE LAS UNIONES SOLDADAS GTAW DEL ACERO ASTM A335 EN LA REFINERIA DE TALARA – 2018	¿En qué medida influencia el tratamiento térmico post soldadura en las propiedades mecánicas de las uniones soldadas GTAW del acero ASTM A335 realizadas en la refinería de Talara?	Realizar tratamiento térmico post soldadura para determinar su influencia en las propiedades mecánicas de las uniones soldadas GTAW del acero ASTM A335 realizadas en la refinería de Talara.	El tratamiento térmico post soldadura influye en las propiedades mecánicas de las uniones soldadas GTAW del acero ASTM A335 realizadas en la refinería de Talara.	Influencia del Tratamiento Térmico Post Soldadura	- Composición química. - Tipo de tratamiento térmico. - Velocidad de calentamiento. - Tiempo de permanencia. - Velocidad de enfriamiento.



Anexo 2 Matriz de consistencia específico.

Titulo	Problema Específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis Específicos	Variable Dependiente	Indicadores
<p>“EFECTO DEL DANAFLOAT 096 EN EL TRATAMIENTO DE MINERALES POLIMETÁLICOS PARA LA RECUPERACIÓN DE PLOMO EXPERIMENTALMENTE EN EL CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO DE MATERIALES -2019”</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿En qué medida la composición química del acero ASTM A355 determina los cambios en las propiedades mecánicas de la zona ZAC producida por el proceso de soldadura aplicado?</li> <li>• ¿En qué medida los parámetros del proceso de soldadura aplicados durante la unión de la junta influyen en sus propiedades mecánicas?</li> <li>• ¿En qué medida las temperaturas de tratamiento térmico post soldadura determina las propiedades mecánicas de las uniones soldadas del acero ASTM A335?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Definir la composición química del acero ASTM A355 para identificar los cambios en las propiedades mecánicas de la zona ZAC producidas por el proceso de soldadura aplicado</li> <li>• Analizar los parámetros del proceso de soldadura aplicados durante la unión de la junta y su influencia en las propiedades mecánicas.</li> <li>• Seleccionar las temperaturas de tratamiento térmico post soldadura para determinar las propiedades mecánicas de las uniones soldadas del acero ASTM A355.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La definición de la composición química del acero ASTM A355 nos permite identificar los cambios en las propiedades mecánicas de la zona ZAC producidas por el proceso de soldadura aplicado.</li> <li>• La evaluación del análisis granulométrico determinara calcular la eficiencia de los equipos usados en el Ensayo al Fuego.</li> <li>• La selección de las temperaturas de tratamiento térmicos post soldadura nos determinara las propiedades mecánicas de las uniones soldadas del acero ASTM A355.</li> </ul>	<p>Propiedades Mecánicas de las Uniones Soldadas GTAW del acero ASTM A335</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Microestructuras.</li> <li>- Resistencia a la tracción.</li> <li>- Resistencia a fluencia.</li> <li>- Limite elástico.</li> <li>- Dureza.</li> </ul>

## Anexo 03

### Especificaciones técnicas del durómetro Time 5100



## Durómetro Integrado TIME® 5100



Escalas de Durezas: Rockwell B, Rockwell C, Vickers, Brinell, Shore D y Leeb.

Mide en cualquier dirección

Salida USB y memoria para 270 valores promedio en 9 grupos

Pantalla con luz de respaldo

¡SIN CABLES!

El **TIME5100** es un avanzado medidor de dureza integrado que se distingue por su tamaño muy compacto amplio campo de medición y simpleza de manejo. Es adecuado para realizar ensayos de dureza de todos los metales y es ampliamente utilizado en diversas áreas industriales.

El durómetro **TIME5100** combina un elemento de impacto universal tipo D y un procesador de datos en una sola unidad y calcula automáticamente los valores de dureza Rockwell, Vickers, Brinell o Shore D. La dirección de impacto puede ser predefinida por el usuario o detectada automáticamente por el equipo, de tal forma de alcanzar valores exactos en cualquier ángulo, aún midiendo hacia arriba. Entrega automáticamente el valor promedio de las lecturas obtenidas.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
Dimensiones	155 x 55 x 25 mm
Indentador	Tipo D
Energía de impacto	11 Nmm
Material del elemento de impacto	Carburo de Tungsteno
Exactitud	±0,8% (correspondiente a ±1 RC a 58 RC)
Dureza máxima de la muestra	955 V
Peso	166 g
Duración de la batería	150 horas de uso continuo (sin luz de respaldo)
Dirección de impacto	Cualquier ángulo
Temperatura de operación	0 a 40° C
Peso mínimo de la muestra	5 kg (entre 2 y 5 kg se requiere que la muestra tenga un soporte)
Espesor mínimo de capas	0,8 mm
Radio de curvatura mínimo de la superficie	50 mm

### APLICACIONES TÍPICAS

- En ensayos de dureza de objetos grandes y pesados.
- En componentes de maquinarias o estructuras.
- En la identificación de materiales.
- En lugares de difícil acceso o espacios reducidos.
- En control de calidad en general.

## Anexo 04

### Estándar ASTM A335



Designation: A 335/A 335M – 03

## Standard Specification for Seamless Ferritic Alloy-Steel Pipe for High-Temperature Service<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation A 335/A 335M; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

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

### 1. Scope \*

1.1 This specification<sup>2</sup> covers nominal wall and minimum wall seamless ferritic alloy-steel pipe intended for high-temperature service. Pipe ordered to this specification shall be suitable for bending, flanging (vanstoning), and similar forming operations, and for fusion welding. Selection will depend upon design, service conditions, mechanical properties, and high-temperature characteristics.

