



**UNIVERSIDAD CENTRAL "MARTA ABREU" DE LAS VILLAS**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA**  
**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE SOLDADURA**

## ***Trabajo de Diploma***

***Mejora del control de la calidad del proceso de Tratamiento  
Térmico del acero 30XTC***

***Autor: Victor Ricardo Jiménez Pérez***

***Tutores: Dr. Alejandro Duffus Scott***

***Ing. Ileana Céspedes Ineraite***

***Consultante: Ing. Julio Pastor Matamoros García***

***Curso 2011 - 2012***



# *Pensamiento*

## ***Resumen***

En el presente trabajo de diploma se aborda el tema del control de la calidad del tratamiento térmico del acero 30XГC. Se hace una recopilación de los aspectos fundamentales del tratamiento térmico y se enfatiza en los tratamientos térmicos de temple y revenido. Se propone un conjunto de acciones encaminadas a mejorar el tratamiento térmico del acero objeto de estudio, las cuales se simplifican utilizando un flujograma, donde se deja claro los aspectos a controlar por etapas, antes, durante y después. Se mejoró la carta tecnológica del acero 30XГC.

## ***SUMMARY***

Presently diploma work is approached the topic of the control of the quality of the thermal treatment of the steel 30XГC. A summary of the fundamental aspects of the thermal treatment is made and it is emphasized in the thermal treatments of temper and gone bad. He/she intends a group of actions guided to improve the thermal treatment of the steel study object which are simplified using a bar chart , where it is left clear the aspects to control for stages, before during and later. He/she improved the technological letter of the steel 30XГC.

## Índice

<b>INTRODUCCIÒN .....</b>	<b>1</b>
<b>Capitulo I. Tratamiento Térmico .....</b>	<b>3</b>
<b>1.1 Introducción.....</b>	<b>3</b>
<b>1.2 Tratamiento Térmico.....</b>	<b>3</b>
<b>1.3 Conclusiones Parciales.....</b>	<b>13</b>
<b>Capítulo II. Materiales y Métodos.....</b>	<b>14</b>
<b>2.1 Introducción.....</b>	<b>14</b>
<b>2.2 Propiedades y composición química del material a tratar .....</b>	<b>14</b>
<b>2.3 Régimen de Tratamiento Térmico .....</b>	<b>15</b>
<b>2.4 Propiedades del aceite utilizado.....</b>	<b>21</b>
<b>Capitulo III. Control del Proceso de Tratamiento Térmico .....</b>	<b>22</b>
<b>3.1 Introducción.....</b>	<b>22</b>
<b>3.2 Control del proceso de tratamiento térmico.....</b>	<b>22</b>
<b>3.3 Control del proceso de producción .....</b>	<b>41</b>
<b>3.4 Oxidación y descarburación de los aceros .....</b>	<b>42</b>
<b>3.5 Tipos de análisis para comprobar la composición química del material.....</b>	<b>42</b>
<b>3.6 confección del diagrama de flujo para el control del proceso de     Tratamiento Térmico.....</b>	<b>44</b>
<b>3.7 Conclusiones Parciales.....</b>	<b>50</b>
<b>Conclusiones Generales.....</b>	<b>51</b>
<b>Recomendaciones.....</b>	<b>52</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>53</b>
<b>Anexos .....</b>	<b>54</b>

## **INTRODUCCIÒN**

El proceso de tratamiento térmico, es uno de los procesos mediante los cuales se puede variar o modificar las propiedades de los aceros y en sentido general de los metales. Se entiende por tratamiento térmico el conjunto de operaciones de calentamiento, permanencia y posterior enfriamiento de los metales con la finalidad de modificar su estructura y propiedades.[1]

La falta de control del proceso de tratamiento térmico en muchas industrias ha traído como consecuencia que en lugar de mejorar las propiedades mecánicas, se han empeorado.

En muchas industrias se aplican tratamientos térmicos a materiales que en ocasiones se desconocen su composición química y propiedades mecánicas, y por consiguiente los resultados obtenidos no son los esperados, trayendo consigo grandes pérdidas económicas de materiales, recursos financieros y pérdida de mercado.

La situación económica por la que atraviesa el mundo y en particular Cuba impone serias limitaciones financieras en la adquisición de materias primas necesarias para el desarrollo industrial, por tal motivo el control de los procesos tecnológicos y en particular el de tratamiento térmico pueden conllevarnos a la mejora de la calidad de dicho proceso.

Este trabajo se desarrolla en el taller de Tratamiento Térmico de la Fábrica **Fabric Aguiar Noriega, de la empresa Planta Mecánica** de la provincia Villa Clara.

### **Problema Práctico**

Mejorar el control del proceso de tratamiento térmico del acero 30X7C, utilizado para la fabricación de blindados en la empresa Planta Mecánica de la provincia Villa Clara.

### ***Problema científico***

Las acciones de mejoramiento de control del proceso de tratamiento térmico a los aceros blindados, trae como consecuencia obtener piezas con la calidad requerida

### ***Hipótesis***

Si se establecen acciones de mejora al control del proceso de tratamiento térmico de los aceros blindados, se garantizará su calidad.

### ***Objetivo General***

Proponer mejoras para el control del proceso de tratamiento térmico del acero 30XFC.

### ***Objetivos específicos.***

1-Revisar los aspectos fundamentales que representan el proceso de tratamiento térmico.

2-Proponer las acciones de mejoras antes, durante y después del proceso de tratamiento térmico, utilizando un diagrama de flujo.

3-Mejorar la instrucción de tratamiento térmico para aceros para blindajes.

4-Verificar la composición químicas y propiedades mecánicas del acero a tratar.

### ***Tareas***

1-Revisión bibliográfica del proceso de tratamiento térmico y su control.

2-Control del certificado de los aceros para blindajes.

3-Confección y mejora del diagrama de flujo para el control del proceso de tratamiento térmico de aceros para blindajes.

4-Establecer las acciones de control ***antes, durante y después*** del proceso.

## Capítulo I. Tratamiento Térmico

### 1.1 Introducción

Se entiende por tratamiento térmico el conjunto de operaciones de calentamiento, permanencia y posterior enfriamiento de los metales con la finalidad de modificar su estructura y propiedades. Este proceso se le da generalmente a distintos tipos de aceros entre estos, aceros para blindajes.[2]

### 1.2 Tratamiento Térmico

Uno de los procesos mediante los cuales se puede variar o modificar las propiedades de los aceros y en sentido general de los metales es el proceso de tratamiento térmico.

Este proceso tecnológico se puede representar gráficamente como muestra la (fig. 1)

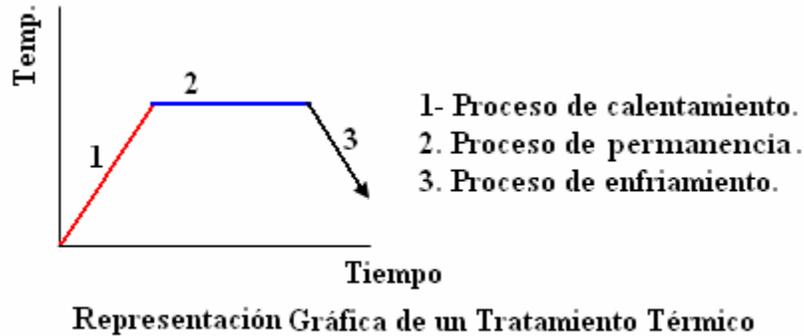


Figura 1. Representación gráfica del tratamiento térmico [2]

Los procesos de tratamiento térmico se pueden clasificar en dos grandes grupos en dependencia de si la modificación de la estructura y propiedades se realiza a todo el volumen de la pieza o si esta modificación solo tiene lugar en la superficie de las piezas, se tienen:

- ✓ Tratamientos térmicos volumétricos.

- ✓ Tratamientos termicos superficiales.
- ✓ Los tratamientos térmicos volumétricos pueden ser de varios tipos, los cuales son:
  - Recocido.
  - Normalizado.
  - Temple
  - Revenido

En el trabajo se analizan los tratamientos térmicos volumétricos de temple y revenido.

### ***Temple***

Este tratamiento resulta uno de los más empleados en la industria unido al proceso de revenido debido a que mediante él se aumenta la resistencia al desgaste por el incremento de la dureza, y la resistencia del material [1]

Definición:

El temple se define como el proceso de calentamiento por encima de  $A_1$  o  $A_3 + 30$  o  $50^\circ\text{C}$ , la correspondiente permanencia y posterior enfriamiento rápido.

Las propiedades óptimas de un acero templado y revenido solo se adquieren si durante el tratamiento térmico de temple la pieza adquiere un alto contenido de *martensita*. (**Ver fig. 2**) [1]



**Figura 2. Fotomicrografía a 1220X que muestra la microestructura de la martensita. Los granos en forma de aguja son los de martensita y las regiones blancas son austenita que no transformaron durante el tratamiento [1]**

La martensita es una fase que se forma como resultado de una transformación de estado sólido sin difusión. Debido a que la reacción no depende de la difusión, la reacción martensítica es una transformación atérmica, la reacción depende solo de la temperatura y no del tiempo. En aceros con más de 0.2% C la reacción martensítica ocurre al transformarse la austenita (CCC) a martensita (TCC tetragonal compacta centrada en el cuerpo). Los átomos de carbono quedan atrapados en los sitios intersticiales durante la transformación haciendo que se produzca una estructura tetragonal según se muestra en la **(fig.2)**, por lo que a medida que se incrementa el %C, quedan atrapados un mayor número de átomos de carbono en estos sitios incrementando los ejes *a* y *c* de la estructura martensita aumentando la dureza.[1]

Existen diferentes tipos de temple en dependencia de la temperatura de calentamiento a la que se lleve el acero y en dependencia de la forma de enfriamiento en que se realice el tratamiento.[2]

Por la temperatura de calentamiento. El temple puede ser completo e incompleto, estos se ilustra a continuación:

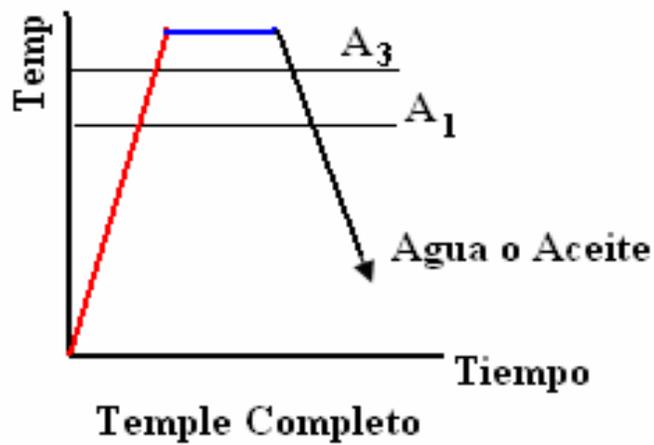


Figura 3. Temple Completo [2]

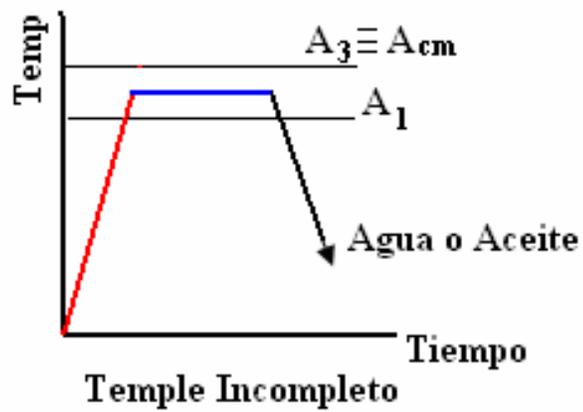


Figura 4. Temple Incompleto [2]

**Revenido**

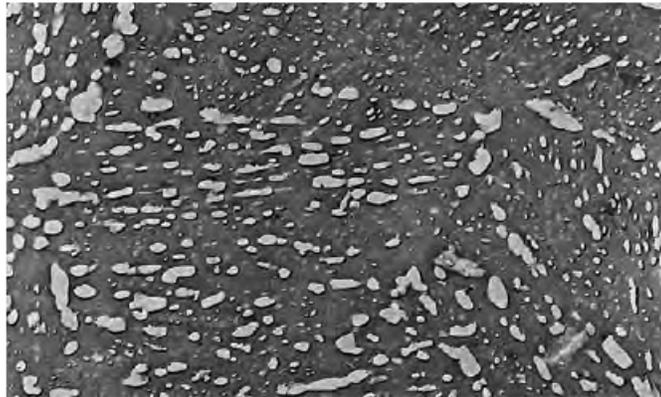
La martensita resultante del temple es muy dura y frágil por lo tanto, inservible en la mayoría de las aplicaciones; además las tensiones internas introducidas durante el temple ejercen un efecto fragilizante. Lo anterior hace necesario realizar un

tratamiento térmico que incremente la tenacidad y ductilidad de la austenita, así como disminuir las tensiones internas, este se conoce como revenido.[2]

*El revenido* consiste en realizar un calentamiento del acero martensítico a una temperatura inferior de  $A_1$  durante un período de tiempo específico.[1]

Normalmente el revenido se realiza calentando entre los 250 - 650 °C

La microestructura de la martensita revenida se muestra en la **(fig. 5)** consistente en partículas extremadamente pequeñas de cementita embebidas en una matriz ferrítica continua y uniformemente dispersas. [1]



**Figura 5. Micrografía electrónica a 9300X, Las partículas pequeñas son de martensita y la matriz es de ferrita  $\alpha$  [1]**

La martensita revenida es tan dura y resistente como la martensita, pero mucho más dúctil y tenaz, la dureza y la resistencia se explican por la gran superficie de límite de fase por unidad de volumen que existe en las diminutas y numerosas partículas de cementita. La dura fase cementita refuerza la matriz ferrítica mediante los límites, que también actúan como barrera para el movimiento de las dislocaciones durante la deformación plástica, la fase ferrita continua también es muy dúctil y relativamente tenaz y aporta estas propiedades a la martensita revenida.[1]

El tamaño de las partículas de cementita influye en el comportamiento mecánico de la martensita revenida; incrementando el tamaño de las partículas, decreciendo el

área de los límites de fase y por consiguiente, resulta un material más blando y menos resistente, ya que es más dúctil y tenaz. Además el revenido determina el tamaño de las partículas de cementita.

