

**ESTUDIO DE MEJORAS EN LOS PROCESOS DE LA PLANTA DE  
TRATAMIENTOS TÉRMICOS LINEA 2 EN TenarisTubocaribe.**

**GIOVANNI ANTONIO PATERNINA BUELVAS**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE CIENCIAS FISICO-QUIMICAS  
ESCUELA DE INGENIERIA METALURGICA Y CIENCIA DE LOS  
MATERIALES  
BUCARAMANGA  
2007**

**ESTUDIO DE MEJORAS EN LOS PROCESOS DE LA PLANTA DE  
TRATAMIENTOS TÉRMICOS LINEA 2 EN TenarisTubocaribe.**

**GIOVANNI ANTONIO PATERNINA BUELVAS**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al titulo de  
Ingeniero Metalúrgico**

**Directora**

**Ing. LUZ AMPARO QUINTERO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE CIENCIAS FISICO-QUIMICAS  
ESCUELA DE INGENIERIA METALURGICA Y CIENCIA DE LOS  
MATERIALES  
BUCARAMANGA  
2007**

## AGRADECIMIENTOS:

Deseo expresar mis agradecimientos a las personas que hicieron que esto fuera posible:

A mi familia: mis padres Manuel Paternina y Mila Buelvas; mis hermanos Judith, Boris y Jair; y mis sobrinos Boris y Valery.

A la ingeniera Luz Amparo Quintero por su ayuda e incondicional apoyo durante el desarrollo de esta tesis.

A mis jefes en TenarisTubocaribe los ingenieros Alberto Reggiori, Luís Silva. Jazmín Cortecero y Jorge Montes por su respaldo.

A los ingenieros Arturo Muñiz, Alberto Alcázar y Alejandro Blanco, por su generoso aporte.

Al personal de la planta de tratamientos térmicos línea 2 en especial sus supervisores y operadores: Orlando Paternina, Edgardo Cuadrado, Eduardo Gallego, Carlos Arrieta, Carlos Gutiérrez y Orlando Mendoza.

A mis siempre recordados amigos en Cartagena, Sincelejo y Bucaramanga que me apoyaron en toda circunstancia.

## CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION .....	14
1. OBJETIVOS: .....	16
1.1 OBJETIVOS GENERALES .....	16
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	16
2. FUNDAMENTO TEÓRICO.....	17
2.1 TRATAMIENTOS TÉRMICOS .....	17
2.2 FACTORES O VARIABLES MÁS IMPORTANTES QUE INTERVIENEN .....	17
EN EL TRATAMIENTO TÉRMICO DE LOS ACEROS.....	17
2.2.1 Calentamiento de las partes.....	17
2.2.2 Composición química .....	18
2.2.3 Tamaño de Grano .....	19
2.2.4 Medio de Enfriamiento .....	19
2.2.5 Espesor de la pieza.....	20
2.3 Incidencia de los Gases de Combustión en los Tratamientos Térmicos .20	
2.3.1 Combustión .....	20
2.3.2 Reacciones de Los Gases de Combustión En Atmósferas de Hornos En Tratamientos Térmicos.....	21
2.4.1 Diagrama de Dispersión.....	23
2.4.2 Cartas De Control.....	23
3. METODOLOGÍA .....	25
3.1 RECONOCIMIENTO DEL SITIO DE TRABAJO E IDENTIFICACIÓN DE .....	25
LAS FALLAS EN LA OPERACIÓN: .....	25
3.2 PROPUESTA DE MEJORAS, IMPLEMENTACIÓN Y SEGUIMIENTO .25	
DE LAS MISMAS: .....	25
3.3 ESTUDIO DE LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN .....	25
3.4 PROGRAMA DE CAPACITACIÓN.....	26
3.5 INFORME FINAL.....	26

4. PLANTA DE TRATAMIENTOS TERMICOS LTT2 .....	27
4.1 GENERALIDADES DE LOS PROCESOS DE PRODUCCIÓN .....	27
4.1.1 Área de Formado .....	27
4.1.2 Área de Recalcado.....	27
4.1.3 Área de Tratamiento térmico.....	27
4.1.4 Área de Inspección.....	27
4.1.5 Área de Roscado.....	27
4.2 Descripción de la planta de tratamientos térmicos LTT2.....	28
TenarisTubocaribe: .....	28
4.2.2 Zona de Pre calentamiento (alivio de tensiones) .....	30
4.2.2 Zona de Austenización (Horno Barril) .....	30
4.2.3 Sistema de Enfriamiento (Anillo de temple) .....	32
4.2.4 Zona de Revenido (Horno cajón) .....	33
4.2.6 Elementos De Control Externos .....	34
4.2.7 Elementos De Operación .....	34
4.3 VARIABLES QUE INTERVIENEN EN LA OPERACIÓN.....	35
4.3.1 Temperatura De Austenizaciór .....	35
4.3.2 Tamaño De Grano.....	35
4.3.3 Composición Química .....	35
4.3.4 Velocidad De Enfriamiento.....	36
4.3.5 Temperatura De Revenido .....	36
4.3.6 Tiempo De Residencia .....	36
4.3.7 Atmósferas De Los Hornos .....	36
4.4 EVALUACION Y DIGNOSTICO DEL PROCESO .....	37
5. PROPUESTAS E IMPLENTACION DE MEJORAS .....	39
5.1 PROPUESTAS A CORTO PLAZO.....	40
5.1.1 Diseño, Desarrollo e Implementación De Una Carta De Control De Proceso .....	40
5.1.1.1 Procedimiento .....	40
5.1.2 Estudio Del Calentamiento Del Acero Para Los Hornos De Tratamientos Térmicos .....	46

5.1.2.2 Resultados .....	48
5.1.2.3 Conclusiones.....	54
5.1.3 Análisis Metalográfico De Recalques Normalizados En LTT2 .....	55
5.1.3.3 Conclusiones.....	61
5.1.4 Charlas De Capacitación En Tratamientos Térmicos Y Análisis Metalográfico.....	62
5.2 PROPUESTAS A MEDIANO PLAZO .....	63
5.2.1 Control De Atmósferas .....	63
5.2.2 Estudio De La Relación Ti/N En El Tratamiento Térmico De Los Aceros .....	64
5.3 PROPUESTAS A LARGO PLAZO .....	65
5.3.1 Sustitución De La Unidad De Pre calentamiento Por Un Horno Cajón Para Alivio De Tensiones Alimentado Con Los Gases De Combustión.....	65
5.3.2 Continuación Del Estudio De Calentamiento De Las Piezas En Los Hornos De Tratamientos Térmicos .....	66
6. CONCLUSIONES.....	67
BIBLIOGRAFIA .....	69

## LISTA DE FIGURA

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Comparación entre diagramas de un acero 1086 y uno 5460	18
Fig. 2. Ejemplo de carta de control X en un proceso no controlado. Se observan puntos por fuera de los límites de control.	24
FIGURA 3. Diagrama De Flujo De La Línea De Tratamientos Termicos Ltt2	29
Figura 4. Fotografía del sistema de precalentamiento. Este sistema se alimenta directamente de la línea de gas, con exceso en el consumo de combustible	30
Figura 5. Esquema del horno barril y las zonas que componen	31
Figura 6. Imagen del horno barril, cada chimenea representa una zona	32
Figura 7. Vista superior del horno cajón de LTT2 y distribución de las zonas	34
Fig 8 Disposición de los rodillos en el enderezador CAUFFIELD	35
Fig. 9. Estructura de la carta de control para 7 pulgadas grado N80	42
Fig. 10 Temperatura del tubo y de las zonas Vs carbono equivalente. Tubo "casing" 4 ½" grado	43
Figura 11. Comportamiento del tiempo de permanencia, temperatura del tubo y de las zonas, con respecto a los diferentes diámetros en horno barril	44
Figura 12 Comportamiento del tiempo de permanencia, temperatura del tubo y de las zonas, con respecto a los diferentes diámetros en horno cajón.	45
Figura 13 Esquema de la realización de la prueba en LTT2	50
Figura 14. Curva de calentamiento del tubo y comportamiento de las zonas en el horno en LTT2.	51
Figura 15 Curva de calentamiento del tubo en horno cajón LTT1	52
Figura 16. Datos de tratamientos térmicos del acero suministrado por ASM SteCal 3.0	53
Figura 17. Calentamiento del tubo en horno barril LTT1	54
Figura 18. Datos de tratamientos térmicos del acero suministrado por ASM SteCal 3.0	57

Figura 19. Diagrama CCT sin Mo	58
Figura 20. Diagrama CCT sin Mo	58
Figura 21. Metalografía del cuerpo del tubo ubicado cerca de la costura	59
Figura 22 Metalografía del Recalque después de forjado	60
Figura 23. Metalografía del Recalque sur después de Normalizado en horno barril LTT2	60
Figura 24. Metalografía del Recalque norte después de Normalizado en horno barril LTT2	61

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Composición Química de los Aceros. Fuente: catalogo del proveedor (CST	19
Tabla 2. Especificaciones de los anillos de temple utilizados	33
Tabla 3. Mejoras propuestas para las valoraciones realizadas en el capitulo anterior	39
Tabla 4. Condiciones de operación para los hornos que intervienen en el ensayo.	47
5.1.2.2 Resultados	48
Tabla 5. Datos de temperaturas de las zonas arrojados por el PLC durante el paso del tubo muestra.	49

## **ANEXOS**

	<b>Pág.</b>
ANEXO A: Hojas de iniciación de maquina para los hornos de temple y revenido	71
ANEXO B: Especificaciones de tubería elaborada por la empresa	73

## RESUMEN

TITULO: ESTUDIO DE MEJORAS EN LOS PROCESOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTOS TÉRMICOS LINEA 2 EN TenarisTubocaribe.\*

AUTOR: Giovanni Antonio Paternina Buelvas\*\*

PALABRAS CLAVES: Tratamientos térmicos, Control de proceso, Variables de proceso, Cartas de control, Curvas de calentamiento, Análisis metalográfico.

DESCRIPCION: **TenarisTubocaribe** empresa líder en el país en la fabricación de tubería con costura API para producción de petróleo, no es ajena a la necesidad de la industria de mejorar sus procesos y en busca elevar su productividad y alcanzar altos niveles de confiabilidad en la calidad de sus productos además de otras actividades, ha optado por llevar a cabo “Prácticas empresariales” a través de las cuales se hace una revisión de sus procesos, estudio de las variables involucradas, planteo y ejecución de estrategias de mejoramiento, para alcanzar el objetivo mencionado.

El presente trabajo, corresponde a una práctica empresarial realizada en el área de tratamientos térmicos en la línea 2 de TENARIS TUBOCARIBE, en la cual se realizó un estudio en búsqueda de mejorar estos procesos. Para lograr las mejoras se plantearon propuestas a corto plazo como: el manejo y análisis de información a través de cartas de control y otras herramientas estadísticas, el estudio del calentamiento de las piezas en los hornos de tratamientos térmicos, y el análisis metalográfico como herramienta fundamental para asegurar la calidad del producto. Se incluyeron además algunas propuestas complementarias a mediano y largo plazo.

Del trabajo realizado se obtuvo mejoras en cuanto a reducción de tiempos en la puesta a punto de los procesos, disminución del material de reproceso y se encontraron nuevas formas para asegurar la calidad de los productos, como nuevos controles en el calentamiento de las piezas y análisis metalográfico del material en las distintas etapas de proceso.

---

\* Modalidad práctica empresarial

\*\* Facultad de Ingenierías Físicoquímicas, Escuela de Ingeniería Metalúrgica y ciencias de materiales, Directora: Luz Amparo Quintero

## ABSTRAC

TITLE: STUDY OF IMPROVEMENT IN THE PROCESS OF PLANT HEAT TREATINGS IN LINE 2 TENARISTUBOCARIBE \*

AUTHOR: Giovanni Antonio Paternina Buelvas\*\*

KEY WORDS: Heat Treatings, Process Control, Process Variables, Charting Control, Curves Heating, Metallographic analysis.

DESCRIPTION: **TenarisTubocaribe** leader in the country in the manufacture of pipe seam API for oil production is no stranger to the need for the industry to improve its processes, and seeks to increase their productivity and achieve high levels of confidence in the quality of their in addition to products other activities has opted to conduct "management practices" through which is a review of their cases, the study of the variables involved, Specifications and performance improvement strategies to achieve the above objective.

This work is a management practice in the area of heat treatments on line 2 of TENARIS TUBOCARIBE, which conducted a survey seeking to improve these processes. To achieve the improvements were proposed in the short term as the management and analysis of information via control charts and other statistical tools, the study warming of the pieces in the kiln heat treatments, and metallographic analysis as a fundamental tool to ensure product quality. It also included some additional proposals in the medium and long term.

The work was obtained gains in reducing time in the development of processes, reduced material reprocessing and found new ways to ensure product quality, as new controls on the heating of the parts and analysis metallographic material in the various stages of the process.

---

\* Mode Management practice

\*\* Facultad de Ingenierías Físicoquímicas, Escuela de Ingeniería Metalúrgica y ciencias de materiales, Director: Luz Amparo Quintero

## INTRODUCCION

**TenarisTuboCaribe** es una de las empresas más representativas a nivel de Latinoamérica en producción de tubería con costura. Ubicada en la ciudad de Cartagena de Indias **TenarisTuboCaribe** cuenta con amplia infraestructura para el procesamiento de tubería de producción OCTG API 5CT “tubing y casing”, así mismo una línea adicional para tubería de conducción “Line pipe”<sup>1</sup>.

Actualmente ésta empresa procesa aproximadamente 10.000 toneladas de acero estructural de bajo carbono cada mes. Aunque este es un alto índice de productividad, las plantas de tratamientos ha visto disminuir su eficiencia en el procesamiento de algunos de sus productos, así lo revela el flash de calidad donde se muestra poca continuidad en el índice de aprovechamiento<sup>2</sup>. Esta situación se debe en parte por la cantidad de tubería de rechazo, y por otro lado las continuas paradas en los últimos meses debidas a la búsqueda de condiciones óptimas para llevar a cabo el proceso.

Las líneas de procesamiento continuo de tratamientos térmicos representan un desafío para ingeniería, especialmente en el control de sus variables, es por eso que no es de extrañar que presente dificultades especialmente en los cambios de operación, y cuando de líneas continuas se trata, cualquier tiempo de espera constituye pérdidas. La línea LTT2<sup>3</sup> es la más funcional de las plantas de tratamientos térmicos, a diferencia de LTT1<sup>4</sup> esta trata térmicamente todo los tipos de tubería fabricados por la empresa, esto quiere decir implicando entre un tipo y otro, cambio de espesor, masa, volumen, etc. Así mismo es más inestable su producción, pues por producir mayor cantidad en menos tiempo la cantidad de piezas rechazadas es mayor. Es por esto que esta línea necesita mayor precisión en los equipos y un buen conocimiento y control del proceso.

Las variables en los procesos de tratamientos térmicos de temple, revenido y normalizado deben de llevarse a cabo en estricto control, por ejemplo para que una pieza de acero obtenga buena cantidad de martensita en un temple se debe garantizar un buen calentamiento y por supuesto un buen enfriamiento. De igual forma un buen normalizado debe realizarse con el mayor control especialmente cuando la pieza ha pasado por un proceso de laminado en caliente, en frío, y procesos de soldadura y forja. Aunque los tratamientos térmicos de aceros de bajo carbono aquí realizados

---

<sup>1</sup> OCTG: oil country tube goods,

TUBING: Tubería de producción para transporte e inyección de un líquido o fluido (petróleo).

CASING: Tubería de producción para revestimiento de una perforación.

LINE PIPE: tubería de transporte y conducción.

<sup>2</sup> Relación entre tubos procesados/ tubos rechazados

<sup>3</sup> LTT1: Línea de tratamientos térmicos N° 1

<sup>4</sup> LTT2: Línea de tratamientos térmicos N° 2

aparentemente se encuentran entre los más sencillos, si no existe un conocimiento básico en metalurgia física es difícil llegar al fondo de los problemas y por supuesto innovar en los procesos y productos.

Como es política en **TenarisTubocaribe** el mejoramiento continuo, es necesario tomar medidas para una estabilidad continua y eficiente en los procesos llevados a cabo. Durante la práctica en la empresa, se pretendió realizar un seguimiento minucioso de la operación en la planta de tratamientos térmicos línea 2, de acuerdo con esto buscaron e implementaron algunas alternativas de mejoramiento, también se reforzaron los conocimientos en tratamientos térmicos de los operarios lo que les permitió ser más proactivos en el desempeño de sus labores.

## **1. OBJETIVOS:**

### **1.1 OBJETIVOS GENERALES**

- Proponer y aplicar mejoras que contribuyan al buen desempeño de los procesos en la planta de tratamientos térmicos de la línea 2 en la empresa TenarisTubocaribe.

### **1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Conocer el manejo operacional de la línea 2 en la operación tubular continua de las plantas de tratamientos térmicos de TenarisTubocaribe.
- Identificar las diferentes variables y condiciones en que son procesadas los distintos grados y especificaciones de tubería producidas por la empresa.
- Realizar un diagnostico acerca de el proceso de tratamientos térmicos, en base a las observaciones encontradas durante la operación y el histórico de los procesos.
- Estudiar y proponer mejoras que ayuden a una buena eficiencia y calidad de la tubería procesada.
- Implementar las técnicas y mecanismos necesarios para llevar a cabo las mejoras propuestas anteriormente.
- Estudiar y analizar las variables y parámetros en que se procesan las diferentes especificaciones de tubería, con base en la historia de los procesos desarrollados, para así establecer de las mejores condiciones de operación.
- Proponer y desarrollar un programa de capacitación en tratamientos térmicos para el personal operativo de la planta, orientado al manejo y control de las distintas variables que se manejan en estos procesos de la empresa.

## 2. FUNDAMENTO TEÓRICO

### 2.1 TRATAMIENTOS TÉRMICOS

Los tratamientos térmicos consisten en calentar o en mantener las piezas o herramientas de acero a temperaturas adecuadas durante cierto tiempo y enfriarlas luego en condiciones convenientes. De esta forma se modifica la estructura microscópica de los aceros se realizan transformaciones físicas, e incluso algunas veces hay cambios en la composición del metal. En **TenarisTubocaribe** los tratamientos más utilizados son: temple, revenido, normalizado y alivio de tensiones. A continuación se presentan detalles de estos tratamientos.

El temple tiene por objeto endurecer y aumentar la resistencia del material consiste en calentar el acero a una temperatura ligeramente mas elevada a la crítica superior ( $Ac_3$ ) entre 104-140°F (40-60°C) aproximadamente y se enfría rápidamente en un medio conveniente, en este caso agua. El revenido consiste en calentar el acero a una temperatura por debajo de la crítica inferior  $Ac_1$ , enfriándolo luego al aire o en agua según su composición. El objetivo es modificar la estructura obtenida en el temple en los aceros con el fin de aumentar su tenacidad.

El normalizado consiste en un calentamiento a una temperatura ligeramente mas elevada a la crítica superior  $Ac_3$ , (158 °F o 70°C por encima aprox.) seguido de un enfriamiento al aire tranquilo, con esto el acero obtiene un tamaño de grano uniforme y elimina tensiones internas, quedando las piezas en condiciones “normales”. Se utiliza cuando el acero ha pasado por procesos de forja, deformado en frío, sobrecalentamiento, etc.

