

**PROPUESTA DE MEJORAMIENTO EN LOS TRATAMIENTOS  
TERMICOS REALIZADOS EN TUBOS DEL CARIBE S.A.**

**MARIO ROBERTO VENECIA RODRIGUEZ**

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

**2004**

**PROPUESTA DE MEJORAMIENTO EN LOS TRATAMIENTOS  
TERMICOS REALIZADOS EN TUBOS DEL CARIBE S.A.**

**MARIO ROBERTO VENECIA RODRIGUEZ**

**Trabajo de grado para optar al titulo de  
Ingeniero Metalúrgico**

**Directores**

**Willman Olivera Vergara**

**Jefe de Sección de Tratamiento Térmicos Tubos del Caribe S.A.**

**Ing. Sofia Espinosa Safar**

**Jefe de Laboratorio de Metalurgia y Ensayos Mecánicos Tubos del Caribe S.A.**

**Codirector**

**Luz Amparo Quintero**

**Ingeniero Metalúrgico**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOQUÍMICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA METALÚRGICA Y CIENCIA DE  
MATERIALES  
BUCARAMANGA**

**2004**

A Dios,

A Graciela, Gracielita, Jaime y Enrique.

A mis amigos, vales, panas y llaverias.

A Cartagena, por el sabor y el movimiento.

## AGRADECIMIENTOS

EL Autor expresa sus agradecimientos a las siguientes personas y entidades:

A mi familia, por la paciencia, el apoyo y la dedicación, en especial a mi hermano Jaime.

A Rosalina Castillo, por la oportunidad y la confianza.

A la profesora Luz Amparo Quintero, por el tiempo, la asesoría y el conocimiento brindado durante toda la carrera.

A la empresa Tubos del Caribe S.A., y al jefe de la Sección de tratamientos térmicos Willman Olivera Vergara por la oportunidad, los conocimientos y la amistad brindada.

Al supervisor Edgar Torres por la disposición, la amistad y los conocimientos prácticos sobre el proceso; y al resto del personal de la sección por la colaboración en las pruebas realizadas y demás actividades durante la práctica empresarial.

A los amigos, compañeros, vales, panas, llaverías y vagabundas por hacer de la vida en Bucaramanga menos aburrida y más placentera.

A Cartagena por el sabor, el sentimiento y mantener las ganas de siempre regresar.

## CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	4
1. MARCO TEORICO	5
1.1 TRATAMIENTOS TERMICOS	5
1.1.1 Temple	5
1.1.2 Revenido	5
1.1.3 Normalizado	6
1.2 CONTROL ESTADISTICO	6
1.2.1 Conceptos básicos	6
1.2.2 Agrupamiento de datos	8
1.2.3 Parámetros estadísticos	8
2. GENERALIDADES DE LA EMPRESA “TUBOS DEL CARIBE S.A.”	10
2.1 NOMBRE Y RAZÓN SOCIAL	10
2.2 UBICACIÓN GEOGRAFICA	10
2.3 ACTIVIDAD ECONOMICA	10
2.4 RESEÑA HISTORICA DE LA EMPRESA	11
2.5 MISION	11
2.6 VISION	12
2.7 SECCIONES DE TRABAJO	12
2.8 PRINCIPALES PRODUCTOS	15
2.9 USOS	15
2.10 ESPECIFICACIONES PRINCIPALES DE LOS PRODUCTOS	16
3. RECONOCIMIENTO DEL AREA DE TRATAMIENTOS TERMICOS	19
3.1 UBICACIÓN	19
3.2 ELEMENTOS Y EQUIPOS	19

3.2.1 Hornos Barril (hornos para temple y normalizado)	19
3.2.2 Hornos Cajón (hornos para revenido)	19
3.2.3 Hornos para calentamiento de tubería (hornos para recalcado)	20
3.2.4 Recalcadoras (para la fabricación del recalque en la tubería)	20
3.2.5 Enderezadoras (para corregir la rectitud de la tubería)	20
3.2.6 Cortadoras de disco giratorio	20
3.2.7 Pulidoras neumáticas y eléctricas	21
3.3 TRATAMIENTOS TERMICOS REALIZADOS	21
3.3.1 Temple	21
3.3.2 Revenido	21
3.3.3 Normalizado	22
4. EVALUACION DE LA SECCIÓN DE TRATAMIENTOS TERMICOS DE LA EMPRESA TUBOS DEL CARIBE S.A.	23
4.1 IDENTIFICACIÓN, EVALUACION Y CONTROL DE LAS VARIABLES PRESENTES EN LOS TRATAMIENTOS TERMICOS	23
4.1.1 Temple	24
4.1.2 Revenido	26
4.1.3 Normalizado	27
4.1.4 Variables operativas	27
4.1.5 Especificaciones del material utilizado	28
4.1.6 Defectos frecuente en la tubería como resultado del tratamiento térmico	29
4.2 EVALUACIÓN DEL CONTROL ESTADISTICO DE PROCESO	30
4.3 IDENTIFICACION DE LAS FALENCIAS Y NECESIDADES DE LA SECCION	32
5. ESTUDIOS Y SEGUIMIENTOS REALIZADOS A ALGUNAS VARIABLES DE LOS TRATAMIENTOS TERMICOS EN LA EMPRESA TUBOS DEL CARIBE S.A.	34
5.1 COMPOSICION QUIMICA	34
5.2 TAMAÑO DE LA PIEZA	35

5.3 TEMPERATURA DEL MEDIO DE ENFRIAMIENTO	36
5.4 CONDICIÓN SUPERFICIAL DE LA MUESTRA	37
5.5 ESTUDIO DE FACTIBILIDAD EN REPROCESO DE TUBERÍA	38
5.5.1 Objetivos del estudio	38
5.5.2 Generalidades del estudio	38
5.5.3 Características del estudio	39
5.5.4 Resultados	39
5.5.5 Análisis de resultados	40
5.5.6 Conclusiones del estudio	41
6. PROPUESTAS DE MEJORAMIENTO EN LOS TRATAMIENTOS TERMICOS REALIZADOS EN LA PLANTA DE LA EMPRESA TUBOS DEL CARIBE S.A.	42
6.1 PROPUESTA DE CONTROL DE PROCESO MEDIANTE CONTROL DE VARIABLES	42
6.1.1 Del proceso	44
6.1.2 De los equipos e instrumentos	48
6.1.3 Del personal	50
6.2 DISEÑO DE UN FORMATO QUE PERMITA RELACIONAR LA COMPOSICIÓN QUIMICA DE LAS COLADAS CON LAS TEMPERATURAS DE REVENIDO	51
6.3 PROPUESTA DE MEJORAMIENTO EN EL CONTROL EN LA MARCHA TENIENDO EN CUENTA LOS INSTRUMENTOS UTILIZADOS QUE PERMITEN RELACIONAR LAS PROPIEDADES MECANICAS (ESFUERZO ULTIMO DE TENSION) DESEADAS CON LA DUREZA DESPUES DEL TRATAMIENTO	52
6.4 ACCIONES CORRECTIVAS PROPUESTAS SOBRE EL CONTROL ESTADISTICO DEL PROCESO TENIENDO EN CUENTA EL COMPORTAMIENTO DE ALGUNAS PROPIEDADES MECANICAS	54
6.5 PROPUESTA DE UN PROGRAMA DE CAPACITACIÓN CONTINÚO PARA LOS TRABAJADORES DE LA SECCION	55

6.6 RESULTADOS DE LAS ACCIONES CORRECTIVAS IMPLEMENTADAS	59
7. CONCLUSIONES	61
BIBLIOGRAFIA	

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Requerimientos tensiles para tubería 5L	16
Tabla 2. Requerimientos tensiles para tubería 5CT	17
Tabla 3. Condición de las variables de los tratamientos térmicos realizados en tubos del caribe S.A.	28
Tabla 4. Falencias en el control estadístico de proceso	32
Tabla 5. Efecto de la presencia de molibdeno en el temple con respecto a las propiedades mecánicas	35
Tabla 6. Efecto de la presencia de molibdeno en el revenido con respecto a las propiedades mecánicas	35
Tabla 7. Efecto de la temperatura ambiente en la temperatura del medio de enfriamiento	36
Tabla 8. Reproceso de tubería, 3359 – 109 punta sur, especificación 5CT – L80	40
Tabla 9. Resumen de la evaluación de los tratamientos térmicos	43
Tabla 10. Composiciones químicas recomendadas para los tratamientos térmicos en tubería de producción Tubing	45
Tabla 11. Composiciones químicas recomendadas para los tratamientos térmicos en tubería de producción Tubing	54

TITULO: PROPUESTA DE MEJORAMIENTO EN LOS TRATAMIENTOS TERMICOS  
REALIZADOS EN LA PLANTA DE LA EMPRESA TUBOS DEL CARIBE S.A.\*

AUTOR: Mario Roberto Venecia Rodríguez\*\*

**PALABRAS CLAVES:** Tratamientos térmicos, Temple, Revenido, Normalizado, Control estadístico

**RESUMEN:** La viabilidad de muchos procesos realizados a escala industrial se determina de acuerdo al control que se logre sobre ellos, es necesario que las empresas que desean mantenerse en el mercado, conozcan, evalúen y controlen las variables que más influyen en sus procesos.

TUBOS DEL CARIBE S.A. es una empresa del sector metalmecánico, que ofrece a la industria del gas y petróleo una completa línea de productos tubulares para diversas aplicaciones en el campo de la conducción, exploración, producción, refinerías y construcción. Además servicios monocapa y multicapas para tuberías de conducción. Tubocaribe fabrica tubos en acero con costura, en formadoras longitudinales y realiza los procesos de tratamientos térmicos a la tubería cuya especificación lo requiera.

Debido a los programas de mejoramiento continuo que deseaba implementar, y a las dificultades presentadas en los procesos de tratamientos térmicos, la empresa TUBOS DEL CARIBE S.A., brindó la oportunidad de realizar una práctica empresarial que cubriera con esta necesidad.

La práctica empresarial se desarrollo en cuatro etapas de la siguiente forma: inicialmente un reconocimiento de las secciones de la planta y sus procesos; una evaluación y diagnostico de la sección de tratamientos térmicos determinando las variables más influyentes en el proceso y su control, seguido del planteamiento de propuestas de mejoramiento enfocadas a los procesos de Temple, Revenido y Normalizado, a los instrumentos y equipos utilizados en la sección, a la capacitación del personal y al control estadístico del proceso; por último, la implementación de algunas de las propuestas de mejoramiento y la evaluación de sus primeros resultados.

Finalmente se obtuvo un mejoramiento en los procesos y en la forma de producción, sin embargo, es necesario implementar de forma integral las propuestas planteadas para obtener un mejoramiento continuo y completo de la sección de tratamientos térmicos.

---

\* Práctica Empresarial.

\*\* Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales.

## ABSTRACT

**TITLE:** PROPOSAL FOR IMPROVING THE HEAT TREATING PROCESSES AT TUBOS DEL CARIBE S.A.\*

**Author:** Mario Roberto Venecia Rodríguez\*\*

**KEY WORDS:** Heat Treatings, Quenching, Tempering, Normalizing, Statistical Control.

**DESCRIPTION:** The viability of many industrial processes is determined by the control measures taken over them. For this reason, those enterprises that wish to keep their market position, must recognize, evaluate and control those variables involved in their manufacturing processes.

TUBOS DEL CARIBE S.A is a metal-mechanical company, offering a wide range of pipe and related products for field conduction, exploration, production, refineries and construction for both the gas petroleum industry. Besides, they provide monolayer and multilayer services for Line Pipes. Tubocaribe manufactures, in longitudinal forming devices, pipes in steel with seam and also accomplishes heat treating processes to the piping whose specification require it.

According to the non-stop improvement policies and to the difficulties in the heat treating processes accomplished by the company, TUBOS DEL CARIBE S.A, decided employing a practicing student in order to achieve their goals.

As a practicing student, I developed a four stage process, in order to set the above mentioned difficulties apart, as follows: Recognition of the plant sections and its processes. Evaluation and diagnosis of the heat treating section in order to determine the most significant variables of both the process and its control. Afterwards, I proceeded to make some proposals for improving Quenching, Tempering and Normalizing processes. These proposals included; suggestions for the improvement of the section instruments, capacitating programs for the employees and statistical control measurements. Finally I implemented these measurements and made an evaluation of the obtained results.

The measurements I proposed marked a significant influence in the processes and in the production mechanisms. However, it is necessary to make a complete implementation of these measurements, in order to obtain a real non-stop improving of the heat treating section.

---

\* Management practice.

\*\* Facultad de Ciencias Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales

## INTRODUCCIÓN

Los tratamientos térmicos son procesos que se realizan sobre una pieza para darles o cambiarles algunas propiedades. Estos utilizan ciclos de calentamiento y enfriamiento con el fin de modificar la estructura interna del acero, los cuales pueden involucrar cambios en la micro estructura, ya sea por transformación ó por composición.

Con el tratamiento térmico se buscan micro estructuras que proporcionen las propiedades mecánicas en la pieza, necesarias para las exigencias a las cuales va estar sometida durante el servicio.

La viabilidad de muchos procesos realizados a escala industrial, se determina de acuerdo al control que se logren sobre ellos. Por esos es necesario, conocer, evaluar y luego controlar las variables que más influyen en un proceso.

El manejo correcto de las variables de los procesos de tratamientos térmicos, determinará el control que se tenga sobre él. La identificación de las variables a controlar durante el diseño de los tratamientos térmicos determinará el efecto sobre las propiedades mecánicas. Pero no solo las variables de los procesos de tratamiento térmicos determinan su correcto diseño, es importante tener en cuenta los procesos anteriores y posteriores para obtener la mejor condición y propiedades deseadas en la pieza a fabricar.

Para controlar un tratamiento térmico y cualquier proceso es importante clasificar y determinar las variables independientes del proceso, con el objeto de fijar intervalos de trabajo en los cuales se obtengan los efectos deseado sobre el diseño del proceso y el producto elaborado.

Cada tratamiento térmico presenta variables que pueden ser manejadas y controladas, y otras que según el diseño, deberán mantenerse constante para que el proceso solo dependa de la variable extrínseca. Las empresas como Tubocaribe, que están relacionadas directamente con el sector metalúrgico necesitan realizar seguimiento a sus procesos y establecer los mecanismos que permitan su mejoramiento continuo.

De esta forma nace la iniciativa de realizar una práctica empresarial, que permita hacer seguimiento y estudio de los procesos de tratamientos térmicos, llenando las necesidades de las industrias que producen sus productos en estas áreas de la metalurgia.

La práctica empresarial estuvo diseñada de manera tal que, se pudieran analizar la gran mayoría de los problemas y falencias que se presentaban en la sección de tratamientos térmicos de la empresa Tubos del Caribe S.A., en un tiempo no mayor a seis meses, diseñando durante este tiempo propuestas que facilitaran los procesos de la sección y un mejoramiento de los mismos.

La distribución de las actividades programadas tuvo en cuenta, el tiempo de duración de la práctica, las sugerencias realizadas por el jefe de sección y la asesoría de los directores de este trabajo de grado; de esta forma se diseñó la práctica y cada una de sus etapas.