Las variables asociadas con el revenido que afectan a la microestructura y las propiedades mecánicas de un acero incluyen:

- temperatura de revenido
- tiempo de permanencia a la temperatura de revenido
- velocidad de calentamiento y enfriamiento

Las propiedades del acero revenido se determinan principalmente por el tamaño, forma, composición y distribución de los carburos, con una contribución relativamente menor debida al endurecimiento por sólido-solución de la ferrita. Estos cambios en la microestructura suelen disminuir la resistencia mecánica y aumentar la ductilidad y la tenacidad.[3]

**Tabla 1. Valores de dureza de diferentes aceros sometidos al revenido. [3, 4]**

Grado	Cont. de C, %	Dureza HRC después del revenido durante 2 h, para diferentes temperaturas ( °C )									Tratamiento térmico
		205	260	315	370	425	480	540	595	650	
Acero al carbono templado en agua											
1030	0.30	50	45	43	39	31	28	25	22	15	Normalizado a 900°C temple en agua 830-845 °C promedio punto de rocío t,16 °C
1040	0.40	51	48	46	42	37	30	27	22	14	
1050	0.50	52	50	46	44	40	37	31	29	12	
1060	0.60	56	55	50	42	38	37	35	33	26	Normalizado 885 °C temple agua 830-855 °C Promedio punto de rocío,7 °C
1080	0.80	57	55	50	43	41	40	39	38	32	
1095	0.95	58	57	52	47	43	42	41	40	33	
1137	0.40	44	42	40	37	33	30	27	31	21	Normalizado 900 °C temple en agua desde (830-855 °C);promedio punto de rocío,13°C
1141	0.40	49	46	43	41	38	34	28	23	14	
1144.	0.40	55	50	47	45	39	32	29	25	17	
Acero aleado templado en agua											

1330	0.30	47	44	42	38	35	32	26	22	16	Normalizado a 900 °C templado en agua desde 800-815 °C; promedio punto de rocío,16 °C
2330	0.30	47	44	42	38	35	32	26	22	16	
3130	0.30	47	44	42	38	35	32	26	22	16	
4130	0.30	47	45	43	42	38	34	32	26	22	Normalizado a 885 °C templado en agua desde 800-855 °C Promedio punto de rocío,16 °C
5130	0.30	47	45	43	42	38	34	32	26	22	
8630	0.30	47	45	43	42	38	34	32	26	22	
Acero aleado templado en aceite											
1340	0.40	57	53	50	46	44	41	38	35	31	Normalizado a 870 °C Templado en aceite desde (830-845 ) °C ; Promedio punto de rocío,16 °C
3140	0.40	55	52	49	47	41	37	33	30	26	
4140	0.40	57	53	50	47	45	41	36	33	29	
4340	0.40	55	52	50	48	45	42	39	34	31	Normalizado a 870 °C Templado en aceite desde (830-845) °C Promedio punto de rocío,13 °C
4640	0.40	52	51	50	47	42	40	37	31	27	
8740	0.40	57	53	50	47	44	41	38	35	22	
4150	0.50	56	55	53	51	47	46	43	39	35	Normalizado a 870 °C Templado en aceite desde (830-870) °C Promedio punto de rocío,13 °C
5150	0.50	57	55	52	49	35	39	34	31	28	
6150	0.50	58	57	53	50	46	42	40	36	31	
8650	0.50	55	54	52	49	45	41	37	32	28	Normalizado a 870 °C Templado en aceite desde (815-845) °C Promedio punto de rocío,13 °C
8750	0.50	56	55	52	51	46	44	39	34	32	
9850	0.50	54	53	51	48	45	41	36	33	30	

Bajo ciertas condiciones, la dureza puede no ser afectada por el revenido o incluso puede aumentar como resultado del mismo como se muestra en la **tabla 1**.

### ***Transformaciones en el revenido***

La estructura inicial es la del acero templado, formada por martensita tetragonal y austenita, la martensita es la estructura que posee más volumen y la austenita, la que posee el volumen mínimo, por eso las transformaciones deben realizarse con variaciones de volumen.

En la curva dilatométrica que se muestra en la (**fig. 6**) se observa que hasta los 80 °C no ocurre ninguna transformación, pero a partir de los 80 °C hasta los 200 °C se

observa una reducción de la longitud. Esta es la llamada primera transformación en el revenido.[3]

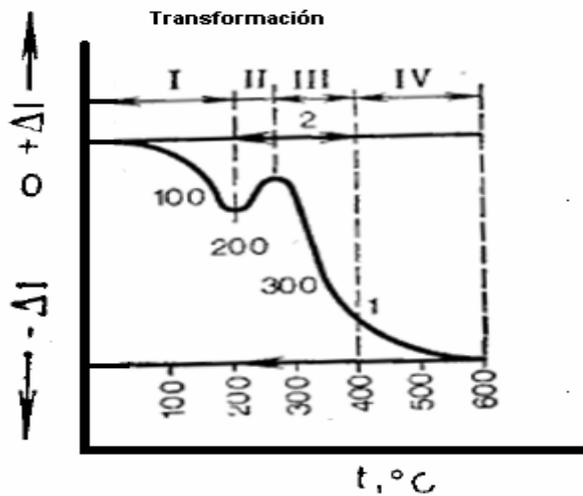


Figura 6. Curva dilatométrica de revenido del acero al carbono 1 acero templado 2 acero recocido.[1]

La curva dilatométrica fija la transformación durante el revenido, la desviación de la curva 1 en el acero templado, de la línea horizontal 2 demuestra la existencia de ciertas transformaciones.

Pues como resultado de la primera transformación en el revenido se obtiene la martensita revenida que es una mezcla heterogénea de solución  $\alpha$  sobresaturada y de partículas de carburo aún no aisladas.

Desde el punto microestructural, sobre la base de rayos X, dilatometría y los estudios microscópicos, hay tres etapas distintas de revenido, a pesar de que los rangos de temperatura se superponen.[1]

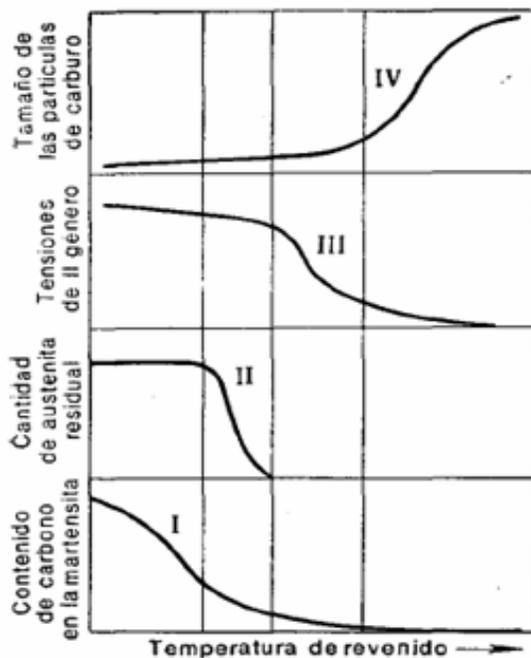
*Etapas I:* La formación de carburos de transición y la reducción a 0,25% del contenido de carbono de la martensita (de 100 a 250 °C)

*Etapas II:* La transformación de la austenita retenida en ferrita y cementita (200 a 300 °C)

*Etapa III:* La sustitución de los carburos de transición y de la martensita de baja temperatura por la mezcla de cementita y ferrita (250 a 350 °C).

Una etapa adicional de revenido (*etapa IV*), consiste en la precipitación de carburos de aleación finamente dispersos...

Se ha encontrado que la fase I de revenido es a menudo precedida por la redistribución de los átomos de carbono, llamado auto-revenido, durante el enfriamiento y/o mantenimiento a temperatura ambiente. Otros cambios estructurales tienen lugar a causa del reordenamiento de átomos de carbono antes de la etapa clásica I del revenido.[3]



**Figura 7. Procesos que se efectúan durante el revenido.[1]**

Las curvas de la figura anterior ilustran las transformaciones que ocurren durante el revenido: I precipitación de carbono de la solución, que se efectúa principalmente a bajas temperaturas (en aceros ricos en carbono), pero se extiende a un amplio intervalo de temperaturas; II, descomposición de la austenita residual, que ocurre en

un intervalo de temperaturas limitado que depende de la composición del acero; III, eliminación de las tensiones internas, que se desarrolla en la región de los 300-400 °C; IV, proceso de coagulación de las partículas de carburo, que comienza a las temperaturas bajas de revenido (150 °C), pero que adquiere su máxima intensidad por encima de los 400°C. Los intervalos de temperatura indicados se refieren al revenido del acero al carbono cuando el calentamiento es lento. Si el calentamiento es rápido, la temperatura de estas transformaciones se desplaza hacia arriba por la escala de temperatura.[1]

### **1.3 Conclusiones Parciales**

1-Los aspectos relacionados con el control del proceso de tratamiento térmico, están muy disperso en la literatura.

2-Entre los diferentes tipos de tratamiento térmico que se le pueden aplicar al acero 30X7C, el temple y el revenido nos da las propiedades que requiere este acero, para blindados.

## Capítulo II. Materiales y Métodos

### 2.1 Introducción

Para una correcta realización del proceso de tratamiento térmico primeramente es necesario conocer cuáles son las necesidades del cliente. Las **tablas 2 y 3** muestran la composición y propiedades mecánicas del acero 30XГC.

### 2.2 Propiedades y composición química del material a tratar

Tabla 2. Composición química del acero 30XГC.[3, 5, 6]

C %	Mn %	Si %	Cr %	Ni %	P %	Ø(mm)	Fragilidad en frío
0.28-0.35	0.8-1.1	0.9-1.2	0.8-1.1	< = 0.30	< = 0.025	25	-20

Tabla 3. Propiedades mecánicas del acero 30XГC en estado de entrega.[3, 5, 6]

Tensión de Fluencia kgf/mm <sup>2</sup>	Tensión de Rotura kgf/mm <sup>2</sup>	Resiliencia kgf/cm <sup>2</sup>	Elongación relativa %	Estricción relativa %	Diámetro Crítico mm	Umbral de Fragilidad en frío °C
80	110	45	10	45	25	-20

### **2.3 Régimen de Tratamiento Térmico**

Los procesos para realizar la tecnología de tratamiento térmico del acero 30X7C, es como sigue:

#### **Para el Temple**

- ***Velocidad de calentamiento***

El calentamiento inicial de la pieza puede ser de dos maneras, introduciendo la pieza dentro del horno estando el mismo apagado y posteriormente se encendería hasta que el mismo alcance la temperatura deseada y de otra manera que es la que se realiza en Planta Mecánica sería dejando el horno calentarse hasta la temperatura de 920 °C y luego introducir la pieza dentro del horno hasta que la misma vuelva a alcanzar esa temperatura, este tipo de calentamiento se realiza porque la pieza es de acero de baja aleación y buena conductividad térmica además con esta forma de calentamiento se evitan varios efectos indeseables sobre la pieza como le sigue a continuación:

- Descarburación
- Alargamiento del tiempo de calentamiento de la pieza (consumo excesivo de energía eléctrica)

El temple realmente debe ser a 880 °C pero se estimó la temperatura de 920°C porque la pieza al trasladarse al recipiente de enfriamiento pierde temperatura en su trayecto por lo que es necesario la elevación de la temperatura en un pequeño rango sin afectar la microestructura del material y tamaño de grano.[7]

- ***Tiempo de permanencia***

Al alcanzar la pieza dentro del horno los 920 °C se deja introducida la misma con un tiempo de permanencia que viene siendo aproximadamente de 60 minutos, este

tiempo se estima teniendo en cuenta el espesor de la pieza. Se recomienda para acero de este tipo, 1.6 minutos por cada 1mm de espesor.[7]

- ***Velocidad de enfriamiento***

Al cumplirse el tiempo de permanencia se enfriará rápidamente la pieza en aceite, obteniéndose así las propiedades requeridas.[7]

### **Para el Revenido**

- ***Velocidad de calentamiento***

La velocidad de calentamiento en el revenido se realiza con la misma metodología para el temple, es decir introduciendo la pieza cuando el horno llegue a la temperatura de 330°C.[7]

- ***Tiempo de permanencia***

La pieza al haber alcanzado los 330°C se mantienen dentro del horno 180 minutos.[7]

- ***Velocidad de enfriamiento***

Al cumplirse el tiempo de permanencia la pieza se enfriará lentamente al aire a temperatura ambiente.[7]

La figura 8 representa el proceso completo de Tratamiento Térmico para el acero 30XГC.