Por ultimo el alivio de tensiones consiste en calentar un acero a una temperatura en un rango entre 800 a 1200 °F (425 – 650°C) aproximadamente, esto con el objetivo de eliminar los esfuerzos residuales, sin modificar su estructura.

### 2.2 FACTORES O VARIABLES MÁS IMPORTANTES QUE INTERVIENEN EN EL TRATAMIENTO TÉRMICO DE LOS ACEROS

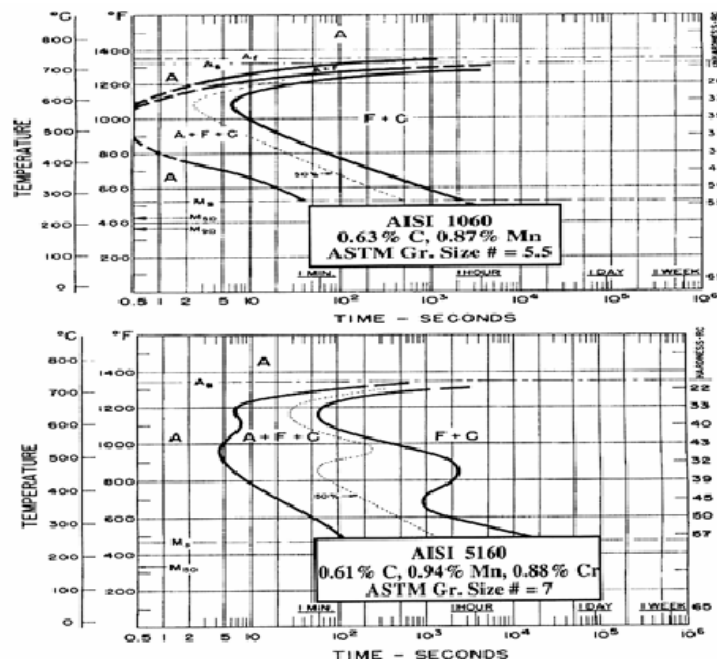
Entre las variables que influyen en el proceso de tratamientos térmicos de los aceros están: el calentamiento de las partes, la composición química, el tamaño de grano, el medio de enfriamiento y el espesor de la pieza.

**2.2.1 Calentamiento de las partes:** el calentamiento en los aceros debe ser lo más lento posible, en especial cuando se calientan piezas de grandes espesores, esto con el fin que exista poca diferencia de temperatura entre el interior y el exterior de la pieza, así como evitar que el choque térmico genere grietas. En aceros hipoeutectoides como los utilizados en los procesos de la empresa, para que ocurra transformación de fase es preciso

que sobrepase la línea Ac3 la cual depende de la composición química, debe existir un tiempo de permanencia necesario para que toda la masa de acero esté formada por cristales de austenita, y la disolución de ferrita sea completa, así mismo no debe permanecer demasiado tiempo y mucho menos a elevada temperatura, para evitar un crecimiento excesivo de grano y pérdida de propiedades. Los tubos aquí manufacturados poseen diferentes espesores, así como una masa distinta para cada especificación, por este motivo las variables como el tiempo de permanencia (que es inherente a la velocidad de producción) y las temperaturas de calentamiento en las zonas del horno se austenización son diferentes para cada tipo de tubo.

**2.2.2 Composición química:** Como anteriormente se dijo la composición química influye en la temperatura de austenización Ac3 y las propiedades del acero, por lo tanto determina el calentamiento. Por otra parte los diagramas de enfriamiento isotérmicos y continuos en los aceros se ven afectados por la composición química. En caso de tratamientos como el temple, la velocidad crítica de temple no debe cortar la nariz de la curva IT o CT<sup>1</sup> para que el temple sea adecuado. Ciertos elementos aleantes modifican esta curvatura y por ende la velocidad crítica, algunos de estos son: el manganeso, cromo molibdeno, silicio, níquel entre otros (Ver figura 1).

**Figura 1. Comparación entre diagramas de un acero 1086 y uno 5460**



Fuente: Jhon D. Verhoeven, Metallurgy of Steel for Bladesmiths & Others who Heat Treat and Forge Steel

<sup>1</sup> IT: Isothermal transformation  
CT: Continuous transformation

%C	%Si	%Mn	%Cr	%Ni	%Mo	%P	%S	%CE
0,26	0,13	1,36	0,02	0,01	0,00	0,013	0,004	0.49
0,26	0,14	1.23	0,02	0,01	0.18	0,020	0,006	0.51

**Tabla 1. Composición Química de los Aceros. Fuente: catalogo del proveedor (CST**

Aunque la información grafica se encuentra disponible en el metal handbook de la ASM, puede presentarse en forma digital como es el caso del software **SteCal. 3.0** de ASM, el cual nos permite conocer la temperatura Ac3, diagramas IT y CT, curvas de templabilidad y revenido en un acero; Toda esta información con solo introducir la composición química y el tamaño de grano.

**2.2.3 Tamaño de Grano:** el grano es uno de los factores más importantes en el temple de aceros, determina muchas propiedades y características de las piezas como la tenacidad, templabilidad, maquinabilidad, posibilidad de deformaciones y surgimiento de grietas en el temple etc. En tratamientos térmicos Así como la composición química tiene influencia significativa sobre los diagramas de tiempo – transformación, y sobre la velocidad crítica de temple, de igual forma el tamaño de grano influye, con un grano grueso las velocidades son menores que con un grano fino.

Existen muchos métodos para determinar tamaño de grano, en TenarisTubocaribe se mide tamaño de grano de las coladas antes de ser procesadas, a través de un software procesador de imágenes llamado MSQ, el grano promedio es #11 según denominación ASTM<sup>1</sup>. Sin embargo la medición del tamaño de grano austenítico después de temple no se ha implementado hasta el momento, teniendo en cuenta que para definir granos en una estructura martensítica es necesario un ataque con una mezcla de 1g de ácido pícrico y 5 ml de HCl en 95 ml de alcohol etílico, como así lo indica la norma, ya que el nital que comúnmente se utiliza no permite revelar los bordes de grano compuestos por ferrita proeutectoide precipitada<sup>2</sup>.

**2.2.4 Medio de Enfriamiento:** es uno de los factores que deciden la velocidad de enfriamiento, y por consiguiente las propiedades y estructura del acero. Como ya se ha mencionado el control de la velocidad crítica de temple nos determina la efectividad del temple.

La velocidad que tiene un medio para enfriar una pieza desde austenización se denomina severidad. Debido a que en la empresa el proceso es continuo la severidad depende de la velocidad con la que pasa la tubería a través de

<sup>1</sup> Association Standard Testing Materials

<sup>2</sup> ASTM E. 112 Standard test methods for determining average grain size, 2000

una ducha en forma de anillo el cual expulsa por unos orificios (de ¼” aproximadamente) chorros de agua a alta velocidad y presión que convergen en el centro del mismo. Este mecanismo es conocido como “spray quench”.

Existen dos métodos para determinar la severidad de un medio, estos son: Método de Grossman que consiste en la observación del incremento del centro no endurecido en el redondo de una barra con el uso de temple cada vez menos severos. La técnica de “Rushman” es una variación de la técnica de “Grossman”, esta consiste en dos barras de la misma composición, y mismo endurecimiento y diferentes diámetros, estas son templadas en el medio de interés, y se compara la distancia al diámetro no endurecido con la curva jominy y se ubica el valor de H en tablas<sup>1</sup>.

De igual forma en el normalizado el medio de enfriamiento es muy importante, debe ser lo suficientemente lento y su velocidad de enfriamiento debe cortar la curva de transformación perlítica, para tener una estructura normalizada. El medio más apropiado para estas condiciones es al aire tranquilo

**2.2.5 Espesor de la pieza:** En el calentamiento de los aceros se hizo referencia al espesor de las piezas, esto para sostener el material a cierta temperatura. En el temple si se estudia el enfriamiento de una pieza de acero la capa exterior que esta en contacto con el líquido es la que se enfría mas rápidamente, la capa siguiente no se enfría con tanta rapidez, porque no esta directamente en contacto con el liquido, una tercera capa es todavía mas difícil de enfriar. Se comprende que en los perfiles delgados la velocidad de enfriamiento es mayor que en los gruesos, por lo tanto la masa y las dimensiones influyen en el temple de los aceros.

## **2.3 Incidencia de los Gases de Combustión en los Tratamientos Térmicos**

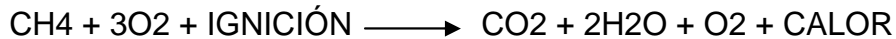
Todas las unidades de calentamiento con que cuenta la planta funcionan con gas natural, es por esta razón que el estudio de la combustión juega un papel importante dentro de este trabajo.

**2.3.1 Combustión:** Reacción química por medio de la cual una sustancia se combina con el oxígeno. Esta reacción química va acompañada de desprendimiento de calor que, unas veces puede ser extremadamente lento, como en el caso de la oxidación del hierro, donde no tenemos percepción del aumento de la temperatura, o extremadamente rápido, como en el caso de la detonación. La combustión se puede definir como la liberación controlada de calor de una reacción química entre un combustible en este caso gas natural y un agente oxidante como el aire.

---

<sup>1</sup>TOTTEN George Y N.A. Clinton, Handbook of Quenchants and Quenching Technology. ASM International, 1993. Spray Quench

Por lo general aquí se trabaja los hornos de austenización y revenido con un exceso de aire impuesto desde la calibración de los quemadores, aunque no se tiene un dato exacto del exceso en masa de aire la reacción química principal esta dada por:

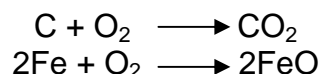


Sin embargo los mecanismos de combustión no son 100% eficientes, por lo tanto hay formación de otros productos cuando hay exceso de gas en la muestra:

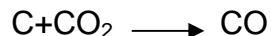


**2.3.2 Reacciones de Los Gases de Combustión En Atmósferas de Hornos En Tratamientos Térmicos:** El control de las atmósferas en hornos se ha vuelto cada vez más crítico para el éxito en los tratamientos térmicos, debido a las exigencias de especificaciones dimensionales más precisas en las piezas. La prevención de superficies oxidadas o calamina cuando los metales son expuestos a altas temperaturas y el control de los residuos son una tarea importante de la atmósfera del horno. Los productos de combustión son los principales componentes de estas atmósferas, esto incluye el aire como el componente principal:

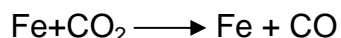
- Oxígeno: reacciona con muchos metales especialmente Fe para formar óxidos, además el oxígeno reacciona con el carbono disuelto en el acero bajando el contenido de carbono en la superficie:

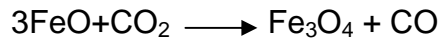


- Dióxido de carbono y monóxido de carbono: estos dos gases son muy importantes en atmósferas usadas en el procesamiento de aceros. A temperaturas de austenización el dióxido de carbono reacciona con el carbono en la superficie del acero para producir monóxido de carbono:



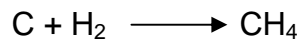
En el cual el C representa el carbono disuelto en la austenita. Esta reacción continua hasta cuando no este disponible el dióxido de carbono o hasta que la superficie del acero este completamente libre de carbono-en cualquier punto si este es un continuo suministro, hierro y oxido de hierro pueden ser oxidado mediante la siguiente reacción:



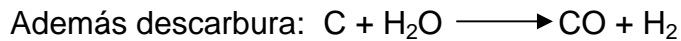
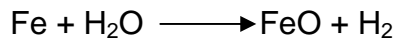


El ferroso es estable por encima de 1030 °F, considerando que la magnetita es formada por debajo de 1030 °F las anteriores reacciones proceden hasta que el equilibrio es establecido. Donde la velocidad de la reacción depende del tiempo, temperatura y presión del sistema.

- Hidrogeno: reduce el hierro de oxido de hierro a hierro puro, es decir no es perjudicial para el proceso; sin embargo bajo ciertas condiciones el hidrogeno puede actuar como descarburante del acero, este fenómeno es significativo a temperaturas superiores de 1300 °F. La reacción de descarburación es la siguiente:

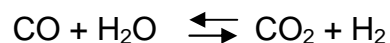


- Vapor de agua: es un oxidante fuerte, reacciona con el hierro de esta manera:



Otros gases como el CO no tiene una influencia negativa en los aceros a alta temperatura, por el contrario evitan la oxidación y carbura el acero en la superficie.

Cuando existe una mezcla de gases de CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O y H<sub>2</sub> a una temperatura de 830°C se tiene una condición de equilibrio, es decir que el potencial de oxidación y de reducción es igual.



Esta reacción posee una constante de equilibrio K mediante la cual podemos conocer estimar la descarburación u oxidación a diferentes temperaturas.

### 2.3 CONTROL ESTADÍSTICO DE LA CALIDAD EN LOS PROCESOS

El control estadístico de la calidad puede definirse en un sentido amplio como aquellos métodos estadísticos que se usan para medir, controlar y mejorar la calidad de los procesos. Es común considerar el control estadístico de procesos como un conjunto de herramientas para resolver problemas que pueden aplicarse a cualquier proceso. Alguna de estas herramientas que se

emplean en este trabajo son: los diagramas de dispersión y las cartas de control, algunos detalles se presentan a continuación<sup>1</sup>.

**2.4.1 Diagrama de Dispersión:** Para poder controlar mejor un proceso y por ende poder mejorarlo, es necesario conocer la interrelación entre las variables involucradas. Estos diagramas muestran la existencia o no de relación entre dichas variables.

La correlación entre dos variables puede ser positiva, si las variables se comportan en forma similar (crece una y crece la otra) o negativa, si las variables se comportan en forma opuesta (aumenta una, disminuye la otra). Los diagramas de dispersión pueden ser:

De Correlación Positiva: Se caracterizan porque al aumentar el valor de una variable aumenta el de la otra. Un ejemplo de correlación directa en nuestro proceso son % de carbono y la dureza en los aceros.

De Correlación Negativa: Sucede justamente lo contrario, es decir, cuando una variable aumenta, la otra disminuye. Un ejemplo es el incremento que se le da a la temperatura de revenido y la disminución de la dureza del acero.

De Correlación No Lineal: No hay relación de dependencia entre las dos variables

**2.4.2 Cartas De Control:** Las gráficas de control son herramientas estadísticas más complejas que permiten obtener un conocimiento mejor del comportamiento de un proceso a través del tiempo, ya que en ellas se transcriben tanto la tendencia central del proceso como la amplitud de su variación.

Las corridas permiten evaluar el comportamiento del proceso a través del tiempo, medir la amplitud de su dispersión y observar su dirección y los cambios que experimenta. Las cartas se elaboran utilizando un sistema de coordenadas, cuyo eje horizontal indica el tiempo en que quedan enmarcados los datos, mientras que el eje vertical sirve como escala para transcribir la medición efectuada. Los puntos de la medición se unen mediante líneas rectas.

Ejemplos que representan anomalías en el proceso mediante las gráficas son:

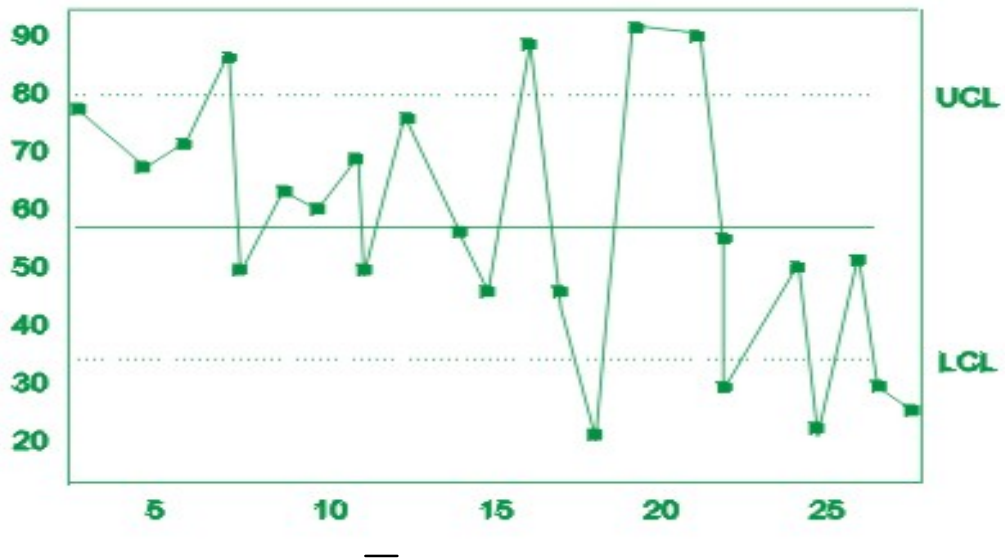
- Puntos fuera de los límites
  - Siete puntos seguidos por arriba o por abajo de la línea central
- La aparición de 6 o 7 puntos consecutivos ascendentes o descendentes, que manifiestan tendencias

---

<sup>1</sup>MONTGOMERY Douglas C. y GEORGE C. Runger, Probabilidad y Estadística Aplicada a la Ingeniería. Editorial Limusa Wiley, Mexico, 2004, "Control de Procesos"

- La adhesión de los puntos a los límites de control.

Fig. 2. Ejemplo de carta de control X en un proceso no controlado. Se observan puntos por fuera de los límites de control.



Las cartas de control pueden clasificarse en dos tipos generales: carta de *control de variable* y *cartas de control de atributos*.

En el caso de la planta las cartas de control de variables son las apropiadas para aplicar en este trabajo.

### **3. METODOLOGÍA:**

#### **3.1 RECONOCIMIENTO DEL SITIO DE TRABAJO E IDENTIFICACIÓN DE LAS FALLAS EN LA OPERACIÓN:**

- Al comienzo de la práctica se estudio de forma detallada las diferentes etapas de la operación continua de tratamientos térmicos para tubería en la línea 2 de TenarisTubocaribe, así como los equipos y herramientas que ayudan a llevar a cabo este proceso.
- Posteriormente se identificaron y describieron detalladamente las fallas detectadas durante el periodo de observación, se evaluaron sus efectos sobre el proceso y se hizo un diagnostico del estado en que opera la planta.

#### **3.2 PROPUESTA DE MEJORAS, IMPLEMENTACIÓN Y SEGUIMIENTO DE LAS MISMAS:**

- Elaboración y Desarrollo de las propuestas: una vez conocidas las observaciones y anomalías del proceso se elaboraron las diferentes propuestas de mejoramiento, las cuales fueron expuestas de forma clara y concisa. De igual forma se verificó si existe el medio apropiado para llevar a cabo estos propósitos (materiales, reactivos, equipos, etc.) y de acuerdo al ensayo a realizar se establece el procedimiento a seguir.
- Toma de pruebas: la toma de pruebas se desarrollaran tanto in situ como en laboratorio se tomará registro de los datos lo más representativo posible, y se llevó a cabo según la especificación de tubería. Dependiendo de la prueba se determinó la frecuencia de muestreo.
- Análisis y evaluación de los resultados: En este ítem se realizó un análisis detallado con los resultados encontrados y la información recopilada.
- Propuesta de implementación: en esta instancia se optó por establecer los parámetros en que se debe regir las medidas pertinentes, y así ejercer control sobre las mismas. Esto con base en las conclusiones de los pasos anteriores.