En un primer instante, se realizó el reconocimiento de cada una de las secciones de la empresa determinando sus influencias en los procesos de tratamientos térmicos seguido de una evaluación general sobre la sección en estudio.

Una segunda etapa, identificando, estudiando y evaluando cada una de las variables presente en los tratamientos térmicos, determinando las falencias presentes en la sección y en el manejo de sus variables.

Las propuestas de mejoramiento diseñadas hacen parte de la tercera y cuarta etapa. En la tercera etapa, se encuentran las propuestas involucradas con el proceso de tratamiento térmico, mientras que en la cuarta etapa se encuentran las propuestas de formación y capacitación continua de los trabajadores de la sección.

Algunas de las propuestas diseñadas para la sección de tratamientos térmicos durante la realización de práctica empresarial fueron implementadas meses antes de finalizar dicha actividad, notándose mejoras en la forma de producción y en la disminución de los rechazos parciales del producto.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Realizar un estudio de los Tratamientos Térmicos y establecer las acciones correctivas a mejorar en el control de los procesos en esta área de la Empresa Tubos del Caribe S.A.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Hacer seguimiento a los procesos de tratamientos térmicos e identificar las variables más importantes y las fallas o falencias que se presentan en este proceso.
- Establecer algunas acciones correctivas sobre los problemas identificados previamente.
- Implementar mecanismos de control in situ, que permitan relacionar y tomar decisiones sobre los tratamientos térmicos efectuados.
- Capacitar al personal operativo de la sección en fundamentos de Tratamientos Térmicos (condiciones, variables), con el fin de contar con personal capacitado en el área.

## 1. MARCO TEORICO

### 1.1 TRATAMIENTOS TERMICOS

Los tratamientos térmicos son procesos que involucran ciclos de enfriamiento y calentamiento, con el objeto de incrementar o modificar las propiedades de las piezas tratadas. A continuación se mencionan los tratamientos térmicos que se realizan en la planta de la empresa Tubos del Caribe S.A.

1.1.1 **Temple.** Proceso que consiste en calentar el material hasta la temperatura de austenización (850 – 950° C), manteniéndolo durante un tiempo determinado hasta que la austenita este homogénea, seguido por un enfriamiento rápido. El objetivo principal del proceso es aumentar la dureza del acero y cambiar la estructura interna de este. Existen diferentes tipos de temple entre los cuales tenemos.

- Temple directo.
- Temple escalonado.
- Austempering.
- Martenpering.
- Patenting.

El temple directo se caracteriza por utilizar un solo medio de enfriamiento, el cual debe garantizar una velocidad de enfriamiento mayor que la velocidad crítica de temple.

1.1.2 **Revenido.** Por lo general después de un temple, el siguiente proceso es el revenido, a la combinación de estos 2 (dos) proceso, temple más revenido, se le conoce con el nombre de Bonificado. El principal objetivo del revenido es

disminuir las tensiones internas producidas en el temple modificando la estructura interna del acero.

El revenido ofrece tres rangos de temperatura en los que es posible la operación, los cuales son, entre 1200 y 1300°F, entre 750 y 1200°F, y, entre 400 y 750° F.

- 1.1.3 **Normalizado.** El objetivo principal de este tratamiento térmico es calentar 212° F por encima de la temperatura de austenización y enfriar en aire tranquilo, con el fin de eliminar características indeseables en la micro estructura, produciendo un material homogéneo, mejorando la maquinabilidad y refinando el tamaño de grano.

## 1.2 CONTROL ESTADISTICO

La Estadística es la ciencia que estudia las características de un conjunto de casos para hallar en ellos regularidades en el comportamiento, que sirven para describir el conjunto y para efectuar predicciones. Su objetivo es recolectar, organizar, resumir, presentar y analizar datos relativos a un conjunto de objetos, personas, procesos, etc. A través de la cuantificación y el ordenamiento de los datos intenta explicar los fenómenos observados, por lo que resulta una herramienta de suma utilidad para la toma de decisiones.

### 1.2.1 Conceptos básicos

En cualquier trabajo en el que se aplique, la estadística debe hacer referencia a un conjunto de entidades, conocido como población.

**Población o Universo.** Es el total del conjunto de elementos u objetos de los cuales se quiere obtener información. El tamaño de una población viene dado por la cantidad de elementos que la componen.

**Unidad de análisis.** Es el objeto del cual se desea obtener información. Muchas veces nos referimos a las unidades de análisis con el nombre de *elementos*. En estadística, un elemento o unidad de análisis puede ser algo con existencia real, como un automóvil o una casa, o algo más abstracto como la temperatura o un intervalo de tiempo. Dada esta definición, puede redefinirse población como el conjunto de unidades de análisis.

**Muestra.** Es un subconjunto de unidades de análisis de una población dada, destinado a suministrar información sobre la población.

**Variable.** Es la cualidad o cantidad mensurable que se estudia de las unidades de análisis y que varían de una unidad a otra. Las variables se clasifican en dos grupos de acuerdo al nivel de medición utilizado para su observación:

- Variables cualitativas: son las variables medidas en escala nominal u ordinal, ya que la característica que miden de la unidad de análisis es una cualidad.
- Variables cuantitativas: son las variables medidas en escala Intervalar, puesto que lo que miden es una cantidad.

**Niveles de medición.** Las variables pueden ser medidas con mayor o menor grado de precisión según la escala de medida utilizada para su observación. Podemos distinguir los siguientes niveles de medición de una variable:

- Nominal. Sólo permite clasificar a las unidades de análisis en categorías. Por ejemplo: sexo –varón y mujer -.
- Ordinal. Además de clasificar a los elementos en distintas categorías, permite establecer una relación de orden de las mismas. Por ejemplo: clase social – baja, media y alta -.
- Intervalar. Permite clasificar, ordenar y medir la distancia entre las diferentes categorías. Por ejemplo: edad.

### 1.2.2 **Agrupamiento de datos**

Existen métodos para resumir los datos medidos u observados. Cuando se trata de variables cualitativas donde las categorías están determinadas, lo único que hay que hacer es contabilizar el número de casos pertenecientes a cada categoría y normalizar con relación al número total de casos, calculando una proporción, un porcentaje o una razón.

En cambio, cuando se trata de variables cuantitativas, el resumen de los datos consiste en organizar tablas que sintetizan los datos originales y se denominan distribuciones de frecuencia (es el número de veces que se presenta cada valor de la variable).

### 1.2.3 **Parámetros estadísticos**

Al obtener de una población la distribución de frecuencias de una variable, lo que se persigue es reducir o condensar en pocas cifras el conjunto de observaciones relativas a dicha variable. Este proceso de reducción puede continuarse hasta su grado máximo, es decir, hasta sustituir todos los valores observados por uno solo que se llama promedio.

Existen numerosas formas de calcular promedios. La más conocida es la media aritmética, pero además existen otras como la mediana y la moda o el modo.

**Media aritmética.** Es el número que se obtiene al dividir la suma de todas las observaciones por la cantidad de observaciones sumadas.

**Mediana.** Si todos los valores observados de la variable se ordenan en sentido creciente (o decreciente), la mediana es el valor de la variable que ocupa el lugar central, es decir, el que deja a un lado y a otro el mismo número de observaciones.

**Moda o modo.** Es el valor de la variable que más veces se repite, o sea, el valor que presenta mayor frecuencia. Es útil como medida de tendencia central, sólo en aquellos casos en que un valor de la variable es mucho más frecuente que el resto. Se basa en la idea de “lo que es moda” o en el “comportamiento de la mayoría” para tomar a cierto valor como representativo del comportamiento de los datos.

Una medida de dispersión, muy útil y por lo tanto comúnmente utilizada es la ***desviación estándar***.

Es una medida de cómo se dispersan los datos alrededor de su media. Partimos del hecho de que se pudiera medir que tanto se desvía de la media, cada una de las observaciones.

## **2. GENERALIDADES DE LA EMPRESA “TUBOS DEL CARIBE S.A.”<sup>1</sup>**

### **2.1 NOMBRE Y RAZON SOCIAL**

Su nombre o razón social es, TUBOCARIBE “Tubos del caribe S.A.”

### **2.2 UBICACIÓN GEOGRAFICA**

Parque industrial Carlos Vélez Pombo. Carretera a Turbaco Kilómetro 1, AA 9056 Cartagena, Colombia. Teléfono (57 – 5) 661 –9128 / 653 – 6130. E-mail: tubocaribe@tubocaribe.com

### **2.3 ACTIVIDAD ECONOMICA**

Tubos del caribe S.A. ofrece a la industria del Gas y el Petróleo una completa línea de productos tubulares para diversas aplicaciones en el campo de la conducción, exploración, producción, refinerías y construcción. Además servicios altamente calificados de revestimiento Mono capa y Multicapas para tubería de conducción o Line Pipe.

En la LINEA DE OCTG: CASING Y TUBING, Tubocaribe produce Casing (Tubos de entubación o revestimiento) en diámetros desde 4” hasta 8 5/8” y Tubing (tubos de producción) en diámetros desde 2 3/8” hasta 4 1/2” según especificación API 5CT, normalizado de costura, normalizado de cuerpo completo, templado y revenido.

---

<sup>1</sup> Tomado del catalogo general de productos de Tubos del caribe S.A.

## **2.4 RESEÑA HISTORICA DE LA EMPRESA.**

TUBOCARIBE inicio operaciones en 1991 como la primera empresa colombiana productora de tubos petroleros bajo licencia del Instituto Americano del Petróleo “API”.

TUBOCARIBE fue diseñada para abastecer la creciente industria petrolera de la región y de los mercados de exportación a nivel mundial. Gracias a una distribución de planta versátil y a una capacidad instalada, TUBOCARIBE puede producir eficientemente lotes de fabricación de tubería en diámetro hasta de 8 5/8” de los tipos: conducción 5L (LINE PIPE), tubería de producción y revestimiento 5CT (TUBING Y CASING).

En julio de 1995, se inaugura la planta de revestimiento de tubería con una producción promedio de 60 tubos por minuto (8 pulgadas \*0.322 pulgadas). La planta de revestimiento fue diseñada para revestir tubos de diámetro que van desde 2 3/8 hasta 42 pulgadas y espesores de 1 pulgada aproximadamente. La versatilidad de esta nos permite recubrir con procesos FBE, BICAPA Y TRICAPA, y las diferentes opciones del mercado nacional y mundial.

## **2.5 MISION**

TUBOCARIBE trabaja en la fabricación de productos de acero destinados a los sectores Petroleros, Gasíferos, Industriales y de Construcción. Brindamos servicios de revestimiento de nuestras tuberías, al igual que a tuberías de mayor diámetro producidas por otros, todo con el objeto de ofrecer un servicio integral a nuestros clientes, beneficiando no solo a nuestros clientes, Empleados y accionistas, sino también a la comunidad en general.

La excelencia de nuestros productos y de los servicios que prestamos constituye nuestro pilar fundamental. Para lograrlo, nos regimos por la filosofía de CALIDAD TOTAL Y MEJORAMIENTO CONTINUO, asegurando que nuestros productos y servicios sobrepasen los requisitos y expectativas de nuestros mas exigentes clientes, cumpliendo normas y parámetros Nacionales e Internacionales. El compromiso ineludible de nuestro equipo humano, que con permanente evolución implementando tecnologías de vanguardia las cuales nos permiten alcanzar las metas propuestas preservando nuestros valores y principios.

## **2.6 VISION**

Deseamos proyectarnos, desarrollarnos y consolidarnos hacia el futuro como líderes Nacionales e Internacionales en nuestro campo, creciendo cada día en participación de mercado, capacidad de producción, gama de productos y servicios ofrecidos. Con este desarrollo, esperamos constituirnos como empresa multinacional, reconocida por su CALIDAD, CUMPLIMIENTO, VERSATILIDAD, EFICACIA Y COMPETITIVIDAD.

EL COMPROMISO CON NUESTROS CLIENTES, EMPLEADOS Y CON LA SOCIEDAD EN GENERAL ES SER FUENTE DE SOLUCIONES SERIAS Y OPORTUNAS, APORTANDO AL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DE VIDA Y CULTURA DE NUESTRO PAIS.

## **2.7 SECCIONES DE TRABAJO**

Tubocaribe fabrica tubos empleando formadoras longitudinales, con tecnología de electrofusión de alta frecuencia. Se distinguen 5 secciones del proceso productivo que son, formado, inspección, recalado, tratamientos térmicos y roscado, las cuales se describen a continuación. En el anexo A se muestra un diagrama gráfico del proceso productivo.

**Formado.** Tubocaribe fabrica tubos a partir de láminas de acero enrolladas en forma de bobinas empleando formadoras longitudinales, con tecnología de electrofusión de alta frecuencia EW.

Las Bobinas maestras de acero se convierten en bobinas cortadas, de las cuales se forma el tubo, electro fusionando sus bordes, normalizando la zona de fusión, calibrándola, enderezándola y cortándola a longitudes especificadas.

Antes del formado, cuchillas circulares alternadas y yuxtapuestas cortan las láminas de las bobinas maestras en bandas de ancho exacto que se necesitan para formar el diámetro del tubo requerido.

Después del corte se controla el ancho de las bandas, se les asignan las etiquetas de identificación para control de trazabilidad y se colocan en la secuencia en la que van a ser introducidas a las líneas de formado.

En las formadoras, las bobinas cortadas son desenrolladas, aplanadas y formadas tubularmente a través de una serie de rodillos cóncavos y convexos, hasta enfrentar los bordes de la lámina mediante presión mecánica. Los bordes enfrentados se electro fusionan longitudinalmente mediante temperatura inducida por alta frecuencia eléctrica. Se hace un a inspección ultrasónica en línea después de la electrofusión para monitorear la integridad de la soldadura del tubo y las condiciones del burilado interior.

La zona afectada por el calor se normaliza y los tubos son sometidos a enfriamiento para posteriormente, ser calibrados, cortados, enderezados, inspeccionados visualmente y marcados con la identificación apropiada. Dependiendo de la especificación del producto estos son distribuidos para las operaciones de terminado y pruebas respectivas.

**Inspección.** La sección de inspección es la encargada de asegurar la calidad del producto y verificar que no presente anomalías físicas en su fabricación, así como defectos, imperfecciones y fallas.

Tubocaribe opera una amplia serie de sistemas de pruebas no destructivas de conformidad con las especificaciones API y la del cliente. La inspección ultrasónica en la línea se ejecuta después de la electrofusión para monitorear la integridad de la soldadura del tubo y las condiciones del burilado interior. Se cuenta con equipos de inspección electromagnética fuera de línea para detectar defectos transversales y longitudinales en el cuerpo completo del tubo. Se utilizan métodos de inspección no destructivos en extremos (SEA) a través de partículas magnéticas, en medio seco o húmedos para localizar defectos en la zona del recalque.

En su cuarto de galgas, Tubocaribe mantiene un equipo completo de galgas API de trabajo y patronamiento. Las galgas de trabajo son calibradas periódicamente contra las de patronamiento para asegurar el mayor grado de precisión en las mediciones que se realicen.

Para asegurar la calidad de sus productos, Tubocaribe opera en laboratorios completamente equipados que suministran evaluaciones y análisis químicos, mecánicos, de metrología y metalúrgicos.