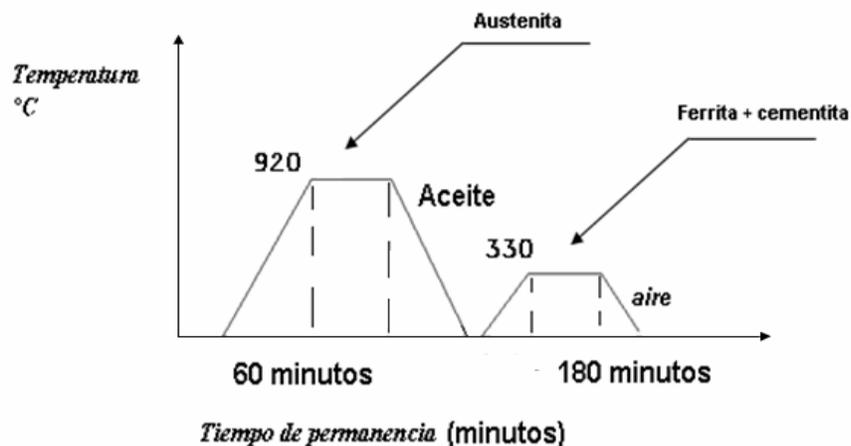
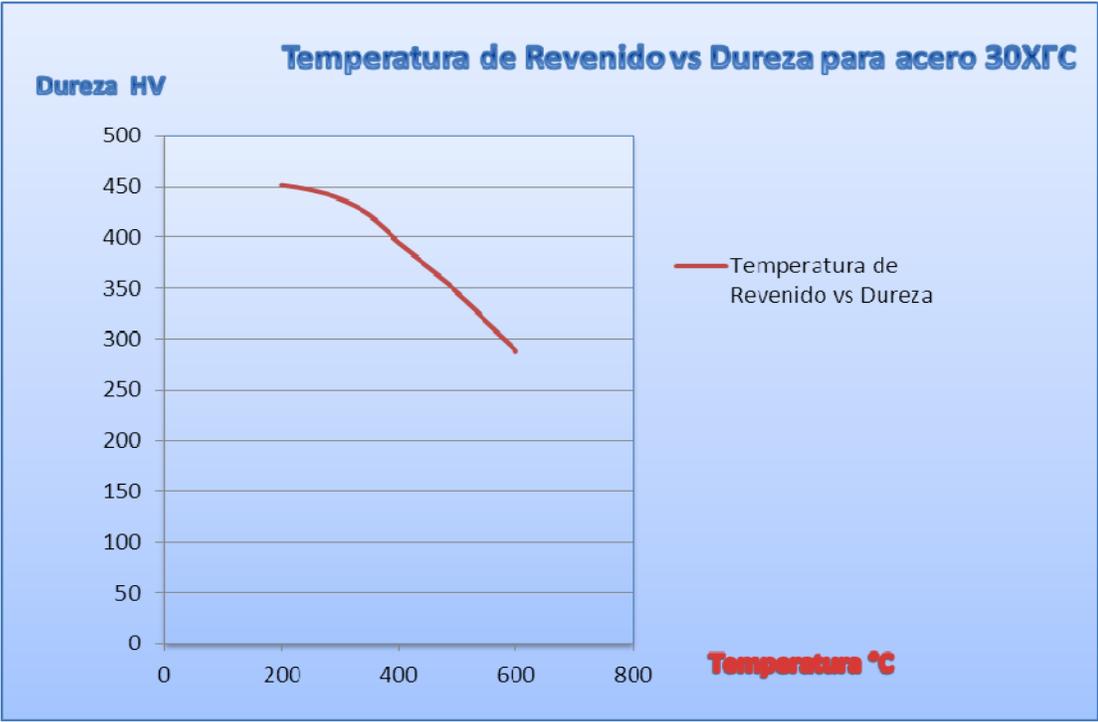


Figura 9. Representación Gráfica del proceso de Tratamiento Térmico para el acero 30XGC.

Tabla 4. Propiedades mecánicas resultantes del revenido a diferentes temperaturas del acero 30XGC previamente sometido a temple. [3, 4]

Temperatura de revenido °C	Dureza HV	Límite de Fluencia	Límite de Rotura	Elongación Relativa	Estricción Relativa	Resiliencia KCU J/m <sup>2</sup>
		$\sigma_{0,2}$ MPa	$k_B$ MPa	$\delta_5$ %	$\psi$ %	
200	452	1570	1700	10.7	44	88
250	447	1555	1679	11	50	78
300	438	1520	1630	11.3	54	69
350	422	1438	1541	12	55	55
400	395	1320	1420	13.5	56	49
450	371	1229	1323	15	56	47
500	346	1140	1220	17	56	38
550	317	1029	1110	19	58	38
600	288	940	1040	20.7	62	37

Como resultado de la tabla anterior se expone a continuación más detalladamente las principales transformaciones que ocurren en las propiedades mecánicas del acero 30XГC a través de las gráficas realizadas con la ayuda del programa Microsoft Excel.



**Figura 10. Influencia de la Temperatura de revenido vs Dureza**

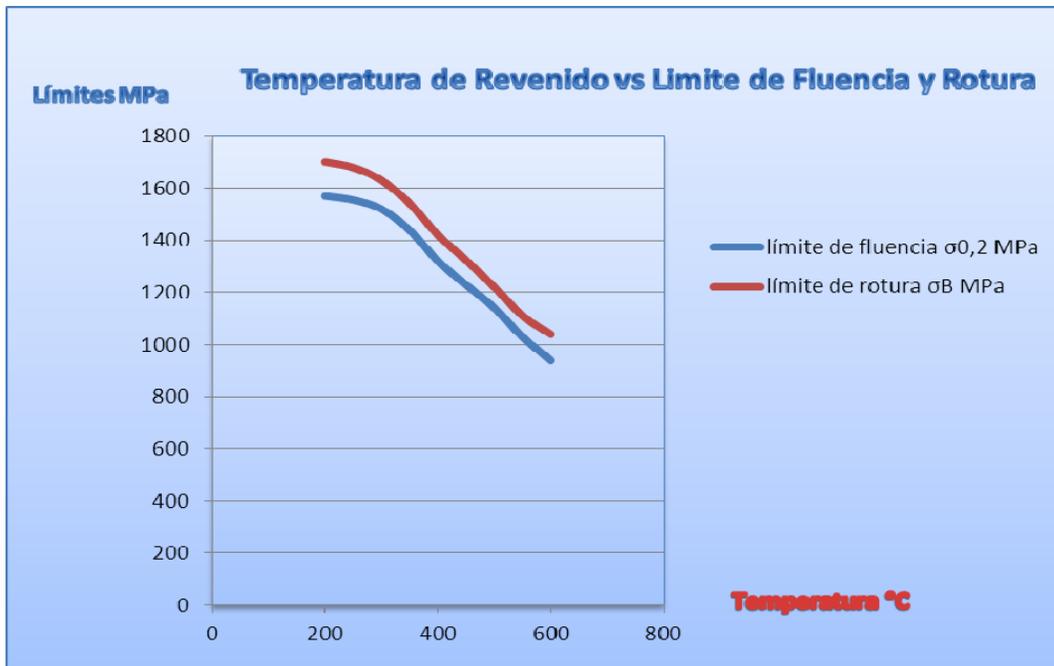


Figura 11. Influencia de la Temperatura de revenido vs Límite de fluencia y Rotura

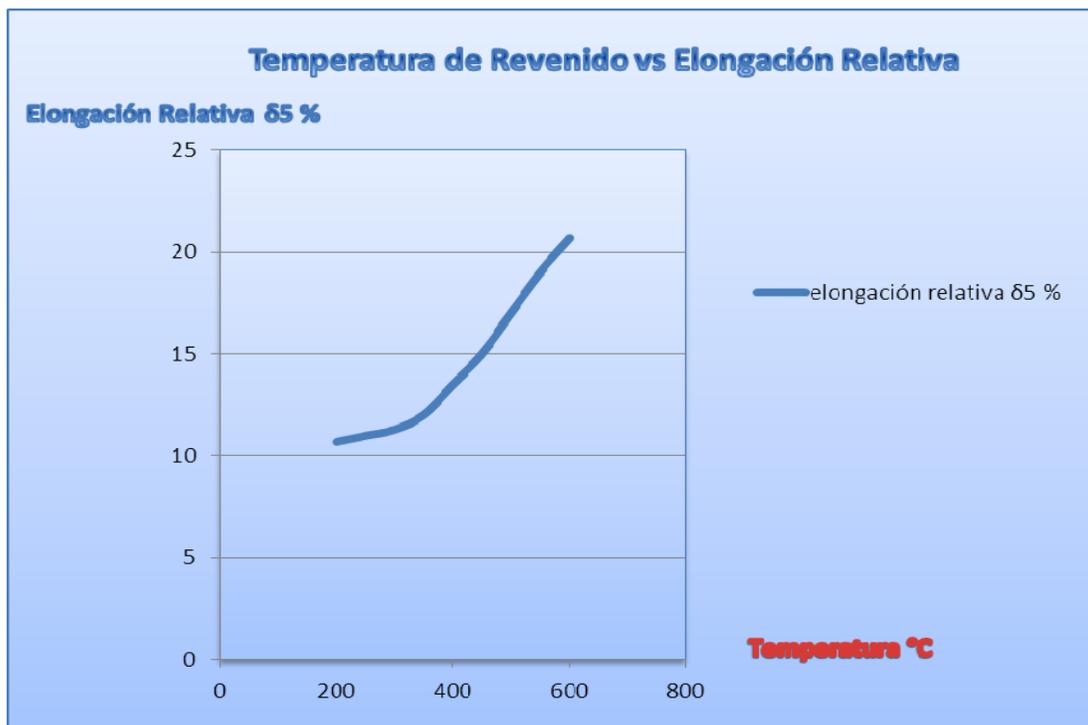
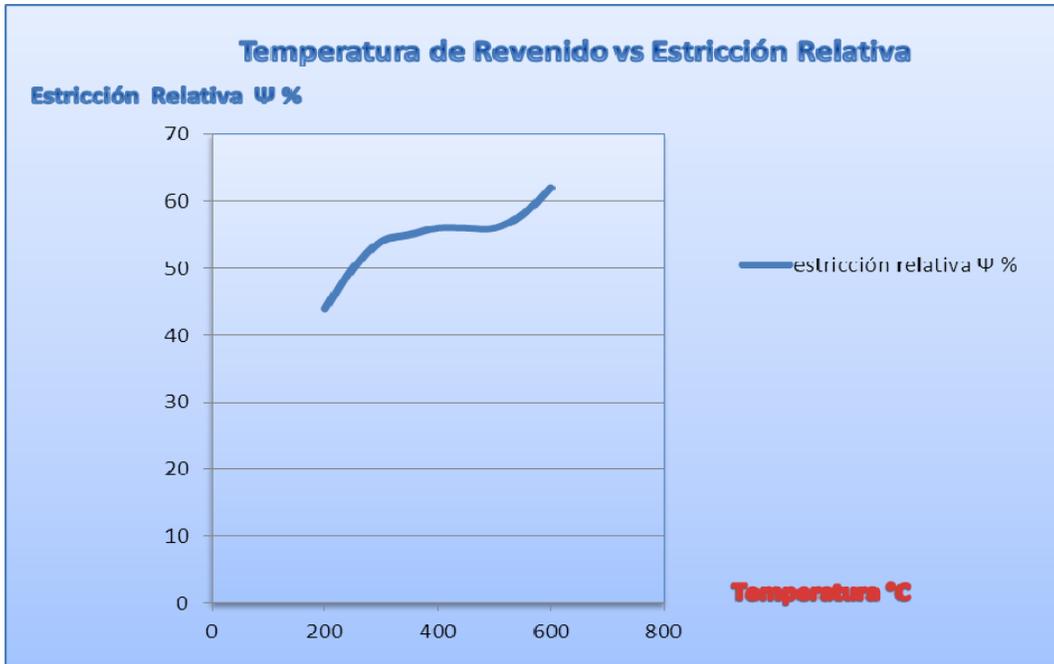
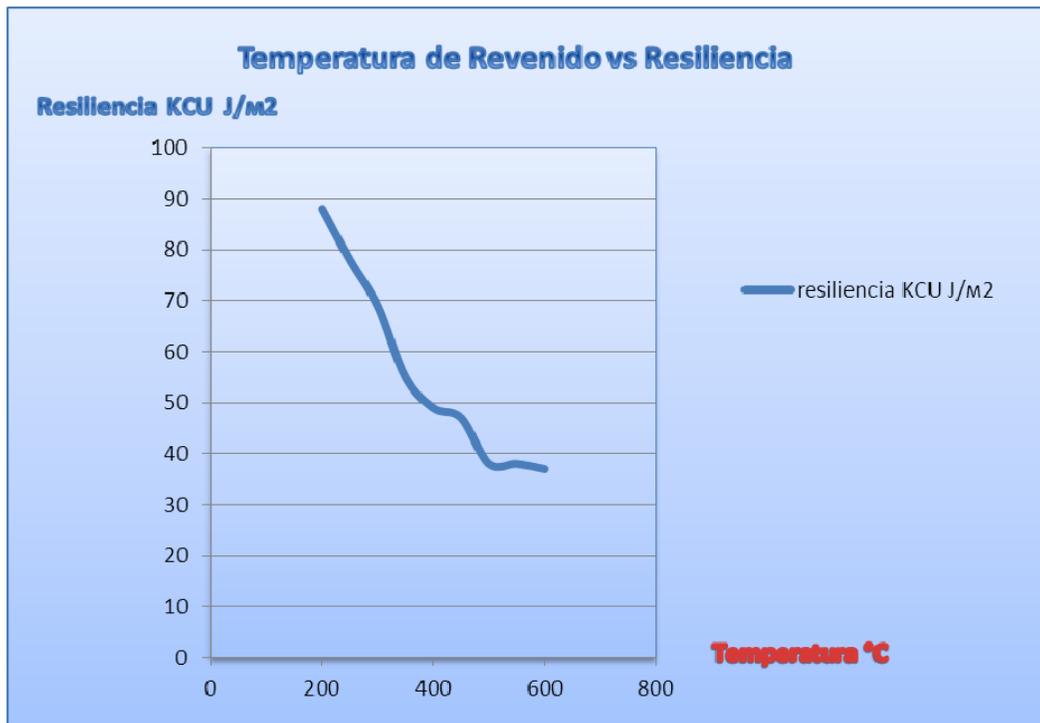