1.2 Several grades of ferritic steels (see Note 1) are covered. Their compositions are given in Table 1.

NOTE 1—Ferritic steels in this specification are defined as low- and intermediate-alloy steels containing up to and including 10 % chromium.

1.3 Supplementary requirements (S1 to S7) of an optional nature are provided. These supplementary requirements call for additional tests to be made, and when desired, shall be so stated in the order together with the number of such tests required.

1.4 The values stated in either inch-pound units or SI units are to be regarded separately as standard. Within the text, the SI units are shown in brackets. The values stated in each system are not exact equivalents; therefore, each system must be used independently of the other. Combining values from the two systems may result in nonconformance with the specification. The inch-pound units shall apply unless the “M” designation of this specification is specified in the order.

NOTE 2—The dimensionless designator NPS (nominal pipe size) has been substituted in this standard for such traditional terms as “nominal diameter,” “size,” and “nominal size.”

### 2. Referenced Documents

#### 2.1 ASTM Standards:

A 450/A 450M Specification for General Requirements for

Carbon, Ferritic Alloy, and Austenitic Alloy Steel Tubes<sup>3</sup>  
A 999/A 999M Specification for General Requirements for Alloy and Stainless Steel Pipe<sup>3</sup>

E 213 Practice for Ultrasonic Examination of Metal Pipe and Tubing<sup>4</sup>

E 309 Practice for Eddy-Current Examination of Steel Tubular Products Using Magnetic Saturation<sup>4</sup>

E 381 Method of Macroetch Testing Steel Bars, Billets, Blooms, and Forgings<sup>5</sup>

E 527 Practice for Numbering Metals and Alloys (UNS)<sup>3</sup>

E 570 Practice for Flux Leakage Examination of Ferromagnetic Steel Tubular Products<sup>4</sup>

#### 2.2 Other Documents:

SNT-TC-1A Recommended Practice for Nondestructive Personnel Qualification and Certification<sup>6</sup>

SAE J 1086 Practice for Numbering Metals and Alloys (UNS)<sup>7</sup>

### 3. Ordering Information

3.1 Orders for material under this specification should include the following, as required, to describe the desired material adequately:

3.1.1 Quantity (feet, metres, or number of lengths),

3.1.2 Name of material (seamless alloy steel pipe),

3.1.3 Grade (Table 1),

3.1.4 Manufacture (hot-finished or cold-drawn),

3.1.5 Size using one of the following:

3.1.5.1 NPS and schedule number,

3.1.5.2 Outside diameter and nominal wall thickness,

3.1.5.3 Outside diameter and minimum wall thickness,

3.1.5.4 Inside diameter and nominal wall thickness, and

3.1.5.5 Inside diameter and minimum wall thickness.

3.1.6 Length (specific or random),

<sup>1</sup> This specification is under the jurisdiction of ASTM Committee A01 on Steel, Stainless Steel and Related Alloys and is the direct responsibility of Subcommittee A01.10 on Stainless and Alloy Steel Tubular Products.

Current edition approved Apr. 10, 2003. Published May 2003. Originally approved in 1951. Last previous edition approved in 2002 as A 335/A 335M-02.

<sup>2</sup> For ASME Boiler and Pressure Vessel Code applications see related Specification SA-335 in Section II of that Code.

<sup>3</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 01.01.

<sup>4</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 03.03.

<sup>5</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 03.01.

<sup>6</sup> Available from the American Society for Nondestructive Testing, 1711 Arlington Plaza, PO Box 28518, Columbus, OH 43228-0518.

<sup>7</sup> Available from Society of Automotive Engineers, 400 Commonwealth Drive, Warrendale, PA 15096.

\*A Summary of Changes section appears at the end of this standard.