**Recalcado.** Con el fin de aumentar el espesor en los extremos a roscar del Tubing o Tubos de producción, la pared de los mismos se calientan a la temperatura apropiada de forjado en unos hornos a gas y se alimentan inmediatamente en el canal de entrada de una prensa “recalcadora” la cual sujeta el extremo caliente forjándolo mediante un molde de dado y un punzón.

**Tratamientos térmicos.** La sección de tratamientos térmicos está comprendida por dos líneas de producción. Es la encargada de dar las propiedades mecánicas finales a

la tubería, elabora los tratamientos térmicos de Temple, Revenido y Normalizado de acuerdo a la especificación de tubería que el cliente desee y a la cual corresponde el producto. Es la sección objeto de nuestro estudio y evaluación.

La sección de tratamientos térmicos representa la fase intermedia en la producción de tubería, como resultado, debe cumplir con las exigencias del producto, las condiciones del trabajado mecánico después de formado y además debe facilitar las condiciones para el posterior roscado de la tubería.

**Roscado.** Tubocaribe utiliza roscadoras de gran velocidad con pastillas de carburo de tungsteno garantizando así una alta productividad. La calidad de las roscas la da la precisión de las roscadoras. Cada rosca es inspeccionada en su totalidad por personal altamente calificado y capacitado. El torque de los productos roscados se hace de acuerdo a lo estipulado por el cliente y los requisitos exigidos por la norma tomada como referencia.

## **2.8 PRINCIPALES PRODUCTOS**

TUBERIA API 5CT Y 5L

TUBERIA GALVANIZADA

## **2.9 USOS**

La tubería 5CT TUBING es utilizada como tubería para conducción y producción de petróleo y gas en pozos petroleros; dependiendo de la especificación del producto pueden ser bonificadas o normalizadas.

5CT CASING es utilizada como tubería de revestimiento en pozos de petróleo, evita el taponamiento por desprendimiento de las paredes, también pueden ser bonificadas o normalizadas.

5L Tubería de conducción LINE PIPE es utilizada como tubería de línea para la conducción de petróleo o gas, en algunos casos pueden ser normalizadas.

## 2.10 ESPECIFICACIONES PRINCIPALES DE LOS PRODUCTOS

Tubocaribe ofrece dos líneas de productos bajo las especificaciones API 5L y 5CT, line pipe y casing – tubing respectivamente de diferentes diámetros y espesores.

### *Productos bajo la especificación 5L*

Bajo la especificación 5L, se produce tubería de línea o *Line pipe* en diámetros que varían desde 2” hasta 8 5/8” en diferentes espesores y grados (ver tabla 1).

Tabla 1. Requerimientos tensiles para tubería 5L

<b>GRADO</b>	<b>YS Min. (PSI)</b>	<b>UTS Min. (PSI)</b>
A25	25,000	45,000
A	30,000	48,000
B	35,000	60,000
X42	42,000	60,000
X46	46,000	63,000
X52	52,000	66,000
X56	56,000	71,000
X60	60,000	75,000
X65	65,000	77,000
X70	70,000	82,000
X80	80,000	90,000

Fuente: Catálogo de productos line pipe de Tubos de Caribe S.A.

*Productos bajo la especificación 5CT*

Paralelo a la producción de tubería de línea, bajo la especificación 5 CT, Tubocaribe produce tubería OCTG (Oil Country Tubular Goods). Los productos OCTG que necesitan ser tratados térmicamente, son calentados en hornos a gas a temperaturas de operación cuidadosamente controladas.

Tubocaribe produce tubería de revestimiento (casing) en diámetros que van desde 4” hasta 8 5/8” y tubería de producción (tubing) en diámetros desde 2 3/8” hasta 4 1/2”, normalizada o templada y revenida en diferentes espesores estándar y en grados desde J55 hasta P110 (ver tabla 2).

Tabla 2. Requerimientos tensiles para tubería 5CT

Grado	Esfuerzo de Fluencia YS (psi)		Esfuerzo Ultimo de Tensión UTS (psi)	Dureza (HRC)
	Mínimo	Máximo		
H40	40.000	80.000	60.000	-
J55	55.000	80.000	75.000	-
K55	55.000	80.000	95.000	-
N80	80.000	110.000	100.000	-
L80	80.000	95.000	95.000	-
P110	110.000	140.000	125.000	-

Fuente: Catalogo productos OCTG de Tubos de Caribe S.A.

ASTM A53 Grado A y B. Tubería EW de acero al carbono.

A500. Tubería de acero al carbono: redonda, cuadrada o rectangular para usos estructurales.

A589. Tubería EW de acero al carbono para pozos de agua.

Otros grados ASTM afines

Además la tubería es clasificada en rangos de acuerdo a la norma API según la longitud que presenta, en los siguientes rangos.

Rango 1. De 22 a 24 pies

Rango 2. De 28 a 32 pies

Rango 3. De 38 a 42 pies

Para mayor información sobre las propiedades mecánicas, composición química y la tolerancia dimensional de los productos de la empresa Tubos del Caribe S.A., remítase al anexo B.

### **3. RECONOCIMIENTO DEL AREA DE LOS TRATAMIENTOS TERMICOS**

Los tratamientos térmicos realizados en Tubos del caribe S.A. dependen de la especificación del producto requerido por el cliente, de las propiedades que este necesite y de la estructura metalográfica que la norma API exige. Por eso Tubos del Caribe S.A. solo realiza los tratamientos térmicos de Temple, Revenido y normalizado, salvo algunos requerimientos específicos de los clientes.

#### **3.1 UBICACIÓN**

La sección de tratamientos térmicos de la empresa Tubos del caribe S.A. esta representada por 2 (dos) líneas de producción en donde se efectúan los procesos de tratamientos térmicos, logrando una mayor versatilidad y capacidad.

#### **3.2 ELEMENTOS Y EQUIPOS.**

**3.2.1 Hornos Barril (hornos para temple y normalizado).** El horno barril es un equipo mediante el cual se calienta cualquier tipo de tubería por medio de radiación con diámetros que van desde 2 3/8” hasta 8 5/8”, habitualmente se lleva a cabo el proceso de calentamiento para el tratamiento térmico de Temple y en algunos casos el normalizado de la tubería. El oxígeno se suministra introduciendo aire dentro de las zonas, el cual es forzado mediante ventiladores con el fin de realizar la combustión completa, debe asegurarse que existe la cantidad de aire necesaria para quemar el combustible (gas natural).

**3.2.2 Hornos Cajón: (para revenido).** Es un hogar rectangular, el cual inducen el calor por convección, realizando el tratamiento térmico de revenido en la tubería que ya ha sido templada.

Los quemadores son de fuego horizontal, de tal forma que el fuego es perpendicular a los tubos; este requiere de una chimenea alta auto soportada para proporcionar un flujo de aire caliente continuo, constante y homogéneo, asegurando una uniforme distribución a todo lo largo y alrededor de los tubos. Suministra calor radiante por un alto número de quemadores espaciados en forma ordenada en las paredes del horno.

**3.2.3 Hornos para calentamiento de puntas de tubería (para Recalcado).** Estos hornos, igual que los hornos para los procesos de tratamientos térmicos, utilizan como combustible, gas natural; la disposición de los quemadores es tal, que el calor aportado por el horno a la tubería procesada sea por radiación. Estos hornos buscan que el calentamiento sea hasta aproximadamente 12 pulgadas después de la punta del tubo. Con el objeto de realizar el proceso de forja en la distancia y a la temperatura que estipula el proceso.

**3.2.4 Recalcadoras (para la fabricación del recalque en la tubería).** Estas maquinas, utilizan tiempos de operación; la línea 2 presenta una recalcadora a dos tiempos, recalcadora Eumuco.

A semejan el proceso de forja con estampa cerrada, mediante matrices de acero al carbón nitruradas y Punch (punzones) realizados en el mismo material, con el fin de aumentar el diámetro exterior en la tubería, estas solo realizan el proceso en tubería de producción Tubing.

**3.2.5 Enderezadores (para corregir la rectitud de la tubería).** Son maquinas que utilizan el sistema de rodillos móviles para corregir la rectitud de la tubería. Su instalación y ubicación es debido a que unos de los defectos que más se presentan después de los tratamientos térmicos es la torcedura de tubería.

**3.2.6 Cortadoras de disco giratorio.** Son maquinas eléctricas de disco giratorio, que realizan el corte de la tubería que va a ser recalcada, su función es cortar las puntas de

la tubería, eliminando el bisel en el diámetro interno que trae la tubería después de formado. Estas maquinas utilizan discos de corte en aceros rápidos.

**3.2.7 Pulidoras neumáticas y eléctricas.** Estas son herramientas utilizadas para eliminar las rebabas dejadas en la punta recalada de la tubería después del proceso de recalado.

### **3.3 TRATAMIENTOS TERMICOS REALIZADOS**

Tubos del Caribe S.A. realiza los procesos de tratamientos térmico de temple, revenido y normalizado los cuales se nombran a continuación.

**3.3.1 Temple.** Entre los diferentes tipos de temple (Temple directo, Temple escalonado, Austempering, Martenpering y Patenting) Tubos del Caribe S.A. realiza temple directo a la tubería gracias a la geometría regular que su producto presenta, al bajo costo del proceso y a las especificaciones de su producto.

Tubos del Caribe S.A., utiliza el proceso de temple para aumentar la dureza de la tubería, utilizando el sistema de pieza en movimiento con ducha (medio de enfriamiento) fija. Como medio de enfriamiento se utiliza agua, con una severidad aproximada de 4, este es recirculado por un sistema de bombas con el fin de minimizar el gasto por consumo y la contaminación por vertimiento de aguas residuales; el medio es enfriado por una serie de torres de enfriamiento que permiten mantener un control en la temperatura del medio de enfriamiento. El temple es realizado para tubería bajo especificación L80, N80 y P110 Tubing y Casing.

**3.3.2 Revenido.** Tubos del Caribe S.A. realiza este proceso para suavizar la dureza obtenida en la tubería después de temple, obteniendo las propiedades mecánicas deseadas (esfuerzo de tensión  $Y_s$  y resistencia última a la tensión  $U_t$ ) que la

martensita revenida posee y haciendo uso de la relación tiempo de residencia – temperatura de revenido permite aumentar la productividad de la sección.

La tubería que presenta el tratamiento térmico de revenido y que produce Tubos del Caribe S.A. es a la que anteriormente se le ha efectuado temple y corresponde a la especificación según norma API L80, N80 y P110.

**3.3.3 Normalizado.** Tubos del Caribe S.A. realiza este proceso para homogeneizar la estructura interna de la tubería, minimizando la influencia realizada por la costura dejada en la tubería después del formado. Es frecuente la realización de este tratamiento térmico cuando la exigencia del cliente es para tuberías con las características y especificaciones (J55).

#### **4. EVALUACION DE LA SECCION DE TRATAMIENTOS TERMICOS DE LA EMPRESA TUBOS DEL CARIBE S.A.**

##### **4.1 IDENTIFICACIÓN, EVALUACIÓN Y CONTROL DE LAS VARIABLES PRESENTES EN LOS TRATAMIENTOS TERMICOS**

Tubos del Caribe S.A. presenta 2 (dos) líneas de tratamientos térmicos las cuales presentan cada una un horno de temple y un horno de revenido, 4 (cuatro) hornos en total, que permiten la funcionalidad de la empresa.

Los hornos donde se realiza el proceso de Temple llevan el nombre de horno Barril, debido a su diseño y la forma de calentamiento de la tubería. Estos Hornos utilizan como combustible gas natural y efectúan el calentamiento de la tubería hasta la temperatura de austenización por medio de transferencia de calor por radiación; la temperatura del horno es controlada mediante servomotores y termopares de control.

Uno de los grandes inconvenientes en el proceso de calentamiento para el temple es la torcedura y distorsión de la tubería debido a la liberación de energía producida por el trabajado mecánico durante la etapa de formado. Este inconveniente es más notorio a medida que la tubería a calentar es de menor diámetro y en su composición presenta elementos aleantes (carbono, manganeso y silicio) que dificultan el trabajado mecánico en frío.

Los hornos donde se realiza el proceso de revenido son llamados internamente Horno Cajón, debido a su diseño, estos hornos permiten un calentamiento de la tubería por medio el flujo de corrientes de aire caliente.

La transferencia de calor es por convección e igual al Barril también utilizan gas natural como combustible. Durante el calentamiento su mayor inconveniente es la

demarcación de zonas que evitan una homogeneidad total en las propiedades de la tubería después de este proceso.

El enfriamiento de la tubería depende del tratamiento térmico realizado. Para Temple que exige velocidades de enfriamiento por encima de los 250° F/ seg. Tubos del caribe S.A. utiliza duchas para el enfriamiento de la tubería como lo exige la norma API para la fabricación de tubería casing y tubing con costura.

El sistema de enfriamiento trabaja con un QUENCH<sup>2</sup> fijo y piezas en movimiento para lograr que la tubería fluya de forma continua. Para el revenido el enfriamiento es lento, en mesas de enfriamiento o en platillos giratorios que permiten obtener un fenómeno de enfriamiento en aire lo más rápido posible. Para el normalizado el enfriamiento se hace lentamente al aire libre, en mesas de entradas o salidas de equipos.

A continuación se identifican y evalúan las principales variables de los procesos de tratamientos térmicos de la empresa Tubos del Caribe S.A..

#### **4.1.1 Temple**

**Composición química.** Tubos del Caribe S.A. en sus procesos de fabricación utilizan aceros hipoeutectoides con pequeños porcentajes de elementos de aleación que permiten obtener mejor templabilidad durante este tratamiento; utiliza aceros con porcentajes de carbono ubicados en el siguiente rango (0.21- 0.30). Aunque la empresa Tubos del Caribe S.A. cumple con los requisitos de la norma API, El control sobre la composición química para el manejo de los procesos de tratamientos térmicos es escaso.

---

<sup>2</sup> QUENCH. Ducha de enfriamiento con orificios helicoidales utilizada en el proceso de temple.

**Tamaño de grano.** Es una de las variables que se mantienen constantes para este tratamiento térmico, tubos del Caribe utiliza aceros con tamaño de grano número 8. Para su control el tamaño de grano para cada colada es medido por comparación con cartas gráficas antes de la etapa de formado.

**Tamaño de la pieza.** Determina la relación área superficial – masa; y relaciona la velocidad de enfriamiento con la masa de la pieza. En Tubos del Caribe el tamaño de la pieza se relaciona directamente con el diámetro y espesor de la tubería a procesar, la longitud es un parámetro para determinar la especificación de esta.

**Geometría de la pieza.** Debido a la geometría tubular manejada por el producto que fabrica tubocaribe, la variable geometría de la pieza se mantiene constante. El control realizado, es un control sobre las tolerancias dimensionales de la tubería.

**Medio de enfriamiento.** Tubos del Caribe utiliza como medio de enfriamiento agua, la cual es recirculada; su severidad está estimada en 4 (agitación violenta) debido a la agitación por el constante recirculamiento, su paso a través de los orificios del quench y al movimiento de la pieza ha templar. Se controla mediante torres de enfriamiento. Para mantener las propiedades que ofrece este medio de enfriamiento, la sección de tratamientos térmicos realiza limpieza y abastecimiento de los pozos donde se encuentran almacenados.