Figura 12. Influencia de la Temperatura de revenido vs Elongación Relativa



**Figura 13. Influencia de la Temperatura de revenido vs Estricción Relativa**



**Figura 14. Influencia de la Temperatura de revenido vs Resiliencia**

## **2.4 Propiedades del aceite utilizado**

El grupo de aceite utilizado fue caucho de la serie 32. Estos aceites han sido desarrollados para ser empleados en la elaboración de neumáticos y productos del caucho así como también para el enfriamiento de piezas aleadas después de realizado el proceso de temple. La función de estos aceites es la de impartir un enfriamiento homogéneo en la pieza. Actualmente está siendo utilizado para el enfriamiento del acero 30X7C después del temple lo que le confiere las propiedades mecánicas necesarias para la utilización del mismo como blindaje.[8]

**Tabla 5. Propiedades Típicas del aceite caucho 32.[8]**

<b>Propiedades Típicas</b>	<b>Aceite Caucho 32</b>
<b>Viscosidad ISO (Pa*s)</b>	32
<b>Viscosidad a 40°C</b>	28.8-35.2 (Pa*s)
<b>Punto de inflamación °C</b>	175 Mín.
<b>Densidad a 20°C</b>	0.86 Mín. (g/cm <sup>3</sup> )
<b>Contenido de Agua %</b>	0.05 Máx.

### *Características*

Líquido homogéneo de color ámbar, translúcido y de olor característico. Se elaboran con aceites básicos parafínicos de elevada calidad.[8]

Es importante la utilización de este aceite ya que contiene los elementos óptimos para que su punto de inflamación sea alto además de que su viscosidad es media lo que permite que la pieza se recubra rápidamente para evitar cualquier pérdida de temperatura en el momento de la entrada de la pieza al aceite.[9, 10]

## **Capítulo III. Control del Proceso de Tratamiento Térmico**

### **3.1 Introducción**

El control del tratamiento térmico se realiza para comprobar si el proceso cumple con todos los requisitos técnicos que se requieren con calidad. El control técnico se realiza en todas las etapas de la producción que son el control de la calidad de materiales iniciales, control de los procesos tecnológicos del tratamiento térmico y control de la producción del taller de tratamiento térmico. A fin de aumentar la fiabilidad y plazo de servicio de los hornos y piezas que pasan por el proceso de tratamiento térmico, generalmente se controlan dos índices de todas las piezas: la dureza y el espesor de la capa obtenida por tratamiento térmico o termoquímico. Los materiales iniciales se someten al control de composición química. La composición química se verifica por análisis espectral, es decir, por métodos que permiten apreciar cuantitativa y cualitativamente la composición química.[10]

### **3.2 Control del proceso de tratamiento térmico**

Para obtener elementos de máquina de acuerdo con las exigencias requeridas, es necesario diferentes procesos tecnológicos que guardan una secuencia lógica. Entre estos procesos tecnológicos, el tratamiento térmico ocupa un lugar preponderante.

El tratamiento térmico de un elemento de máquina de pieza o piezas que se adecue a normas determinadas, es un conglomerado de operaciones que van desde una selección de un material adecuado hasta las diferentes operaciones térmicas o termoquímicas que requieren un control efectivo, para garantizar las exigencias técnicas finales.

Por otra parte, no sólo los equipos en mal estado o una operación inadecuada, pueden conducir a la obtención de piezas que no guarden las exigencias requeridas. La mala clasificación de un material o el recibo de una partida que no corresponda con el material requerido pueden provocar producciones inservibles.[10]

Con el fin de prevenir todas estas deficiencias, es necesario tomar las medidas de control del proceso, se propone tres etapas, **antes, durante y después**:

**Primera etapa:**

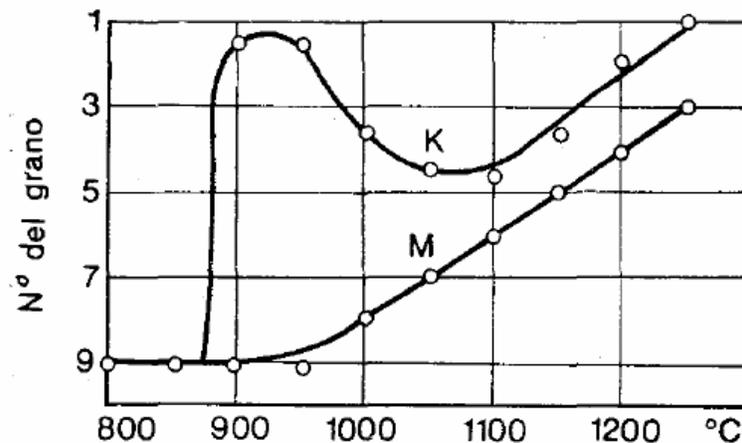
**1- Antes**

- **Análisis de la composición química, propiedades mecánicas (certificado del material) Análisis de la microestructura**

Factor indispensable para la correcta recepción del material con las propiedades químicas y mecánicas. Este documento evita la inadecuada manipulación de un material que no sea el deseado para realizar el proceso de tratamiento térmico.[7, 11]

- **Tamaño de grano.**

El tamaño, forma y orientación de los granos influyen fuertemente en las propiedades mecánicas. Por esto es muy importante conocer, como regular y como medir el tamaño del mismo.



**Figura 15 Influencia de la temperatura de calentamiento en el tamaño del grano de austenita para el acero 30XГC. [1]**

Leyenda: K—aceros con tamaños de granos gruesos (tamaño de grano, menor que 5, según ASTM).

M- aceros con tamaños de granos finos (tamaño de grano, mayor que 5, según ASTM).

Como se muestra en la **(fig.14)** a medida de que aumenta la temperatura aumenta el tamaño de grano, para aceros de granos gruesos (K), esto ocasiona una disminución del límite de fluencia del acero. También se observa que los aceros de granos finos al ser calentados hasta la temperatura de 950°C, su tamaño varía muy poco, no provocando cambios en las propiedades mecánicas y la microestructura.[1]

#### • **Templabilidad**

Es un término utilizado para describir la aptitud de una aleación para endurecerse por formación de martensita como consecuencia de un tratamiento térmico. La templabilidad, es una medida de la profundidad a la cual una aleación específica puede endurecerse.

La templabilidad tiene una estrecha relación con el diámetro crítico, ya que sin esta propiedad nunca se pudiera saber, si el acero fue templado a corazón o superficialmente, esto depende del espesor de la pieza y el diámetro crítico del acero.[12]

#### • **Inspección visual**

La inspección visual es necesaria que se realice con objetos auxiliares como lupas, espejuelos u otros de igual función. Este solo deberá abordarse si el ojo del inspector puede situarse a una distancia no superior a 60 cm, siempre que el ángulo bajo el que se inspecciona la zona no sea de más de 30° (criterios del código ASME).[13]

#### • **Limpieza del material**

La limpieza se realizaría en caso de que la pieza se encontrara corroída o sucia por su traslado o manipulación.[13]

- ***Estado de los sistemas de control de temperatura***

En este aspecto a tratar se profundiza más de cerca el estado de los potenciómetros y termopares, es decir, se verificará si están dentro de su fecha de explotación para su correcto funcionamiento y evitar fallos en la producción (**Anexo 2**).[7]

- ***Calificación del personal***

El personal debe de estar calificado y certificado de obrero o ingeniero con óptimas condiciones para la realización del proceso de tratamiento térmico.[7]

- ***Carta tecnológica***

La carta tecnológica de tratamiento térmico, es un documento rector, que especifica antes, durante y después de realizado el proceso, los datos y parámetros que deben ser controlados. (**Anexo 1**) [7, 14, 15]

- ***Verificación de la iluminación del local***

La iluminación del local es imprescindible ya que en el transcurso del proceso de Tratamiento Térmico se realizan varias operaciones que requieren de un perfecta visualización del local, el cual debe estar iluminado aproximadamente sobre los 1000 lux específicamente en el momento de la realización de la inspección visual.[13]

- ***Controlar el estado técnico de las grúas viajeras***

Este tipo de dispositivo auxiliar como se muestra en la (**fig.15**) es de vital importancia, ya que con el mismo se realiza el traslado de las planchas del horno al recipiente de enfriamiento o viceversa, por lo que es necesario verificar su mantenimiento y su correcto estado técnico.[7]



**Figura 16. Grúa viajera (Planta Mecánica).**

• ***Medios de protección, dispositivos de manipulación***

Los dispositivos tienen el objetivo de introducir la pieza dentro del horno en correcta posición, para evitar las posibles distorsiones y alabeos que esta puede sufrir. En el caso de que una pieza tenga forma irregular, resulta muy difícil su introducción dentro del horno y consecutivamente dentro del medio de enfriamiento, por lo que usando estos medios resulta más sencillo y rápido, en otro de los casos si se necesita enfriar un número considerable de piezas pequeñas o de mediano tamaño sería muy improductivo enfriarlas una a una por lo que a la vez los dispositivos con su uso racionalizan el gasto de recursos.

En Planta Mecánica los dispositivos se emplean en dependencia del tamaño de las planchas o piezas que se vayan a introducir dentro del horno, trayendo consigo la eficiencia y máxima explotación de la capacidad de los hornos, por ejemplo las

piezas de mayor tamaño se colocan en los dispositivos de la **(fig.16)**, generalmente de 8 a 10 piezas de hasta 2 m y los de pequeño tamaño en los dispositivos de la **(fig.17)**, con piezas de hasta 1.50 m.[7, 10]



**Figura 17. Dispositivos para piezas de más de 1.50 metros (Planta Mecánica)**



**Figura 18. Dispositivo para piezas hasta 1.50 metros (Planta Mecánica)**

- ***Selección del tipo de horno***

Este aspecto es de valiosa importancia ya que cada paso del proceso de calentamiento de las planchas o piezas se realiza en diversos hornos, esto depende de la cantidad, tamaño de las piezas y tratamiento a realizar sobre las mismas. En los talleres de Planta Mecánica se utilizan los hornos de pozo para las piezas de aceros para blindajes de grandes y pequeñas dimensiones.