#### **3.3 ESTUDIO DE LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN:**

- A través de una recopilación de información de los procesos tratamientos térmicos observados durante la práctica, se diseñará la hoja técnica de producción para las especificaciones de tuberías más procesadas en la planta, es decir mediante un análisis del comportamiento de las variables se recomendaron las condiciones en que deben operar los equipos

cuando se vaya a llevar a cabo el procesamiento de un determinado tipo de tubería.

### **3.4 PROGRAMA DE CAPACITACIÓN:**

En ésta parte de la práctica se establecieron las actividades educativas, llevadas a cabo durante el tiempo de permanencia en la empresa, las cuales consisten en lo siguiente:

- Charlas de tratamientos térmicos: 1 hora diaria durante tres semanas, para los 3 turnos correspondientes.
- Curso de metalografía: 1 hora diaria durante tres semanas, para los 3 turnos correspondientes.
- Consultas individuales: no requiere horario
- Prueba de valoración del aprendizaje: 1 hora para cada turno

### **3.5 INFORME FINAL:**

Se elaboró el informe final presentando de manera resumida las actividades realizadas en la práctica, indicándose los logros obtenidos y beneficios reportados a la empresa.

## 4. PLANTA DE TRATAMIENTOS TERMICOS LTT2

### 4.1 GENERALIDADES DE LOS PROCESOS DE PRODUCCIÓN:

Las cinco áreas fundamentales que componen la producción de tubería OCTG en TenarisTubocaribe son: formado, recalcado, tratamientos térmicos, inspección y roscado.

**4.1.1 Área de Formado:** esta sección esta compuesta por formadoras\* longitudinales y un sistema de soldadura por electrofusión\*.

Su funcionamiento consiste en cortar, formar y soldar la materia prima (bobinas de acero), según la especificación del tubo. En otras palabras se encarga de darle forma y dimensiones al tubo.

**4.1.2 Área de Recalcado:** proceso de forja que consiste en hacer pasar por un horno, solo la punta del tubo hasta una temperatura de 1200°C (2200°F), para que luego unas mordazas y un juego de matrices dispuestas en un bloque móvil y otro fijo sujeten el tubo hasta que un mandril golpea la punta del tubo dándole una forma acampanada. Esta operación se realiza con el objetivo de aumentar el espesor de la punta para que así al roscarse no se disminuya su resistencia. Este proceso solo se realiza a la tubería llamada “tubing”.

**4.1.3 Área de Tratamiento térmico:** este proceso se encarga de darle las propiedades finales al tubo, según el grado que se desee. Los tratamientos más comunes que realizados son: normalizado, temple en agua y revenido. Actualmente TenarisTubocaribe cuenta con dos líneas de tratamientos térmicos, ambas poseen un horno de austenización y otro de revenido.

**4.1.4 Área de Inspección:** Aunque no es considerada un área de producción si hace parte fundamental durante el flujo de tubería a través de los diferentes procesos. Inspección cuenta con una amplia variedad de equipos para ensayos no destructivos, dentro de los cuales están: partículas magnéticas, ultrasonido y pruebas hidrostáticas, esto tiene por objeto detectar cualquier defecto en el producto, así como asegurar la calidad del mismo.

**4.1.5 Área de Roscado:** Tenaristubocaribe cuenta con un complejo de roscadoras de gran precisión, dirigidas automáticamente mediante tecnología de tornos CNC<sup>1</sup> que se encarga de roscar con gran precisión la punta del tubo. Además poseen pastillas en carburo de tungsteno que permite no solo incrementar la calidad en los productos, sino también mayor productividad.

---

\* La soldadura por electrofusión consiste en aplicar presión y corriente de alta frecuencia hasta fundir los bordes de la lamina, realizándose así la soldadura

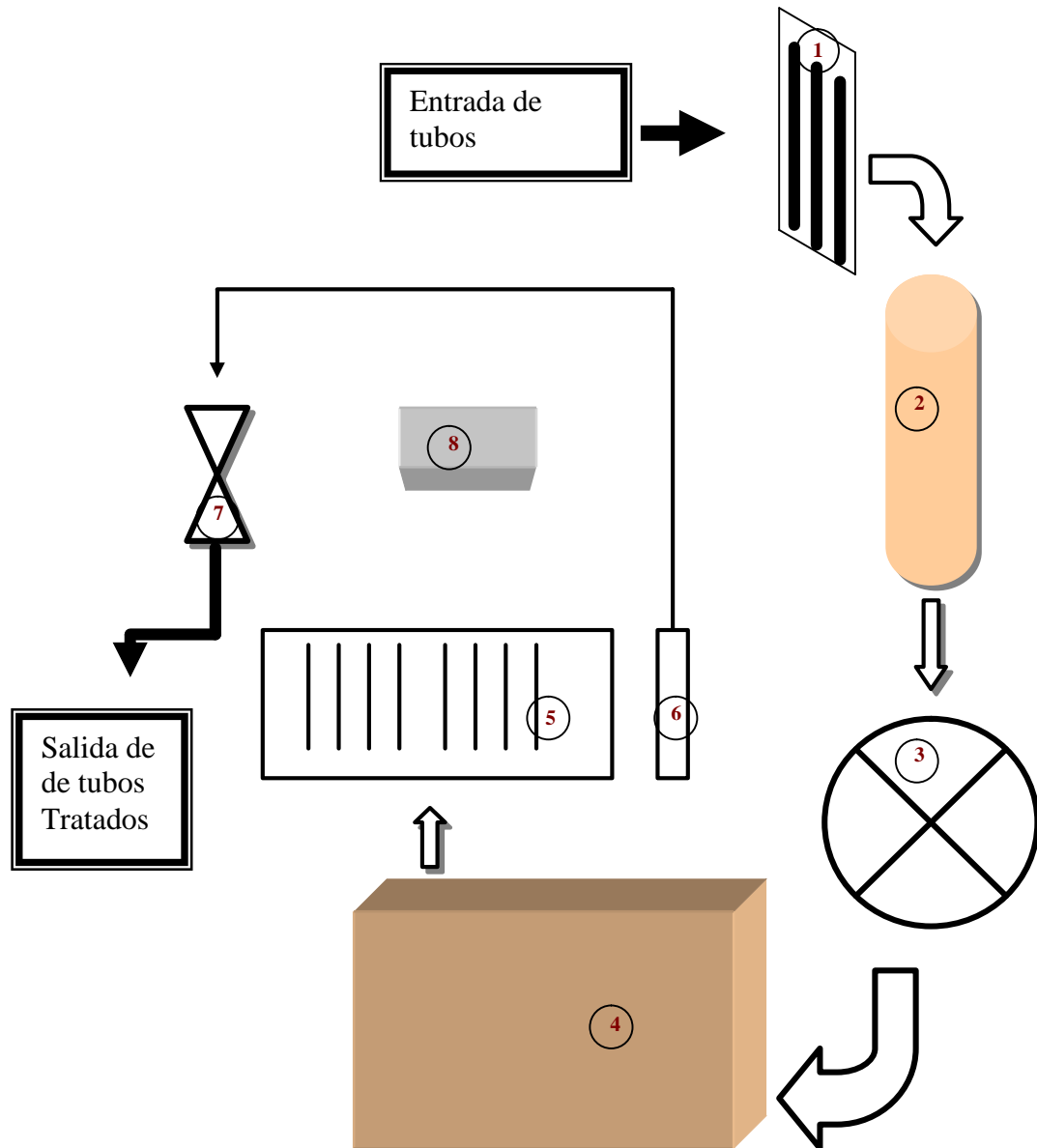
<sup>1</sup> Computer Number Controlled

## **4.2 Descripción de la planta de tratamientos térmicos LTT2 TenarisTubocaribe:**

El sistema de flujo de tubería a través de las diferentes dependencias, es dado por una relación cliente - proveedor. Es decir que así como se exige un producto con todos los requerimientos de calidad necesarios, de igual forma debemos entregar el mismo. La planta TT2 es alimentada con tubería provenientes de las áreas de formado cuando se procesa “casing” y recalcado cuando es “tubing”; además algunas veces es recibido producto proveniente de “line pipe”. Esta tubería es debidamente codificada y clasificada según su colada y especificación antes de ingresar al proceso.

FIGURA 3. DIAGRAMA DE FLUJO DE LA LÍNEA DE TRATAMIENTOS TERMICOS LTT2

TenarisTubocaribe



1. Unidad de precalentamiento
2. Horno de Austenización (Barril)
3. Sistema de Enfriamiento (Anillo de Quench)
4. Horno de Revenido (Horno cajón)
5. Mesa de enfriamiento
6. Mesa de Muestreo
7. Enderezador
8. Centro de Control

La planta de tratamientos térmicos consta básicamente de un horno de austenización, un sistema de enfriamiento drástico (temple) y un horno para revenido, además de una unidad adicional para precalentar el acero antes de entrar al horno de austenización. Casi toda la planta es operada automáticamente desde una consola de mando donde se pueden apreciar todas las variables que intervienen dentro del proceso, en la figura 3 se muestra un esquema completo de la planta.

**4.2.2 Zona de Precalentamiento (alivio de tensiones):** La primera etapa para llevar a cabo tratamientos térmicos de tubería formada (deformada en frío) es un alivio de tensiones o precalentamiento. Este sistema se encuentra compuesto por cuatro flautas agujeradas en la parte superior, con un diámetro de 10 cm, y 12 m de largo aproximadamente. Estas se encuentran alimentadas directamente desde la línea principal de gas pasando solo por una válvula reguladora que disminuye la presión hasta 40 psi lográndose una combustión al aire libre (ver figura 4). Como se ha dicho anteriormente este sistema tiene como función principal calentar el acero a una temperatura de aproximadamente 600<sup>o</sup>f (600<sup>o</sup>f) con el objeto de eliminar los esfuerzos residuales para así evitar torceduras en los tubos dentro del horno barril. Actualmente en la planta TT2 no existe controles sobre este sistema, por lo que es difícil estimar que tanto puede influir sobre el proceso.

**Figura 4. Fotografía del sistema de precalentamiento. Este sistema se alimenta directamente de la línea de gas, con exceso en el consumo de combustible**



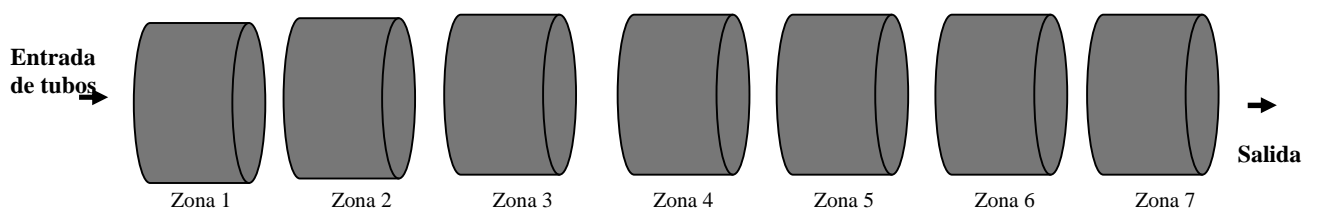
**4.2.2 Zona de Austenización (Horno Barril):** Para llevar a cabo el proceso de austenización se utiliza un horno barril, como su nombre lo indica se encuentra compuesto por 23 módulos cilíndricos de 60 cm de diámetro y 2 m de largo, aproximadamente, recubiertos internamente con un refractario a base de arcillas y clinker, cada modulo posee una chimenea de hogar abierto

y 6 quemadores a gas natural de alta potencia que se encargan de transmitir calor a las piezas mediante transferencia por convección por el flujo de gases calientes desprendidos por la combustión, radiación por el calentamiento de las paredes del refractario y conducción por la conductividad térmica del acero desde su superficie hacia el centro de la pieza.

En el interior del horno se encuentra un sistema de rodamiento compuestos por rodillos debidamente refrigerados a través del los cuales son transportados los tubos, en total existen 42 rodillos accionados por motores, cuya velocidad es controlada automáticamente por dos drivers<sup>1</sup> desde una consola de mando a través de un sistema de autómatas programables (PLC)<sup>2</sup>.

También la temperatura dentro del horno es controlada automáticamente. Para esto el horno se ha dividido en siete zonas cada una de ellas posee una termocupla, la cual se encuentra interconectada con controladores inteligentes los cuales regulan la cantidad de aire que debe llevar la mezcla gas/aire en la combustión del horno, esto permite un aumento o descenso de temperaturas en las diferentes zonas según como el operador coloque las temperaturas de set point<sup>3</sup>, y de esta forma poder controlar el calentamiento de las piezas a su paso por el horno. Al igual que los drivers las zonas son operadas desde la consola de mando (Ver Fig. 5).

**Figura 5. Esquema del horno barril y las zonas que componen**



<sup>1</sup> Controlador programable que regula la velocidad del motor

<sup>2</sup> Programming logic controlled

<sup>3</sup> Temperaturas de set point: son las temperaturas que se desea tenga cada zona, mas no la temperatura real de la zona, aunque la diferencia es mínima

Figura 6. Imagen del horno barril, cada chimenea representa una zona



**4.2.3 Sistema de Enfriamiento (Anillo de temple):** Consiste en un cilindro hueco de 30,48 cm de diámetro interno con una serie de orificios (spreas) en su parte interna los cuales expulsan chorros de agua a alta presión, que se encargan de enfriar el tubo rápidamente. El anillo de temple es alimentado con agua desde un depósito de esta a través de una motobomba de alta potencia.

Actualmente TenarisTubocaribe cuenta con dos tipos de duchas de enfriamiento para la producción, para tubería de 2 3/8" hasta tubería de 3 1/5" de diámetro y otro para tubería de 4 1/2 en adelante, las especificaciones técnicas se encuentran mostradas en la tabla N° 2.

Tabla 2. Especificaciones de los anillos de temple utilizados

LINEA DE TRATAMIENTOS TERMICOS TT 2					
ESPECIFICACION DE LOS QUENCH-ANILLO PARA LOS DIFERENTES DIAMETROS					
DIAMETRO TUBO	TIPO DE QUENCH	ANGULO	LONGITUD	DIAMETRO AGUJERO	No. AGUJEROS
2 3/8	1	45 Grados	14.5.pulgadas	0.156"	1320
2 7/8	1	45 Grados	14.5.pulgadas	0.156"	1320
3 1/2	1	45 Grados	14.5.pulgadas	0.156"	1320
4 1/2	2	45 Grados	23.pulgadas	0.187"	1035
5 1/2	2	45 Grados	23.pulgadas	0.187"	1035
7" * 0.317"	2	45 Grados	23.pulgadas	0.187"	1035

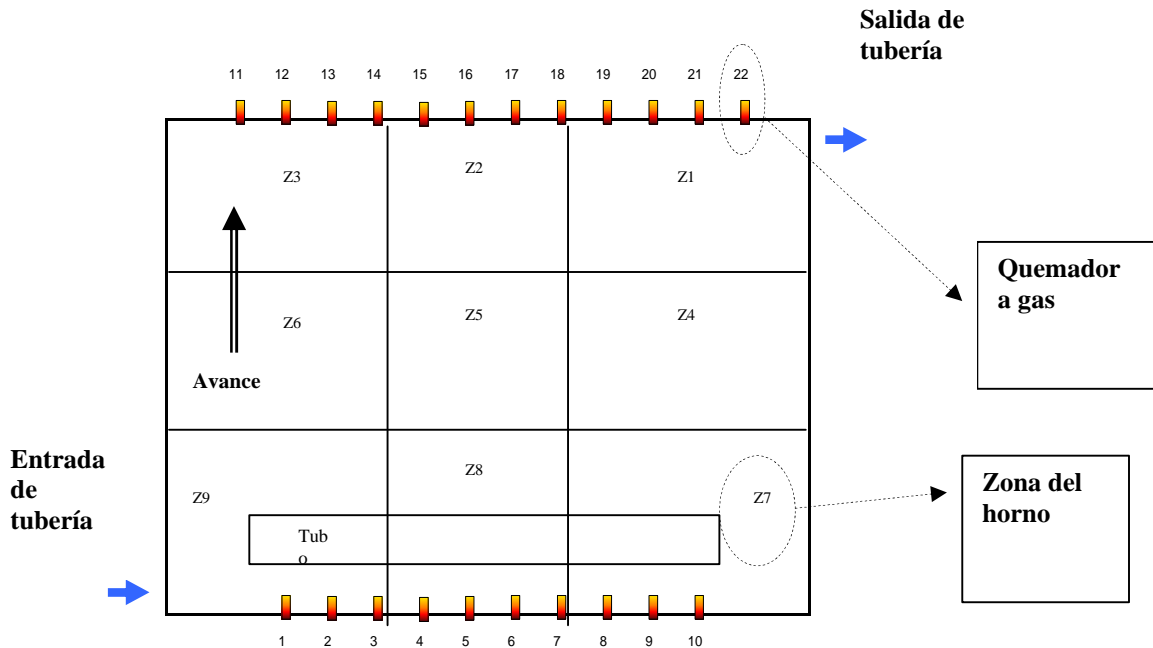
El agua después de templada se hace pasar por un sistema de enfriamiento antes de pasar al depósito para ser recirculada, de esta forma se reduce el consumo de agua dentro del proceso. El anillo de quench se encuentra ubicado justamente delante del horno barril, al igual que el horno posee un drive de quench que se ajusta de acuerdo con la velocidad de la línea<sup>1</sup>. La presión y el flujo de agua se le hace seguimiento a través de un manómetro y un flujómetro electrónico que envían señal hasta la consola de mando, estas variables se ajustan manualmente a través de la llave de paso a la salida de la bomba.

**4.2.4 Zona de Revenido (Horno cajón):** como su nombre lo indica tiene forma de cajón, sus dimensiones son 14.45 x 11.77 mts aproximadamente y 1 mts de alto, esta compuesto por 22 quemadores a gas natural ubicados a lo largo del horno 10 en la entrada y 12 a la salida, recubierto internamente con refractario de fibra de vidrio, a excepción del piso, el cual esta compuesto por arena (ver Fig. 7). Al igual que el horno de barril la transmisión de calor se da por radiación, convección y conducción, aunque prevalece la transferencia por convección, posee cuatro chimeneas cuya salida de humos esta regulada por unos dumper<sup>2</sup> ajustables manualmente.

<sup>1</sup> Tubos por hora producidos

<sup>2</sup> Platina ajustable que regula la salida de humos por la chimenea

Figura 7. Vista superior del horno cajón de LTT2 y distribución de las zonas.



El horno cajón es dividido en nueve zonas las cuales son monitoreadas a través de la consola de mando, ésta información es transmitida por unas termocuplas que hacen las veces de transductores y envían la información al PLC. El horno es regulado por medio de servomotores ubicados en las líneas de gas de las zonas Z9, Z8 Y Z7; las cuales son controladas, estas zonas equivalen a las partes sur, centro y norte del tubo.

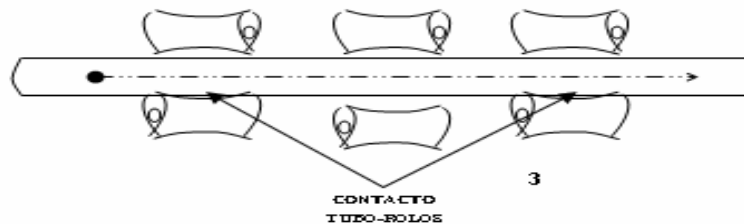
El flujo de tubería a través del horno se da por un mecanismo de grandes cadenas transportadoras y engranajes accionado por un motoreductor de alta potencia. También el movimiento de las cadenas es controlado por temporizadores desde la consola principal.