**Temperatura de enfriamiento.** Constante, Tubos del Caribe trabaja en intervalos de temperaturas del medio entre 29 – 40° C, donde su efecto en la severidad es poco notorio; los dispositivos para la medición de la temperatura de enfriamiento el flujo de agua se encuentran ubicados a la entrada de las duchas de enfriamiento. Para controlar la temperatura del medio de enfriamiento en los intervalos en que la severidad de este es la deseada y no hay variaciones apreciables sobre el temple, Tubos del Caribe utiliza torres de enfriamiento como se muestran en la gráfica 1.

Gráfica 1. Torre de enfriamiento, línea 2 sección de tratamientos térmicos.



Fuente: autor

**Condición superficial de la muestra.** La presencia de capa de óxido sobre la tubería (virgen) antes de los tratamientos térmicos, es pequeña por lo que esta variable se mantiene constante, es importante tenerla en cuenta cuando la tubería va a ser reprocesada.

#### 4.1.2 Revenido

**Temperatura de revenido.** Es una de las variables del proceso, depende de la composición química y del diámetro de la tubería a tratar térmicamente.

**Tiempo de residencia.** Esta relacionada con la variable anterior, es dependiente de la composición química y el diámetro de la tubería, su relación con la temperatura de revenido es mediante la fórmula de Holloman y Jaffe la cual se utiliza en la sección de tratamientos térmicos.

$$H = T (C + \log t)$$

*H: parámetro de dureza*

*T: temperatura a la cual se realiza el tratamiento en grados Kelvin.*

*C: constante; 20 para el tiempo en horas y 16.5 para el tiempo en segundo*

*t: tiempo*

**Composición química.** Es dependiente de la proporción y efecto de los elementos aleantes, en el revenido, este parámetro es utilizado para calcular el carbono equivalente mediante la formula mostrada a continuación.

$$\%CE = C + Mn/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Ni + Cu)/15$$

#### 4.1.3 Normalizado

**Composición química.** Determina las temperaturas de austenización del acero a tratar. Se hace uso de la formula de carbono equivalente mostrado anteriormente para determinar la temperatura de austenización del acero.

#### 4.1.4 Variables operativas

**Velocidad de calentamiento.** Debido al proceso de trabajado mecánico en frío durante el proceso de formado, la velocidad de calentamiento deberá ser lo mas lento posible como sea practica, evitando la distorsión durante el calentamiento.

La velocidad de calentamiento esta determinada por el diámetro de la tubería a procesar, por ejemplo, para alcanzar la temperatura de austenización desde los 82.4° F para tubería de diámetro 5½, la velocidad de calentamiento es aproximadamente 12° F/seg.

**Velocidad de enfriamiento.** Debido al movimiento de la tubería durante todos los procesos de tratamientos térmicos, la velocidad de enfriamiento debe es controlada teniendo en cuenta la geometría de la pieza, para evitar la torcedura y distorsión

debido a los altos choques térmicos; la velocidad de enfriamiento esta alrededor de los 250° F/seg. para el proceso de temple.

La tabla 3, muestra la condición de cada variable de los diferentes tratamientos térmicos realizados en la planta de la empresa Tubos del Caribe S.A..

Tabla 3. Condición de las variables de los tratamientos térmicos realizados en Tubos del Caribe S.A.

	<b>TEMPLE</b>	<b>REVENIDO</b>	<b>NORMALIZADO</b>
Composición química	variable	variable	variable
Tamaño de grano	constante	--	--
Tamaño de la pieza	variable	variable	--
Geometría de la pieza	constante	constante	constante
Medio de enfriamiento	constante	constante	constante
Temperatura del medio de enfriamiento	condicionado <sup>3</sup>	constante	constante
Condición superficial	condicionado	--	condicionado
Temperatura de revenido	--	variable	--
Tiempo de residencia	variable	variable	variable
Velocidad de calentamiento	Variable	--	variable
Velocidad de enfriamiento	Variable	--	--

Fuente: autor

**4.1.5 Especificaciones del material utilizado.** Tubos del Caribe S.A. fabrica tubería en acero al carbono siguiendo los requerimientos que exige la normas a la cual esta acogida, ya sean normas para el aseguramiento de la calidad o técnicas para la producción y fabricación de tubería, que son: API Q1 “ Specification For Quality

<sup>3</sup> Condicionado. Que se maneja en un intervalo de trabajo ó que depende de la cantidad de veces que se ha procesado.

Programs For The Petroleum and Natural Gas Industry”, que se refiere a los lineamientos sobre los que se fundamenta el sistema de Gestión integrado de la empresa; API 5L “Specification For Line Pipe”, fabricación de tubería para conducción, empleada en gasoductos y oleoductos; API 5CT “Specification For Casing and Tubing”, fabricación de tubería para revestir pozos y producción.

El acero utilizado por Tubos del caribe S.A. para la elaboración de tubería API con costura, corresponde aceros al medio carbono Hipoeutectoides con porcentajes que se encuentran en los siguientes intervalos (%C 0.21 – 0.30; %Mn 1.00 – 1.50; %Si 0.15 –0.30). Algunos de estos aceros utilizados como materia prima para la producción de tubería, vienen con elementos aleantes influyentes en los tratamientos térmicos como es el caso del molibdeno.

Por eso para el control en la recepción de materia prima el proveedor debe adicionar el formato de composición química de cada bobina, con la proporción de cada elemento aleante. Sin embargo, Tubos del Caribe S.A. realiza examen de espectrometría por cada colada a procesar.

#### **4.1.6 Defectos frecuente en la tubería como resultado del tratamiento térmico**

**Ovalidad en las puntas.** Se presenta debido a choques térmicos bruscos, su mayor efecto se nota en el proceso de roscado, por que impide la fabricación de la rosca en la tubería. Se presenta más que todo en tubería CASING. Casi siempre es debido al calentamiento excesivo de la punta con respecto al resto del tubo.

**Espirales en la tubería.** Los espirales en la tubería se hacen presenten debido a diferentes causas, entre las cuales tenemos:

Marcación que hace el sistema de rodillos móviles que permiten el paso de la tubería dentro del horno debido al reproceso constante de la tubería, marcación que hacen

los rodillos del enderezador durante el proceso de mejora en la rectitud de la tubería, la alta temperatura durante el calentamiento de la tubería, la velocidad de calentamiento de la tubería y la distribución de los orificios del quench.

**Grietas y fisuras en la tubería.** Estas se presentan por la penetración del medio de enfriamiento dentro de la tubería en el proceso de temple. Se hacen evidentes para tubería de coladas donde exista la presencia de molibdeno, el porcentaje de carbono sea mayor a 0.28% y el porcentaje de Manganeso sea mayor o igual 1.22%. Solo se presenta en la punta de la tubería, en el intervalo de 0 a 12” y puede localizarse en el cuerpo de la tubería o en la costura.

**Tubería doblada.** Solo se produce por atrapamiento de tubería dentro de los hornos de calentamiento para el temple. Puede ser por esfuerzos residuales altos dentro de la tubería debido al proceso de formado, o por condiciones no deseables en el horno de Temple.

## **4.2 EVALUACIÓN DEL CONTROL ESTADISTICO DE PROCESO**

En general la empresa Tubos del Caribe S.A. lleva un control estadístico de todos sus procesos, realizando seguimiento en cada una de las secciones que hacen parte de la producción de tubería.

La sección de tratamientos térmicos es una de las secciones donde se hace énfasis en el seguimiento y la toma de datos, con el objeto de corroborar el buen diseño del tratamiento térmico y asegurar la trazabilidad del producto.

El control estadístico de la sección esta dirigido hacia las propiedades mecánicas que presenten las piezas después de los tratamientos térmicos, sin embargo, este no esta enfocado hacia la toma de decisiones en la marcha.

Entre los niveles de medición existentes, la sección de tratamientos térmicos utiliza un nivel intervalar para medir las variables cuantitativas, dureza, esfuerzo de fluencia YS y esfuerzo último de tensión UTS.

Cada variable cuantitativa es medida en intervalos de acuerdo a la norma API Q1 “Specification For Quality Programs For The Petroleum and Natural Gas Industry” y las hojas de ingenierías diseñadas por la empresa para tales fines.

Para determinar y asegurar la trazabilidad del producto dentro de las secciones y en especial en los procesos de tratamientos térmicos, toda la tubería tratada térmicamente es marcada de la siguiente forma:

Para tubería que va ser Bonificada se representa con la letra “Q” seguida del lote de producción de la sección, el número de formado y en la punta sur el número de entrada al Horno de Temple (de 1 a 100 para tubería Casing y de 1 a 200 para tubería Tubing).

Para tubería que va ser Normalizada se representa por la letra “Z” seguida del lote de producción de la sección, el número de formado y en la punta sur el número de entrada al horno de Temple (de 1 a 100 para tubería Casing y de 1 a 200 para tubería Tubing).

De esta forma es posible garantizar la toma de muestras y el seguimiento y control estadístico del proceso.

A continuación se presenta en la tabla 4 las falencias más significativas dentro del control estadístico de proceso, teniendo en cuenta las variables cuantitativas medidas y la línea de producción de la sección.

Tabla 4. Falencias en el control estadístico de proceso

VARIABLE CUANTITATIVA	CONTROL ESTADISTICO LINEA 1	CONTROL ESTADISTICO LINEA 2	FALENCIAS
Esfuerzo de fluencia YS	Automático (realizado por el laboratorio de metalografía y ensayos mecánicos)	Automático (realizado por el laboratorio de metalografía y ensayos mecánicos)	Cuando existe producción de las dos líneas los resultados son tardíos.
Esfuerzo ultimo de tracción UTS			Difícil control estadístico y baja toma de decisiones sobre la marcha.
Dureza	Manual (realizado por los operadores de la sección)	Sistematizado (valores introducidos en programas estadísticos de computadoras)	Para la línea 1 los datos son calculados por los operadores aumentando el porcentaje de error. No existe cálculo de los parámetros estadísticos. Para la línea 2 y 1 el control estadístico no esta enfocado hacia la toma de decisiones sobre la marcha.

Fuente: autor

### 4.3 IDENTIFICACIÓN DE LAS FALENCIAS Y NECESIDADES DE LA SECCION

A partir de la evaluación realizada anteriormente se han identificado como principales fallas y necesidades de la sección de tratamiento térmicos, las siguientes.

La presencia de termopares de control en cada uno de los hornos y sus zonas, es importante para el control operativo del proceso, sin embargo, la utilización de instrumentos portátiles de medición es escasa.

El conocimiento operativo de los diferentes trabajadores que componen la sección es bueno, pero, es importante que el personal se encuentre capacitado y tenga nociones sobre los procesos de tratamientos térmicos.

El control y seguimiento estadístico realizado a los procesos de tratamientos térmicos no se encuentran debidamente enfocados hacia la toma de decisiones durante la marcha.

Manejo de muchas variables, ya sean operativas o de tipo técnico, es importante identificar las que se pueden mantener constante o en intervalos de trabajo donde su influencia es despreciable.

Bajo conocimiento del personal en el control estadístico de proceso e interpretación de datos para la toma de decisiones.

Resultados de laboratorios tardíos cuando se encuentran en funcionamiento las dos líneas de producción de los tratamientos térmicos.

## **5. ESTUDIOS Y SEGUIMIENTOS REALIZADOS A ALGUNAS VARIABLES DE LOS TRATAMIENTOS TERMICOS EN LA EMPRESA TUBOS DEL CARIBE S.A.**

### **5.1 COMPOSICIÓN QUÍMICA**

Tubos del Caribe utiliza aceros hipoeutectoides entre los siguientes rangos de composición de elementos aleantes, % carbono 0.21 – 0.30; % Silicio 0.15 – 0.30; % Manganeso 1.00 – 1.50 y en algunas coladas, la presencia de molibdeno.

La composición química identifica y determina la temperatura de austenización del acero utilizado, el control sobre esta es mediante el carbono equivalente. Su efecto es notorio e importante en los tres tratamientos térmicos realizados en la empresa.

Durante la práctica empresarial Tubos del Caribe S.A. ha fabricado tubería en las diferentes especificaciones con composiciones con y sin molibdeno. La tubería que en su composición química presenta molibdeno tiene un buen comportamiento en los tres tratamientos térmicos para las especificaciones Tubing y Casing.

La tubería tratada térmicamente que en su composición no presenta molibdeno, tiene el siguiente comportamiento; en el caso de la tubería de revestimiento Casing, baja templabilidad y por lo tanto la toma de dureza después de revenido debe ser analizada teniendo en cuenta la distribución de durezas a través del espesor. En el anexo C se encuentran las coladas recomendadas por el autor de acuerdo al seguimiento realizado a las coladas tratadas durante el tiempo de realización de la práctica empresarial

La tubería de producción Tubing que en su composición química no presenta molibdeno, tiene una alta tendencia a presentar propiedades bajas después de los tratamientos térmicos.

Tabla 5. Efecto de la presencia del molibdeno en el Temple con respecto a las propiedades mecánicas.

	<b>TUBING</b>	<b>CASING</b>	<b>CONTROL MEDIANTE DUREZAS</b>
SIN MOLIBDENO	Propiedades mecánicas bajas en los recalques	Buena templabilidad Propiedades en el rango especificado	Debe ser cuidadoso, alta diferencia en la distribución de durezas
CON MOLIBDENO	Buenas propiedades en los recalques	Excelente templabilidad, Propiedades en el rango especificado	Bueno, poca diferencia e la distribución de durezas

Fuente: autor

Tabla 6. Efecto de la presencia del molibdeno en el revenido con respecto a las propiedades mecánicas.

	<b>TUBING</b>	<b>CASING</b>	<b>CONTROL MEDIANTE DUREZAS</b>
SIN MOLIBDENO	Propiedades mecánicas bajas en los recalques	propiedades en el rango especificado	Baja relación entre la dureza después del revenido y el UTS
CON MOLIBDENO	Buenas propiedades mecánicas en los recalques	Buenas propiedades mecánicas, efecto notorio del endurecimiento secundario	Buena relación entre la dureza después del revenido y el UTS

Fuente: autor

## 5.2 TAMAÑO DE LA PIEZA

Depende de la especificación de la tubería a elaborar, su control, evaluación y efecto sobre las temperaturas de calentamiento para los tratamientos térmicos es aproximada, igual que su efecto en la velocidad de enfriamiento en el temple.

### 5.3 TEMPERATURA DEL MEDIO DE ENFRIAMIENTO

El efecto del medio ambiente sobre la temperatura del medio de enfriamiento es notorio en las horas del medio día, su influencia sobre las propiedades mecánicas en la tubería, no es diciente debido a las otras variables que se encuentran en el tratamiento térmico, es posible que las propiedades mecánicas bajen junto con la severidad del medio siempre y cuando se este procesando tubería de igual composición química. Este efecto se notará, en una disminución en las durezas y la cantidad de martensita transformada después del temple, junto con una baja templabilidad y diferencias en la distribución de durezas en la tubería. La tabla 7 muestra la variación de la temperatura del medio de enfriamiento con respecto a la del medio ambiente.