En el caso del proceso de tratamiento térmico que se realiza para el acero 30X7C en el taller de Planta Mecánica se utilizan el horno de pozo del tipo CW3 15.30/10 en la realización del temple para piezas de grandes dimensiones **(fig.18)** y posteriormente el horno seriado CW0 15.30/7 para la realización del revenido en piezas de estas mismas dimensiones **(fig.19)**. En el caso de las piezas de pequeño tamaño se utilizan los hornos de pozo seriados CW3 10.10/10 **(fig.20)** y CW0 10.10/7 **(fig.21)** de temple y revenido respectivamente.[7]



**Figura 19. Horno de temple para piezas de grandes dimensiones (Planta Mecánica)**



**Figura 20. Horno de revenido para piezas de grandes dimensiones (Planta Mecánica)**

Estos hornos que son más pequeños que los anteriores son utilizados para las piezas de pequeño tamaño así logrando la optimización del ahorro de energía eléctrica.



**Figura 21. Horno de temple para piezas pequeñas (Planta Mecánica)**



**Figura 22. Horno de revenido para piezas pequeñas (Planta Mecánica)**

Además de la selección de los hornos conjuntamente debe realizarse la comprobación del estado técnico de los mismos, en cuanto a capacidad, temperatura máxima o mínima a alcanzar y consumo de energía ya que con estos aspectos actualizados se garantiza la fiabilidad del proceso en general.

- **Verificación del aceite (utilizado para el enfriamiento de la plancha o piezas blindadas) su viscosidad y punto de inflamación.**



**Figura 23. Recipiente de enfriamiento con aceite del tipo caucho 32 (Planta Mecánica)**

En la actualidad, los aceites minerales son usados en lugar de los vegetales por ser esto más baratos y por su menor descomposición.

Estos aceites minerales evitan el desglobamiento de la austenita en la mezcla de ferrita y cementita, además en la zona de transformación martensítica disminuyen su velocidad de enfriamiento lo que es importante para evitar defectos como grietas y tensiones.

En la ilustración que se muestra en la **(fig.22)** para el proceso de tratamiento de acero 30X7C se utiliza el aceite Caucho 32 por tener un punto de inflamación alto y poseer una viscosidad baja como lo reflejan sus propiedades en la **tabla 5**.

El aceite no se cambia, solo se repone, porque al ser la pieza sumergida en el mismo se pierde una cierta cantidad a causa de la combustión por el contacto de la pieza caliente con el aceite, por otra parte, al sacar la pieza o piezas del recipiente de enfriamiento se pierden alrededor de 2 o 3 litros de aceite por piezas grandes y aproximadamente 0.25 litros por las piezas más pequeñas, por lo que producto a estas acciones se repone dentro del recipiente de enfriamiento el aceite consumido.

Otras de las precauciones a tener en cuenta en cuanto al aceite, es su forma de almacenamiento, este debe ser necesariamente en su recipiente de almacenamiento inicial para evitar la contaminación del mismo con factores externos [7, 8]

- **Seguridad e higiene del trabajo en talleres de servicio**

Como todos los procedimientos el proceso de tratamiento térmico requiere de varios pasos que deben ser examinados para la protección y preservación de la vida de los operarios, específicamente se tienen en cuenta a causa de las altas temperaturas a que se trabaja y otras actividades de extremo peligro, por lo que es obligatoria la utilización de medios de protección y de equipos contra incendios, estas acciones se especifican en el diagrama de bloques que se muestra a continuación:[7, 10]

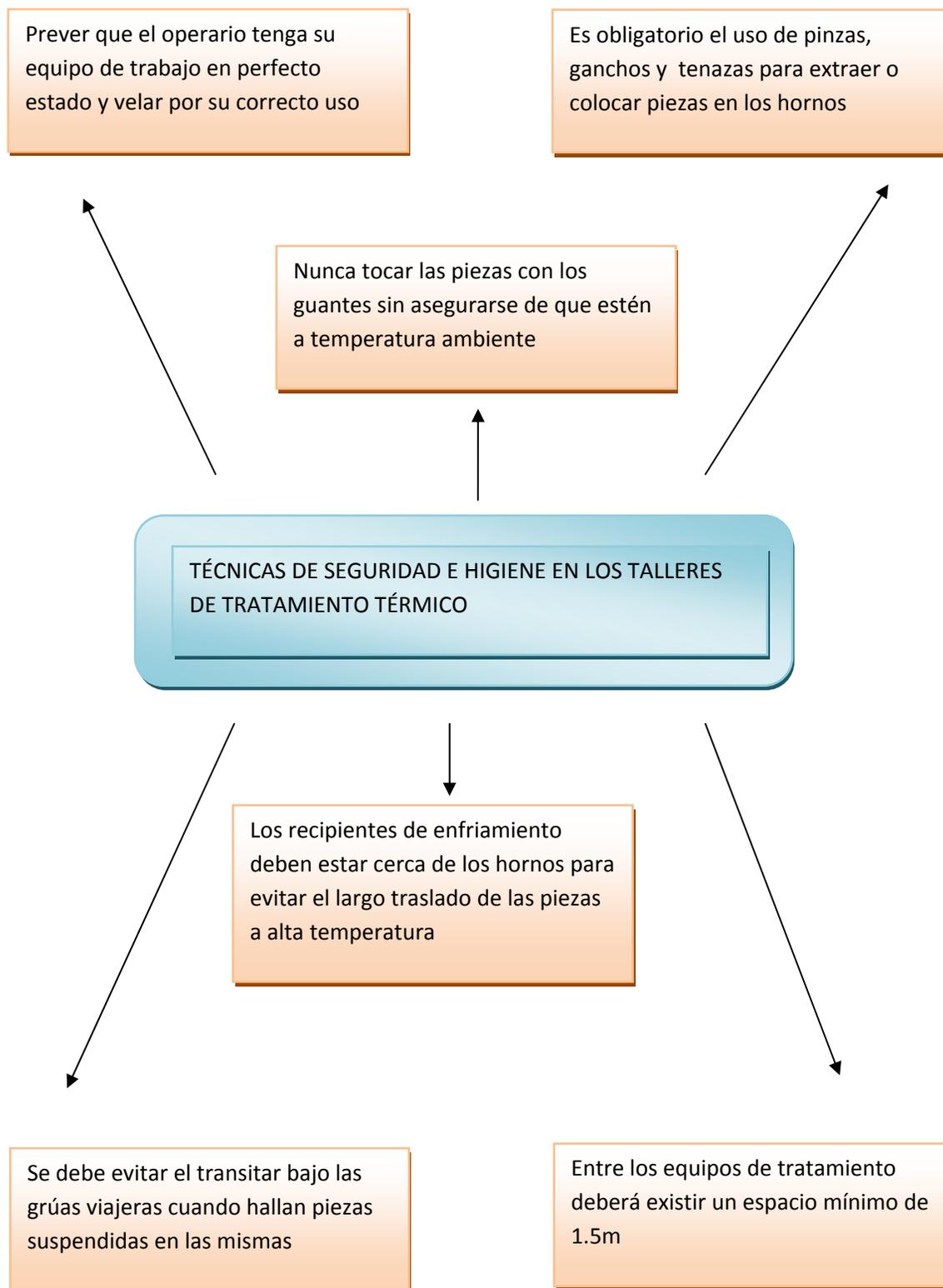


Diagrama de bloque 1. Técnicas de seguridad e higiene en los talleres de servicio. [7, 10]

Estas medidas deben ser aplicadas con extrema exigencia ya que se ejercen con el fin de evitar pérdida de vidas humanas o accidentes de trabajo así como la posible pérdida de recursos económicos.[10]

## **2. Durante**

### **❖ Verificar que el horno llegue a la temperatura requerida**

Para la verificación de la temperatura que se requiere el operario debe permanecer al lado del horno al tanto de que alcance la temperatura correspondiente, guiándose el mismo por los potenciómetros (**Anexo 2**) para posteriormente proceder a darle el tiempo de permanencia que requiere la pieza para completar el proceso.[7]

### **❖ Comprobar el tiempo de permanencia de la pieza dentro del horno**

Este parámetro se verifica solo guiándose por lo que refleja la carta tecnológica ya que este documento contiene la gráfica que especifica el tiempo que debe permanecer la pieza dentro del horno, por lo que el operario debe cumplir con la condición de estar atento a que se complete el proceso con éxito.[7]

### **❖ Tener en cuenta la pérdida de temperatura en el traslado de la pieza al medio de enfriamiento**

Este aspecto es de extremo cuidado ya que puede cambiar las propiedades mecánicas de la pieza a tratar por la demora de la misma a la llegada al medio de enfriamiento. En el taller de tratamiento térmico de Planta Mecánica se tiene un estricto cuidado con este aspecto, ya que en el caso del acero 30X7C teóricamente la temperatura de temple debe ser a 880°C pero prácticamente al salir esta del horno la distancia para su traslado al medio de enfriamiento consumía parte de su temperatura producto a su intercambio con el ambiente, por lo que se decidió subir la temperatura a 920°C. A continuación se muestra la zona microestructural del acero 30X7C en la (**fig.23**) a 920°C por lo que se demuestra que no afecta la microestructura y no afecta las propiedades mecánicas del acero ya que este acero posee un grano fino como se muestra en la (**fig.14**).[7]

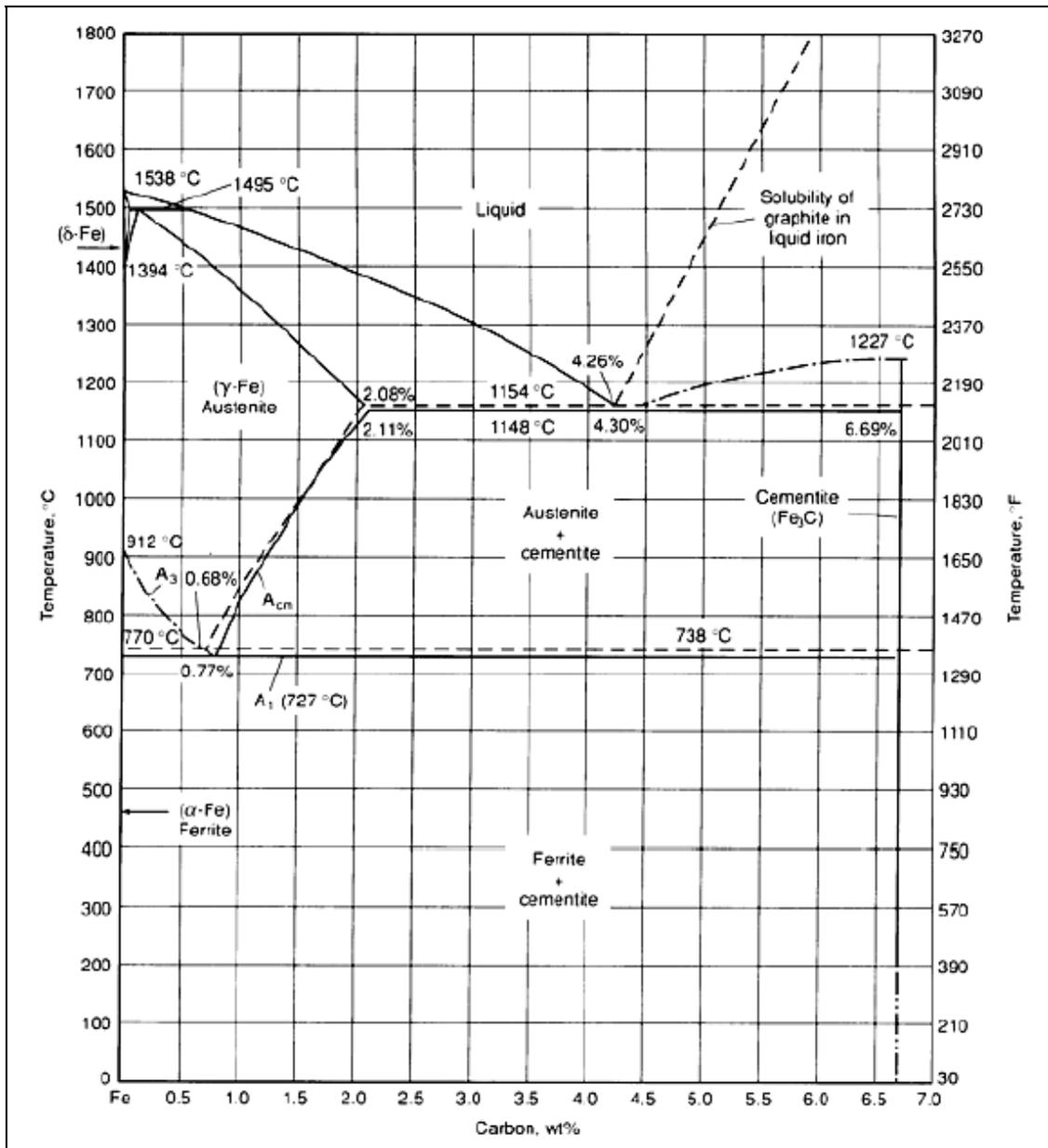


Figura 24 Diagrama Hierro-Carbono [12]