**TABLE 1 Chemical Requirements**

Grade	UNS Designation <sup>A</sup>	Composition, %							
		Carbon	Manganese	Phosphorus, max	Sulfur, max	Silicon	Chromium	Molybdenum	Others
P1	K11522	0.10–0.20	0.30–0.80	0.025	0.025	0.10–0.50	...	0.44–0.65	...
P2	K11547	0.10–0.20	0.30–0.61	0.025	0.025	0.10–0.30	0.50–0.81	0.44–0.65	...
P5	K41545	0.15 max	0.30–0.60	0.025	0.025	0.50 max	4.00–6.00	0.45–0.65	...
P5b	K51545	0.15 max	0.30–0.60	0.025	0.025	1.00–2.00	4.00–6.00	0.45–0.65	...
P5c	K41245	0.12 max	0.30–0.60	0.025	0.025	0.50 max	4.00–6.00	0.45–0.65	... <sup>B</sup>
P9	S50400	0.15 max	0.30–0.60	0.025	0.025	0.25–1.00	8.00–10.00	0.90–1.10	...
P11	K11597	0.05–0.15	0.30–0.60	0.025	0.025	0.50–1.00	1.00–1.50	0.44–0.65	...
P12	K11562	0.05–0.15	0.30–0.61	0.025	0.025	0.50 max	0.80–1.25	0.44–0.65	...
P15	K11578	0.05–0.15	0.30–0.60	0.025	0.025	1.15–1.65	...	0.44–0.65	...
P21	K31545	0.05–0.15	0.30–0.60	0.025	0.025	0.50 max	2.65–3.35	0.80–1.06	...
P22	K21590	0.05–0.15	0.30–0.60	0.025	0.025	0.50 max	1.90–2.60	0.87–1.13	...
P23	K41650	0.04–0.10	0.10–0.60	0.030 max	0.010 max	0.50 max	1.90–2.60	0.05–0.30	V 0.20–0.30 Cb 0.02–0.08 B 0.0005–0.006 N 0.030 max Al 0.030 max W 1.45–1.75 V 0.18–0.25 N 0.030–0.070 Ni 0.40 max Al 0.04 max Cb 0.06–0.10
P91	K91560	0.08–0.12	0.30–0.60	0.020	0.010	0.20–0.50	8.00–9.50	0.85–1.05	V 0.15–0.25 N 0.03–0.07 Ni 0.40 max Al 0.04 max Cb 0.04–0.09 W 1.5–2.00 B 0.001–0.006
P92	K92460	0.07–0.13	0.30–0.60	0.020	0.010	0.50 max	8.50–9.50	0.30–0.60	V 0.15–0.25 N 0.03–0.07 Ni 0.40 max Al 0.04 max Cb 0.04–0.09 W 1.5–2.00 B 0.001–0.006
P122	K92930	0.07–0.14	0.70 max	0.020	0.010	0.50 max	10.00–12.50	0.25–0.60	V 0.15–0.30 W 1.50–2.50 Cu 0.30–1.70 Cb 0.04–0.10 B 0.0005–0.005 N 0.040–0.100 Ni 0.50 max Al 0.040 max V 0.18–0.25 Ni 0.40 max Cb 0.060–0.10 B 0.0003–0.006 N 0.04–0.09 Al 0.04 max W 0.90–1.10
P911	K91061	0.09–0.13	0.30–0.60	0.020 max	0.010 max	0.10–0.50	8.50–10.50	0.90–1.10	V 0.18–0.25 Ni 0.40 max Cb 0.060–0.10 B 0.0003–0.006 N 0.04–0.09 Al 0.04 max W 0.90–1.10

<sup>A</sup> New designation established in accordance with Practice E 527 and SAE J1086, Practice for Numbering Metals and Alloys (UNS).

<sup>B</sup> Grade P 5c shall have a titanium content of not less than 4 times the carbon content and not more than 0.70 %; or a columbium content of 8 to 10 times the carbon content.

3.1.7 End finish (Ends Section of Specification A 999/A 999M),

3.1.8 Optional requirements (Section 8, 11 and 12 of this specification. See the Sections on Hydrostatic Test Requirements and Permissible Variation in Weight for Seamless Pipe in Specification A 999/A 999M),

3.1.9 Test report required (Certification Section of Specification A 999/A 999M),

3.1.10 Specification designation, and

3.1.11 Special requirements or any supplementary requirements selected, or both.

#### 4. General Requirements

4.1 Material furnished to this specification shall conform to the applicable requirements of the current edition of Specification A 999/A 999M, unless otherwise provided herein.

#### 5. Materials and Manufacture

5.1 Pipe may be either hot finished or cold drawn with the finishing treatment as required in 5.3.

5.2 *Grade P2 and P12*—The steel shall be made by coarse-grain melting practice. Specific limits, if any, on grain size or deoxidation practice shall be a matter of agreement between the manufacturer and purchaser.

##### 5.3 Heat Treatment:

5.3.1 All pipe of grades shown in Table 1 except P5c, P23, P91, P92, P122, and P911 as provided in 5.3.2, shall be reheated and furnished in the full-annealed, isothermal annealed, or normalized and tempered condition. If furnished in the normalized and tempered condition, the minimum tempering temperature for Grades P5, P5b, P9, P21, and P22 shall be 1250°F [675°C], the minimum tempering temperature for Grades P1, P2, P11, P12, and P 15 shall be 1200°F [650°C].



NOTE 3—It is recommended that the temperature for tempering should be at least 100°F [50°C] above the intended service temperature; consequently, the purchaser should advise the manufacturer if the service temperature is to be over 1100°F [600°C].

5.3.2 Pipe of Grades P1, P2, and P12, either hot finished or cold drawn, may be given a final heat treatment at 1200°F [650°C] to 1300°F [705°C] instead of heat treatments specified in 5.3.1.

5.3.3 All pipe of Grades P5c shall be given a final heat treatment in the range from 1325°F [715°C] to 1375°F [745°C].

NOTE 4—Certain of the ferritic steels covered by this specification will harden if cooled rapidly from above their critical temperature. Some will air harden, that is, become hardened to an undesirable degree when cooled in air from high temperatures. Therefore, operations involving heating such steels above their critical temperatures, such as welding, flanging, and hot bending, should be followed by suitable heat treatment.

5.3.4 Grades P92 and P911 shall be normalized at 1900°F [1040°C] minimum and tempered at 1350°F [730°C] minimum as a final heat treatment.

5.3.5 Grade P122 shall be normalized at 1900°F [1040°C] minimum, and tempered at 1350°F [730°C] minimum as a final heat treatment.

5.3.6 Grade P23 shall be normalized at 1900°F [1040°C] minimum with air cooling or accelerated cooling and tempered at 1350°F [730°C] minimum as a final heat treatment.