Tabla 7. Efecto de la temperatura ambiente en la temperatura del medio de enfriamiento

FECHA		TEMP AMB	TEMP AGUA POZO ° F	
DD-MM-AA	HORA	GRADOS ° F	ENTRADA	SALIDA
22-04-03	08:30	85.4	95.6	101.2
	10:25	86.0	98.8	101.4
	14:00	79.2	97.6	100.2
	16:00	77.2	94.6	100.2
23-04-03	08:00	83.4	95.0	100.8
	10:30	85.2	96.6	99.0
24-04-03	08:00	85.4	96.0	101.4
	10:00	91.6	98.4	101.2
28-04-03	08:00	86.8	95.4	101.4
	10:00	91.8	98.0	101.4
	14:00	92.2	98.6	104.0

FECHA		TEMP AMB	TEMP AGUA POZO ° F	
DD-MM-AA	HORA	GRADOS ° F	ENTRADA	SALIDA
	16:00	86.8	100.2	103.8
29-04-03	08:30	88.4	99.2	102.2
	10:00	90.0	99.4	103.6
	14:00	88.4	101.0	104.2
	16:00	86.6	100.0	103.6
30-04-03	08:00	83.2	96.6	101.65
	10:30	83.2	97.8	102.0
	14:30	80.2	97.8	104.6
2-05-03	16:00	86.0	97.8	99.2
6-05-03	09:30	88.6	98.8	102.2
	14:00	90.2	99.0	101.0
7-05-03	14:00	87.4	99.0	101.0
8-05-03	08:00	86.0	98.2	103.4
	10:40	86.0	99.4	104.0
	15:15	86.0	100.0	103.4

Fuente: autor

Es notable que en las horas del medio día las temperaturas del medio de enfriamiento son mas alta, su efecto en las propiedades mecánicas se vera influenciado en una tendencia a la baja. Sin embargo, el estudio previo no logro demostrar la anterior proposición debido al efecto de las otras variables en el temple.

#### **5.4 CONDICIÓN SUPERFICIAL DE LA MUESTRA**

Es una de las variables condicionadas del proceso de temple y normalizado. Esta directamente relacionado con la capa de oxido presente en la tubería en la etapa de calentamiento. Cuando la tubería es virgen (sin ningún tratamiento térmico anterior),

esta condición puede obviarse, sin embargo el reproceso<sup>4</sup> de tubería hace necesario tener en cuenta esta variable para determinar las condiciones de operación de los hornos, las velocidades y temperaturas de calentamiento de la tubería, y la cantidad de agua para el enfriamiento si el tratamiento térmico corresponde al temple. Por eso entre los estudios realizados durante la práctica empresarial encontramos el efecto del reproceso sobre las propiedades mecánicas y los defectos e imperfecciones en la tubería.

## **5.5 ESTUDIO DE FACTIBILIDAD EN REPROCESO DE TUBERÍA**

### **5.5.1 Objetivos del estudio**

- Identificar como se ven afectadas las propiedades mecánicas de tensión (YS y UTS) y dureza por el reproceso de tubería.
- Determinar el efecto de las llamas de los quemadores a gas en los hornos con respecto a la posición de la tubería dentro del horno.
- Identificar los defectos visuales en la tubería producto de esta operación y cuantas veces es posible realizarla

**5.5.2 Generalidades del estudio.** Se inició el día 29 de abril del año 2003, en el área de tratamientos térmicos (línea 1 – nave 4) de la planta de la empresa Tubos del Caribe S.A. en tubería de diámetro 5½ y espesor 0.304 pulgadas, rango 3 ( longitud entre 38 y 42 pies) y finalizó el 8 de mayo de 2003.

---

<sup>4</sup> Reproceso. Realización repetitiva del mismo proceso de tratamientos térmicos en una tubería o lote de producción.

**5.5.3 Características del estudio.** Se realizó tratamiento térmico de Bonificado en la tubería de código 3359 – 109; procesándola 6 veces, reprocesándola 5 veces en total, con el objetivo de mantener constante la composición química y condiciones de formado. Se mantuvieron las mismas condiciones operativas del proceso (distancia de las llamas de los quemadores en el horno cajón, condiciones de calentamiento, presiones y caudal de agua para la ducha de enfriamiento, temperatura del medio de enfriamiento dentro del intervalo admisible, entre otras).

Las temperaturas de calentamiento para el Temple en cada uno de los reproceso fue 122° F por encima de la temperatura de austenización como aconseja la bibliografía, se tuvo en cuenta la composición química del acero para determinar esta temperatura. El revenido se diseño utilizando el rango de temperaturas entre 1200 y 1300° F, en un tiempo aproximado de 1,1 hora.

**5.5.4 Resultados.** Durante la realización de cada proceso de tratamiento térmico de temple se tomaba dureza Brinell (esfera 10mm y fuerza de 3000 Kg.), con el fin de identificar la dureza en escala rockwell C y calcular mediante curvas de durezas HRC – porcentaje de carbono, la cantidad aproximada de martensita obtenida después del tratamiento.

La toma de durezas se realizó en una sección del cuerpo de la punta sur<sup>5</sup> de la tubería, externa e internamente, con una frecuencia de 4 impresiones por cada lado de la probeta; el resultado encontrado en la tabla 8, es el promedio de las cuatro mediciones de durezas realizadas.

Las secciones para la toma de durezas fueron cortadas con oxiacetileno en recipientes de agua. Para la toma de durezas es necesario cortar un tramo de la tubería igual a 12 pulgadas, la misma longitud es tomada para el ensayo de tensión después de revenido.

---

<sup>5</sup> PUNTA SUR. Extremo de la tubería que ingresa primero al horno de calentamiento y que se enfría primero en la ducha de enfriamiento o Quench.

Es necesario considerar que las probetas de ensayo son tomadas en el cuerpo de la sección cortada, la cual no involucra la costura del tubo y por lo tanto elimina el efecto de este en el ensayo.

Tabla 8. Reproceso de tubería, 3359 – 109 punta sur, especificación 5CT – L80

T.T	YS	UTS	%E	Dureza después de temple	Dureza después de revenido
1	90 700	102 100	26.2	47HRC INT- 49 HRC EXT	96HRB
2	92 400	101 700	24.9	47HRC INT- 47.7 HRC EXT	96HRB
3	92 300	102 200	25.3	46.7HRC INT- 48.5 HRC EXT	96HRB
4	92 400	101 800	25.0	48.5HRC INT- 52 HRC EXT	96HRB
5	90 800	100 500	26.2	49.2HRC INT- 50 HRC EXT	96HRB
6	89 800	100 800	25.0	47.5 HRC INT- 49 HRC EXT	96HRB

Fuente: autor

**5.5.5 Análisis de resultados.** La dureza obtenida en cada uno de los reprocesos se mantiene entre los intervalos admisibles de durezas, tanto en el exterior como en el interior.

Las pruebas de tensión evidencian, que el esfuerzo de tensión YS y esfuerzo último de tensión UTS se encuentran estables y semejantes comparados con cada reproceso, y que se encuentran en el intervalo de aceptación para el cual esta especificada la tubería y el diseño del tratamiento térmico.

La dureza después de revenido apreciada en la tabla 8 en la escala Rockwell B, es calculada mediante parámetros de comparación con el esfuerzo último de tensión UTS. Ver anexo D.

### **5.5.6 Conclusiones del estudio**

Como es sabido, el calentamiento de aceros sin exceder el crecimiento de grano y la quema de los mismos no cambia las propiedades mecánicas de las piezas tratadas.

Las propiedades mecánicas obtenidas en el estudio, demuestra que los quemadores una vez se encuentre calibrado el horno, no ejercen ningún efecto sobre el diseño del revenido y la posición de la tubería dentro del horno.

Durante la realización del temple no se percibió cambio alguno en la dureza de la tubería, se verificó mediante pirómetro óptico portátil que la temperatura para el temple de la tubería se mantuviera lo más homogénea y constante posible.

El efecto de la capa de oxido es notorio en el calentamiento de la pieza a partir del tercer reproceso en el temple, durante el revenido su efecto es nulo.

Uno de los defectos presentados en la tubería, es la marcación (espirales) producida por los rodillos transportadores durante el calentamiento que se encuentran en el horno barril. Los espirales se hacen evidentes, visualmente, a partir del primer reproceso, esta falla se sale del parámetro exigido por el departamento de calidad a partir del tercer reproceso.

La ovalidad en las puntas es imperceptible en los dos primeros reproceso, sin embargo a partir del tercer reproceso ya se encuentra fuera del rango de tolerancia que exige los tornos y roscadoras de la empresa.

Si se desea tener en cuenta este estudio como fuente de información para ser aplicado en la línea 2 (NAVE 8) de la sección de tratamientos térmicos de la planta de la empresa Tubos del Caribe S.A., es importante considerar el tamaño de los hornos presentes en esta línea.

## **6. PROPUESTAS DE MEJORAMIENTO EN LOS TRATAMIENTOS TERMICOS REALIZADOS EN LA PLANTA DE LA EMPRESA TUBOS DEL CARIBE S.A.**

### **6.1 PROPUESTA DE CONTROL DE PROCESO MEDIANTE CONTROL DE VARIABLES**

Durante el tiempo correspondiente a los 4 primeros meses de la práctica empresarial realizada en la planta de la empresa Tubos del Caribe S.A., se ha notado que diferentes variables de los procesos de tratamientos térmicos juegan un papel importante en las propiedades mecánicas que se desean obtener en la tubería.

El estudio y seguimiento de dichas variables ha permitido diseñar una propuesta que busca el mejoramiento en el control del proceso y confiabilidad en el mismo, mediante la predicción del comportamiento de las propiedades mecánicas deseadas con el respectivo tratamiento térmico.

A continuación se muestra la tabla 9 identificando las falencias, necesidades, fallas en el control y manejo de variables como resumen a la evaluación realizada en los primeros meses de realización de la practica empresarial (abril – mayo). Esta tabla tiene en cuenta en que parte de la sección se esta presentando la falla, ya sea en el proceso, los instrumentos o en los equipos.

Tabla 9. Resumen de la evaluación de los tratamientos térmicos.

<b>Tratamiento Térmico</b>	<b>Falencia / Falla o Necesidad</b>	<b>Tipo de falla</b>	<b>Causa</b>	<b>Consecuencia</b>
TEMPLE	Torcedura dentro del horno	Del proceso	Esfuerzos residuales del proceso de formado	Tubería atrapada dentro del horno
	Variación de temperaturas en la pieza	Del proceso	Sistema de calentamiento en movimiento	Propiedades no homogéneas
	Ausencia de instrumentos de control portátiles	De los equipos e instrumentos	Inexistencia	Bajo control del proceso
REVENIDO	Reproceso	Del proceso	Incorrecta realización del tratamiento térmico	Espirales, grietas y ovalidad en las puntas.
	Durezas no Homogéneas (delimitación de zonas)	Del proceso	Falta de homogeneidad en el temple	Propiedades mecánicas fuera del rango de especificación
	Bajo control estadístico	Del personal	Bajo conocimiento	Control estadístico mal enfocado
	Baja practicidad del Durómetro	De los instrumentos y equipos	Baja eficiencia de los instrumentos de control in situ	Limita toma de decisiones durante el proceso
	NORMALIZADO	Torcedura dentro del horno	Del proceso	Esfuerzos residuales del proceso de formado

Fuente: autor

Teniendo en cuenta los resultados de los análisis realizados en esta práctica se ha considerado la composición química como una variable determinante para el diseño de los tratamientos térmicos realizados en la empresa Tubos del Caribe S.A., de su control y seguimiento dependerá el éxito de la siguiente propuesta que se ha integrado en 3 partes, de la siguiente forma:

- Del proceso
- De los equipos e instrumentos
- Del personal

**6.1.1 Del proceso.** De acuerdo a la evaluación realizada a todas las variables de los tratamientos térmicos, se ha encontrado que, a pesar de que la composición química, en la empresa, se maneja en rangos estrechos de composición, sus variaciones pueden ser lo suficientemente importantes como para modificar las propiedades que se desean obtener con un tratamiento térmico en tubería de la misma especificación<sup>6</sup>, a diferencia de las otras variables que se presentan en estos procesos.

Se ha considerado la variable composición química, como aquella variable que puede modificar apreciablemente las propiedades mecánicas (esfuerzo de fluencia, esfuerzo último de tensión, dureza, entre otras), por eso se ha escogido como la variable para diseñar los tratamientos térmicos y el control sobre este proceso, en la realización de la presente propuesta.

La propuesta se encuentra diseñada para los tratamientos térmicos de Temple, Revenido y Normalizado, para tubería de producción (Tubing) y revestimiento (Casing) de todas las especificaciones producidas por la planta, en aceros hipoeutectoides con porcentajes de elementos de aleación en los siguientes rangos:

- % Carbono entre 0.21 – 0.30%
- % Silicio entre 0.15 – 0.30%
- % Manganeso entre 1.00 – 1.50%
- % Molibdeno entre 0.00 – 0.30 %

En la tabla 10 y 11 se muestra los porcentajes de elementos aleantes que se recomiendan para los respectivos tratamientos térmicos y tipos de tubería, teniendo en cuenta el comportamiento de cada una de las coladas tratadas durante el periodo de la practica empresarial tanto en la sección de tratamientos térmicos como en las otras secciones de la planta de la empresa Tubos del Caribe S.A. Ver anexo C.

---

<sup>6</sup> ESPECIFICACION. Tubería con las mismas características de procesamiento (igual diámetro, igual espesor, etc.)

Tabla 10. Composiciones químicas recomendadas para los tratamientos térmicos en tubería de producción Tubing.

TUBING	% CARBONO	%SILICIO	%MANGANESO	%MOLIBDENO
J55 (normalizado)	0.26 – 0.29	0.15 – 0.30	1.12 – 1.22	0.00 – 0.30
N80,L80 y P110 (Temple)	0.26 – 0.29	0.15 – 0.30	1.00 –1.22	0.22 – 0.30
N80,L80 y P110 (Revenido)	0.26 – 0.29	0.15 – 0.30	1.00 – 1.22	0.22 – 0.30

Fuente: autor

Tabla 11. Composiciones químicas recomendadas para los tratamientos térmicos en tubería de revestimiento Casing.

CASING	% CARBONO	%SILICIO	%MANGANESO	%MOLIBDENO
N80,L80 y P110 (Temple)	0.26 – 0.29	0.15 – 0.30	1.00 –1.22	0.00 – 0.30
N80,L80 y P110 (Revenido)	0.26 – 0.29	0.15 – 0.30	1.00 –1.22	0.00 – 0.30

Fuente: autor

Teniendo en cuenta el seguimiento realizado a las coladas tratadas térmicamente durante el tiempo de práctica, se ha encontrado que solo los elementos de aleación mencionados en las tablas 10 y 11 se tendrán en cuenta para la toma de decisiones, debido a su fuerte influencia en los tratamientos térmicos nombrados anteriormente, y su porcentaje y efecto sobre el carbono equivalente. Los elementos como cromo, vanadio, cobre entre otros, se encuentran en proporciones poco significativas.

**Con respecto al temple.** Se propone trabajar con una temperatura de austenización de 1590° F (mas o menos 30° F), constante para toda la tubería que se va a tratar térmicamente, debido a que las variaciones en el carbono equivalente son mínimas y por lo tanto las variaciones en las temperaturas de austenización entre una colada y

cálculos de la temperatura de austenización se realizaron en el programa STECAL<sup>7</sup>2.0 que presenta la sección de tratamientos térmicos de la empresa.