❖ **Realizar la búsqueda de defectos después del proceso de temple**

**Tabla 6. Resumen de defectos más comunes que se producen en el temple de un acero [10]**

Defectos	Detección	Causas	Soluciones
Grietas	Inspección visual y detector e grietas de diferentes tipos	Tensiones causadas por cambios estructurales	Es irreparable: Medios preventivos 1-Usar temple en dos medios 2-Evitar ángulos agudos y cambios de sección violentos
Baja dureza	Ensayo de dureza	Temperatura de temple baja, poco mantenimiento o poca velocidad de enfriamiento	Se debe normalizar la pieza y ser tratada de nuevo correctamente
Fragilidad, estructura granular grosera	Inspección visual en fractura, ensayo de impacto	Alta temperatura de temple o mantenimiento muy prolongado	Normalizar la pieza y tratarla correctamente
Puntos blandos	Ensayo de dureza en varios puntos	Enfriamiento inadecuado, descarburación, contaminación del acero con escorias	El defecto es corregible excepto en el caso de descarburación.
Deformación	Control de dimensiones	Transformaciones estructurales o introducción incorrecta en el medio de enfriamiento	Es irreparable. Para prevenir el problema se debe seleccionar correctamente el acero y el tratamiento.
Oxidación y descarburación	Inspección en el caso de oxidación y ensayo de dureza	Reacción entre la atmósfera y el aceite	Se debe usar atmósferas controladas o baños de sales

### **3. Después**

- ***Ejecución de la limpieza de la pieza***

La limpieza de la pieza debe realizarse suspendida en la grúa viajera con el objetivo de eliminar el aceite de enfriamiento, de su superficie para la posterior realización del proceso de revenido[7]

- ***Control de la dureza de la pieza***

El control de la dureza en el Tratamiento Térmico es vital pues define la aceptación del Producto por ser este un **requisito de calidad** del mismo y permita en este caso de ser aceptado y continuar el **Proceso de elaboración del Producto o su Liberación**.

En la horneada junto con las planchas se colocan 2 probetas de 60X60mm para medir la dureza después del proceso de temple, ya que es difícil medir directamente las planchas debido a su tamaño y configuración. La dureza debe estar en el rango de 45-50 HRC , posteriormente cuando las planchas se someten a revenido, también se colocan las mismas probetas que se someten al ensayo de dureza ,deben mantenerse de 45-50 HRC, el revenido se efectúa a bajas temperatura para aliviar las tensiones y mantener la dureza máxima.. Las mediciones de dureza se la realizan a las muestras testigos por la difícil manipulación de las piezas ya sea por sus tamaños o cantidad, esto se realiza con el fin de ganar en tiempo. Se empleó un Durómetro Rockwell de fabricación rusa modelo TK14 – 250, utilizando una carga de 150kg y penetrador de diamante (**fig.24**).[7, 13]



**Figura 25. Durómetro Rockwell (Planta Mecánica)**

• ***Ejecución del enderezado de la pieza en caso que lo requiera***

Generalmente en ocasiones después del temple al enfriarse las piezas para el posterior revenido se pueden observar piezas que sufren un pequeño ángulo en su forma, por lo que se ejecuta el enderezado de las mismas en la prensa que se muestra en la **(fig.25)**. Es necesario que estas piezas sean observadas de cerca, con el fin de asegurarse de que no contenga algunos defectos que no sean admisibles para su explotación.[7]



**Figura 26. Prensa para enderezado de piezas (Planta Mecánica)**

- ***Realización de las pruebas correspondiente a la pieza en dependencia de su medio de desempeño***

Es necesario realizar las pruebas a las piezas en dependencia de su medio de desempeño pero no de cualquier manera, ya que esto lleva una regulación para la menor posible destrucción de piezas en su estado terminal.

Este aspecto es bien delicado, ya que se deben tomar decisiones de cada cuantas piezas terminadas se les realizarán las pruebas para conocer si están aptas para trabajar en el medio para el cual fueron diseñadas, un ejemplo de esto es en la fábrica Planta Mecánica de Santa Clara para el caso del acero 30X7C se regula que aproximadamente por cada 100 piezas terminadas se escoge un grupo pequeño y se les realizan las pruebas de impacto y así se comprobaría el estado del lote de piezas, en cuanto a las propiedades que deben adquirir después de terminado el proceso de tratamiento térmico, por lo que actualmente es el método más fiable de verificación para grandes producciones en talleres de servicio.[7]

De todos estos ensayos que se mencionaron con anterioridad, sólo el primero es indispensable para todos los materiales los otros quedan en dependencia de las exigencias de la calidad del material recibido y de la importancia de la producción.

Si los materiales recibidos están sujetos a una inspección por parte de la fábrica productora y ésta responde por sus resultados, no es necesario, por lo general se analizan todos los materiales recibidos, sólo se debe tener cuidado de no mezclar los lotes, los cuales vienen, en estos casos, marcados rigurosamente.

Hay que tener cuidado de que un traslado posterior provoque una mezcla o confusión de estos materiales. Si los materiales son analizados, los análisis se deben hacer según las normas establecidas. Para diferenciar los materiales es muy usado un sistema de colores, donde cada color responde a un material diferente.

Si la importancia de la producción es grande, los materiales deben ser sometidos a ensayos químicos antes de ser usados. En este análisis químico no es necesario controlar todos los elementos presentes, sino sólo los más importantes. En un acero estos elementos pudieran ser el carbono y los elementos de aleación fundamentales que influyan en las propiedades del material, así como el contenido de fósforo y azufre.

Este análisis puede ser reducido, en ocasiones, por medio de un espectroscopio o estiloscopio, a determinar los elementos de aleación y su rango en contenido. Cuando sea necesario, se realizan inspecciones de otro tipo, como son los análisis microestructurales.

El tamaño de grano es otro control importante que se debe ejercer en el material. Este control se efectúa con ayuda de un microscopio óptico y las normas para el tamaño de grano establecidas, comparando la imagen en el microscopio contra un esquema patrón. Es posible, también, efectuar mediciones directas. El análisis de templabilidad es un factor tecnológico de gran importancia. Este ensayo permite conocer si el material cumple las exigencias requeridas y también en que límite se encuentra el material dentro de la banda de templabilidad.[10, 16]

### **3.3 Control del proceso de producción**

Durante el proceso de tratamiento térmico, son muchos los factores que deben ser controlados con el fin de garantizar una producción adecuada. De todos estos factores, como son la temperatura del proceso, los tiempos de calentamiento y mantenimiento, las velocidades de calentamiento, el estado de los baños de enfriamiento o tratamiento, el espesor de la capa descarburada, etc., es la temperatura del proceso el factor de mayor importancia, ya que ella no sólo define las características de éste, sino que es vital en toda una serie de factores importantes. Una temperatura mal seleccionada o mal controlada puede provocar estructuras indeseables, bajas propiedades mecánicas y otros defectos.

Para controlar la temperatura del proceso, se hace uso de los termopares o de los pirómetros. Hay diversos tipos de termopares cuya estructura se basa en el valor de la temperatura que hay que controlar. Es importante que la unión caliente del termopar esté en contacto o lo más cercana posible, a la pieza cuya temperatura se quiere medir, ya que de lo contrario se obtendrían valores falsos. En los hornos eléctricos se debe cuidar que el termopar esté alejado de la resistencia, ya que por lo general se puede obtener un valor de temperatura muy superior a la de la pieza calentada.

Los hornos usados en el tratamiento térmico del acero 30XГC presentan dispositivos que controlan la velocidad y calentamiento, hay otros que permiten mantener un rango de valores de temperaturas de calentamiento entre ciertos límites. Estos equipos deben ser periódicamente chequeados para garantizar su buen funcionamiento,

Sólo por medio de un control conveniente de todos y cada uno de estos parámetros, se puede garantizar una tecnología adecuada, así como resultados positivos que permitan que los elementos producidos se ajusten a los requerimientos exigidos.[7, 10, 16]

### **3.4 Oxidación y descarburación de los aceros**

El acero al encontrarse a temperaturas elevadas en presencia de oxígeno, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O y SO<sub>3</sub> se ve sometido a un proceso de oxidación y descarburación siendo este uno de los defectos con gran frecuencia en talleres de servicio. La intensidad en este fenómeno está en dependencia del tipo de aceite o combustible que se utilice, de la atmósfera en su composición y presión, de la temperatura, del tiempo de calentamiento y de la composición del acero.

Este proceso generalmente le resta al material un 2% de su peso inicial y hasta más por la utilización de hornos obsoletos, y de inadecuado diseño. Este proceso muestra muchos defectos en las piezas tratadas entre ellos puntos blandos en el temple y otros. En los hornos eléctricos hay presencia de aire, que a su vez, contiene O<sub>2</sub>, vapor o agua; en los baños de sales se introduce aire al penetrar la pieza en el baño, sin embargo, la acción de estas grasas dependen de la relación de CO y CO<sub>2</sub> así como de H<sub>2</sub> y agua.

Juntamente con la oxidación del hierro en el acero se produce una oxidación del carbono. La intensidad de oxidación de uno u otro elemento depende de la temperatura, y es más intensa para el carbono a temperatura elevadas.

Para evitar este fenómeno se utilizan baños de sales activamente desoxidadas. Un ejemplo es la sal de cloruro de potasio, desoxidada con ferrocianuro de potasio (Fe<sub>4</sub>(CN)<sub>6</sub>) en proporción de 1% en peso de cloruro. Igualmente, se han desarrollado los hornos de atmósfera controlada que garantizan, mediante la utilización de controles adecuados, las relaciones óptimas de CO<sub>2</sub>/CO y H<sub>2</sub>O/H<sub>2</sub>. [7, 10]

### **3.5 Tipos de análisis para comprobar la composición química del material**

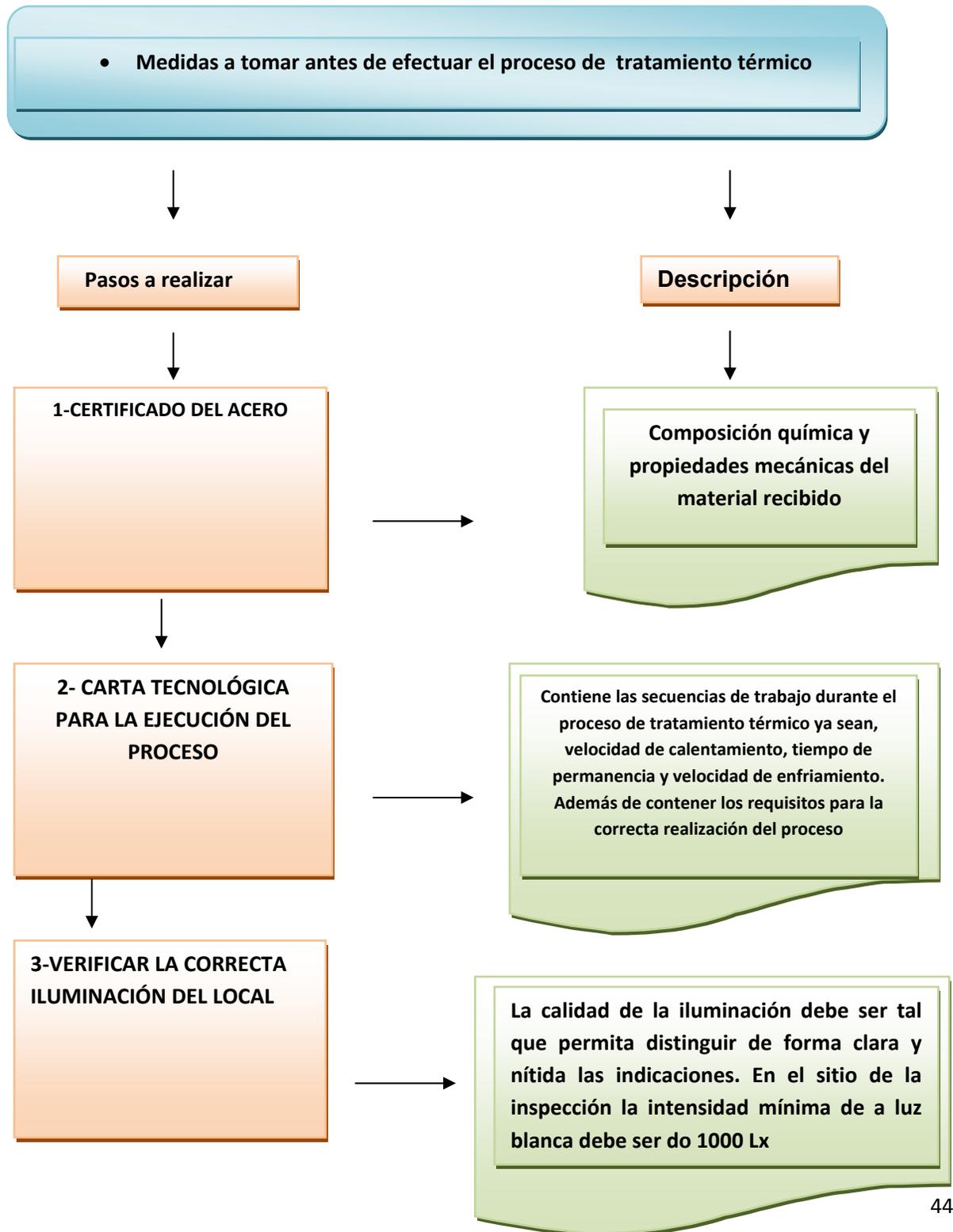
*El análisis químico* se realiza en el laboratorio central de Planta Mecánica. Para estos fines se toma la viruta del metal a examinar, se muele y se coloca en reactivos correspondientes. Después de que todos los constituyentes se disuelven, el elemento que se analiza hace precipitar utilizando el reactivo necesario para eso. El