5.4 Except when Supplementary Requirement S7 is specified by the purchaser, Grade P91 shall be normalized at 1900°F [1040°C] minimum, and tempered at 1350°F [730°C] minimum as a final heat treatment. Alternatively, liquid quenching and tempering is allowed for thicknesses above 3 in. when mutually agreed upon between the manufacturer and the purchaser. In this case the pipe shall be quenched from 1900°F [1040°C] minimum and tempered at 1350°F [730°C] minimum as final heat treatment.

**6. Chemical Composition**

6.1 The steel shall conform to the requirements as to chemical composition prescribed in Table 1.

**7. Workmanship, Finish, and Appearance**

7.1 The pipe manufacturer shall explore a sufficient number of visual surface imperfections to provide reasonable assurance that they have been properly evaluated with respect to depth. Exploration of all surface imperfections is not required but may be necessary to ensure compliance with 7.2

7.2 Surface imperfections that penetrate more than 12½ % of the nominal wall thickness or encroach on the minimum wall thickness shall be considered defects. Pipe with such defects shall be given one of the following dispositions:

7.2.1 The defect may be removed by grinding provided that the remaining wall thickness is within specified limits.

7.2.2 Repaired in accordance with the repair welding provisions of 7.6.

7.2.3 The section of pipe containing the defect may be cut off within the limits of requirements on length.

7.2.4 Rejected.

7.3 To provide a workmanlike finish and basis for evaluating conformance with 7.2, the pipe manufacturer shall remove by grinding the following:

7.3.1 Mechanical marks, abrasions (see Note 5) and pits, any of which imperfections are deeper than ¼ in. [1.6 mm].

NOTE 5—Marks and abrasions are defined as cable marks, dings, guide marks, roll marks, ball scratches, scores, die marks, and the like.

7.3.2 Visual imperfections, commonly referred to as scabs, seams, laps, tears, or slivers, found by exploration in accordance with 7.1 to be deeper than 5 % of the nominal wall thickness.

7.4 At the purchaser’s discretion, pipe shall be subject to rejection if surface imperfections acceptable under 7.2 are not scattered, but appear over a large area in excess of what is considered a workmanlike finish. Disposition of such pipe shall be a matter of agreement between the manufacturer and the purchaser.

7.5 When imperfections or defects are removed by grinding, a smooth curved surface shall be maintained, and the wall thickness shall not be decreased below that permitted by this specification. The outside diameter at the point of grinding may be reduced by the amount so removed.

7.5.1 Wall thickness measurements shall be made with a mechanical caliper or with a properly calibrated nondestructive testing device of appropriate accuracy. In case of dispute, the measurement determined by use of the mechanical caliper shall govern.

7.6 Weld repair shall be permitted only subject to the approval of the purchaser and in accordance with Specification A 999/A 999M.

7.7 The finished pipe shall be reasonably straight.

**8. Product Analysis**

8.1 At the request of the purchaser, an analysis of two pipes from each lot shall be made by the manufacturer. A lot (see Note 6) of pipe shall consist of the following:

NPS Designator	
Under 2	400 or fraction thereof
2 to 5	200 or fraction thereof
6 and over	100 or fraction thereof

NOTE 6—A lot shall consist of the number of lengths specified in 8.1 of the same size and wall thickness from any one heat of steel.

8.2 The results of these analyses shall be reported to the purchaser or the purchaser’s representative, and shall conform to the requirements specified in Table 1.

8.3 For grade P 91 the carbon content may vary for the product analysis by –0.01 % and +0.02 % from the specified range as per Table 1.

8.4 If the analysis of one of the tests specified in 8.1 does not conform to the requirements specified in 6.1, an analysis of each billet or pipe from the same heat or lot may be made, and all billets or pipe conforming to the requirements shall be accepted.

**9. Tensile and Hardness Requirements**

9.1 The tensile properties of the material shall conform to the requirements prescribed in Table 2.

9.2 Table 3 lists elongation requirements.

**A 335/A 335M – 03**

**TABLE 2 Tensile Requirements**

	Grade						
	P1, P2	P12	P23	P91	P92, P911	P122	All Others
Tensile strength, min:							
ksi	55	60	74	85	90	90	60
MPa	380	415	510	585	620	620	415
Yield strength, min:							
ksi	30	32	58	60	64	58	30
MPa	205	220	400	415	440	400	205

**TABLE 3 Elongation Requirements**

Elongation Requirements	Elongation Requirements			
	All grades except P23, P91, P92, P122, and P911		All other grades	
	Longitudinal	Transverse	Longitudinal	Transverse
Elongation in 2 in. or 50 mm, (or 4D), min, %:				
Basic minimum elongation for wall $\frac{1}{16}$ -in. [8 mm] and over in thickness, strip tests, and for all small sizes tested in full section	30	20	20	...
When standard round 2-in. or 50-mm gage length or proportionally smaller size specimen with the gage length equal to 4D (4 times the diameter) is used	22	14	20	13
For strip tests a deduction for each $\frac{1}{32}$ -in. [0.8 mm] decrease in wall thickness below in. [8 mm] from the basic minimum elongation of the following percentage points shall be made	1.50 <sup>A</sup>	1.00 <sup>A</sup>	1.00 <sup>A</sup>	...

<sup>A</sup> Table 4 gives the calculated minimum values.