**4.2.6 Elementos De Control Externos:** Actualmente la planta cuenta con dos pirómetros ópticos fijos de alta precisión ubicados a la salida de los hornos de austenización y revenido que envían información de la temperatura del tubo cada segundo hasta un graficador que se encuentra en la consola de operación. Estos se encuentran protegidos y refrigerados debidamente.

**4.2.7 Elementos De Operación:** antes de enviar tubería al área de inspección, ésta pasa por una última etapa de enderezado, como su nombre lo indica se encarga de darle la rectitud final al tubo. La línea 2 de

tratamientos térmicos cuenta con un enderezador **CAUFFIELD**, un sistema de seis rodillos dispuestos tres arriba y abajo, los cuales aplican esfuerzos de flexión y torsión sobre el tubo cuando este es transportado entre ellos (ver Fig. 8).

**Fig 8 Disposición de los rodillos en el enderezador CAUFFIELD**



#### **4.3 VARIABLES QUE INTERVIENEN EN LA OPERACIÓN:**

Son muchas las variables que intervienen en la operación, entre las más importantes se encuentran: temperatura de austenización, tamaño de grano, composición química, velocidad de enfriamiento, temperatura de revenido, tiempo de residencia y control de atmósferas.

**4.3.1 Temperatura De Austenización:** El calentamiento del tubo dentro del horno barril depende de dos factores importantes dentro de la operación: la velocidad de la línea regulada por los drivers y las temperaturas de set point de cada zona regulada por los servomotores. De esta manera se busca que en algunos casos el tubo salga del horno con una temperatura de 1720 °F (938 °C), es decir 250 °F (120 °C) por encima de la temperatura  $A_{c3}$ , la cual es calculada a través de un software de simulación para tratamientos térmicos, llamado Stecal 3.0.

En la actualidad se desconoce la curva de calentamiento a través del tiempo, y en consecuencia el tiempo de sostenimiento por encima de  $A_{c3}$ , que determina la disolución completa de la fase perlítica y ferrítica.

**4.3.2 Tamaño De Grano:** Actualmente en TenarisTubocaribe se lleva un escaso control del tamaño de grano austenítico después de templada la tubería. Por otra parte al ingresar la materia prima este control es llevado por las normas internas de calidad de la empresa.

**4.3.3 Composición Química:** La composición química de la tubería procesada es reportada por los proveedores en esta se presentan variaciones que podrían afectar significativamente su comportamiento en el tratamiento térmico.

Considerando que carbono equivalente es una medida comparativa entre los diversos aceros, que permite relacionar la influencia que tienen algunos elementos de la aleación dentro del proceso. De esta forma son procesadas las coladas de acero con porcentaje de carbono equivalente similares, los principales componentes del acero que influyen en el tratamiento térmico son: carbono, silicio, Manganeso y molibdeno.

En la empresa se emplean dos tipos de aceros: un acero bajo carbono al manganeso (Generalmente para “casing”) y otro similar, pero con pequeñas cantidades de molibdeno (Generalmente para “tubing”)

**4.3.4 Velocidad De Enfriamiento:** Las variables más importantes en el enfriamiento de las piezas en la planta, están dadas por el flujo o caudal que pasa a través del quench, presión impuesta por el flujo y la velocidad de paso del tubo por el anillo de temple que esta regulada por el “drive” del “quench”, y este a su vez por los drivers del horno barril. Hasta el momento no se tiene información detallada de la velocidad de enfriamiento o de la severidad de temple, pero la severidad se estima en  $H=4^1$ .

La templabilidad se controla mediante la toma de dureza una vez el tubo sale del sistema de quench. Se tiene en cuenta que la dureza deba tener un valor mínimo de 35 HRC, con esto se garantiza un 90% de transformación martensítica.

**4.3.5 Temperatura De Revenido:** El revenido es la última etapa del proceso, ésta determina las propiedades finales de la pieza, en términos de la norma API el grado del tubo. Al igual que el horno barril, para alcanzar la temperatura de revenido ésta depende de las temperaturas de las zonas, en este caso las zonas 7, 8 y 9.

**4.3.6 Tiempo De Residencia:** Esta variable se encuentra muy ligada a la anterior, teniendo en cuenta que el horno alcanza la temperatura de revenido mucho antes de salir del horno. Siendo el revenido un mecanismo de difusión el tiempo en que se encuentre la pieza a cierta temperatura influye en las propiedades finales del material, por esta razón los ciclos del horno se deben programar para que el tubo quede cierto tiempo dentro del horno a una determinada temperatura.

**4.3.7 Atmósferas De Los Hornos:** Aunque se le ha dado poca importancia como variable de proceso en tratamientos térmicos, ésta tiene un efecto considerable dentro del proceso especialmente durante el templado del acero, teniendo en cuenta el calentamiento de las piezas y las consideraciones dimensionales de la tubería.

---

<sup>1</sup> \* APRAIZ José, Tratamientos térmicos de los aceros. Ediciones Dossat. Bilbao. España, 2000. “Tabla de severidad de los medios de temple”.

#### 4.4 EVALUACION Y DIGNOSTICO DEL PROCESO:

Después de hacer el reconocimiento de la planta y el estudio de sus procesos, se presentan a continuación los aspectos mas importantes encontrados en la planta:

- **ESTADO DE LA PLANTA:** La planta física de tratamientos térmicos línea 2 se encuentra en perfecto estado, cuenta con amplio espacio de trabajo que permite al trabajador comodidad en la realización de sus labores, esto se refleja en la disminución de los riesgos de accidentalidad, los cuales son inferiores a otras plantas de la empresa. Por otra parte sus hornos y otros elementos aunque no son modernos, poseen equipos de automatización que responden eficientemente ante cualquier circunstancia. Esto permite procesar un amplio rango de diámetros de tubería de producción API.

- **CONTROL DE PROCESO:** Una de las grandes deficiencias de LTT2 consiste en la puesta a punto al cambiar de producción de un tipo de producto a otro. No existe una secuencia operativa en la fabricación de tubería, por esta razón se deben buscar las mejores condiciones cada vez que se tenga que cambiar de especificación, generando largas paradas y disminuyendo la productividad. De igual forma al no haber una secuencia aumenta la variabilidad en el proceso, y por consecuencia en los resultados, causando inestabilidad. Por otra parte el seguimiento del producto es fácil, ya que la tubería es debidamente clasificada y codificada a la entrada y salida de la planta.

- **EFICIENCIA DE LOS HORNOS:** EL horno barril, el mas potente de todos tiene la capacidad de proporcionar 20 ton / hora, del cual solo el 40% de esta energía es consumida por calentamiento del acero. Es decir de las chimeneas se emiten grandes cantidades de gases a aproximadamente 1200 °F (648,89 °C) que se envían a la atmósfera, lo que representa no solo un desperdicio de energía considerable, sino también un impacto negativo en el ambiente. De igual forma el horno cajón, aunque es mas eficiente y la emisión de gases es menor, estos son enviados a la atmósfera a aproximadamente 800 °F (426,67 °C).

Uno de los equipos que requieren mas atención en cuanto al consumo de combustible es el precalentamiento, ya que se considera una unidad rustica, por cuanto es necesario eliminar o mejorarla haciéndola mas eficiente.

- **VARIABLES DE CONTROL:** Como se ha dicho anteriormente existe muy poco conocimiento acerca de algunas variables fundamentales en cuanto tratamientos térmicos se refiere, y por supuesto no se tiene control sobre ellas. Algunas de estas variables son el tamaño de grano después de

templado y normalizado el acero, tiempo de permanencia sobre la temperatura de austenización, tiempo de permanencia sobre la temperatura de revenido y composición de la atmósfera en los hornos.

- **RECURSOS HUMANOS:** Aunque el personal de la planta no cuenta con una formación avanzada en tratamientos térmicos, si demuestra capacidad y eficiencia en la operación de equipos y herramientas comprometidas en el proceso. Sin embargo es importante fortalecer sus conocimientos en metalurgia, en especial tratamientos térmicos.

Es importante que las personas que dirigen el proceso utilicen otras alternativas que les permitan entender y resolver los sucesos o problemas que se presentan en la planta. Una de estas alternativas es el análisis metalográfico, herramienta muy poco utilizada por el personal de la línea de tratamientos térmicos, esta es la razón por la cual es necesaria una buena capacitación del personal en esta materia.

## 5. PROPUESTAS E IMPLEMENTACION DE MEJORAS

De acuerdo a las evaluaciones realizadas anteriormente las mejoras propuestas a continuación se han clasificado en tres partes: mejoras que requieren atención inmediata (propuestas a corto plazo) y mejoras que por su envergadura y grado de dificultad requieren tiempo por encima del estimado en el periodo de esta práctica (propuestas a mediano plazo y propuestas a largo plazo)

**Tabla 3. Mejoras propuestas para las valoraciones realizadas en el capítulo anterior**

PROPUESTAS DE MEJORAMIENTO EN LTT2		
Valoración	Propuesta	Tiempo (corto, mediano y largo plazo)
<b>Control de proceso</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diseño, elaboración e implementación de una carta de control de proceso.</li> <li>• Estandarización de las condiciones de operación.</li> <li>• Estudio del calentamiento del acero en los hornos de tratamientos térmicos</li> <li>• Estudio en recalques normalizados</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Corto plazo</b></li> <li>• <b>Corto y mediano plazo</b></li> <li>• <b>Corto y mediano plazo</b></li> <li>• <b>Corto plazo</b></li> </ul>
<b>Eficiencia de los Hornos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estudio del calentamiento del acero en los hornos de tratamientos térmicos</li> <li>• Diseño de un horno de precalentamiento.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Corto y mediano plazo</b></li> <li>• <b>Largo plazo</b></li> </ul>
<b>Variables de control</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estudio del calentamiento del acero en los hornos de tratamientos térmicos</li> <li>• Control de atmósferas.</li> <li>• Efecto de la relación Ti/N en el tratamiento térmico de los aceros.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Corto, mediano y largo plazo</b></li> <li>• <b>Mediano plazo</b></li> <li>• <b>Mediano plazo</b></li> </ul>
<b>Recursos humanos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Capacitación en tratamientos térmicos y metalografía</b></li> <li>• <b>Propuesta para charlas continuas en tratamientos térmicos</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Corto plazo</b></li> <li>• <b>Mediano y largo plazo</b></li> </ul>

## **5.1 PROPUESTAS A CORTO PLAZO**

Dentro de las propuestas a corto plazo se desarrollaron tres de ellas: Las cuales consisten en el diseño de una carta de control del proceso, basado en la recopilación de datos de operación de antiguas corridas; se realizaron curvas de calentamiento de las piezas en los hornos y por ultimo se hizo un estudio metalográfico de la estructura del recalque.

A continuación se presentan las características particulares de cada una de estas propuestas, metodología seguida, resultados y mejoras.

### **5.1.1 Diseño, Desarrollo e Implementación De Una Carta De Control De Proceso**

Para la realización de esta carta se contó con el apoyo del personal de LTT2 especialmente los operadores y supervisores de la planta. Así como el departamento de calidad a través de los auditores de tratamientos térmicos y el centro administrativo de información CAI.

#### **5.1.1.1 Procedimiento:**

Para llevar a cabo esta propuesta inicialmente se hizo la recopilación de datos tomados desde el PLC, la información de los operadores de LTT2 y los archivos de los auditores de calidad de la empresa. De igual forma se hizo un seguimiento constante a todas las variables involucradas, tomando nota de cada una de las situaciones que pudieron afectar el proceso de una forma u otra.

A partir de este estudio no solo se determina la hoja de iniciación de maquina de los hornos para los tipo de tubería procesados, también se establece un procedimiento estándar para la operación de las variables de control involucradas.

Recopilación de datos: Para la recopilación de los datos fue necesaria la ayuda de tres fuentes: las lecturas tomadas por el PLC, los reportes de control diario de calidad e información suministrada por los operadores y personal de la planta.

Lecturas del PLC: como se menciona anteriormente la planta cuenta con un sistema de autómatas programables que registran y archivan en una hoja de cálculo cada 5 minutos los valores de temperatura de las zonas en horno barril y horno cajón, el flujo y la presión del anillo de temple así como las rpm de los drivers de horno barril y anillo de temple.

Reportes de control de calidad: El departamento de calidad de la empresa realiza auditoria interna a todos los procesos. Esta auditoria incluye una verificación y registro diario de las variables de control que intervienen en la

operación de la planta. Esta información es archivada en el centro administrativo de información (CAI), donde puede tener acceso a cualquier documento relacionado con la empresa.

Diseño y elaboración de la carta de la carta: Este trabajo fue elaborado mediante una hoja de cálculo en **office EXCEL 2003**, sus herramientas permitieron una inserción adecuada de los datos y fácil manejo de gráficos. Para la realización de la carta se procedió a graficar la tendencia de los valores de resistencia a la tensión de esfuerzo de fluencia (Ys) y esfuerzo último (Uts) obtenidos por laboratorio a través de los lotes procesados en el tiempo, acompañado de una estadística completa de de estos valores (promedio, rango y desviación ).

El diseño final de la hoja incluyo los datos más representativos de las variables en cada proceso, observaciones, estadística de los resultados, grafico de tendencia de los resultados de propiedades mecánicas y breve análisis del proceso. La hoja queda representada en el grafico de la figura 9.

Se diseño y elaboro una carta de control para cada especificación de tubería la cual esta indicada en la parte superior de ésta, es decir se encuentra clasificada por diámetro externo del tubo, grado y espesor. Se establecieron aproximadamente 20 hojas de control para el cubrimiento de los productos procesados, que incluyen los grado N, L, y J; este ultimo se analiza la procedencia del marial, si es de reproceso o tubería proveniente directamente de formado.

Para establecer las condiciones apropiadas de cada variable se establecieron criterios estadísticos en los resultados de propiedades mecánicas, para seleccionar los lotes o corridas con menor dispersión y valores ideales y así tomarlos como referencia.

**Fig. 9. Estructura de la carta de control para 7 pulgadas grado N80**

**CONDICIONES PARA 7" N80 espesor 0,317"**

**HORNO DE TEMPLE**

	dic-06	ene-07	feb-07	abr-07
% carbono	0,5	0,49	0,49	0,51-0,53-0,55
Ac3				
ciclo	175 seg	174seg	174seg	171seg
permanencia	10,2 min	10,1 min	10,1 min	10 min
tubos hora	20	20	20	21,1

zonas	*T set point	*T set point	*T set point	*T set point
1	1860°F	1860°F	1900°F	1760°F
2	1860°F	1860°F	1900°F	1760°F
3	1860°F	1860°F	1900°F	1760°F
4	1860°F	1870°F	1920°F	1920°F
5	1860°F	1870°F	1930°F	1920°F
6	1860°F	1870°F	1930°F	1920°F
7	1880°F	1870°F	1930°F	1920°F

D1	350 rpm	355 rpm	340 rpm	350 rpm
D2	320 rpm	325 rpm	310 rpm	325 rpm
Dq	13,25 hz	12,45 hz	12,45 hz	
flujo	3000 gpm	2200 gpm	2230 gpm	2300 gpm
presion	24 psi	40 psi	40 psi	40 psi
°T de tubo	1685 °F	1725 °F	1700	1750
Rango °T	115	38	50	60

**HORNO DE REVENIDO**

ciclo	141seg	136 seg	136 seg	157 seg
permanencia	84,6 min	81 min	81 min	95 min
tubos hora	25,5	26,5	26,5	23

zonas	*T set point	*T set point	*T set point	*T set point
1	1055	1097	1097	1000°F
2	1030	1098	1098	1000°F
3	1022	1078	1078	1000°F
7	1055	1026	1026	1060°F
8	1030	1061	1061	1100°F
9	1022	1026	1026	1080°F

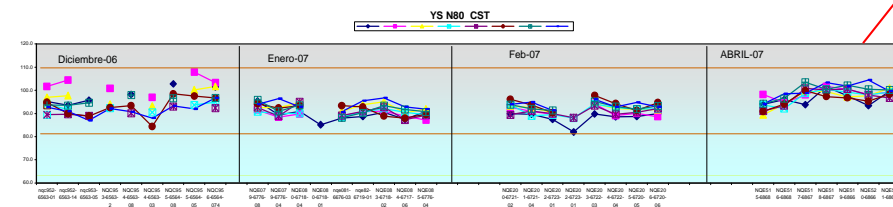
°T de tubo	883 °F	915°F	940	1195
Rango	48	60	40	35

**RESULTADOS DE LAS CONDICIONES**

	dic-06	ene-07	feb-07
Ys	94,8	91,2	91,47
desv	4,7	2,5	2,63
UTS	104,3	110	109,8
UTS /min	97,60	104,9	103,1

dureza feb	
promedio	43,01322751
max	51
min	35
range	16
desv	3,277673307

ESTADISTICA BRINELL					
lote qc952 - qc 956					
NORTE			SUR		
	Int	Ext	Int	Ext	
RANGO	12	3	10	5	
PROMEDIO	45,66666667	50,78	43,71	50	
lote qc957 - qc 962					
NORTE			SUR		
	Int	Ext	Int	Ext	
RANGO	3	2	4	3	
PROMEDIO	47,33333333	51	46,16666667	50,5	



**ANALISIS DEL PROCESO**

En la producción de enero se observa una mejora en los resultados, tanto una baja dispersión (Ys) como un bajo porcentaje de rechazo (19.1% en dic y 4,5% en enero), en diciembre hubieron lotes rechazados. Considerando los cambios mas representativos tenemos:

- 1- El nuevo cabezal de temple genera menos retroceso haciendo mas estable el proceso.
- 2- La reubicación de las termocupas permiten un calentamiento mas homogéneo del tubo dentro del horno cajon.
- 3- Los tiempos en horno cajon y horno barril, así como la química sufrieron variaciones, pero muy leves y no afectan considerablemente el proceso.

dic-06	ene-07
En producción de Dic no se disminuye el ciclo debido a problemas de mancha se alcanza temperaturas en el pirometro hasta 1700°F en producción diembre y 1740 °F en enero, mostrando mejores resultados	en la producción de enero se reubicaron las termocupas, cambia configuración del cajon

**Observaciones**

**Datos más representativos de las variables**

**Estadística de resultados**

**Tendencia de resultados de sys**

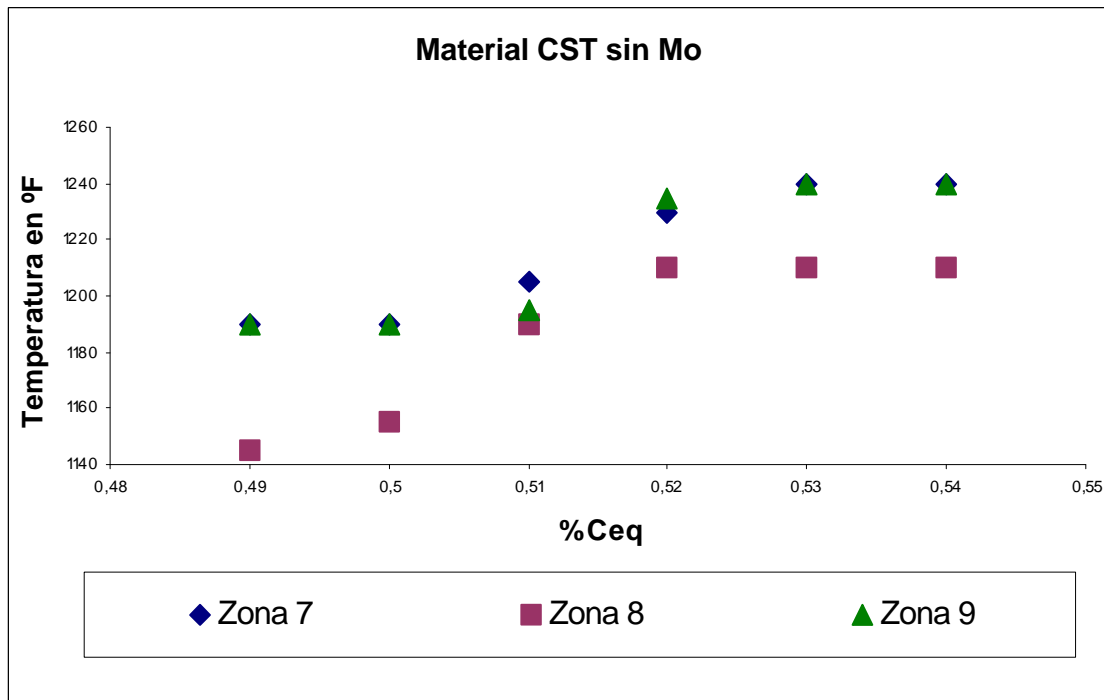
**Análisis del proceso**

### 5.1.1.2 Resultados de la Implantación de la Carta de Control:

- Durante la etapa de diseño y elaboración de la carta además de la recolección de datos, se hizo un seguimiento del proceso, y se puso en práctica ésta, obteniendo excelentes resultados, manifestándose en una disminución significativa del tiempo de puesta a punto para el procesamiento de distintos tipos de tubería. La aplicación de esta ayuda permitió encontrar variaciones no solo en la composición química si no también entre uno y otro proveedor. Se presentaron diferencias de aproximadamente 8°C en el horno de revenido, relacionado especialmente con el contenido de Mo en el acero (se nota mayor cantidad de molibdeno con proveedor UIMINAS que con proveedor CST). por estas razones se determinaron unas condiciones distintas para cada proveedor.
- En la figura 10 se muestra la influencia del carbono equivalente sobre la temperatura de revenido. A partir de estos datos se estableció una correlación de tipo lineal a partir de la cual se pudo determinar el aumento de la temperatura en 13 grados Celsius necesario por cada 0.01% de variación en carbono equivalente.