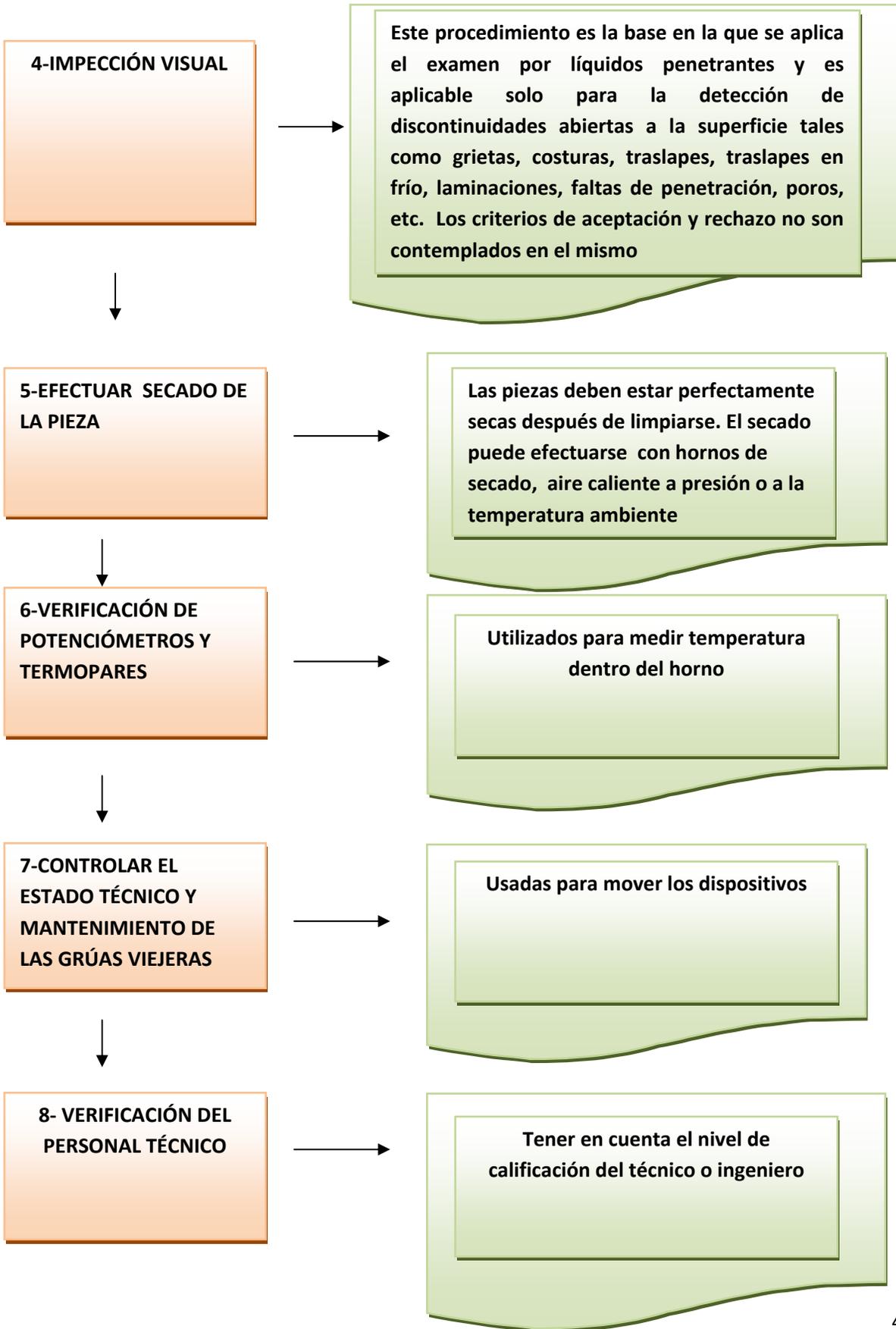
precipitado se filtra, seca y pesa. Según la masa se determina la cantidad del elemento que se analiza.

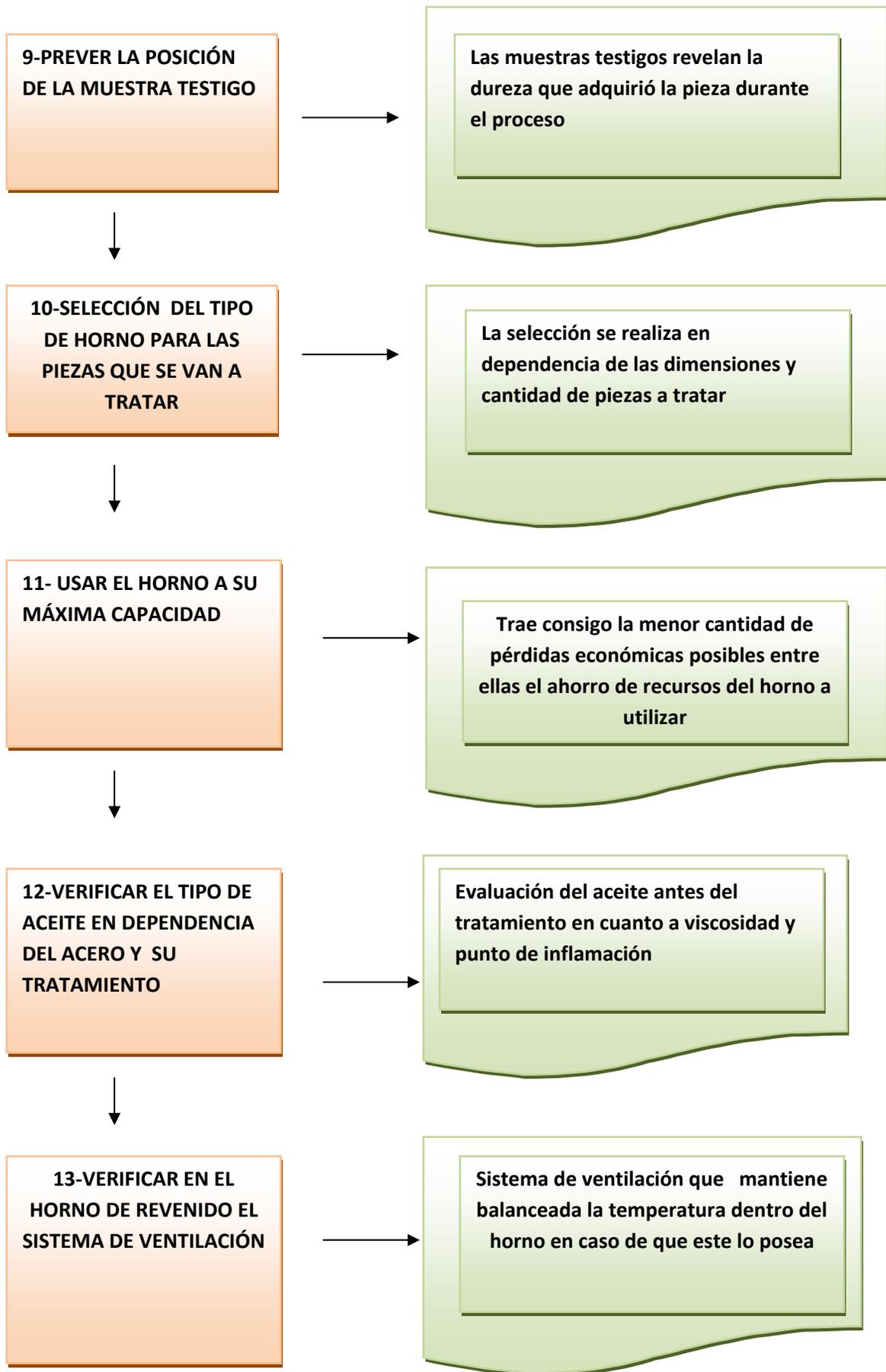
*El análisis espectral* se realiza en espectroscopios o espectrógrafos, la pieza a investigar se pone en espectroscopio, al suministrar la corriente eléctrica entre el electrodo de cobre del espectroscopio y la pieza, surge el arco eléctrico. Después de haber pasado a través de un sistema de lentes, la luz del arco (vapores calientes del metal) se descompone en un espectro lineal cromático formado por cinco colores fundamentales: rojo, amarillo, verde, azul y violeta. A cada elemento corresponde su línea en el espectro. Según la coloración y la intensidad de las líneas del espectro se determina la cantidad del elemento en el metal que se analiza. En los espectrógrafos el porcentaje de diferentes elementos que componen la aleación, se determina con mayor precisión.

En este caso el espectro de la aleación que se analiza se fotografía en una placa fotográfica. El microanálisis se utiliza para detectar inclusiones no metálicas, netas, rechupes, etc. El microanálisis permite determinar la estructura del acero. El microanálisis se realiza en laboratorio con ayuda de los microscopios telegráficos. El objeto de la investigación es la microsección de una probeta especialmente preparada. Las microsecciones metalográficas se preparan así: de un lote se toman arbitrariamente algunas piezas, en los puntos que ha de investigar se cortan pequeños trozos de metal, una cara de éstos se rectifica, pule y decapa con ácidos, correspondientes (reagentes).[10, 16]

### 3.6 Confección del diagrama de flujo para el control del proceso de Tratamiento Térmico[3, 6-10, 12-18]







**14-COMPROBAR LA  
SEGURIDAD E HIGIENE DEL  
TRABAJO EN EL TALLER**



Para que se cumpla este paso se debe comprobar que todos los medios de protección se encuentren en total disposición para prevenir cualquier accidente

- **Medidas a tomar durante el proceso de tratamiento térmico:**



**Pasos a realizar**

**Descripción**



**15-VERIFICAR QUE EL  
HORNO LLEGUE A LA  
TEMPERATURA  
REQUERIDA CON LA PIEZA  
EN SU INTERIOR**



Es necesaria la verificación de esta operación para evitar aumentos o disminución en la temperatura de temple



**16-COMPROBAR EL  
TIEMPO DE  
PERMANENCIA DE LA  
PIEZA DENTRO DEL  
HORNO Y VERIFICAR QUE  
SE CUMPLA DICHA  
OPERACIÓN**



Es indispensable la comprobación del tiempo de permanencia ya que este es el que define la dureza de la pieza

**17-TENER EN CUENTA LA PÉRDIDA DE TEMPERATURA EN EL TRASLADO DE LA PIEZA AL RECIPIENTE DE ENFRIAMIENTO**

Es necesario en estos casos considerar el traslado de la pieza al recipiente de enfriamiento y así poder estimar la temperatura de salida del horno al medio de enfriamiento para así lograr el enfriamiento de la pieza a la temperatura deseada

**18- REALIZAR LA BÚSQUEDA DE DEFECTOS DESPUÉS DE L PROCESO DE TEMPLE**

Se pueden encontrar defectos como grietas, baja dureza, fragilidad y estructura granular grosera.