Se recomienda utilizar velocidades de línea durante el calentamiento lo más lento posible e iguales o ligeramente parecidas a las velocidades de la ducha de enfriamiento de manera tal que no afecte las velocidades de enfriamiento, de esta manera se minimizará la torcedura de la tubería dentro del Horno de austenización.

Se propone separaciones entre piezas de 1 ½ pulgada durante y después del calentamiento para tubería de revestimiento Casing, para evitar el calentamiento excesivo de las puntas y agrietamiento de la punta norte (temperatura máxima para que no se presente este defecto, 1720° F), se obtendrá mayor homogeneidad en la tubería.

Para evitar grandes variaciones en las propiedades mecánicas finales y debido a que el horno de temple trabaja en línea con el horno de revenido se propone cargar el horno de temple (Horno Barril) de forma ascendente de acuerdo al carbono equivalente por cada orden de producción, para lo cual es necesario tener en cuenta las siguientes consideraciones:

Los números otorgados internamente a las coladas por la empresa, vayan acordes con el orden ascendente del respectivo carbono equivalente.

El carbono equivalente debe ser calculado con anterioridad mediante la siguiente ecuación, y su resultado debe ser presentado con tres cifras significativas. Por ejemplo 0,495.

$$\%CE^8 = \%C + Mn / 6 + (Cr + Mo + V) / 5 + (Ni + Cu) / 15$$

---

<sup>7</sup> STECAL. Programa de predicción de las propiedades. Pascual Tarín. 1992

**Con respecto al revenido.** Como se propuso anteriormente para el proceso de temple, el orden ascendente de las coladas permitirá un mayor control sobre el revenido debido a que los hornos de revenido (Hornos Cajón) funcionan con gas natural, las modificaciones en las temperaturas serán menores y en un solo sentido (ascendente), para lo cual se propone:

Utilizar el carbono equivalente como patrón de comparación entre la colada que se está procesando y la próxima colada a procesar. Si las variaciones del carbono equivalente no son significativas compare los elementos carbono, manganeso, molibdeno y silicio de la colada que se está produciendo con la próxima a procesar, en ese respectivo orden, y modifique las temperaturas de revenido teniendo en cuenta las sugerencias que se hace en la tabla guía del anexo E.

El carbono equivalente del lote que se está produciendo siempre será el parámetro de comparación del próximo lote a producir de colada diferente, sin embargo, si sus variaciones no son significativas utilice los elementos carbono, manganeso, molibdeno y silicio como patrones de comparación entre el lote que se está produciendo y el próximo a producir.

Que los hornos se encuentren trabajando continuamente (sin movimiento de los quemadores durante el proceso, sin fallas en el fluido eléctrico, termopares de control de los hornos en buen estado, velocidades y tiempos de residencias de los hornos constantes), en caso de fallas el procedimiento de la empresa es acertado.

Que este procesando tubería de las mismas dimensiones para obtener las mismas especificaciones (no haya cambios dimensionales entre un lote de producción y otro)

---

<sup>8</sup> CARBONO EQUIVALENTE (CE). Tomado del libro Practical Heat Treating. BOYER, Pág., 6 ED. 1984.

y además que la tubería de seteo<sup>9</sup> para el horno cajón sea de las mismas dimensiones de la que se está produciendo.

Solo se tendrán en cuenta los cuatro elementos químicos que más influyen en los procesos de tratamientos térmicos en Tubos del caribe S.A., en el siguiente orden de análisis (Carbono, manganeso, molibdeno y silicio).

**Con respecto al Normalizado.** Para tubería de producción (Tubing) se propone que las separaciones entre pieza y pieza durante el calentamiento sean aproximadamente de 5 pulgadas, de esta forma se logrará mayor calentamiento de las puntas recaladas, las velocidades de calentamiento deberán ser lo mas lento posible, evitando la distorsión durante el calentamiento y por consiguiente el atrapamiento de la tubería dentro del horno.

Para tubería de revestimiento (Casing) se propone tener las mismas consideraciones que para el temple durante la etapa de calentamiento pero asegurándose de que las temperaturas de normalizado sean de 212° F por encima de la temperatura de austenización.

De acuerdo al seguimiento realizado durante los 4 primeros meses se recomienda que la composición química de las coladas para tubería que va ser normalizada deba presentar porcentajes de manganeso mayor de 1.12 si no hay presencia de molibdeno, para que se encuentre entre los intervalos de aceptación del producto.

**6.1.2 De los equipos e instrumentos.** Con respecto a la eficiencia de los hornos de Austenización (Hornos Barril) se recomienda realizar mantenimiento programado de los hornos de austenización, cada 80.000 toneladas tratadas, ya que la acumulación de calamina en las bases del horno disminuye considerablemente la eficiencia del horno, debido al taponamiento de los quemadores ubicados en esta posición.

---

<sup>9</sup> TUBERÍA DE SETEO. Tubería utilizada para mantener las condiciones del horno Cajón

En los hornos de revenido (hornos Cajón) es importante que los quemadores en las zonas de control se encuentren funcionando y en perfecto estado. Se propone la utilización de elementos portátiles como herramientas que ayuden a verificar los mecanismos e instrumentos de control, entre los cuales se recomiendan los siguientes:

Termopares cromel – alumel el cual presenta curva de calibración lineal lo que la hace bastante practica, resistencia a la oxidación y su intervalo de trabajo óptimo se encuentra entre los 1200 a 2200° F, también pueden utilizarse los termopares platino, platino – rodio al 10% su intervalo de trabajo es mas amplio (32 a 3000° F) pero su costo es más elevado.

Para la toma de dureza después de revenido se recomiendan algunos instrumentos, tomando como base la consulta de algunos equipos de varias casas comercializadoras:

Durómetros de impacto, portátiles, electrónicos, con sondas de impacto intercambiables (tipo D, DC, DL, D+15, C, E), lectura digital directa en las unidades de dureza deseadas (HRC, HRB, HRA, HB, HV, HS,...) e impresora integrada. Alimentación a baterías recargables con 8 horas de autonomía. Como los mostrados en las gráficas 2, 3 y 4.

Gráficas 2,3 y4. Durómetros portátiles de impacto.



Fuente: autor

**Portátiles, tipo arco.** Compuestos por una unidad de medida, un arco de ensayos y un dispositivo de aplicación de carga. Arcos disponibles: capacidad: 0-50 mm; 0-160 mm; 0-250 mm ó 0-350 mm. Dispositivos de carga disponibles: Rockwell: cargas 60 - 100 ó 150 Kg. Rockwell Superficial: cargas 15 - 30 ó 45 Kg. Brinell: cargas 31,25 - 62,5 ó 185,5 Kg. La combinación de arcos y dispositivos de carga de entre los indicados permiten realizar diferentes combinaciones en función de la aplicación. Fotografía 4 y 5

Gráficas 5 y 6. Durómetros portátiles tipo arco.



Fuente: autor

**6.1.3 Del personal.** Debido a que una de las falencias más significativas detectadas en la sección de tratamientos térmicos de la empresa Tubos del Caribe S.A. es el poco conocimiento del personal en los procesos de tratamientos térmicos, inspección y estadística se propone:

Que la capacitación del personal sea dirigida y enfocada de acuerdo a su oficio de la siguiente manera:

Para los operadores de Hornos que se encuentran involucrados en la toma de decisiones se recomienda capacitarlos en cada uno de los tratamientos térmicos que

se realizan en la planta y en el área de estadística. Los inspectores, cuya función más significativa es la toma de muestras, se recomienda que la capacitación sea en el área estadística.

Para los alimentadores de Hornos y codificadores a la salida de cada uno de los hornos se propone que sean capacitados en inspección visual y pruebas no destructivas respectivamente; con el objeto de realizar inspección directamente en el proceso y obtener una velocidad de respuesta más rápida a los posibles defectos.

## **6.2 DISEÑO DE UN FORMATO QUE PERMITA RELACIONAR LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LAS COLADAS CON LAS TEMPERATURAS DE REVENIDO**

El siguiente formato fue diseñado como resultado al seguimiento realizado a los lotes de producción procesados en la línea 1 de tratamientos térmicos durante los primeros 4 meses de la práctica empresarial en la planta de la empresa Tubos del caribe S.A..

El formato esta directamente relacionado con la tabla guía mostrada en el anexo E y su objetivo es registrar los cambios y modificaciones en las temperaturas en cada una de las zonas con respecto a las variaciones en la composición química y prediciendo con la tabla guía el comportamiento de la próxima colada a procesar.

COMPOSICIÓN QUÍMICA						TEMPERATURA DE REVENIDO ° F		
COLADA	%CE	%C	%Mn	%Si	%Mo	ZONA 1	ZONA 2	ZONA3

Fuente: autor

El anterior formato puede ser insertado como una tabla adjunta en Microsoft Excel y obtener las gráficas de cada una de las variaciones de la temperatura de revenido de acuerdo a las variaciones de los elementos aleantes.

### **6.3 PROPUESTA DE MEJORAMIENTO EN EL CONTROL EN LA MARCHA TENIENDO EN CUENTA LOS INSTRUMENTOS UTILIZADOS QUE PERMITEN RELACIONAR LAS PROPIEDADES MECANICAS (ESFUERZO ULTIMO DE TENSION) DESEADAS CON LA DUREZA DESPUES DEL TRATAMIENTO**

La dureza es una propiedad que está relacionada con las propiedades elásticas y plásticas. El valor de dureza obtenido en una prueba determinada sirve sólo como comparación entre materiales o tratamientos.

El procedimiento de prueba y la preparación de la muestra suelen ser sencillos y los resultados pueden utilizarse para estimar otras propiedades mecánicas. La prueba de dureza se utiliza ampliamente para inspección y control.

Cuando se establece un valor resultante de dureza de un tratamiento térmico a un material dado por un proceso determinado, esa estimación proporcionará un método rápido y sencillo (de inspección y control) para el material y procesos particulares.

La resistencia a la penetración es una de las más utilizadas a nivel industrial, generalmente es realizada imprimiendo en la muestra, que esta en reposo sobre una plataforma rígida, un marcador o indentador de geometría determinada.

Entre los probadores de durezas tenemos; el Brinell, generalmente consta de una prensa hidráulica vertical de operación manual, diseñada para forzar un marcador de bola dentro de la muestra, el diámetro de la impresión producida es medido por medio de un microscopio que contiene una escala ocular; el Rockwell, en esta prueba se

utiliza un instrumento de lectura directa basado en el principio de medición de profundidad diferencial.

La sección de tratamientos térmicos de la empresa Tubos del caribe S.A. para el control de su proceso utiliza durómetro Brinell para calcular la dureza después de Temple y después de Revenido con el objeto de estimar la resistencia última a la tensión (UTS) obtenida con este tratamiento; debido a la baja practicidad del durómetro Brinell con respecto al proceso, al seguimiento y facilidad de operación que se desea hacer durante el proceso, y al objetivo de la siguiente propuesta, se propone:

Cambio de durómetro por los que anteriormente se mostraron en la sección 6.1.2 (de los equipos e instrumentos) los cuales presentan mayor practicidad por su uso in situ y su mayor velocidad para la toma de datos.

Con respecto a la toma de durezas como control de proceso de los tratamientos térmicos se propone:

*Para dureza después de temple:* continuar con la toma de muestras como lo estipula el manual de procedimiento de la empresa Tubos del Caribe S.A. para los diferentes lotes de producción (2 muestras por cada lote de 100 tubos para tubería Casing y 1 muestra por cada lote de 200 para tubería Tubing).

*Para dureza después de Revenido:* se propone realizar el ensayo por lo menos a 3 (tres) tubos por cada 100, en el caso de tubería de revestimiento (Casing) y 5 (cinco) tubos por cada 200, para tubería de producción Tubing.

Si se utiliza un durómetro portátil, deberá realizarse para tubería de revestimiento Casing, 3 veces por cada sección de la tubería (a 12” de la punta Norte, Centro y 12” de la punta Sur).

Para tubería de producción Tubing se realizará en los recalques y en las otras secciones (Cuerpo Norte, Centro y Cuerpo Sur).

La tubería que va a ser ensayada debe estar comprendida en los siguientes rangos, muestra 1 (15 – 25), muestra 2 (45 – 55) y muestra 3 (75 – 85) para tubería de revestimiento Casing; y muestra 1 (20 – 35), muestra 2 (55 – 70), muestra 3 (90 – 105), muestra 4 (130 – 145) y muestra 5 (165 – 180) para tubería de producción Tubing.

#### **6.4 ACCIONES CORRECTIVAS PROPUESTAS SOBRE EL CONTROL ESTADISTICO DEL PROCESO TENIENDO EN CUENTA EL COMPORTAMIENTO DE ALGUNAS PROPIEDADES MECANICAS.**

Teniendo en cuenta las falencias identificadas en el transcurso de los dos primeros meses de la práctica empresarial (abril – mayo), se realizaron las siguientes acciones correctivas sobre el control estadístico:

Instalación en la línea 2 de un durómetro Brinell de tipo neumático después del horno de revenido, cuyo objetivo es la toma de dureza durante el proceso identificando las variaciones que esta pueda presentar.

Calculo de los parámetros estadísticos media, media aritmética, moda y desviación estándar con sus respectivas gráficas con respecto a las propiedades antes medidas (dureza, esfuerzo de tensión y resistencia ultima a la tensión), con el fin de determinar las tendencias del horno de revenido y su influencia en las propiedades mecánicas.

La instalación del durómetro fue llevada a cabo el día sábado 24 de mayo de 2003 en las horas de la mañana por el estudiante en práctica Mario Roberto Venecia Rodríguez de la Universidad industrial de Santander, la evaluación de este dispositivo

se realizó durante las semanas siguientes a su instalación y de la cual se hicieron las siguientes observaciones:

Baja toma de muestras en los lotes de producción debido a la baja practicidad del durómetro.

El control estadístico puesto en práctica permite un seguimiento de las propiedades mecánicas (dureza) y su tendencia con respecto a la composición química.

Permite analizar la tendencia del horno de Revenido con respecto a los diferentes lotes de producción de la misma colada.

La toma de decisiones de acuerdo al historial estadístico llevado es difícil, de cuidado y puede acarrear errores en las modificaciones de las temperaturas de revenido.

Teniendo en cuenta las acciones correctivas implementadas por la empresa para mejorar el control estadístico sobre el proceso se proponen las siguientes correcciones:

Para mejorar la frecuencia en la toma de decisiones y el proceso estadístico en general se recomienda cambiar el durómetro Brinell por un durómetro portátil y realizar la toma de muestras como se mencionó anteriormente.

## **6.5 PROPUESTA DE UN PROGRAMA DE CAPACITACIÓN CONTINUO PARA LOS TRABAJADORES DE LA SECCION**

La siguiente propuesta fue diseñada como resultado a las evaluaciones realizadas durante la práctica empresarial, en donde se encontró que una de las grandes dificultades de la sección de tratamientos térmicos de la planta de la empresa Tubos del Caribe S.A., es el bajo conocimiento de los trabajadores en los temas correspondientes a la sección y en otros afines a ella como son la inspección, la

calidad de las piezas y el manejo estadístico de las variables, esencial para la toma de decisiones en este tipo de procesos.