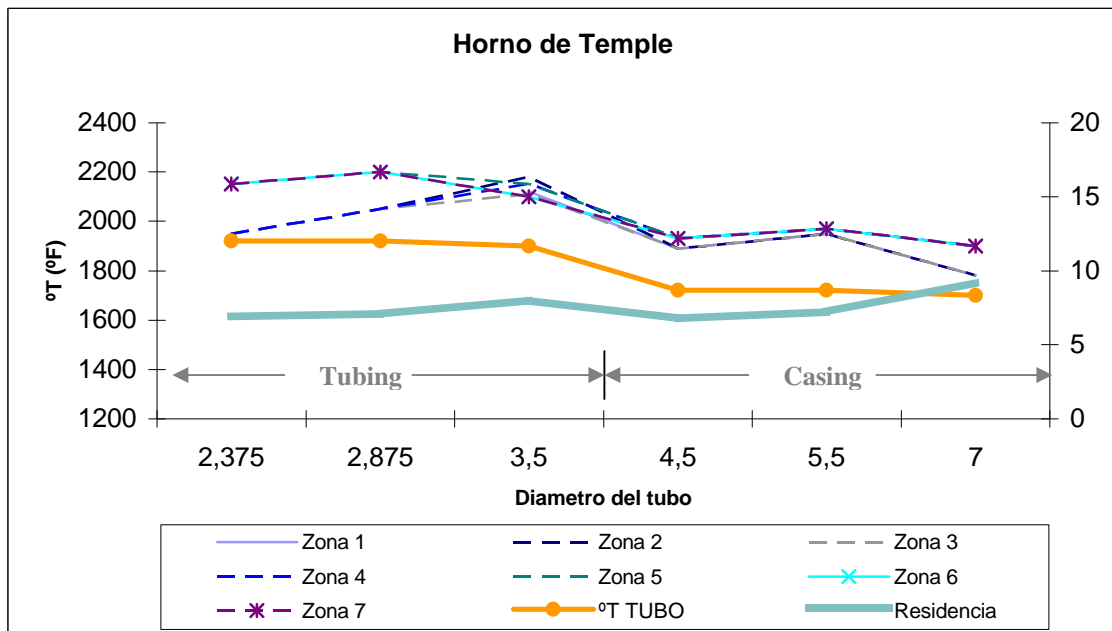
Se toman en consideración las zonas 7, 8 y 9 del horno cajón LTT2 debido a que estas son las que se encuentran controladas automáticamente.

**Fig. 10** Temperatura del tubo y de las zonas Vs carbono equivalente. Tubo “casing” 4 ½” grado L



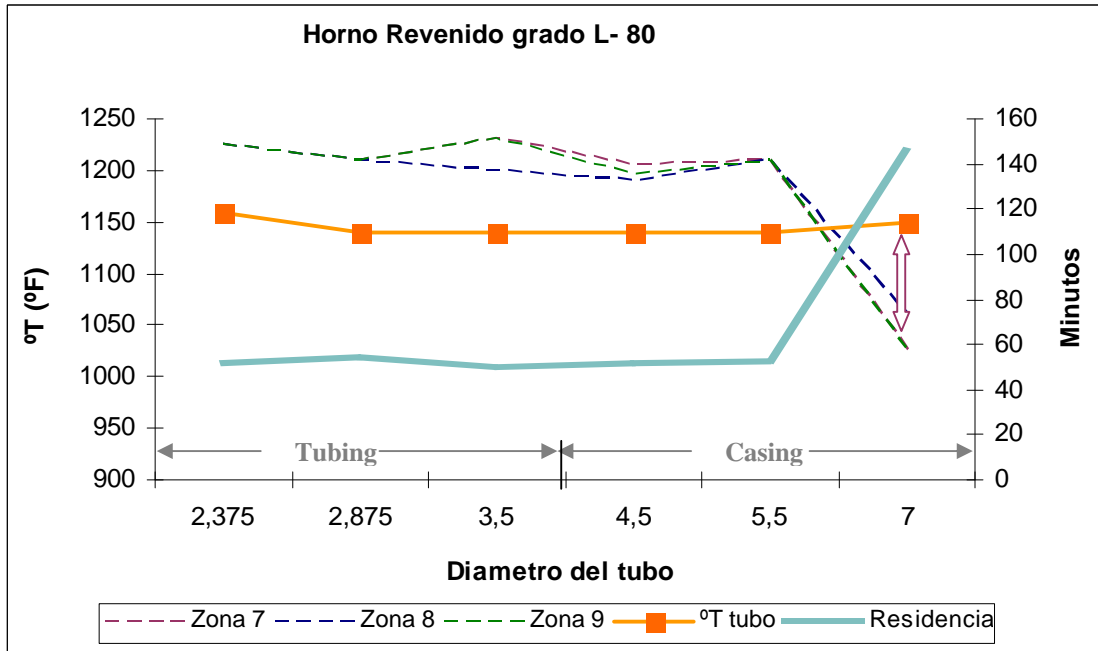
- Tanto en horno de austenización como de revenido se observa una operación algo irregular. El proceso en horno barril los productos “tubing” (menor diámetro) se llevan a temperatura mas elevada que los “casing” antes de ser templados, sin una variación significativa en el tiempo de permanencia. Se aprecia una diferencia entre los procesos de 250ºf en el tubo y zonas del horno aproximadamente, a pesar de estos ser de menor diámetro y por consiguiente de menor masa (Ver Fig.11).

• **Figura 11. Comportamiento del tiempo de permanencia, temperatura del tubo y de las zonas, con respecto a los diferentes diámetros en horno barril**



En cuanto al horno cajón, también se nota levemente mayor temperatura en “tubing” que en “casing”, especialmente en las zonas del horno. La diferencia mas significativa se encuentra en el producto de 7”, donde existe un incremento desproporcionado del tiempo de permanencia, que se refleja en la disminución de las temperaturas de las zonas 7, 8 y 9 en el horno, las cuales son las únicas que pueden ser controladas. Esto se demuestra gráficamente en la Figura 12.

**Figura 12 Comportamiento del tiempo de permanencia, temperatura del tubo y de las zonas, con respecto a los diferentes diámetros en horno cajón.**



- La transmisión de calor del horno a la pieza es fundamental para analizar los factores inciertos de los resultados. se puede apreciar que para el producto de 7 pulgadas las zonas controladas del horno cajón se encuentran por debajo de la temperatura del tubo (fig. 12), lo que parece termodinámicamente imposible, sin embargo las zonas del centro del horno (zonas no controladas) se encuentran muy por encima (Zonas 4, 5 y 6 ver fig.7), esto demuestra la importancia de tener en cuenta para este estudio que otros aspectos pueden afectar el comportamiento del proceso, desde donde tomamos los puntos de referencia, como es el caso la ubicación de las termocuplas, o algunos no tenidos en cuenta como la presión interna del horno.

### 5.1.1.3 Conclusiones:

El motivo por el cual en el horno barril los productos se deben llevar a alta temperatura es para evitar las torceduras y deformaciones en el temple, que suceden cuando la temperatura del tubo no alcanza 1900°F (1038°C). Este punto es importante para aclarar lo visto en los ítem anteriores, en horno barril un tubo de menor diámetro queda mas alejado de las termocuplas y su control es mas incierto, así como en duda un calentamiento homogéneo. Algo parecido sucede en horno cajón donde el tubo se calienta más cerca del piso del horno un área de pérdida de calor (por ser refractario de arena). Por

esto es fundamental para el control de proceso, determinar la curva de calentamiento de los tubos y analizar más a fondo el comportamiento del horno.

Los resultados arrojados durante el estudio demostraron ser lo suficientemente buenos para desarrollar unos criterios de operación básicos para el arranque de producción, los cuales están consignados en la hoja de iniciación de máquina, documento controlado por el departamento de calidad de la empresa (Ver anexo A).

Esto no solo redujo el tiempo de cambio de operación, permitió evidenciar problemas en los hornos y redujo la variabilidad considerablemente.

Por otra parte es un punto de partida para el desarrollo de nuevas mejoras que permitan optimizar aun más el proceso.

Su aplicación en la actualidad representa un soporte importante para los operadores y auditores de calidad, además una herramienta de gran utilidad al momento de tomar decisiones. Se recomienda seguir utilizando esta herramienta dado los resultados obtenidos durante su implementación.

### **5.1.2 Estudio Del Calentamiento Del Acero Para Los Hornos De Tratamientos Térmicos:**

Esta prueba fue realizada gracias al apoyo de la filial del grupo Tenaris en México la empresa TenarisTamsa, y los ingenieros Arturo Muñoz y Alberto Alcázar.

La gran importancia que representa esta prueba para el control de procesos en los hornos de tratamientos térmicos ocasiona que éste ensayo se extienda a otras plantas de tratamientos térmicos de la empresa, como son LTT1 y la recién incorporada LTT3.

Se debe señalar que debido a la longitud del horno barril de línea LTT2 fue muy difícil realizar la prueba de calentamiento en este horno.

#### **5.1.2.1 Procedimiento:**

- Determinación de los materiales: termopar tipo K (cromel – alumel) de 42 m de longitud recubierto en vaina de acero inoxidable de 1 1/16” tipo DX100 y graficador de temperatura con unidad de diskette (Yokogawa)
- Se conecta el graficador a las terminales del termopar y la punta de este último se coloca en contacto con el tubo que va a entrar al horno así como lo muestra la figura 13.

- Una vez el tubo ingresa al horno se suelta poco a poco el termopar con la precaución de que la punta no pierda contacto con el tubo estando dentro del horno, y manteniendo el graficador fuera del horno.
- En cuanto sale el tubo del horno se retira el termopar y se recupera.
- Condiciones de operación:

**Tabla 4. Condiciones de operación para los hornos que intervienen en el ensayo.**

<b>Parámetro de proceso</b>	<b>de</b>	<b>set</b>	<b>Horno cajón LTT2</b>	<b>Horno cajón LTT1</b>	<b>Horno barril LTT1</b>
<b>Temperatura point Zona 1</b>			N/A <sup>1</sup>	1295 °f (701,67 °C)	2171 °f (1188.3°C)
<b>Temperatura point Zona 2</b>			N/A	1250 °f (676,67 °C)	2040 °f (1115.5°C)
<b>Temperatura point Zona 3</b>			N/A	1275 °f (690,56 °C)	2300 °f (1260°C)
<b>Temperatura point Zona 4</b>			N/A	N/N <sup>2</sup>	2300 °f (1260°C)
<b>Temperatura point Zona 5</b>			N/A	N/N	N/N
<b>Temperatura point Zona 6</b>			N/A	N/N	N/N
<b>Temperatura point Zona 7</b>			1250°f (676,67 °C)	N/N	N/N
<b>Temperatura point Zona 8</b>			1195°f (646,11 °C)	N/N	N/N
<b>Temperatura point Zona 9</b>			1205 °f (651,67 °C)	N/N	N/N
<b>Tiempo de permanencia</b>			55 minutos	30 minutos	5.2 minutos
<b>Diámetro calentado</b>	<b>de</b>	<b>tubo</b>	4.5 in (11.43 cm)	2.375in (6,03cm)	2.375in (6,03cm)
<b>Espesor calentado</b>	<b>de</b>	<b>tubo</b>	0.250in (0.64cm)	0.190in (0.48cm)	0.190in (0.48cm)
<b>Rango<sup>3</sup></b>			#3	#2	#2
<b>Grado<sup>4</sup></b>			L - 80	L - 80	L - 80

<sup>1</sup> No aplica (Zona de monitoreo, no controlada)

<sup>2</sup> No existe esta zona

<sup>3</sup> Determina la longitud del tubo (Ver anexo B)

<sup>4</sup> Determina la resistencia a la tensión del tubo (Ver anexo B)

### 5.1.2.2 Resultados:

La aplicación de esta propuesta permitió obtener información numérica, la cual se encuentra representada en tablas y gráficos mostrados a continuación:

#### 1. Horno Cajón para Revenido TT2:

Los resultados obtenidos en este horno se encuentran representados en una tabla y dos gráficos que se muestran a continuación:

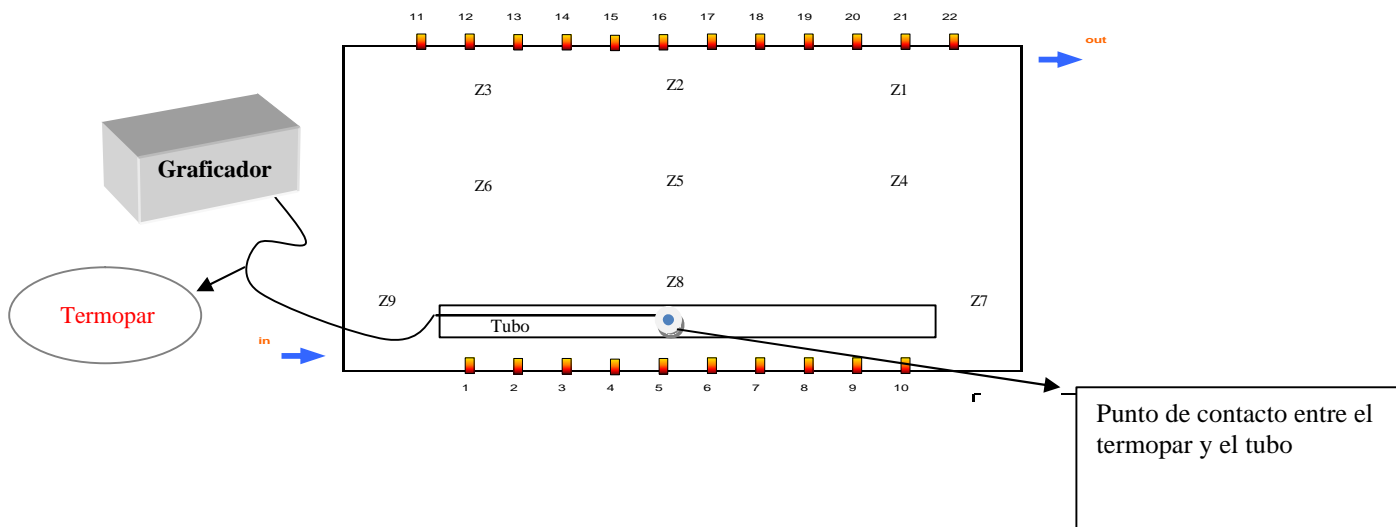
En esta tabla se muestran los datos de temperatura reales de las zonas arrojados por el PLC durante el paso del tubo muestra. Esta información necesita ser importada a una tabla de **OFFICE EXEL**, para poder ser visualizada, como se dijo anteriormente las zonas de control son la 7, 8, y 9.