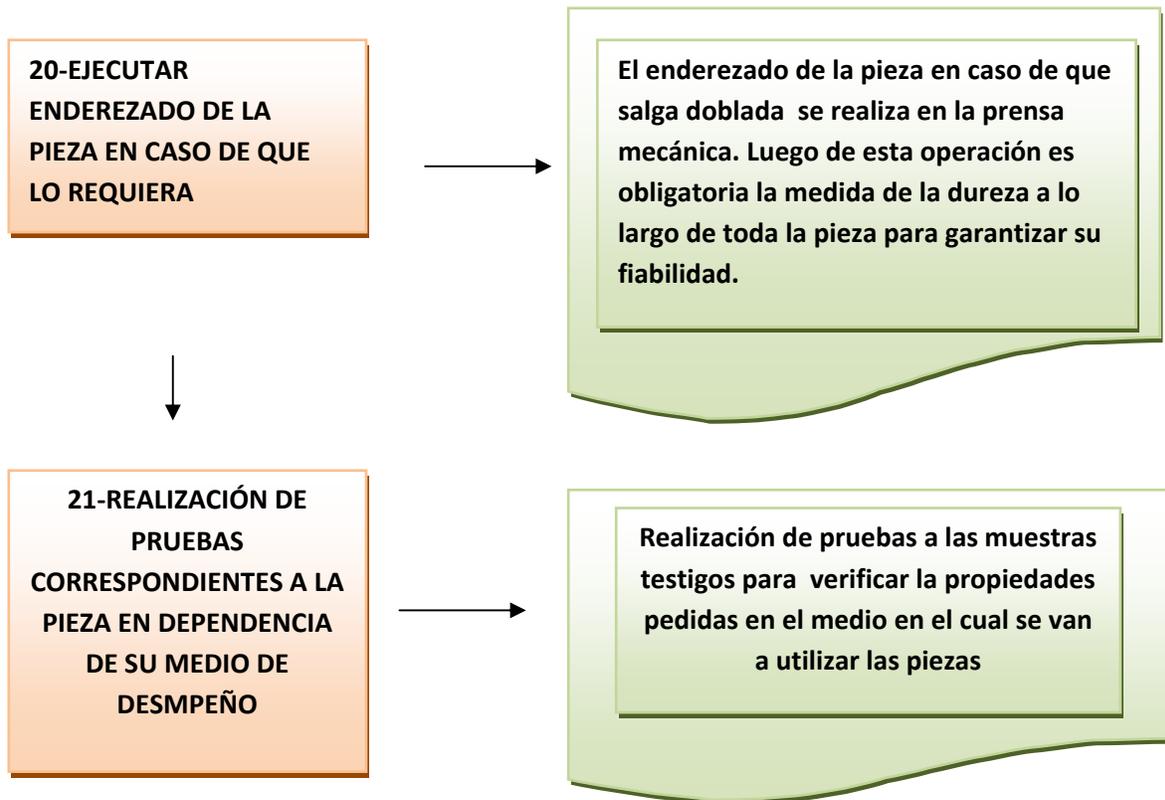
**• Medidas a tomar después del proceso de tratamiento térmico**

**Pasos a realizar**

**Descripción**

**19-EJECUCIÓN DE LA LIMPIEZA DE LA PIEZA Y POSTERIOR VERIFICACIÓN DE LA DUREZA DESPUÉS DEL TEMPLE Y DEL REVENIDO**

Medir dureza a la probeta en este caso con el durómetro Rockwell de fabricación rusa modelo TK14 – 250



**Diagrama de flujo.1 Control del proceso de Tratamiento Térmico, medidas a tomar antes, durante y después del proceso.**

El diagrama de flujo confeccionado con anterioridad tiene una repercusión de gran importancia en talleres de servicios, el mismo a través de sus pasos especifica cada una de las acciones que se deben tener en cuenta **antes, durante y después** del proceso de tratamiento térmico, por lo que optimiza todo un proceso con todos los parámetros de protección a los operarios, dispositivos y equipos para la eficaz realización de este imprescindible proceso.

### **3.7 Conclusiones Parciales**

1. Se establecieron las acciones para el mejoramiento del control del proceso de tratamiento térmico en tres etapas (antes, durante y después)
2. Se especifican los parámetros que debe cumplir el aceite utilizado en el proceso de enfriamiento (viscosidad, porcentaje de agua punto de inflamación y densidad)
3. Se mejora la carta tecnológica de tratamiento térmico la temperatura de temple y temperatura de revenido, dureza (45-50HRC)

### **Conclusiones Generales**

1. Se establecieron los aspectos que deben de ser controlados durante el proceso de tratamiento térmico, **antes ,durante y después** del proceso
2. Se confeccionó un flujograma de control que establece en detalles todos los aspectos a examinar durante el proceso de tratamiento térmico,
3. Se mejoró la carta tecnológica del acero 30X7C.
4. La temperatura de temple del acero 30X7C es de 880°C y la temperatura de revenido de 330°C, para alcanzar una dureza entre 45-50 HRC.

### ***Recomendaciones***

Es necesaria la puesta en práctica de las medidas que se proponen en el diagrama de flujo para el control en talleres de tratamiento térmico, con el fin de su perfeccionamiento en el control para evitar errores en el mismo, además de que establece un orden lógico que concreta la secuencia de trabajo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Guliáev, A.P., *Metalografía*, ed. Moscú. Vol. I. 1982, Moscú.
2. Scott, A.D., *Material didáctico de Tratamiento Térmico*

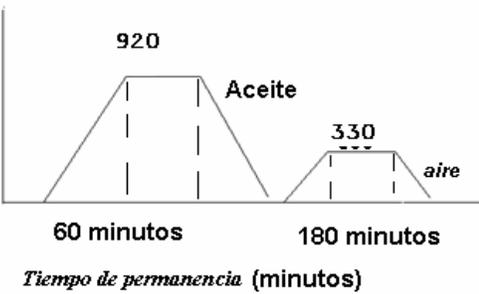
2008: CIS.

3. Jiménez, R.T., *Estudio del efecto del régimen térmico sobre la microestructura en construcciones de acero 30XFC in CIS. 2010, UCLV: Santa Clara.*
4. Nagakura S.Hirotsu Y. Kusunoki M, T.S., *Study of the Tempering of Martensitic Carbon Steel by Electron Microscopy and Diffraction. Vol. 14A, p 1025-1031. 1983.*
5. Guliáev, A.P., *Metalografía*, ed. Moscú. Vol. II. 1978, Moscú.
6. Metals, A.S.f., *Metals Handbook: Heat treating, P.A. International, Editor. 1998.*
7. *Tratamiento Térmico, in Manual de Calidad de la Empresa Planta Mecánica D. Calidad, Editor. 2012: Santa Clara.*
8. CUBALUB, *Manual de Productos Lubricantes, CUBALUB, Editor. 2008.*
9. Pérez, F.M., *Tecnología de Tratamiento Térmico un enfoque sistémico*

ed. F. Varela. 1990, La Habana.

10. Pérez, F.M., *Tecnología de Tratamiento Térmico un enfoque sistémico. Juan F. Valdés ed, ed. F. Varela. 2000, La Habana.*
11. *Indicaciones en los planos sobre recubrimientos y Tratamientos Térmicos, in Manual de instrucciones Planta Mecánica N. Cubanas, Editor. 1988.*
12. D.Callister, W., *Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los materiales, ed. Reverté, Utah.*
13. Sarduy, V.L., *Procedimiento general para la inspección del Tratamiento Térmico, in Manual de Calidad de la Empresa Planta Mecánica N. Cubanas, Editor. 2006: Planta Mecánica.*
14. García, J.M., *Tratamiento Térmico para aceros para blindajes, in Manual de Calidad de la Empresa Planta Mecánica D. Calidad, Editor. 2007.*
15. García, J.P.M., *Carta Tecnológica, in Manual de Calidad de la Empresa Planta Mecánica D. Calidad, Editor. 2010.*
16. Ziev, V., *Tratamiento Térmico de los metales, ed. Mir. 1988, Moscú.*
17. *Tratamiento Térmico y Termoquímico de los Metales in Sistema Único de Documentación de Proyecto N. Cubanas, Editor. 1983.*
18. *Wikipedia, Sistema Internacional de Unidades. 2011.*

## Anexos

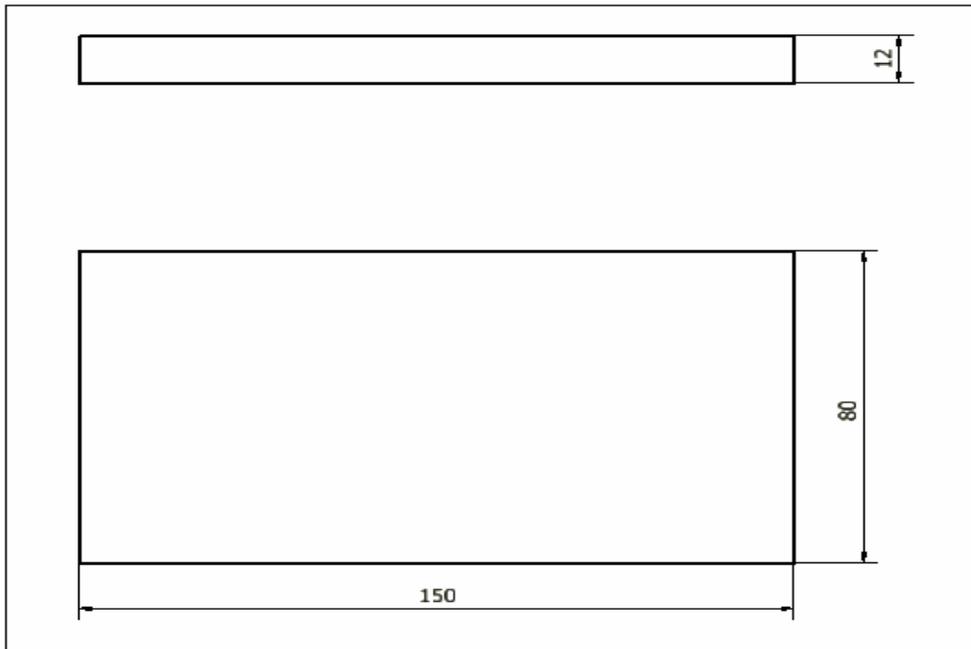
<b>Anexo 1</b>		<b>Carta Tecnológica de Tratamiento Térmico</b>						<b>Consecutivo de tecnología N° 1</b>	<b>CIS N°1</b>		
<b>Nombre de la pieza:</b>		<b>Pieza N°</b>	<b>Cantidad de piezas</b>	<b>Material</b>	<b>Peso Unitario Kg</b>	<b>Orden de producción</b>	<b>N° de plano</b>				
Plancha o fibra		1	1	30XFC	-----	-----	-----				
<b>Croquis de pieza (Anexo 3) Esquema de Tratamiento Térmico</b>  <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="margin-right: 20px;"> <p>Temperatura °C</p>  </div> </div>				<b>Exigencias técnicas</b>							
				<b>Dureza (HRC)</b>	<b>Profundidad de capa</b>	<b>Tolerancia de deformación</b>	<b>Espesor de la pieza</b>				
				45-50	-----	-----	12 mm				
				<b>Observaciones:</b>							
				<b>En el caso de aumentar la cantidad de piezas dentro del horno, aumentar el tiempo de permanencia dentro del mismo y las piezas que debido al proceso salgan dobladas enderezarlas en la prensa</b>							
				<b>Programa de puntos de inspección</b>							
<b>Proceso:</b>	<b>Documento para la inspección</b>	<b>Equipo de seguimiento y medición</b>	<b>Liberado por :</b>								
Temple	Diagrama de control	Durómetro									
Revenido	Diagrama de control	Durómetro									
<b>N°</b>	<b>Proceso / operación</b>	<b>Equipo</b>	<b>Dispositivo N°</b>	<b>Piezas Cantidad / total</b>	<b>Calentamiento</b>			<b>Enfriamiento</b>			
					<b>T °C</b>	<b>1 PRE.</b>	<b>Final</b>	<b>Medio</b>	<b>Forma</b>	<b>Temp o. de ENF</b>	
1	Temple	H de poza	-----	1	920	-----	45-60min	aceite	Horizontal	25 °C	
2	Revenido	H de poza	-----	1	330	-----	180 min	Aire	Horizontal	25 °C	
<b>Fecha</b>		<b>Hecho por</b>			<b>Aprobado por :</b>			<b>Fecha</b>			
<b>D</b>	<b>M</b>	<b>A</b>	<b>Nombre</b>			<b>Firma</b>	<b>Nombre</b>	<b>Firma</b>	<b>D</b>	<b>M</b>	<b>A</b>
15	02	2012	Victor R. Jiménez Pérez				Alejandro Duffus		15	02	2012

**Anexo 2**



**Potenciómetro (Planta Mecánica).**

**Anexo 3**



**Plano de pieza sometida a tratamiento térmico**