9.3 Pipe of Grades P91, P92, and P122 shall have a hardness not exceeding 250 HB/265 HV [25 HRC].

9.4 Table 4 gives the computed minimum elongation values for each  $\frac{1}{32}$ -in. [0.8-mm] decrease in wall thickness. Where the wall thickness lies between two values above, the minimum elongation value is determined by the following formula:

**TABLE 4 Calculated Minimum Elongation Values**

Wall Thickness	Elongation in 2 in. or 50 mm, min, %				
	in.	mm	All grades except P23, P91, P92, P122, and P911		All other grades
			Longitudinal	Transverse	
$\frac{1}{16}$ (0.312)	8	30	20	20	
$\frac{1}{8}$ (0.281)	7.2	28	19	19	
$\frac{1}{4}$ (0.250)	6.4	27	18	18	
$\frac{3}{16}$ (0.219)	5.6	26	...	17	
$\frac{1}{2}$ (0.188)	4.8	24	...	16	
$\frac{5}{16}$ (0.156)	4	22	...	15	
$\frac{3}{8}$ (0.125)	3.2	21	...	14	
$\frac{1}{2}$ (0.094)	2.4	20	...	13	
$\frac{1}{4}$ (0.062)	1.6	18	...	12	

Direction of Test

Longitudinal, all grades except P23, P91, P92, P122, and P911

Equation<sup>g</sup>  
E = 48t + 15.00  
[E = 1.87t + 15.00]

Transverse, all grades except P23, P91, P92, P122, and P911

E = 32t + 10.00  
[E = 1.25t + 10.00]

Longitudinal, P23, P91, P92, P122, and P911

E = 32t + 10.00  
[E = 1.25t + 10.00]

where:  
E = elongation in 2 in. or 50 mm, %, and  
t = actual thickness of specimens, in. [mm].

**10. Permissible Variations in Diameter**

10.1 For pipe ordered to NPS or outside diameter, variations in outside diameter shall not exceed those specified in Table 5.

10.2 For pipe ordered to inside diameter, the inside diameter shall not vary more than  $\pm 1\%$  from the specified inside diameter.

**11. Hydrostatic Test**

11.1 Each length of pipe shall be subjected to the hydrostatic test, except as provided for in 11.2 or 11.3.

11.2 Unless otherwise specified in the purchase order, each length of pipe shall, at the option of the manufacturer, be subjected to the nondestructive electric test as shown in Section 12 in lieu of the hydrostatic test.

11.3 When specified by the purchaser, pipe shall be furnished without hydrostatic test and without nondestructive examination.

11.4 When specified by the purchaser, pipe shall be furnished with both the hydrostatic test and a nondestructive examination having been performed.

**12. Nondestructive Examination**

12.1 When selected by the manufacturer or when specified in the order, as an alternative to the hydrostatic test (11.2), or when specified in the purchase order in addition to the hydrostatic test (11.4), each pipe shall be examined by a nondestructive examination method in accordance with Practice E 213,

**TABLE 5 Permissible Variations in Outside Diameter**

NPS Designator	Over		Under	
	in.	mm	in.	mm
	$\frac{1}{8}$ to $\frac{1}{2}$ , incl.	$\frac{1}{64}$ (0.015)	0.40	$\frac{1}{64}$ (0.015)
Over $\frac{1}{2}$ to 4, incl.	$\frac{1}{32}$ (0.031)	0.79	$\frac{1}{32}$ (0.031)	0.79
Over 4 to 8, incl.	$\frac{1}{16}$ (0.062)	1.59	$\frac{1}{32}$ (0.031)	0.79
Over 8 to 12, incl.	$\frac{3}{32}$ (0.093)	2.38	$\frac{1}{32}$ (0.031)	0.79
Over 12	$\pm 1\%$ of the specified outside diameter			

Practice E 309 or Practice E 570. The range of pipe sizes that may be examined by each method shall be subject to the limitations in the scope of the respective practices.

12.2 The following information is for the benefit of the user of this specification:

12.2.1 The reference standards defined in 12.8 are convenient standards for standardization of nondestructive examination equipment. The dimensions of these standards should not be construed as the minimum size imperfection detectable by such equipment.

12.2.2 Ultrasonic examination can be performed to detect both longitudinally and transversely oriented discontinuities. It should be recognized that different techniques should be employed to detect differently oriented imperfections. The examination may not detect short, deep imperfections.

12.2.3 The eddy current examination referenced in this specification has the capability to detect significant discontinuities, especially of the short abrupt type.

12.2.4 The flux leakage examination referred to in this specification is capable of detecting the presence and location of significant longitudinally or transversely oriented discontinuities. It should be recognized that different techniques should be employed to detect differently oriented imperfections.

12.2.5 The hydrostatic test of Section 11 has the capability to find imperfections of a size that permit the test fluid to leak through the pipe wall so that it may be either visually seen or detected by a loss of fluid pressure. This test may not detect very tight, through-wall imperfections, or imperfections that extend into the wall without complete penetration.

12.2.6 A purchaser interested in ascertaining the nature (type, size, location, and orientation) of discontinuities that can be detected in the specific application of these examinations should discuss this with the manufacturer of the tubular products.

12.3 *Time of Examination:*

Nondestructive examination for specification acceptance shall be performed after all mechanical processing, heat treatments and straightening operations. This requirement does not preclude additional testing at earlier stages in the processing.

12.4 *Surface Conditions:*

12.4.1 All surfaces shall be clean and free of scale, dirt, grease, paint, or other foreign material that could interfere with interpretation of test results. The methods used for cleaning and preparing the surfaces for examination shall not be detrimental to the base metal or the surface finish.