**Tabla 5. Datos de temperaturas de las zonas arrojados por el PLC durante el paso del tubo muestra.**

Setpoints Hora	Temperaturas zonas de calentamiento en grados Fahrenheit								
	1250 Zona 1	1195 Zona 2	1205 Zona 3	Zona 4	Zona 5	Zona 6	1250 Zona 7	1195 Zona 8	1205 Zona 9
08:31:10	1281	1279	1241	1250	1302	1222	1238	1197	1207
08:32:00	1280	1276	1238	1250	1297	1220	1238	1193	1203
08:33:00	1282	1279	1239	1251	1300	1219	1244	1185	1203
08:34:00	1284	1284	1239	1251	1308	1217	1244	1208	1199
08:35:00	1284	1283	1241	1250	1305	1219	1244	1205	1208
08:36:00	1283	1280	1243	1250	1304	1222	1244	1205	1208
08:37:00	1284	1280	1241	1251	1305	1221	1247	1195	1217
08:38:00	1284	1281	1235	1252	1306	1215	1259	1192	1213
08:39:00	1285	1280	1230	1252	1304	1210	1259	1190	1203
08:40:00	1285	1275	1229	1253	1295	1208	1264	1192	1199
08:41:00	1282	1267	1230	1251	1283	1211	1263	1192	1197
08:42:00	1279	1263	1232	1249	1276	1213	1258	1191	1207
08:43:00	1277	1261	1231	1247	1274	1212	1249	1195	1212
08:44:00	1276	1260	1226	1246	1272	1207	1243	1197	1209
08:45:00	1278	1262	1225	1246	1277	1206	1238	1192	1198
08:46:00	1282	1267	1232	1248	1283	1213	1237	1189	1190
08:47:00	1284	1273	1241	1251	1292	1222	1240	1194	1200
08:48:00	1284	1273	1242	1251	1292	1225	1244	1198	1213
08:49:00	1282	1270	1238	1251	1288	1222	1244	1198	1213
08:50:00	1283	1270	1237	1252	1290	1221	1240	1183	1203
08:51:00	1285	1277	1240	1253	1300	1224	1241	1186	1197
08:52:00	1286	1280	1242	1254	1305	1225	1243	1201	1201
08:53:00	1285	1277	1241	1254	1301	1225	1239	1206	1205
08:54:00	1284	1275	1241	1254	1298	1226	1237	1194	1205
08:55:00	1284	1275	1242	1254	1301	1227	1239	1186	1205
08:56:00	1286	1280	1244	1255	1309	1228	1243	1202	1206
08:57:00	1287	1282	1246	1256	1312	1230	1243	1202	1206
08:58:00	1286	1279	1244	1256	1307	1229	1243	1204	1207
08:59:00	1286	1278	1243	1256	1304	1228	1243	1193	1206
09:00:00	1287	1282	1244	1257	1310	1229	1245	1186	1204
09:01:00	1289	1286	1245	1258	1316	1230	1247	1190	1205
09:02:00	1290	1289	1246	1259	1318	1230	1260	1204	1207
09:03:00	1289	1287	1245	1260	1314	1230	1263	1198	1208
09:04:00	1289	1285	1244	1260	1312	1228	1263	1198	1208
09:05:00	1289	1284	1242	1259	1311	1224	1263	1188	1208
09:06:00	1292	1289	1243	1261	1316	1223	1262	1186	1201
09:07:00	1294	1293	1246	1261	1319	1225	1263	1207	1204
09:08:00	1291	1289	1247	1260	1310	1226	1263	1207	1204
09:09:00	1290	1285	1247	1258	1305	1226	1263	1192	1210
09:10:00	1292	1290	1247	1258	1312	1224	1263	1194	1211
09:11:00	1294	1294	1248	1259	1317	1222	1261	1194	1206
09:12:00	1292	1290	1246	1258	1310	1221	1255	1197	1204
09:13:00	1290	1283	1243	1257	1303	1219	1255	1197	1204
09:14:00	1291	1286	1244	1257	1306	1219	1252	1181	1201
09:15:00	1293	1290	1247	1258	1311	1220	1250	1190	1201
09:16:00	1293	1288	1250	1258	1309	1223	1250	1205	1211
09:17:00	1290	1281	1248	1257	1300	1223	1252	1204	1211
09:18:00	1289	1279	1244	1256	1297	1220	1250	1186	1210
09:19:00	1291	1283	1243	1257	1304	1218	1251	1183	1205
09:20:00	1292	1285	1244	1257	1305	1217	1254	1197	1199
09:21:00	1288	1280	1245	1256	1296	1219	1253	1207	1197
09:22:00	1285	1277	1249	1254	1293	1225	1252	1194	1197
09:23:00	1288	1281	1256	1255	1301	1234	1250	1183	1210
09:23:18	1289	1282	1256	1256	1302	1234	1252	1198	1226
Promedio	1286	1280	1242	1254	1302	1222	1250	1195	1205

La figura 13 muestra La ubicación del termopar en el tubo y en el horno. Las zonas que intervienen en el calentamiento del punto prueba son: Zona 8, zona 5 y Zona 2. Esta última es la única controlada.

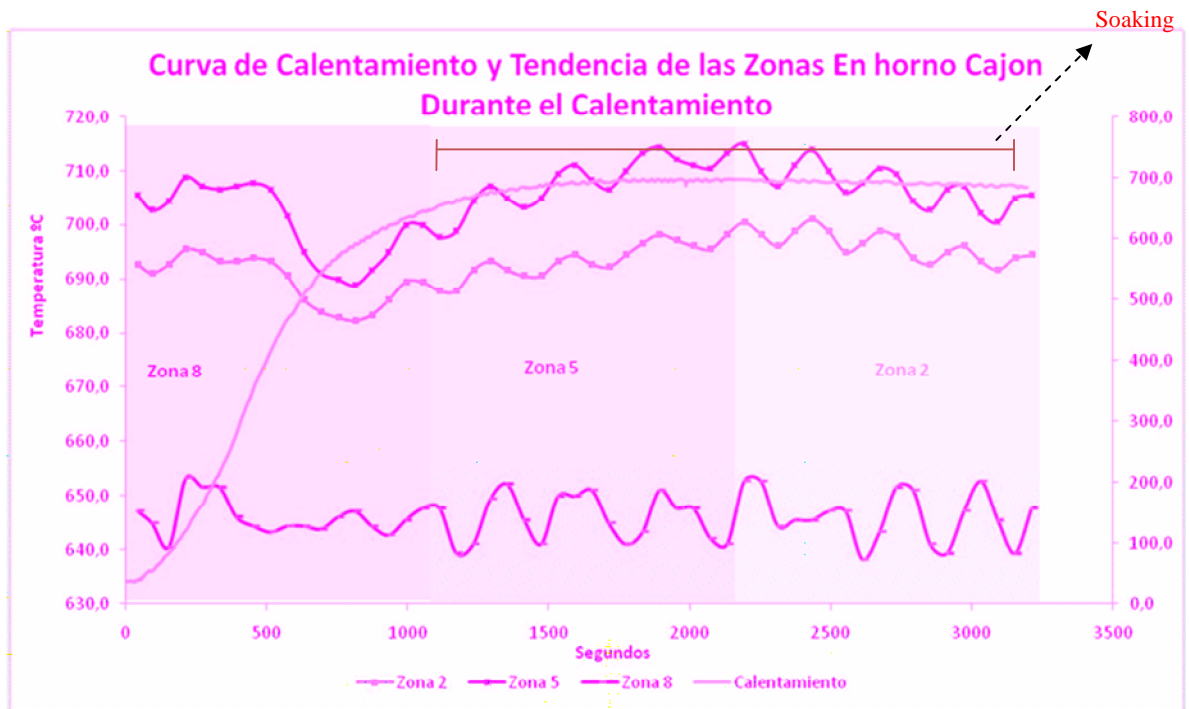
**Figura 13 Esquema de la realización de la prueba en LTT2**



La grafica de la figura 14 muestra como se calienta el tubo a medida que pasa por las diferentes zonas que afectan el punto de prueba. La zona N° 8 es la que se encarga de llevar esa parte del tubo hasta la temperatura de revenido, mientras que las zonas 5 y 2 sostienen el tubo a esta temperatura, aunque se aprecia un máximo en la zona 5, de esta forma se puede determinar el tiempo de soaking, que es “el tiempo que la temperatura media de los tubos está por encima de una temperatura especificada”<sup>1</sup>:

<sup>1</sup>TESIS DE DOCTORADO Paolo Marino. Modelamiento y control del calentamiento de productos de acero en hornos a gas Universidad de Buenos Aires.

Figura 14. Curva de calentamiento del tubo y comportamiento de las zonas en el horno en LTT2.



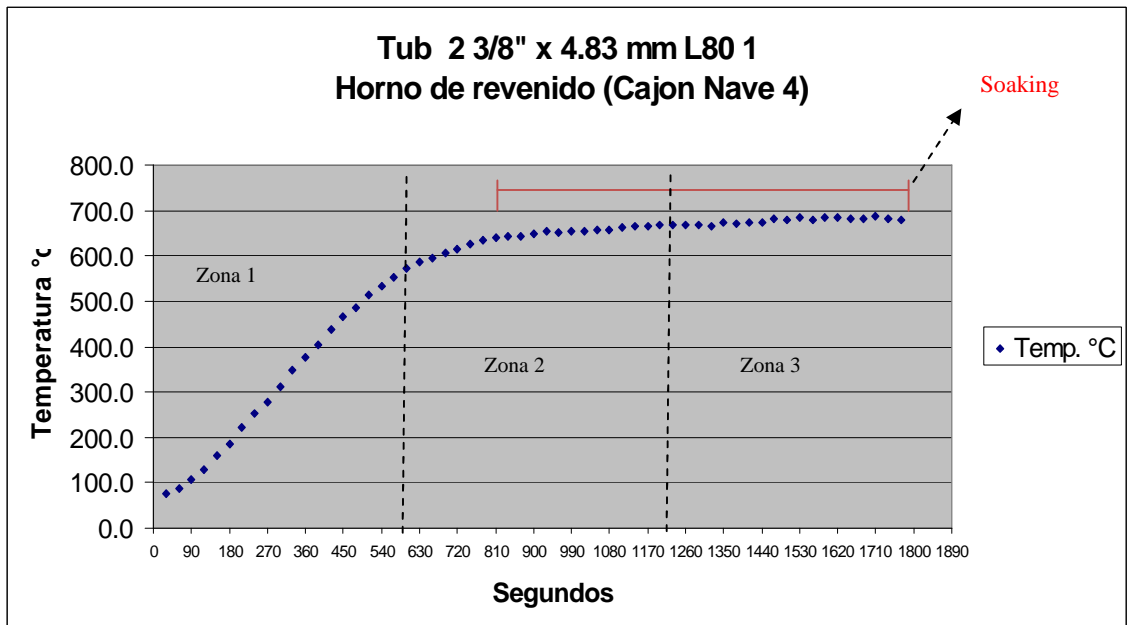
Es 2/3 el tiempo de residencia total en el horno (35 minutos aproximadamente). Se observaron pequeñas fluctuaciones en la zona 8 (la única que es controlada), e inestabilidad en las zonas 2 y 5, las cuales se encuentran 60 o 70°C por encima.

## 2. Horno Cajón para Revenido TT1:

Este horno es muy similar al descrito anteriormente, con una capacidad inferior y un volumen mucho menor. Este posee solo 3 zonas, todas controladas y no se encuentran automatizados completamente, por esta razón no se cuenta con el comportamiento real de las zonas.

En la figura 15 se puede observar la curva de calentamiento del tubo y la división de las tres zonas. La curva del tubo muestra oscilaciones, especialmente a la salida del horno, se pudo determinar el tiempo de sostenimiento en: 17.5 minutos aproximadamente a la mitad del horno. Se alcanzan a observar estas oscilaciones en la ultima zona, por lo que es posible un mal funcionamiento del horno, o sea necesario realizar pequeños ajustes.

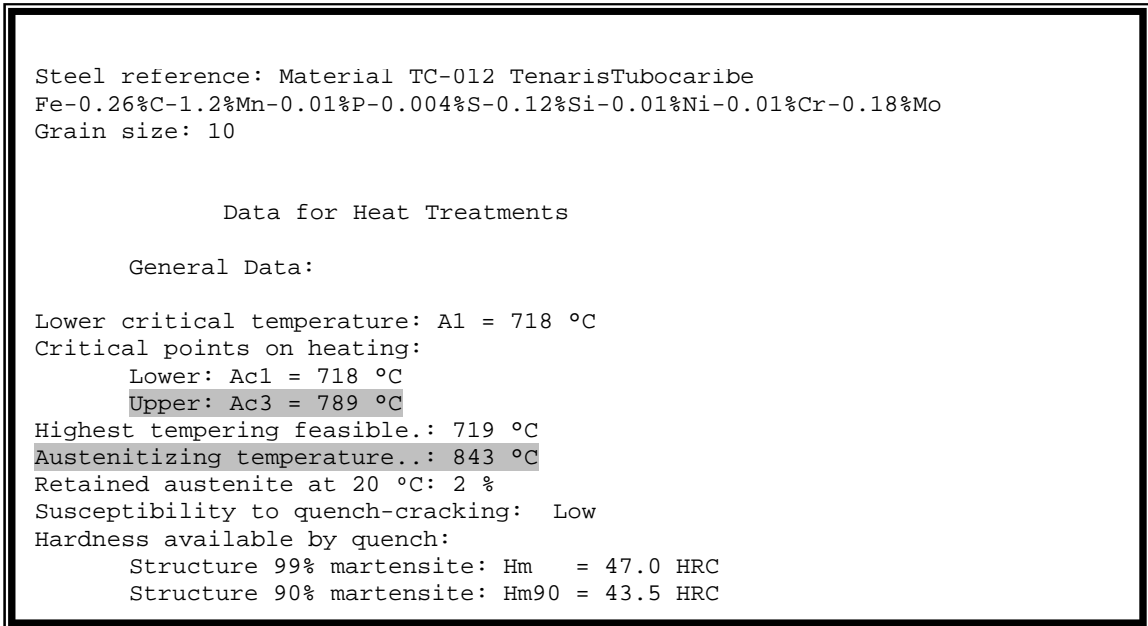
Figura 15 Curva de calentamiento del tubo en horno cajón LTT1



### 3. Horno Barril para Temple TT1:

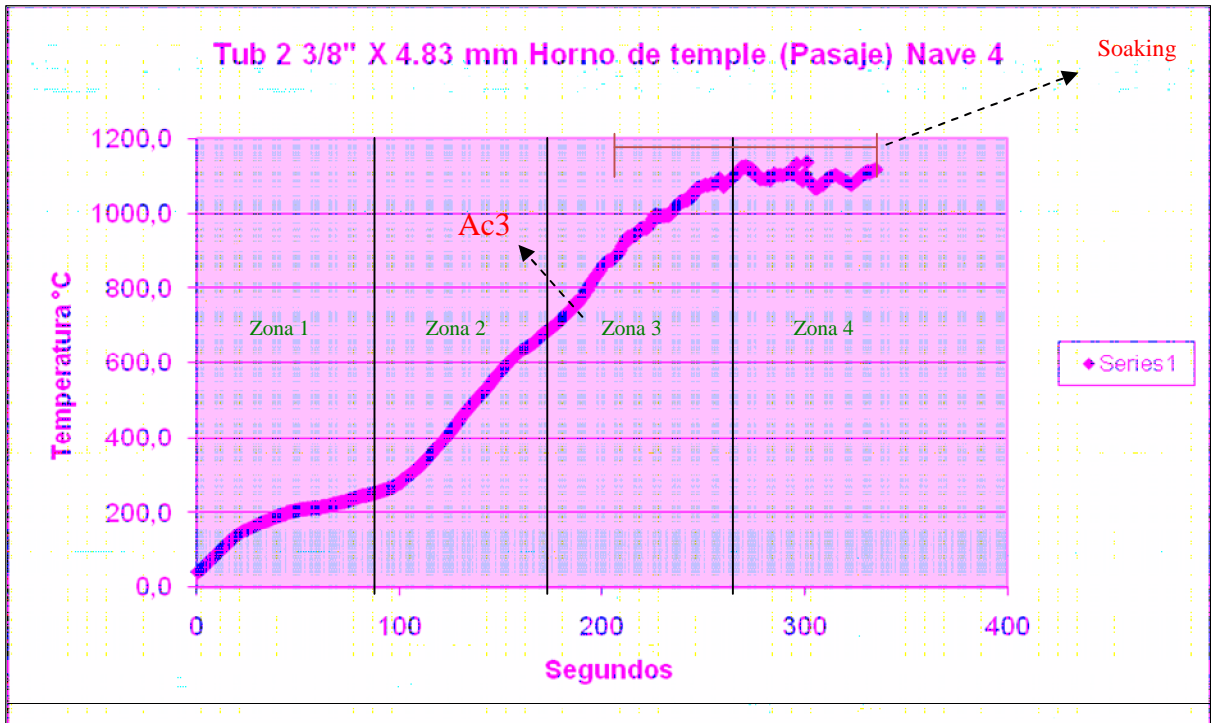
A continuación se presenta información del calentamiento de tubos en horno de barril. Como se va a llevar la pieza hasta austenización, es necesario contar con información acerca de los puntos de transformación del acero, para esto contamos con la ayuda de SteCal 3.0, el cual nos muestra una aproximación de la temperatura de transformación Ac3 y la temperatura de austenización recomendada por el horno.

**Figura 16. Datos de tratamientos térmicos del acero suministrado por ASM SteCal 3.0**



El horno barril de LTT1 es semejante al de la línea LTT2 descrito anteriormente, su diferencia consiste en que solo tiene 4 zonas. A continuación se presenta la grafica de calentamiento obtenida para este horno (ver fig. 17).

Figura 17. Calentamiento del tubo en horno barril LTT1



Esta última curva revela el calentamiento de austenizado en un horno de barril. La temperatura Ac3 se alcanza a 3.2 minutos, punto en que la perlita se transforma en austenita. Se logra apreciar un tiempo donde es sostenida la temperatura 1 minuto aproximadamente al final del calentamiento, con mucha discontinuidad sin embargo en este punto el termopar está afectado no solo por la alta temperatura, también por movimiento rotatorio del tubo a su paso por el horno, lo pudo ocasionar ruido en las lecturas de los datos.

En LTT3 se realizó el ensayo, pero por problemas técnicos en los hornos los resultados no son confiables, por esta razón se decidió descartar esta prueba.

### 5.1.2.3 Conclusiones:

El tiempo de soaking es un importante parámetro que es indispensable para el control de tratamientos térmicos, desafortunadamente la vida útil de estos termopares es muy corta, razón por la cual el estudio estuvo limitado a un solo tubo por horno. Sin embargo estos ensayos nos dan un importante alcance para conocer la forma en que se está llevando a cabo el calentamiento del material, Especialmente en el revenido donde las variaciones deben reducirse al máximo.

El tiempo de sostenimiento mostrado en horno cajón LTT1 es la mitad del mostrado del LTT2. Aunque existe una diferencia de diámetro y espesor en los tubos estudiados, sus propiedades mecánicas son iguales (por tener el mismo grado), por esta razón se puede decir que en el proceso en horno cajón de LTT2 puede incrementar su productividad disminuyendo el tiempo de residencia de los tubos, sin embargo debido a la limitante impuesta por el proceso de temple realizado previamente al tubo, no puede ponerse en ejecución de esta iniciativa en el momento, se puede decir que este equipo se encuentra sobre diseñado para el proceso.

Por lo anterior es importante completar el estudio en el horno barril de LTT2, y de igual forma analizar la capacidad del sistema de enfriamiento, para conocer a fondo la capacidad de la planta.

### **5.1.3 Análisis Metalográfico De Recalques Normalizados En LTT2**

Durante el desarrollo de la práctica se encontró en los recalques material con molibdeno, una estructura no convencional en los productos API J-55 después de recalcados, y se decide hacer seguimiento a esta estructura después de hacer un normalizado completo con el objetivo de verificar si la estructura persiste después de normalizada.

Este análisis se pudo llevar a cabo gracias a la colaboración del personal de la planta LTT2 y laboratorio de calidad.

#### **5.1.3.1 Procedimiento:**

- Establecimiento de las condiciones del ensayo.
- Realización del proceso de normalizado de cuerpo completo “full body” en la planta de tratamientos térmicos LTT2.
- Análisis de los resultados obtenidos.
- Desarrollo.