El programa consiste en una serie de capacitaciones enfocadas al personal de la sección de acuerdo a su banco de trabajo y sus funciones en el proceso; estas capacitaciones serán en forma de charlas, cursos y seminarios, cuyo objetivo será la de mejorar la toma de decisiones y el control en el proceso.

La propuesta está dirigida hacia el personal de planta de la sección que está más comprometida con el proceso de tratamientos térmicos y que es menos sensible a los cambios de horarios como son, supervisores, operadores e inspectores.

Para el desarrollo de la siguiente propuesta es necesario tener en cuenta las siguientes consideraciones, las cuales se obtuvieron gracias a las experiencias obtenidas con la charla previa.

Los cursos, seminarios y charlas que incluyen el programa de capacitación estarán dirigidos solo a supervisores, operadores e inspectores de la sección y en casos especiales a algunos ayudantes del proceso.

Los eventos realizados en el programa de capacitación serán realizados los días martes, miércoles y jueves, debido a los cambios de horario.

Las charlas, cursos y seminarios no excederán las 2 (dos) horas por día, y serán realizadas para el turno 1 a partir de las 2:30 pm durante tres semanas, de esta forma se cubrirá todo el personal de la sección que se desea capacitar.

La continuidad de las charlas y del programa es esencial para la motivación del personal y su asistencia.

Teniendo en cuenta las consideraciones anteriores se propone que el programa de capacitación este diseñado de la siguiente forma:

Charla informativa general sobre los tratamientos térmicos en un tiempo no mayor a dos meses, la cual tendrá una intensidad horaria de 3 horas semanales. Esta charla estará dirigida a todo el personal que labora en la sección de tratamientos térmicos y recalado (supervisores, operadores, inspectores y ayudantes del proceso) y la cual será extensiva a otras secciones de la planta en años posteriores.

Se sugiere que el personal participante de la charla sea dotado con material didáctico.

Curso intensivo durante 3 meses de cada uno de los tratamientos térmicos realizados en la planta de la empresa Tubos del Caribe S.A. (temple, revenido y normalizado respectivamente) y el control estadístico del proceso, con una intensidad de 6 horas semanales. Para la realización de la siguiente propuesta se requiere:

Que el curso sea dirigido por personal calificado en el tema, preferiblemente ingeniero metalúrgico, que cuente con experiencia en los tratamientos térmicos realizados en tuberías OCTG, utilizando los hornos para el tratamiento térmicos que presenta la empresa Tubos del Caribe S.A.

Hacer énfasis en el manejo de variables y el manejo estadístico de las mismas.

En la ultima sección correspondiente a cada tratamiento térmico, se dedique una hora para analizar los problemas mas frecuentes y sus posibles soluciones, ya sean metalúrgicas o de proceso.

Control y constancia de asistencia del personal que realice el curso.

Una vez el curso cubra todo el personal de la sección, se propone que en años siguientes involucre todos los tratamientos térmicos realizados a piezas metálicas. El curso básico podrá ser dictado a auditores internos de la empresa en años posteriores.

Realización de un seminario durante dos meses, con una intensidad horaria no mayor a seis horas semanales, en los mismos días y horas que el acordado para los cursos y charlas que hacen parte de la primera parte de la propuesta.

El seminario estará enfocado hacia los posibles inconvenientes producidos por otros procesos sobre los tratamientos térmicos, y las consecuencias de un mal diseño de estos en los demás procesos involucrados en la producción de tubería; para el cual se propone la participación de supervisores de las otras secciones de la planta de la empresa Tubos del Caribe S.A.

En el primer año el seminario estará dirigido a supervisores y operadores de la sección de tratamientos térmicos y en años siguientes a supervisores, operadores y auditores de todas las secciones de la empresa Tubos del Caribe S.A.

Adicionalmente, se sugiere que los ayudantes alimentadores de Hornos Barril, Hornos Cajón e inspectores de la sección, reciban una capacitación en inspección visual. Esta capacitación será teórico – practica, a manera de cursos que cumplirán con la misma metodología de las actividades planteadas en esta propuesta. Se recomienda que el expositor sea de la sección de inspección de la planta o un auditor de proceso.

Cada una de las actividades mencionadas anteriormente deberá finalizar con una evaluación de los trabajadores que han tomado dicho programa, y una certificación de asistencia del mismo. Las evaluaciones serán realizadas por el expositor elegido para el programa o por el jefe de sección de tratamientos térmicos. En el anexo F se encuentra el cronograma de actividades para la propuesta de capacitación continua.

## **6.6 RESULTADOS DE LAS ACCIONES CORRECTIVAS IMPLEMENTADAS**

A partir de los meses de agosto, septiembre y mediados de octubre, después de la instalación de un durómetro neumático en la línea 2 de la sección de tratamientos térmicos de la planta de la empresa Tubos del Caribe S.A., el control estadístico sobre el proceso para esta línea mejoró considerablemente. Sin embargo, solo fue hasta mediados del mes de septiembre cuando se empezó a mejorar la frecuencia en la toma de datos, lo que ayudo a la interpretación de los resultados y las modificaciones que debían realizarse en las temperaturas de revenido para lograr el efecto sobre las propiedades.

El cálculo de los parámetros estadísticos (mediana, media aritmética, moda y desviación estándar) ha permitido encontrar tendencias en el funcionamiento de los hornos de Revenido y de los procesos de tratamientos térmicos en la planta. El uso de graficas de cada uno de estos parámetros permitió visualizar la gravedad de cada una de las variaciones presentadas y la forma de corregirlas.

A mediados del mes de septiembre y principios del mes de octubre, la toma de decisiones teniendo en cuenta las variaciones en la dureza y los parámetros estadísticos mencionados anteriormente permitieron la producción de 8500 tubos L80 5 ½ pulgadas rango 3, con tan solo 3 lotes de producción rechazados, representando solo el 3.25% de tubería reprocesada por esta causa.

Con respecto a la capacitación del personal de la sección, programada en el plan de proyecto de grado para los primeros meses de la práctica empresarial, solo fue posible dictar una charla durante las tres semanas siguientes al 20 de mayo de 2003 y la cual no abarco a todo el personal de la sección. Sin embargo, la empresa Tubos del Caribe S.A. con iniciativa del jefe de sección de tratamientos térmicos emprendió un curso sobre análisis y manejo de variables utilizando los parámetros y el control estadístico.

La elaboración de folletos con la información para esta actividad fue realizada con anticipación a la charla, sin embargo no fue posible suministrar el material al personal debido a los inconvenientes presentados para terminar la actividad y los que se mencionaron con anterioridad en este informe.

## **7. CONCLUSIONES**

El conocimiento de la planta de la empresa Tubos del Caribe S.A. y las operaciones que se realizan son importantes para un buen diseño de los tratamientos térmicos y las condiciones que se quieren lograr.

No solo las variables que gobiernan un tratamiento térmico son las que nos permiten la realización del mismo, es necesario tener en cuenta los procesos posteriores y los posibles problemas acarreados debido al tratamiento térmico, para lograr una sincronización y un desarrollo en flujo de toda la planta.

El área de tratamientos térmicos, presenta 2 (dos) líneas de producción dispuestas de forma tal, que el producto pueda fluir como un sistema continuo, las diferencias presentes entre las dos, hacen necesario independizar el control de las variables y del proceso propiamente dicho.

De acuerdo a las evaluaciones realizadas a la sección de tratamientos térmicos, se identificaron falencias en el proceso, en el control estadístico, en el personal y en los equipos e instrumentos.

Con respecto al proceso, el manejo de muchas variables hace difícil el control sobre el mismo, el seguimiento y estudio de dichas variables permitió identificar cuales se podían mantener constantes o en intervalos donde su influencia sobre el proceso era despreciable.

El conocimiento operativo de los diferentes trabajadores que componen la sección es bueno, sin embargo, el conocimiento sobre los procesos de tratamientos térmicos y el control estadístico es bajo y en algunos casos nulo. El control y seguimiento

estadístico realizado a los procesos de tratamientos térmicos no se encontraba debidamente enfocados hacia la toma de decisiones sobre la marcha.

La presencia de instrumentos portátiles de medición como termopares es escasa; el dúrometro utilizado para la toma de durezas después del proceso de revenido, no es el adecuado para la cantidad de piezas a ensayar durante el proceso productivo.

Se identificó a la composición química como la variable más adecuada para diseñar los tratamientos térmicos en la planta de la empresa Tubos del Caribe S.A., y está determina cada uno de los procesos que se realizan en la producción de tubería.

La variable más importante que el área de tratamientos térmicos debe manejar para controlar el proceso, es la composición química. Esta es la única fuera del control de la empresa, las otras variables que influyen en un tratamiento térmico en Tubos del caribe S.A. pueden llegar a mantenerse constante.

El comportamiento de cada una de las composiciones químicas tratadas térmicamente durante los 4 primeros meses de la práctica empresarial, es diferente, aunque las variaciones del carbono equivalente sean mínimas y los porcentajes de los elementos aleantes se manejen en intervalos de aceptación estrechos.

Las coladas con porcentajes de manganeso superior a 1.22 presentaran mayor tendencia y probabilidad a presentar grietas de temple en la punta Norte; se encontró la condición de que esta punta no debe exceder los 1720° F durante el calentamiento para el temple. Las grietas causadas por el temple se encuentran en el intervalo de las 12 primeras pulgadas de la punta norte y no depende de la presencia del molibdeno.

La tubería de producción Tubing que no presenta molibdeno en su composición química y que se desea normalizar debe presentar porcentajes de manganeso mayores de 1.12 para clasificar como tubería J55.

El control en la homogeneidad de las propiedades en la tubería no es un control riguroso, por lo tanto se presentan desigualdades considerables en las propiedades mecánicas (resistencia a la tracción, dureza), a lo largo de la tubería, lo que ocasiona una mayor pérdida de tubería por muestreo y ensayo.

Las acciones correctivas propuestas sobre el control estadístico del proceso son una fuente de información valiosa para el proceso, sin embargo, su implementación demostró que para obtener mayor velocidad en la toma de decisiones durante el proceso es necesario mejorar la frecuencia en la toma de durezas.

La instalación del durómetro en la línea, permitió una mayor certeza en las decisiones tomadas sobre el proceso y sus modificaciones teniendo en cuenta la propiedad que este implemento cuantifica.

Para obtener una mejora en la toma de datos y en la cantidad significativa de estos es importante el cambio de dúrometro Brinell por uno portátil, como los recomendados en la sección 6.1.2 (de los equipos e instrumentos).

La implementación de mecanismos de control durante el proceso es importante para gobernar el mismo; es necesario llevar un control estadístico de durezas (antes y después de revenido), temperaturas y propiedades mecánicas para verificar el comportamiento de la tubería; como también la implementación de instrumentos que permitan verificar propiedades y condiciones de los equipos utilizados, por ejemplo Durómetros y termopares portátiles.

El diseño de la propuesta de un programa de capacitación continuo fue la respuesta a las deficiencias teóricas y en algunos casos teóricos – prácticos encontradas en la sección de tratamientos térmicos. Esta contiene una charla previa, un curso de cada uno de los tratamientos térmicos realizados en la planta y un seminario sobre los posibles inconvenientes; con una duración total de 8 meses, inicialmente.

Las capacitaciones deberán estar enfocadas de acuerdo a los oficios de cada trabajador, es importante que sean clasificadas como cursos, charlas y seminarios determinando a que personal de la sección se encuentra dirigido.

Para mejorar los procesos de tratamientos térmicos en la planta de la empresa Tubos del Caribe S.A. es necesario integrar completamente las diferentes áreas en las cuales hay falencias y que se han incluido en los diferentes informes de este proyecto de grado, el análisis e implementación de las propuestas de manera individual no logrará los resultados que se esperan conseguir con ellas.

## **BIBLIOGRAFIA**

APRAIZ, José. Tratamientos térmicos de los aceros. Ediciones Dossat. Bilbao, España, 1958.

AVNER, Sidney. Introducción a la metalurgia física. Editorial McGraw-Hill, México, 1988

BAUSTISTA VESGA, Jorge. Cursos de intercambio académico con industrias metalúrgicas. Vol. III. Tratamientos térmicos. UIS. 1974

BOYER, Howard E. Practical Heat Treating 1edición. American Society for Metals. EUA. 1984.

CARDONA GRANADOS, Afranio. Selección de Aceros. Editorial UIS, Bucaramanga, Colombia 1992.

KEHL, George L. Fundamentos de la práctica metalográfica. Editorial Aguilar, S.A. ediciones, Madrid, España, 1963

HITT IRELAND, Hoskisson. Administración Estratégica. Internacional Thomson Editores. 3ª edición. México 1999.

MARONI P. J. Templabilidad. Editorial LIBRERIA MITRE. Argentina. 1976.

METALS HANDBOOK vol. IV. Heat treating, cleaning and finishing. 8 edition.  
American Society for metals.

GOMEZ MORENO, Orlando José. Aleaciones Hierro carbono. Editorial UIS,  
Bucaramanga, Colombia 1993.

VALENCIA, Asdrúbal. Tecnología del tratamiento térmico de los metales. Editorial  
universidad de Antioquia, Medellín, Colombia, 1992.

Disponible en Internet en versión HTML en: [http // www. Tecmicro.es / productos /  
ernstportatil. html >](http://www.Tecmicro.es/productos/ernstportatil.html)

Disponible en Internet en versión HTML en [http : // www . IBERTEST. com /  
es\\_inme10.htm](http://www.IBERTEST.com/es_inme10.htm)

Disponible en Internet en versión HTML en: [http // www. Indec. mecon. gov. ar /  
proyectos / censo2001/maestros/quees/masinfo.doc](http://www.Indec.mecon.gov.ar/proyectos/censo2001/maestros/quees/masinfo.doc)

Disponible en Internet en versión HTML en: [mnet. medinet. net. mx / conapeme /  
diplomado / feb06 /estadistica3.doc](http://mnet.medinet.net.mx/conapeme/diplomado/feb06/estadistica3.doc)



Tubocaribe fabrica tubos empleando formadoras longitudinales, con tecnología de electrofusión de alta frecuencia (EW). Las bobinas maestras de acero se convierten en bobinas cortadas, de las cuales se forma el tubo, electrofusionando sus bordes, normalizando la zona de fusión, calibrándola, enderezándola y cortándola a longitudes especificadas.

Antes del proceso de formado, cuchillas circulares alternadas y yuxtapuestas cortan las laminas de las bobinas maestras en bandas del ancho exacto que se necesitan para formar el diámetro del tubo requerido. Después del corte se controla el ancho de las bandas, se les asignan las etiquetas de identificación para control de trazabilidad y se colocan en la secuencia en la que van a ser introducidas a las líneas de formado.

En las formadoras, las bobinas cortadas son desenrolladas, aplanadas y formadas tubularmente a través de una serie de rodillos cóncavos y convexos, hasta enfrenar los bordes de la lámina mediante presión mecánica. Los bordes enfrentados se electrofusionan longitudinalmente mediante temperatura inducida por alta frecuencia eléctrica.