12.4.2 Excessive surface roughness or deep scratches can produce signals that interfere with the test (see 12.10.2.3).

12.5 *Extent of Examination:*

12.5.1 The relative motion of the pipe and the transducer(s), coil(s), or sensor(s) shall be such that the entire pipe surface is scanned, except for end effects as noted in 12.5.2.

12.5.2 The existence of end effects is recognized, and the extent of such effects shall be determined by the manufacturer, and, if requested, shall be reported to the purchaser. Other nondestructive tests may be applied to the end areas, subject to agreement between the purchaser and the manufacturer.

12.6 *Operator Qualifications*—The test unit operator shall be certified in accordance with SNT-TC-1A, or an equivalent, recognized and documented standard.

12.7 *Test Conditions:*

12.7.1 For examination by the ultrasonic method, the minimum nominal transducer frequency shall be 2.25 MHz.

12.7.2 For eddy current testing, the excitation coil frequency shall be 10 kHz, or less.

12.8 *Reference Standards:*

12.8.1 Reference standards of convenient length shall be prepared from a length of pipe of the same grade, size (NPS or outside diameter and schedule or wall thickness), surface finish and heat treatment condition as the pipe to be examined.

12.8.2 For ultrasonic testing, the reference notches shall be any one of the three common notch shapes shown in Practice E 213, at the option of the manufacturer. The depth of the notch shall not exceed 12½ % of the specified nominal wall thickness of the pipe or 0.004 in. (0.1 mm), whichever is greater. The length of the notch shall be at least twice the diameter of the transducer(s). The width of the notch shall not exceed the depth.

12.8.3 For eddy current testing, the reference standard shall contain, at the option of the manufacturer, any one of the following discontinuities:

12.8.3.1 *Drilled Hole*—The reference standard shall contain three or more holes, equally spaced circumferentially around the pipe and longitudinally separated by a sufficient distance to allow distinct identification of the signal from each hole. The holes shall be drilled radially and completely through the pipe wall, with care being taken to avoid distortion of the pipe while drilling. The hole diameter shall vary with NPS as follows:

NPS Designator	Hole Diameter
½	0.039 in. (1 mm)
above ½ to 1¼	0.055 in. (1.4 mm)
above 1¼ to 2	0.071 in. (1.8 mm)
above 2 to 5	0.087 in. (2.2 mm)
above 5	0.106 in. (2.7 mm)

12.8.3.2 *Transverse Tangential Notch*—Using a round tool or file with a ¼ in. (6.4 mm) diameter, a notch shall be filed or milled tangential to the surface and transverse to the longitudinal axis of the pipe. Said notch shall have a depth not exceeding 12½ % of the specified nominal wall thickness of the pipe or 0.004 in. (0.1 mm), whichever is greater.

12.8.3.3 *Longitudinal Notch*—A notch 0.031 in. or less in width shall be machined in a radial plane parallel to the tube axis on the outside surface of the pipe, to have a depth not exceeding 12½ % of the specified nominal wall thickness of the pipe or 0.004 in. (0.1 mm), whichever is greater. The length of the notch shall be compatible with the testing method.

12.8.4 For flux leakage testing, the longitudinal reference notches shall be straight-sided notches machined in a radial plane parallel to the pipe axis. For wall thickness less than ½ in. (12.7 mm), outside and inside notches shall be used; for wall thicknesses equal to or greater than ½ in., only an outside notch shall be used. Notch depth shall not exceed 12½ % of the specified nominal wall thickness or 0.004 in. (0.1 mm), whichever is greater. Notch length shall not exceed 1 in. (25.4 mm), and the width shall not exceed the depth. Outside and

inside notches shall have sufficient separation to allow distinct identification of the signal from each notch.

12.8.5 More or smaller reference discontinuities, or both, may be used by agreement between the purchaser and the manufacturer.

*12.9 Standardization Procedure:*

12.9.1 The test apparatus shall be standardized at the beginning and end of each series of pipes of the same size (NPS or diameter and schedule or wall thickness), grade and heat treatment condition, and at intervals not exceeding 4 h during the examination of such pipe. More frequent standardizations may be performed at the manufacturer's option or may be required upon agreement between the purchaser and the manufacturer.

12.9.2 The test apparatus shall also be standardized after any change in test system settings, change of operator, equipment repair, or interruption due to power loss, shutdown or operator breaks.

12.9.3 The reference standard shall be passed through the test apparatus at same speed and test system settings as the pipe to be tested.

12.9.4 The signal-to-noise ratio for the reference standard shall be 2.5 to 1 or greater and the reference signal amplitude for each discontinuity shall be at least 50 % of full scale of the display.

12.9.5 If upon any standardization, the reference signal amplitude has decreased by 25 % (2 db), the test apparatus shall be considered out of standardization. The test system settings may be changed, or the transducer(s), coil(s) or sensor(s) adjusted, and the unit restandardized, but all pipe tested since the last acceptable standardization must be retested.

*12.10 Evaluation of Imperfections:*

12.10.1 Pipes producing a signal equal to or greater than the signal produced by the reference standard shall be positively identified and they shall be separated from the acceptable pipes. The area producing the signal may be reexamined.

12.10.2 Such pipes shall be subject to one of the following three dispositions:

12.10.2.1 The pipes may be rejected without further examination, at the discretion of the manufacturer.

12.10.2.2 The pipes shall be rejected, but may be repaired, if the test signal was produced by imperfections which cannot be identified, or was produced by cracks or crack-like imperfections. These pipes may be repaired by grinding (in accordance with 7.2.1), welding (in accordance with 7.6) or sectioning (in accordance with 7.2.3). To be accepted, a repaired pipe must pass the same nondestructive examination by which it was rejected, and it must meet the remaining wall thickness requirements of this specification.