Condiciones de proceso:

Horno de puntas Hill Acme

	ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3
TEM. SET	2400° F	2450° F	2420° F
TEM. REAL	2217° F	2357° F	2416° F

Permanencia en el horno: 19 seg

Longitud de punta calentada: 12”

Longitud del recalque: 4.1”

Temperatura de salida del tubo: 2100°F (1140°C)

Horno Barril LTT2:

Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5	Zona 6	Zona 7
1820 °f	1950 °f	1920 °f	2050 °f	2040 °f	2050 °f	2000 °f

Tiempos:

Ciclo entre tubo 37.5 seg

Permanencia total del tubo dentro del horno 2 minutos

Productividad 96 tubos/hora

Temperatura del tubo durante el normalizado:\*

Recalque norte 1290 °F (700°C)

Recalque sur 1340 °F (726°C)

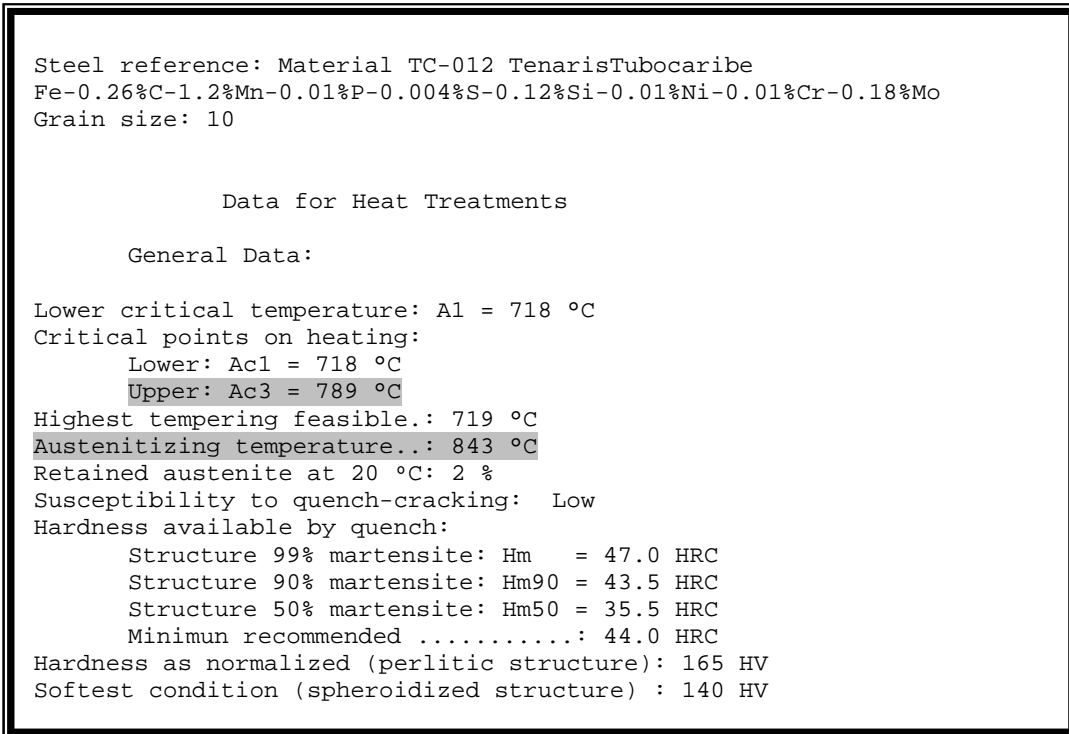
Centro del tubo 1500 °F (815°C)

El material empleado fue Tubing API J55 diametro 2 3/8” espesor 0.190” Acero de proveedor CST con molibdeno. A continuación se presentan los resultados obtenidos utilizando el software SteCal 3.0 para esta tubería. De la información obtenida se destaca la sombreada con gris, Las temperaturas Ac3 y de austenizado dadas por el software para el tratamiento del acero (ver fig. 18).

---

\* Lectura tomada manualmente a través de un pirómetro portátil “RAYTEC 3i”

**Figura 18. Datos de tratamientos térmicos del acero suministrado por ASM SteCal 3.0**



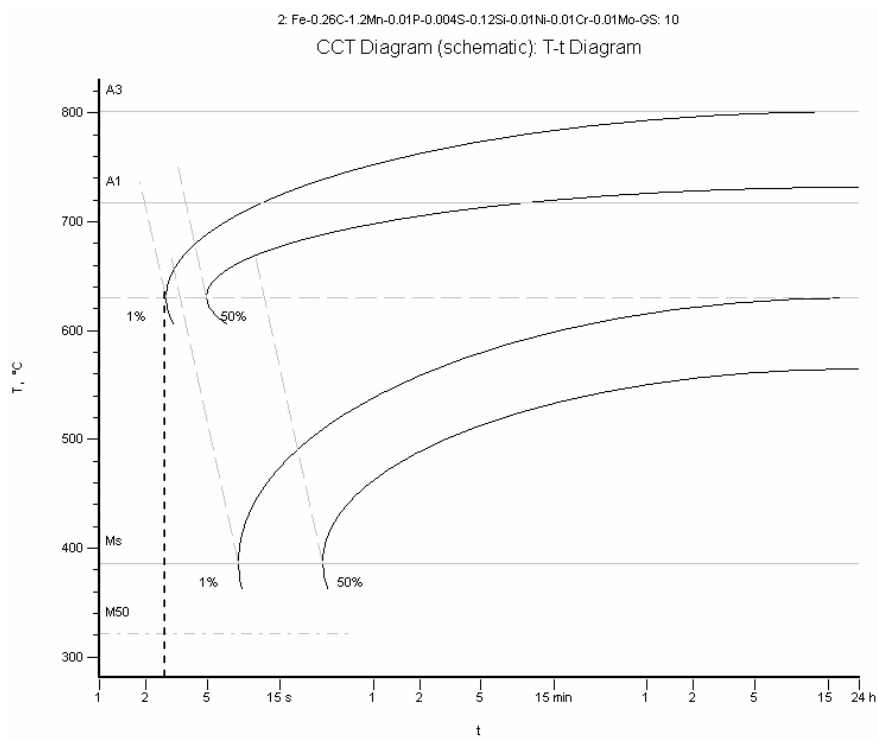
- Se tomó una muestra de acero con molibdeno en recaladora **HILL ACME** una vez forjada la pieza, en la campana, esta muestra se llamo **A**. Después de normalizado cuerpo completo en LTT2 se tomo una muestra en el cuerpo del tubo (muestra **B**) y los recalques sur y norte<sup>1</sup> (C y D respectivamente), igualmente se tomaron lecturas de temperaturas. Y por ultimo se realizo metalografía y prueba de tensión a cada una de las muestras.

### 5.1.3.2 Resultados:

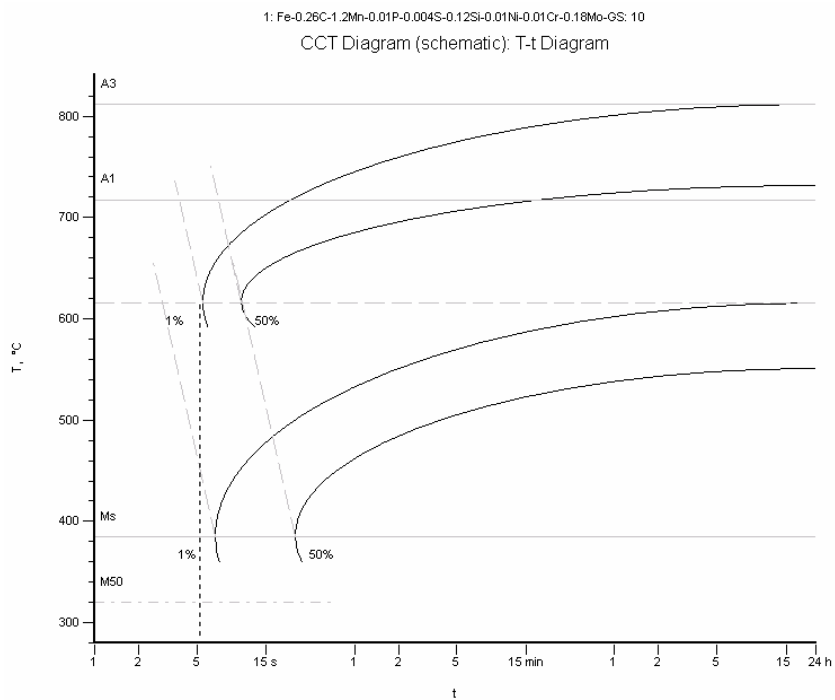
Con el fin de hacer el análisis de los resultados obtenidos, a continuación se presenta una comparación entre los diagramas CCT del acero con y sin molibdeno obtenidos a partir de SteCal (Ver figuras 19 y 20).

<sup>1</sup> La clasificación norte y sur esta dada por la punta que entra primero a el horno barril. (Manual de control de proceso C-190 Procedimientos realizados en las líneas de tratamientos térmicos. TenarisTubocaribe)

**Figura 19. Diagrama CCT sin Mo**



**Figura 20. Diagrama CCT con Mo**



El efecto del molibdeno se puede apreciar en estos diagramas de transformación. Este elemento produce un cambio en el Diagrama de transformación, el diagrama con Mo se encuentra la primera nariz (que referencia la velocidad crítica de temple) corrido hacia la derecha, mientras la zona bainítica permanece en su sitio y así favoreciendo la formación de esta estructura. Que quiere decir que es el acero más propenso a formar estructura acicular, aun al enfriar en aire después de forja.

A continuación presentaremos los resultados de resistencia a tensión de las muestras:

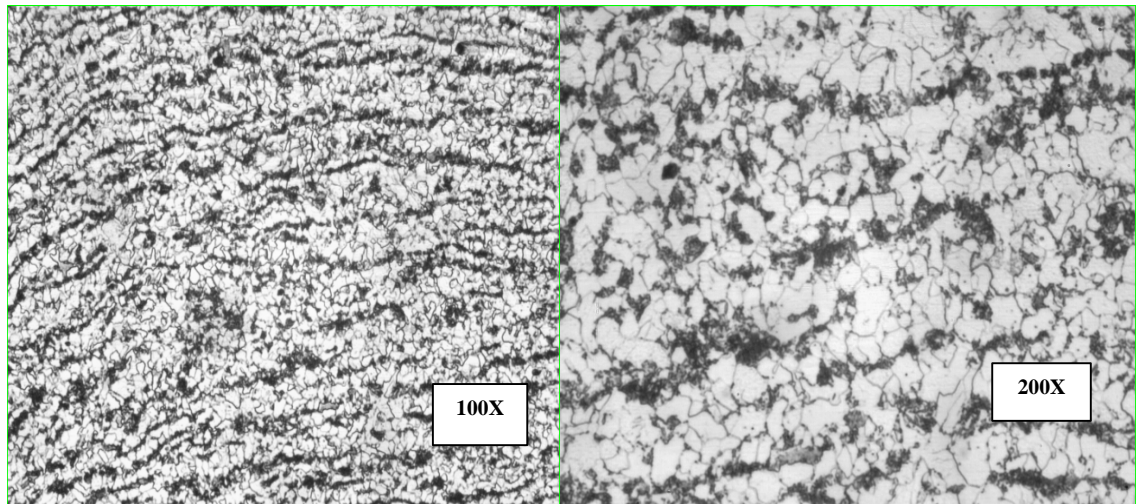
Muestra	A	B	C	D
<b>Esfuerzo de fluencia</b>	68.000 psi	61.700 psi	62900 psi	61600 psi
<b>Esfuerzo ultimo</b>	85.500 psi	87.400 psi	87800 psi	86200 psi

A continuación se presentan los resultados obtenidos del análisis metalográfico.

Muestra A:

En la figura 21 se presenta una microestructura compuesta por (ferrita estructura color blanco) y perlita (ferrita estructura color negro) a 100X a la izquierda y 200X derecha. El tamaño de grano es bastante fino y uniforme.

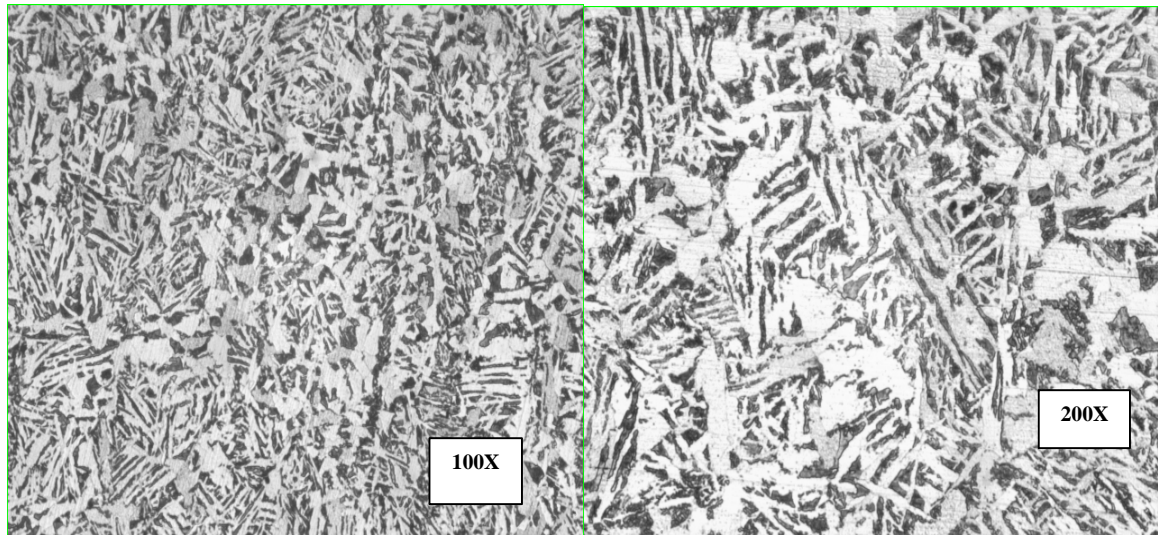
**Figura 21. Metalografía del cuerpo del tubo ubicado cerca de la costura:**



Muestra B:

En la figura 22 se obtiene ésta estructura después de recalado. Se aprecia la presencia de zonas compuesta de granos grandes de ferrita y perlita, adicional a esto se encuentra una estructura acicular con apariencia de ferrita acicular.

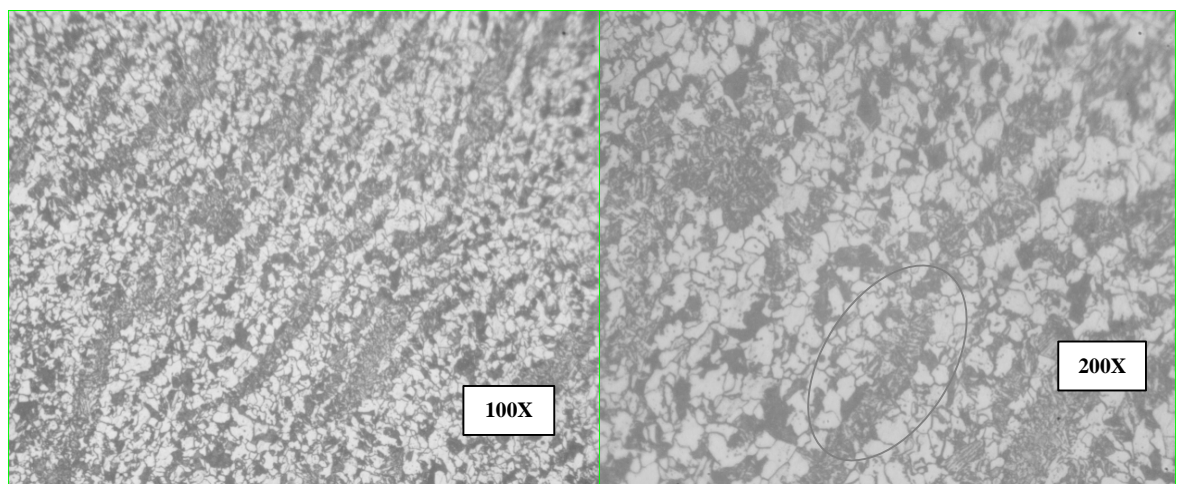
**Figura 22 Metalografía del Recalque después de forjado**



Muestra C:

En la figura 23 se muestra la microestructura del recalque sur después de normalizado. En la microestructura de la muestra C se aprecia ferrita y perlita, se puede indicar que aun persisten algunas zonas que indican la no homogeneidad total de la estructura.

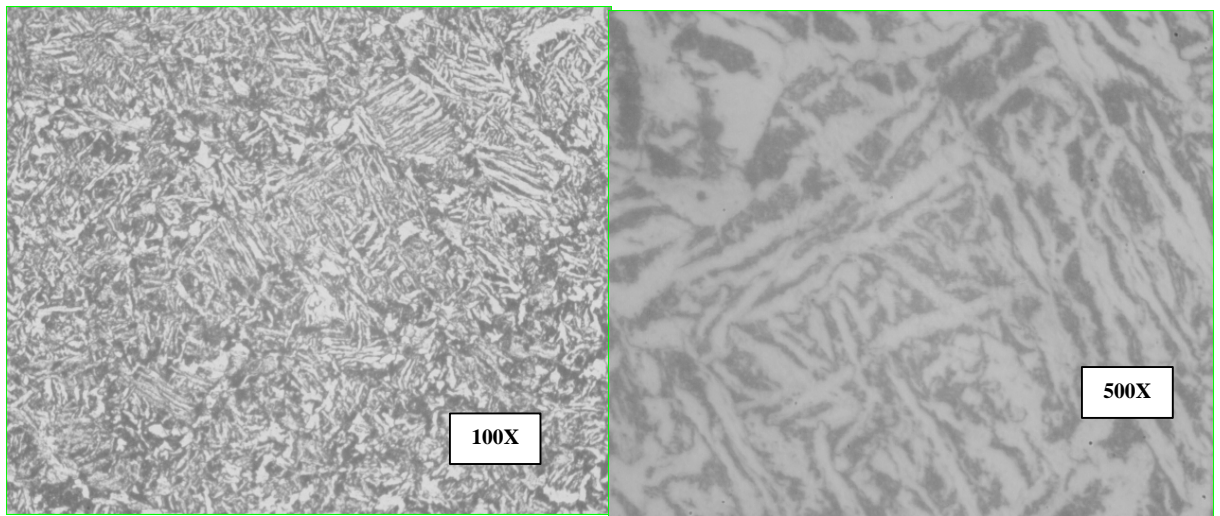
**Figura 23. Metalografía del Recalque sur después de Normalizado en horno barril LTT2**



Muestra D:

En la muestra D (figura 24), se presentan las microestructuras del recalque normalizado, en la parte norte del tubo a 100X y 500X respectivamente. En esta se aprecia una microestructura formada por perlita y ferrita y una mayor cantidad de estructura acicular.

**Figura 24. Metalografía del Recalque norte después de Normalizado en horno barril LTT2**



En horno barril en normalizado a diferencia del temple los tubos “tubing” pasan unidos entre si dentro del horno y debido a que las puntas poseen mayor espesor, estas tienen un calentamiento distinto al cuerpo del tubo

Estos resultados nos indican diferencias en la estructura entre una zona del recalque, y por lo tanto diferencias en la temperatura del tratamiento, lo cual se confirmó con las lecturas hechas de forma manual.

### 5.1.3.3 Conclusiones:

Debido a la alta rapidez del tubo a su paso por horno barril las lecturas tomadas por el pirómetro no son confiables, razón por la cual se decide tomar temperaturas de forma manual. Se observó que efectivamente el tubo al normalizarse las puntas no alcanzan la temperatura de austenización requerida ( $A_{c3}$ ).

La estructura está indicando que no ha sido normalizada correctamente; en el caso del recalque sur aun persiste pequeñas cantidades de estructura acicular, y en recalque norte se puede encontrar en mucha mayor cantidad.

Para que se de el normalizado es necesario que toda la pieza sea llevada a un punto por encima de Ac3, para esto se recomienda un seguimiento por parte de los operadores y auditores internos de calidad. Para que esto sea posible es necesario valorar la distancia entre los tubos dentro del horno, esta variable determina la cantidad de calor absorbido por las puntas.

Otra observación importante es que las propiedades mecánicas de tensión no sufren mayor variación, se puede decir que su variación no es significativa, esto demuestra la capacidad del molibdeno como elemento aleante y el efecto positivo que causa en la resistencia del material.

#### **5.1.4 Charlas De Capacitación En Tratamientos Térmicos Y Análisis Metalográfico**

Por dos meses durante la práctica el personal de la planta de tratamientos térmicos recibió información acerca de los tratamientos térmicos y la importancia del análisis metalográfico dentro de éste.