Se hace una inspección ultrasónica en línea después de la electrofusión para monitorear la integridad de la soldadura del tubo y las condiciones del burilado interior. La zona afectada por el calor se normaliza y los tubos son sometidos a enfriamiento para posteriormente, ser calibrados, cortados, enderezados, inspeccionados visualmente y marcados con la identificación apropiada. Dependiendo la especificación del producto estos son distribuidos para las operaciones de terminado y pruebas respectivas.

Con el fin de aumentar el espesor en los extremos a roscar del Tubing o tubos de producción, la pared de los mismos, se calienta a la temperatura apropiada de forjado en unos hornos a gas y se alimentan inmediatamente en el canal de entrada de una

prensa “recalcadora” la cual sujeta el extremo caliente forjándolo mediante un molde de dado y un punzón.

Los productos OCTG, que necesitan ser tratados térmicamente son calentados en hornos a gas a temperaturas de operación cuidadosamente controladas. El estricto control de este proceso se realiza en modernos hornos de austenización y revenido. Todos los tubos son refrentados para lograr un extremo recto.

La tubería es sometida a la prueba hidrostática a presiones API o cualquier otra norma nacional o internacional tomada como referencia. Tubocaribe utiliza roscadoras de gran velocidad garantizando así una alta productividad. La calidad de las roscas la da la precisión y exactitud de las roscas. Cada rosca es inspeccionada en su totalidad por personal altamente calificado y capacitado.

El torque de los productos roscados se hace de acuerdo a lo estipulado por el cliente y los requisitos exigidos por la norma tomada como referencia. Posterior a la inspección visual final, los tubos son pesados, medidos y marcados o estencilados en forma automática de acuerdo a lo establecido por la norma correspondiente.

Los tubos estencilados son barnizados y depositados sobre las mesas de secado, desde donde son transportados a los patios de almacenamiento de productos terminados de Tubocaribe.

Para el proceso de trazabilidad garantizamos el seguimiento del producto en todas las etapas de formado y terminado del mismo permitiéndonos monitorear el producto desde su materia prima hasta su uso en destino final.

Tubocaribe asegura la excelencia de sus productos y servicios así como la satisfacción total de sus clientes bajo un sistema de aseguramiento de calidad siguiendo los lineamientos de las normas API Q1 e ISO 9002.

Para control total de calidad, contamos con equipos completos, y confiables laboratorios que suministran las evaluaciones y análisis necesarios para la toma de decisiones.

Tubocaribe cuenta con un laboratorio de Metrología que nos garantiza el Aseguramiento Metrológico en todos los puntos importantes de control de proceso. El sistema de Aseguramiento Metrológico tiene su base de control en los cuartos de Galgas de patronamiento y trabajo, los cuales son mantenidos de acuerdo a estándares nacionales e internacionales reconocidos. El laboratorio de Metrología enfatiza su actividad en un estricto seguimiento de las verificaciones, mantenimiento y calibración de cada elemento de medición del sistema de calidad, garantizando la exactitud y repetitibilidad de los instrumentos y equipos de medición.

## ANEXO B. Propiedades mecánicas y requisitos químicos

Grado	Esfuerzo de fluencia		Esfuerzo ultimo de tracción	C	Mn	P	S
	Min. (Psi)	Máx. (Psi)		Min. (Psi)	Máx. %	Máx. %	Máx. %
<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>

### Diámetro Nominal:

El tamaño del diámetro nominal para una tubería corresponde aproximadamente, al diámetro interior de una tubería con espesor estándar.

### Peso Nominal:

Para calcular el peso nominal de un tubo,  $W_{pe}$ , utilice la siguiente formula aproximando al 0.01 lb. /pie (0.01 Kg. /Mt) más cercano.

$$WI = (W_{pe} * L) + ew$$

Donde:

$WI$  = Al peso calculado de una parte del tubo (Lb.)

$W_{pe}$  = Peso del extremo liso, lb. /pie

$L$  = largo del tubo incluyendo el acabado de los extremos, pie

$ew$  = peso ganado o perdido debido a los acabados de los extremos (Lb.). El  $ew$  de los tubos con extremos lisos = 0

### **Tolerancia del Diámetro Externo**

Las siguientes tolerancias se aplican al diámetro externo del tubo, D.

< 4 ½	+/- 0.031 pulgadas,
> 4 ½	=/ + 1.00, -0.50%D

### **Tolerancia del Peso Nominal**

La tolerancia para largo sencillo es + 6.5%, -3.5%

### **Tolerancia del Espesor**

La tolerancia del espesor, t, es de 1.5%

### **Pruebas de Presión**

Las pruebas de presión de Tubocaribe se ajustan a los requerimientos de API 5CT. La fórmula utilizada para calcular la presión es la siguiente:

$$P = 2(f \cdot Y_t \cdot t) / D$$

P = presión de fuerza Hidrostática, (psi).

Y<sub>t</sub> = fuerza de ruptura especificada, (psi).

t = espesor de tubo (pulgadas)

D = diámetro externo (pulgadas)

f = factor de 0.6 – 0.8

**ANEXO C. Composiciones químicas recomendadas de acuerdo a estudios y seguimientos realizados a las diferentes coladas procesadas durante el tiempo de la práctica.**

De acuerdo al seguimiento realizado a las coladas tratadas térmicamente durante los meses comprendidos entre abril y septiembre del año 2003 se han encontrado coladas con porcentajes de elementos aleantes con mejor comportamiento en los respectivos tratamientos térmicos y tipos de tubería, tanto en la sección de tratamientos térmicos como en las otras secciones de la planta de la empresa Tubos del Caribe S.A. los cuales se recomiendan a continuación:

- Para tubería de producción (**Tubing**):
  - a) Temple: (N80, L80 y P110) tubería en diámetros de 2 3/8", 2 7/8" y 3 1/2" se aconseja trabajar con composiciones de carbono en el intervalo de 0.26 – 0.29% porcentajes mayores dificultarían la soldabilidad durante la etapa de formado y la ampliación del diámetro durante el recalado; manganeso entre 1.00 – 1.22% porcentajes mayores de 1.22 evidenciarán grietas de temple a 5 pulgadas del recalque norte, silicio entre 0.15 – 0.30%, y sobre todo es necesario la presencia de molibdeno para aumentar la templabilidad y la tenacidad en los recalques, se recomiendan porcentajes entre 0.22 y 0.30% para que su influencia sobre la soldabilidad no sea tan grande.
  - b) Revenido: (L80, N80 y P110) se recomienda tubería con molibdeno (0.22 – 0.30%) y manganeso mayor de 1.12 pero menor de 1.22.

- c) Normalizado: (J55) para tubería en diámetros de 2 3/8", 2 7/8" y 3 1/2", se recomienda igual composición química que el numeral anterior, ó tubería sin molibdeno pero con manganeso entre de 1.12 % y 1.26%, con el objeto de elevar el límite elástico y de rotura, mejorando a la vez la maquinabilidad pero sin disminuir la soldabilidad.
- Para tubería de Revestimiento (**Casing**):
    - a) Temple: La tubería puede presentar o no presentar molibdeno, sin embargo, la presencia de este permite un mejor efecto del tratamiento térmico debido al aumento considerable en la templabilidad, se recomienda utilizar los siguientes porcentajes (carbono 0.25-0.30%, manganeso 1.16- 1.22%, silicio 0.15 - 0.30%, molibdeno 0.0 % - 0.30%). En ambos casos (presencia o no de molibdeno) tenga en cuenta el porcentaje de manganeso, ya que si este es muy elevado la tubería presentará una alta tendencia a grietas en la punta Norte.
    - b) Revenido: El comportamiento de la tubería con o sin molibdeno es semejante durante el revenido, sin embargo, la tubería con presencia de este elemento de aleación presentara mayores temperaturas de revenido o mayores tiempos de residencia y una tendencia a no dejarse ablandar. Pueden utilizarse las mismas composiciones que en el numeral anterior. La tubería Casing puede ser con o sin molibdeno, el efecto en las propiedades mecánicas es poco significativo, pero la estabilidad de las coladas con molibdeno en el tratamiento térmico es mayor.

*Composiciones químicas recomendadas para los tratamientos térmicos en tubería de producción Tubing.*

<b>TUBING</b>	<b>% CARBONO</b>	<b>%SILICIO</b>	<b>%MANGANESO</b>	<b>%MOLIBDENO</b>
J55 (normalizado)	0.26 – 0.29	0.15 – 0.30	1.12 – 1.22	0.00 – 0.30
N80,L80 y P110 (Temple)	0.26 – 0.29	0.15 – 0.30	1.00 –1.22	0.22 – 0.30
N80,L80 y P110 (Revenido)	0.26 – 0.29	0.15 – 0.30	1.00 – 1.22	0.22 – 0.30

*Composiciones químicas recomendadas para los tratamientos térmicos en tubería de producción Casing.*

<b>CASING</b>	<b>% CARBONO</b>	<b>%SILICIO</b>	<b>%MANGANESO</b>	<b>%MOLIBDENO</b>
N80,L80 y P110 (Temple)	0.26 – 0.29	0.15 – 0.30	1.00 –1.22	0.00 – 0.30
N80,L80 y P110 (Revenido)	0.26 – 0.29	0.15 – 0.30	1.00 –1.22	0.00 – 0.30

La tubería bajo especificación Casing debe presentar menos del 1.22% de manganeso y la temperatura de calentamiento en la punta norte durante el Temple no debe exceder los 1720° F, debido a la gran probabilidad de aparición de grietas durante el enfriamiento en esta punta.

**ANEXO D. Relación dureza – Esfuerzo ultimo de tensión**

**Tabla de Durezas**

ROCKWELL		UTS	ROCKWELL		UTS
C	B	Ksi	C	B	Ksi
68		368	18	96	103
67		360	17	96	100
65		354	16	95	98
63		341	15	94	96
62		329	14	93	95
60		317	12	92	93
58		305	12	91	91
56		295	11	90	89
55	120	284	10	89	87
53	119	273	9	88	85
52	119	263	8	87	84
50	117	253	7	86	82
48	116	242	6	85	81
47	116	233	5	84	80
46	115	221	4	83	78
44	114	211	3	82	76
43	114	202	2	81	75
42	113	193	1	80	74
41	112	185	0	79	72
39	112	178	-2	78	71
38	110	171	-3	77	70
37	110	165		76	68
36	109	159		74	66
35	108	154		73	65
34	108	148		72	64
32	107	143		71	63
31	106	139		70	62
30	105	135		69	61
29	104	131		68	60
28	104	127		67	59
27	104	124		66	58
26	103	121		65	56
25	102	117		64	55
24	102	115		62	54
23	100	112		61	53
22	99	109		60	52
21	98	107		59	51
20	97	105		57	50

Tomado de la tabla de dureza KING PORTABLE BRINELL de KING TESTER CORPORATION.

**ANEXO E. GUIA PARA RELACIONAR LOS CAMBIOS EN LAS COMPOSICIONES DE LAS COLADAS CON LAS MODIFICACIONES EN LAS TEMPERATURAS DE REVENIDO**

SUGERENCIA EN LAS MODIFICACIONES DE LAS TEMPERATURAS DE REVENIDO TENIENDO EN CUENTA LAS VARIACIONES DE LOS ELEMENTOS ALEANTES EN LAS COLADAS				
CARBONO	MOLIBDENO	MANGANESO	SILICIO	MODIFICACIONES ACONSEJADAS
IGUAL	NULO	VARIA	VARIA	DE 10 – 20° F
VARIA	NULO	VARIA	VARIA	Ajustar de acuerdo a dureza ( 0 – 40° F)
VARIA	NULO	SEMEJANTE	SEMEJANTE	DE 0 – 20° F
IGUAL	SEMEJANTE	SEMEJANTE	VARIA	DE 0 – 5° F
IGUAL	VARIA	SEMEJANTE	SEMEJANTE	DE 10 – 35° F
IGUAL	VARIA	VARIA	SEMEJANTE	DE 0 – 35° F
IGUAL	SEMEJANTE	VARIA	SEMEJANTE	DE 5 – 25° F
IGUAL	SEMEJANTE	VARIA	VARIA	DE 0 – 25° F
VARIA	VARIA	VARIA	VARIA	DE 0 – 40° F
VARIA	VARIA	VARIA	SEMEJANTE	DE 0 – 40° F
VARIA	SEMEJANTE	VARIA	SEMEJANTE	DE 0 – 25° F
VARIA	VARIA	SEMEJANTE	SEMEJANTE	DE 0 – 40° F

NULO = sin presencia del elemento

SEMEJANTE = variaciones del elemento < de 2 centésimas

VARIA = variaciones > de 2 centésimas

- La modificación aconsejada debe realizarse en cada zona del horno de revenido
- El ensayo de dureza después de revenido es la herramienta que mas ayuda en la determinación de las modificaciones de las temperaturas de revenido debido a su relación con el esfuerzo ultimo de tensión, parámetro de aprobación de tubería en la empresa Tubos del Caribe S.A.

### ANEXO F. Cronograma de actividades propuesta de Programa de Capacitación Continuo

	1° MES	2° MES	3° MES	4° MES	5° MES	6° MES	7° MES	8° MES
<b>SEMANA 1</b> (Turno 1)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Charla Informativa de Tratamientos Térmicos.</li> <li><b>Personal: supervisores, operadores, inspectores y ayudantes.</b></li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li><b>Curso de tratamientos Térmicos.</b> martes: Temple; miércoles: Revenido; Jueves Normalizado y evaluación.</li> <li>Personal: supervisores, operadores e inspectores.</li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li><b>Curso Inspección Visual:</b></li> <li>Personal: ayudantes alimentadores de Hornos e inspectores</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>Seminario:</b> “Inconvenientes y Consecuencias en los Tratamientos Térmicos”.</li> <li>Personal: supervisores, operadores e inspectores</li> </ul>	
<b>SEMANA 2</b> (Turno 2)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Charla Informativa de Tratamientos Térmicos.</li> <li><b>Personal: supervisores, operadores, inspectores y ayudantes turno 2</b></li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li><b>Curso de tratamientos Térmicos.</b> martes: Temple; miércoles: Revenido; Jueves Normalizado y evaluación.</li> <li>Personal: supervisores, operadores, inspectores.</li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li><b>Curso Inspección Visual:</b></li> <li>Personal: ayudantes alimentadores de Hornos e inspectores</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>Seminario:</b> “Inconvenientes y Consecuencias en los Tratamientos Térmicos”.</li> <li>Personal: supervisores, operadores e inspectores</li> </ul>	
<b>SEMANA 3</b> (Turno 3)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Charla Informativa de Tratamientos Térmicos.</li> <li><b>Personal: supervisores, operadores, inspectores y ayudantes turno 3</b></li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li><b>Curso de tratamientos Térmicos.</b> martes: Temple; miércoles: Revenido; Jueves Normalizado y evaluación.</li> <li>Personal: supervisores, operadores, inspectores.</li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li><b>Curso Inspección Visual:</b></li> <li>Personal: ayudantes alimentadores de Hornos e inspectores</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>Seminario:</b> “Inconvenientes y Consecuencias en los Tratamientos Térmicos”.</li> <li>Personal: supervisores, operadores e inspectores</li> </ul>	

Las charlas, cursos y seminarios pueden comenzar en cualquiera de los meses para los que están programados, es importante que una vez iniciada las actividades se eviten la interrupción de estas, de esta forma se reducirá la posibilidad de traumatismos en las actividades programadas.