12.10.2.3 Such pipes may be evaluated in accordance with the provisions of Section 7, if the test signals were produced by visual imperfections such as those listed below:

- (a) Scratches,
- (b) Surface roughness,
- (c) Dings,
- (d) Straightener marks,
- (e) Cutting chips,

- (f) Steel die stamps,
- (g) Stop marks, or
- (h) Pipe reducer ripple.

### 13. Mechanical Tests Required

13.1 *Transverse or Longitudinal Tension Test and Flattening Test, Hardness Test, or Bend Test*—For material heat treated in a batch-type furnace, tests shall be made on 5 % of the pipe from each treated lot (see Note 7). For small lots, at least 1 pipe shall be tested. For material heat treated by the continuous process, tests shall be made on a sufficient number of pipe to constitute 5 % of the lot (see Note 7), but in no case less than 2 pipe.

NOTE 7—The term "lot" applies to all pipe of the same nominal size and wall thickness (or schedule) which is produced from the same heat of steel and subjected to the same finishing treatment in a continuous furnace; when final heat treatment is in a batch-type furnace, the lot shall include only that pipe which is heat treated in the same furnace charge.

*13.2 Hardness Test:*

13.2.1 For pipe of Grades P91, P92, P122, and P911, Brinell, Vickers, or Rockwell hardness tests shall be made on a specimen from each lot (see Note 7).

*13.3 Bend Test:*

13.3.1 For pipe whose diameter exceeds NPS 25 and whose diameter to wall thickness ratio is 7.0 or less shall be subjected to the bend test instead of the flattening test. Other pipe whose diameter equals or exceeds NPS 10 may be given the bend test in place of the flattening test subject to the approval of the purchaser.

13.3.2 The bend test specimens shall be bent at room temperature through 180° without cracking on the outside of the bent portion. The inside diameter of the bend shall be 1 in. [25 mm].

13.3.3 Test specimens for the bend test specified in 13.3 shall be cut from one end of the pipe and, unless otherwise specified, shall be taken in a transverse direction. One test specimen shall be taken as close to the outer surface as possible and another from as close to the inner surface as possible. The specimens shall be either ½ by ½ in. [12.5 by 12.5 mm] in section or 1 by ½ in. [25 by 12.5 mm] in section with the corners rounded to a radius not over ¼ in. [1.6 mm] and need not exceed 6 in. [150 mm] in length. The side of the samples placed in tension during the bend shall be the side closest to the inner and outer surface of the pipe, respectively.

### 14. Certification

14.1 In addition to the information required by Specification A 999/A 999M, the certification shall state whether or not the pipe was hydrostatically tested. If the pipe was nondestructively examined, the certification shall so state and shall show which practice was followed and what reference discontinuities were used. In addition, the test method information as given in Table 6 shall be appended to the specification number and grade shown on the certification.

### 15. Product Marking

15.1 In addition to the marking prescribed in Specification A 999/A 999M, the marking shall include the length, an



 **A 335/A 335M – 03**

**TABLE 6 Test Method Information for Certification and Marking**

Hydrostatic	Nondestructive	Marking
YES	NO	Test Pressure
NO	YES	NDE
NO	NO	NH
YES	YES	Test Pressure/NDE

additional symbol “S”, if the pipe conforms to any of the Supplementary Requirements S1 to S6, the schedule number, if the pipe is ordered to a schedule number, and the heat number or manufacturer’s number by which the heat can be identified. Furthermore, the marking designated in Table 6 to indicate the test method(s) shall be included. Marking may be by stenciling, stamping, or rolling. Pipe that has been weld repaired in accordance with 7.6 shall be marked “WR.”

**16. Government Procurement**

**16.1 Scale Free Pipe:**

16.1.1 When specified in the contract or order, the following requirements shall be considered in the inquiry contract or order, for agencies of the U.S. Government where scale free pipe is required. These requirements shall take precedence if there is a conflict between these requirements and the product specification.

16.1.2 The requirements of Specification A 999/A 999M for pipe and Specification A 450/A 450M for tubes shall be applicable when pipe is ordered to this specification.

16.1.3 Pipe shall be one of the following grades as specified herein:

Grade	UNS Designation
P11	K11597
P22	K21590
P5	K41545

**16.1.4 Part Number:**

16.1.4.1 Pipe shall be ordered to nominal pipe size and schedule specified in ANSI B36.10

*Example:* A 335/A 335M Pipe P-11 NPS 12 Sch 40

Specification Number	ASTM A 335/A 335M
Pipe	P
Grade	P-11
NPS	12
Wall	0.375

**16.1.4.2**

Specification Number	ASTM A 335/A 335 M
Tube	T
Grade	P-11
Outside Diameter	0.250
Wall	0.035

16.1.5 *Ordering Information*—Orders for material under this specification shall include the following in addition to the requirements of Section 3:

16.1.5.1 Pipe or tube,

16.1.5.2 Part number,

16.1.5.3 Ultrasonic inspection, if required,

16.1.5.4 If shear wave test is to be conducted in two opposite circumferential directions, and

16.1.5.5 Level of preservation and packing required.

**17. Keywords**

17.1 alloy steel pipe; high temperature service; seamless steel pipe; steel pipe; temperature service applications

**SUPPLEMENTARY REQUIREMENTS**

One or more of the following supplementary requirements shall apply only when specified in the purchase order. The purchaser may specify a different frequency of test or analysis than is provided in the supplementary requirement. Subject to agreement between the purchaser and manufacturer, retest and retreatment provisions of these supplementary requirements may also be modified.