Estas charlas se encontraban acompañadas del programa interno de la compañía “charlas de seguridad” presentadas por los supervisores de cada área, de esta manera se distribuyo mejor el tiempo de la capacitación.

##### **5.1.4.1 Desarrollo**

Se reunía el personal de la planta en dentro de las oficinas de tratamientos térmicos. El personal se encuentra compuesto por supervisores, operadores, inspectores y codificadores.

Se disponía de 15 minutos 5 días a la semana, teniendo en cuenta que son tres turnos, se llegaron a completar 3 horas por cada turno en donde se les hablo de la forma más breve posible los siguientes temas:

- Diagrama hierro – carbón
- Micro estructura interna de los aceros
- Metalografía
- Preparación de probetas metalográficas
- Microscopio metalográfico
- Diagrama de transformación TTT
- Estructuras metaestables

##### **5.1.4.2 Resultados:**

Debido a los exigentes horarios que por ese entonces se daban en la planta no se pudo cumplir lo propuesto anteriormente en la metodología (Ver ítem 3.4). Motivo por el cual no se pudo realizar evaluaciones al personal que

permitiera conocer el alcance de estas charlas. Sin embargo estos demostraron interés en los temas vistos anteriormente.

Este programa estuvo acompañado de algunos casos ocurridos en la empresa, ejemplo de esto fueron la tubería fallada por bajas propiedades ocasionadas por el mal temple.

#### **5.1.4.3 Conclusiones:**

La respuesta del personal de la planta a estos programas ha sido positiva, como así lo han hecho saber, hoy día se puede decir que se encuentran en capacidad de discernir acerca de las bases elementales de la metalurgia física y los tratamientos térmicos. Si bien es cierto que aun no poseen habilidades para resolver problemas mediante un estudio metalográfico, si comprenden las estructuras básicas de los aceros a bajo carbono, como son la perlita, ferrita y la martensita.

### **5.2 PROPUESTAS A MEDIANO PLAZO**

Estas propuestas se catalogan de mediano plazo debido a que no se lograron poner en práctica en este trabajo, sin embargo la empresa cuenta con los recursos necesarios para abordar los estudios aquí mencionados.

#### **5.2.1 Control De Atmósferas:**

Actualmente en TenarisTubocaribe la calibración de los horno se realiza de una manera tal que la relación “manométrica” aire/gas en los quemadores es 10/1, eficiente en términos de energía térmica, sin embargo cabe destacar que en términos metalúrgicos las atmósferas oxidantes provocan grandes variaciones en los resultados de procesos, dichas variaciones van desde el calentamiento del horno de puntas en recalcado, hasta los calentamientos en horno barril y cajón, todo este ruido se va incrementando a medida que la tubería sufre los diferentes calentamientos, efecto que se ve reflejado en los resultados.

Objetivo de la propuesta:

- Determinar la relación estequiométrica adecuada aire gas que evite al máximo la oxidación de las piezas.
- Estudiar la composición de las emisiones y determinar el tipo de atmósfera que poseen los hornos en tratamientos térmicos según ASM, para hacer ajustes necesarios

Desarrollo de la Propuesta:

La propuesta consiste en tomar la composición química de las emisiones de CO, CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, H<sub>2</sub> y vapor de H<sub>2</sub>O en los humos de chimenea de los hornos. Estas lecturas se tomarán a diferentes horas del día, esto para verificar las variaciones en la combustión que puedan ser generadas por los cambios de humedad en climas tropicales como los de la ciudad de Cartagena.

Las lecturas se tomarán a través de un analizador de combustión portátil (PCA) **BACHARACH**, equipo con el que cuenta actualmente la empresa.

El punto de prueba debe ser cuidadosamente seleccionado, porque una vez el equipo tome la muestra analizar esta solo debe contener los gases de chimenea, y no tome del medio ambiente o de algún otro agente que pueda alterar la muestra.

En este trabajo se pretende analizar el consumo de combustible, información que es suministrada por el contador de gas del respectivo horno, de igual forma el cálculo del flujo másico a través de platinas de orificios colocadas en las líneas de aire y gas.

Una vez todos los datos y la información necesaria se encuentre reunida se realiza un balance de masa y energía de los hornos, así como la influencia de la atmósfera en la corrosión del producto, de esta manera se analizará la eficiencia térmica y la calibración adecuada de estos equipos.

### **5.2.2 Estudio De La Relación Ti/N En El Tratamiento Térmico De Los Aceros**

Con el fin de buscar mejores alternativas, se están ensayando nuevos aleantes para el acero utilizado en la elaboración de las piezas. Dos de estos elementos aleantes son el boro y el titanio que producen un efecto positivo en los tratamientos térmicos.

Estos nuevos aceros deben ser complemento de la carta de control de proceso vista en la sección 6.1.1, gracias a la experiencia de las otras plantas de Tenaris con estos aceros se conoce que la relación Ti/N de estos aceros influye mucho en las propiedades de revenido.

Objetivos de la propuesta:

- Determinar las condiciones de operación en horno cajón (Temperatura del horno) para los aceros con Ti y B mediante la relación Ti/N.

Desarrollo de la propuesta:

Al igual que el desarrollo planteado en la carta de la sección 6.1.1 es necesario recopilar información acerca de los procesos hechos con este material. Así como se pudo estimar una correlación entre las temperaturas

del horno y el carbono equivalente, de igual forma se debe buscar una entre las temperaturas del horno y la relación Ti/N

### **5.3 PROPUESTAS A LARGO PLAZO**

Las propuestas a largo plazo son propuestas que como lo indica su nombre requiere demasiado tiempo e inversión para llevarse a cabo inmediatamente. Por lo tanto no se hizo un análisis riguroso de la misma, y simplemente mencionaremos las ideas básicas que la constituyen.

#### **5.3.1 Sustitución De La Unidad De Precalentamiento Por Un Horno Cajón Para Alivio De Tensiones Alimentado Con Los Gases De Combustión**

De acuerdo a la necesidad de mejorar la unidad de precalentamiento bastante ineficiente se propone construir un sistema cerrado de calentamiento, alimentado con los gases arrojados por los hornos de austenización y revenido. De esta manera se busca un mejor aprovechamiento de la energía sin tener que prescindir del alivio de la tubería.

Los puntos en que se sostiene la factibilidad de esta propuesta son los siguientes:

- Los gases de chimenea de el horno barril salen a una temperatura de 1200<sup>o</sup>f (630<sup>o</sup>C) suficiente para calentar los tubos a una temperatura de alivio de tensiones, si no se logra llevar a una temperatura lo suficientemente alta se puede incrementar la permanencia, factor a tener en cuenta durante el diseño del horno ya que con mayor tamaño se puede incrementar la permanencia.
- La razón fundamental por la que éste sistema es necesario es para que el calentamiento drástico que sufre en horno barril no deforme la pieza dentro del horno y genere paradas. Esto quiere decir que no es necesario eliminar totalmente los esfuerzos residuales, solo se necesita un alivio de tensiones para que el tubo sea austenizado sin inconvenientes. Esto nos lleva a pensar que este sistema no requiere mayores gastos en tecnología de control y precisión.
- El consumo de combustible en LTT2 es mayor que en otras partes de la empresa debido a su gran tamaño. Con este sistema se puede reducir considerablemente el gasto de combustible, puesto que se eliminaría por completo el consumo de la unidad de precalentamiento el cual es elevado.
- El impacto ambiental generado por este sistema es positivo. El aprovechamiento de la combustión se llevaría al máximo, por lo que solo se

produciría CO<sub>2</sub> y estos gases serian enviado a la atmósfera a menor temperatura.

### **5.3.2 Continuación Del Estudio De Calentamiento De Las Piezas En Los Hornos De Tratamientos Térmicos**

Para tener un conocimiento mas amplio de los hornos y de la transmisión de calor de estos a las piezas es necesario realizar mas pruebas con tubería de distintos diámetros y en distintos sitios del tubo, de esta manera se podrá garantizar el control del calentamiento y diseñar modelos computacionales que permitan el desarrollo de nuevos productos y llevar al máximo la eficiencia en el proceso.

## 6. CONCLUSIONES

A partir del reconocimiento realizado en la planta se puede decir que los procesos de manufactura y más aquellos que involucran tratamientos térmicos, requieren un conocimiento amplio en la materia. La línea LTT2 de TenarisTubocaribe es una planta muy bien diseñada, con una infraestructura adecuada para un buen procesamiento de sus productos, sin embargo su control de proceso aun merece más atención.

Hoy día se han logrado alcances importantes en cuanto a variabilidad de los procesos, esto ha disminuido el reproceso y por supuesto las paradas por cambio de operación. Esto es razón suficiente para seguir aplicando mejoras que contribuyan al mejor desempeño de las variables y el control de las mismas, pero esto no se puede lograr si no se tiene un conocimiento claro de estos procesos y una administración como es debida de los datos históricos de sus parámetros, de igual forma esto debe estar complementado con un entendimiento a fondo de los equipos que componen la planta, en este caso los hornos, puesto que una gran parte de la variabilidad mostrada en los resultados es provocada por ellos.

El conocimiento del proceso y su funcionamiento es adquirido si se tiene un manejo adecuado de la información. Es importante señalar que para la realización de la carta de control fue necesaria una revisión exhaustiva de la historia de los procesos realizados en la planta. La recopilación de datos que en gran parte se encuentra digitalizada ya sea de manera manual o automática, debe ser llevada a cada momento de manera rigurosa. El uso de herramientas estadísticas como diagramas o cartas de control son la manera adecuada de tener un enfoque general de las variables de proceso y verificar que tan controlado se encuentra este. Partiendo de esta base se logran elaborar ciclos de mejoras continuas encaminadas al máximo desempeño del proceso.

Las mejoras propuestas e implementadas en la planta arrojaron resultados importantes. El uso cada vez mas del análisis metalográfico como herramienta de control y verificación se esta implementando en la planta. Existen puntos críticos en los procesos de determinada piezas, tal es el caso de las puntas recaladas de la tubería “tubing”, para esto el análisis metalográfico fue de gran ayuda para entender el comportamiento del material a lo largo de las distintas operaciones. Esto requiere una alta demanda de probetas y por lo tanto exige una mayor capacidad del área de laboratorio.

Por primera vez en TenarisTubocaribe se conoce el calentamiento del tubo en los hornos, esta propuesta nace de las experiencias en las otras plantas del grupo Tenaris, como resultado se tiene certeza de que nuestro proceso se encuentra trabajando en condiciones técnicas adecuadas, y se ha

establecido bases para desarrollo de: estudios para llevar a escala de nuestra industria, modelos a pequeña escala que nos muestren las condiciones óptimas de proceso, análisis termodinámicos y de transferencia de calor que evidencien discrepancias en los resultados o medidas de control, modelado numérico y control del calentamiento en los hornos, etc.

Los conocimientos en metalurgia adquiridos por el personal de LTT2 durante el periodo de charlas de capacitación fueron positivos, aunque no fueron evaluados, estos mostraron interés y aptitud en la materia. Además experimentaron nuevos conocimientos en metalografía, pulido y manejo del microscopio metalográfico, así como la aplicación de estas técnicas en los tratamientos térmicos y observación de las diferentes estructuras que conforman nuestros materiales.

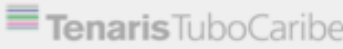
Los procesos de manufactura se caracterizan hoy día por ir en procura de la mejora continua y la optimización. La reducción de costos y elevar al máximo la eficiencia sin desmejorar la calidad en los productos son las metas de la industria moderna. Para que esto se pueda dar debe existir un desarrollo constante en innovación y mejoras, no es solo preservar los avances y logros adquiridos, también es darle seguimiento a las mejoras así como buscar nuevas propuestas en procura de la excelencia.

## BIBLIOGRAFIA:

1. AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE, API SPEC 5CT, *Specification for Casing and Tubing* Seventh Edition; ISO 11960:2001; Supersedes Spec 5CT Metric/ISO 11960 Adoption
2. AMERICAN SOCIETY FOR METALS. "Heat treating ". Vol. 4. Materials park,1991.
3. AMERICAN STANDARD FOR TESTING AND MATERIALS, "Standard Test Methods for Determining Average Grain Size ". Norma ASTM E 112 Julio 2000.
4. APRAIZ José, Tratamientos térmicos de los aceros. Ediciones Dossat. Bilbao. España, 2000
5. GLYN MEYRICK, MSE 651.01., Class Notes and lecture material *Physical Metallurgy of Steel*, 1998
6. JOHN D. Verhoeven, Metallurgy of Steel for Bladesmiths & Others who Heat Treat and Forge Steel, Iowa State University, 2005
7. Manual de control de proceso C-190. Procedimientos realizados en las líneas de tratamientos térmicos. (TenarisTubocaribe)
8. Manual de operación de los hornos barril y cajón línea 2 (TenarisTubocaribe )
9. Manual de operación Recalcadora Hill ACME.(TenarisTubocaribe)
10. MONTGOMERY Douglas C. y GEORGE C. Runger, Probabilidad y Estadística Aplicada a la Ingeniería. Editorial Limusa Wiley, Mexico, 2004
11. PREMAC S.A. *Seminario-Taller de Combustión .Medellín .2005*
12. TESIS DE DOCTORADO Paolo Marino. Modelamiento y control del calentamiento de productos de acero en hornos a gas Universidad de Buenos Aires– 2004
13. TESIS DE GRADO J. Harish. Computational Modelling of HeatTransfer in Reheat Furnaces Indian Institute of Science Bangalore - 560 012 India. December 2000.

14. TESIS DE GRADO Venecia R. Mario. Propuesta de mejoramiento en los tratamientos térmicos en Tubos del Caribe S.A. Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga – 2004
15. TOTTEN George Y N.A. Clinton, Handbook of Quenchants and Quenching Technology. ASM Internacional, 1993.
16. VALENCIA Asdrúbal, Tecnología del tratamiento térmico de los metales. Editorial Universidad de Antioquia, Medellín Colombia, 1992.
17. [http://www.cucei.udg.mx/~luisdegu/calidad\\_total/Unidad\\_1/costos/costos.html](http://www.cucei.udg.mx/~luisdegu/calidad_total/Unidad_1/costos/costos.html)

## ANEXO A: Hojas de iniciación de maquina para los hornos de temple y revenido

	<b>Hoja de iniciación de maquina</b>
Título: HIM - Homo Barril	Revisión: 1A, 2.007 - VI - 13 Pág. 1 de 5

Especificación: <u>API 5CT</u>	Diámetro: <u>7"</u>
Diámetro exterior: <u>7"</u>	Espesor: <u>0.317"</u>

Tratamiento térmico LTT2/temple (N80 - L80) material TC-013

Temp. del tubo: 1700 ± 100  
 Frecuencia del Drive del motor: 14.5 ± 2 Hz [ referencia Drive quench ]  
 Velocidad lineal: 15.5 PIES / MIN.  
 Capacidad: 2.58 TON / HRS  
 Presión, entrada Quench: 40 ± 5 PSI  
 Caudal, Quench: 2150 ± 200 GPM  
 Temperatura agua: MAX. 39°C

Temperaturas seteo, zonas del homo:

- Zona 1: 1780 ± 100°F
- Zona 2: 1780 ± 100°F
- Zona 3: 1780 ± 100°F
- Zona 4: 1900 ± 100°F
- Zona 5: 1900 ± 100°F
- Zona 6: 1900 ± 100°F
- Zona 7: 1900 ± 100°F

Ajustar velocidad de rodillos: ver "calibración de rodillos" en manual de operación

Ajustar alineación y nivelación del Quench: ver "calibración del quench" en manual de operación

Verificar que el tubo pase a la misma velocidad por el Quench: ajustar conveyor de salida

Preparó: Giovanni Paternina	Revisó: Jorge Montes	Aprobó:
Estudiante en práctica	Jefe Tratamientos Térmicos	
Nombre cargo	Nombre cargo	Nombre cargo

Copia controlada No.

**Título:** Horno Cajón

**Revisión:** X, año - mes - día

Pagina 1

of. 1


 Especificación: API5CT  
 Diámetro exterior: 7"

 Diámetro: 7"  
 Espesor: 0.317"

Tratamiento térmico LTT2/revendido (L80) material TC-013

 Temp. del tubo:  $1150 \pm 80$  °F

 Tiempo de permanencia:  $145 \pm 10$  min. [referencia Tiempo de cola, tiempo de cadena y tiempo de residencia]

Temperaturas seteo, zonas del horno:

Zona 1: (0% semomotor)  
 Zona 2: (0% semomotor) |  
 Zona 3: (0% semomotor)  
 Zona 4:  $1150 \pm 100$  °F  
 Zona 5:  $1150 \pm 100$  °F  
 Zona 6:  $1150 \pm 100$  °F

Las zonas están programadas para un carbono equivalente de 0.5%.

 Se debe incrementar Zona 7:  $12 \pm 10$ %; Zona 8:  $15 \pm 10$ % y Zona 9:  $12 \pm 10$ %, por 0.01% en carbono equivalente del acero.

Preparo Giovanni Paternina Buelvas	Reviso Jorge Montes Paredes	Aprobó
	Coord. Área / Coord. Verificación y Control	Coordinador aseguramiento de calidad

Copia Controlada No.

**ANEXO B: Especificaciones de tubería elaborada por la empresa.**

Grado	Esfuerzo de fluencia		Esfuerzo ultimo de tracción Min. (Psi)	C Máx. %	Mn Máx. %	P Máx. %	S Máx. %
	Min. (Psi)	Máx. (Psi)					
<b>H40</b>	<b>40.000</b>	<b>80.000</b>	<b>60.000</b>	-	-	<b>0.030</b>	<b>0.030</b>
<b>J55</b>	<b>55.000</b>	<b>80.000</b>	<b>75.000</b>	-	-	<b>0.030</b>	<b>0.030</b>
<b>K55</b>	<b>55.000</b>	<b>80.000</b>	<b>95.000</b>	-	-	<b>0.030</b>	<b>0.030</b>
<b>N80</b>	<b>80.000</b>	<b>110.000</b>	<b>100.000</b>	-	-	<b>0.030</b>	<b>0.030</b>
<b>L80</b>	<b>80.000</b>	<b>95.000</b>	<b>95.000</b>	<b>0.43</b>	<b>1.90</b>	<b>0.030</b>	<b>0.030</b>
<b>P110</b>	<b>110.000</b>	<b>140.000</b>	<b>125.000</b>	-	-	<b>0.030</b>	<b>0.030</b>

Rango	Longitud del tubo
Rango 1	22 – 24 pies
Rango 2	28 – 32 pies
Rango 3	38 – 42 pies

Diámetro Externo	Espesor máx.
2 <sup>3</sup> / <sub>8</sub> Pulgadas	0.190 Pulgadas
2 <sup>7</sup> / <sub>8</sub> Pulgadas	0.217 Pulgadas
3 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> Pulgadas	0.254 Pulgadas
4 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> Pulgadas	0.271 Pulgadas
4 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> Pulgadas	0.250 Pulgadas
5 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> Pulgadas	0.275 Pulgadas
5 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> Pulgadas	0.304 Pulgadas
7 Pulgadas	0.317 Pulgadas
7 Pulgadas	0.362 Pulgadas
8 <sup>5</sup> / <sub>8</sub> Pulgadas	0.322 Pulgadas