**S1. Product Analysis**

S1.1 Product analysis shall be made on each length of pipe. Individual lengths failing to conform to the chemical composition requirements shall be rejected.

**S2. Transverse Tension Tests**

S2.1 A transverse tension test shall be made on a specimen from one end or both ends of each pipe NPS 8 and over. If this supplementary requirement is specified, the number of tests per pipe shall also be specified. If a specimen from any length fails to meet the required tensile properties (tensile, yield, and elongation), that length shall be rejected subject to retreatment in accordance with Specification A 999/A 999M and satisfactory retest.

**S3. Flattening Test**

S3.1 The flattening test of Specification A 999/A 999M shall be made on a specimen from one end or both ends of each

pipe. Crop ends may be used. If this supplementary requirement is specified, the number of tests per pipe shall also be specified. If a specimen from any length fails because of lack of ductility prior to satisfactory completion of the first step of the flattening test requirement, that pipe shall be rejected subject to retreatment in accordance with Specification A 999/A 999M and satisfactory retest. If a specimen from any length of pipe fails because of a lack of soundness that length shall be rejected, unless subsequent retesting indicates that the remaining length is sound. The bend test of 13.2 shall be substituted for the flattening test for pipe whose diameter exceeds NPS 25 and whose diameter to wall thickness ratio is 7.0 or less.

**S4. Metal Structure and Etching Tests**

S4.1 The steel shall be homogeneous as shown by etching tests conducted in accordance with the appropriate portions of Method E 381. Etching tests shall be made on a cross section from one end or both ends of each pipe and shall show sound

and reasonably uniform material free from injurious laminations, cracks, and similar objectionable defects. If this supplementary requirement is specified, the number of tests per pipe required shall also be specified. If a specimen from any length shows objectionable defects, the length shall be rejected, subject to removal of the defective end and subsequent retests indicating the remainder of the length to be sound and reasonably uniform material.

NOTE S4.1—Pending development of etching methods applicable to the product covered by this specification, it is recommended that the Recommended Practice for a Standard Macro Etch Test for Routine Inspection of Iron and Steel, described in the *Metals Handbook*, Am. Soc. for Metals, 1948 edition, p. 389, be followed.

### S5. Photomicrographs

S5.1 When requested by the purchaser and so stated in the order, the manufacturer shall furnish one photomicrograph at 100 diameters from a specimen of pipe in the as-finished condition for each individual size and wall thickness from each heat, for pipe NPS 3 and over. Such photomicrographs shall be suitably identified as to pipe size, wall thickness, and heat. No photomicrographs for the individual pieces purchased shall be required except as specified in Supplementary Requirement S6. Such photomicrographs are for information only, to show the actual metal structure of the pipe as finished.

### S6. Photomicrographs for Individual Pieces

S6.1 In addition to the photomicrographs required in accordance with Supplementary Requirement S5, the purchaser may specify that photomicrographs shall be furnished from each end of one or more pipes from each lot of pipe NPS 3 and larger in the as-finished condition. The purchaser shall state in the order the number of pipes to be tested from each lot. When photomicrographs are required on each length, the photomicrographs from each lot of pipe in the as-finished condition which may be required under Supplementary Requirement S5 may be omitted. All photo-micrographs required shall be properly identified as to heat number, size, and wall thickness of pipe from which the section was taken. Photomicrographs shall be further identified to permit association of each photomicrograph with the individual length of pipe it represents.

### S7. Alternative Heat Treatment—Grade P91

S7.1 Grade P91 shall be normalized in accordance with 5.3 and tempered at a temperature, to be specified by the purchaser, less than 1350°F [730°C]. It shall be purchaser's responsibility to subsequently temper at 1350°F [730°] minimum. All mechanical tests shall be made on material heat treated in accordance with 5.3. The certification shall reference this supplementary requirement indicating the tempering temperature applied. The notation "S7" shall be included with the required marking of the pipe.

## SUMMARY OF CHANGES

Committee A01 has identified the location of selected changes to this standard since the last edition (A 335/A 335M-02) that may impact the use of this standard (approved April 2003).

- |  |  |
|--|--|
| (1) Changed "centimetres" to "metres" in 3.1.1.          | reference to Table 3 in 14.1 to Table 6.                     |
| (2) Added grade and format changes to Table 2.           | (7) Deleted "ANSI" from 15.1 and added new text.             |
| (3) Added format changes to Table 3.                     | (8) Deleted "tube" throughout Section 16.                    |
| (4) Added format changes and rounded values in Table 4.  | (9) Changed reference from Section 4 to Section 3 in 16.1.5. |
| (5) Added format changes to Table 5.                     | (10) Deleted the word "high" from the Keywords section.      |
| (6) Replaced "material" with "pipe" in 14.1, and changed |  |

Committee A01 has identified the location of selected changes to this standard since the last edition (A 335/A 335M – 01) that may impact the use of this standard (approved September 2002).

- |  |  |
|--|--|
| (1) Revised paragraphs 9.3, 9.4, and 13.2.1. | (3) Revised paragraphs 1.1, 3.1.5, and 10.1. |
| (2) Revised Table 3, Table 4, and Table 5.   | (4) Added new paragraph 10.2.                |

*ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.*

*This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.*

*This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).*