Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas

Facultad de Ing. Mecánica

Centro de Investigaciones en Soldadura

Trabajo de Diploma

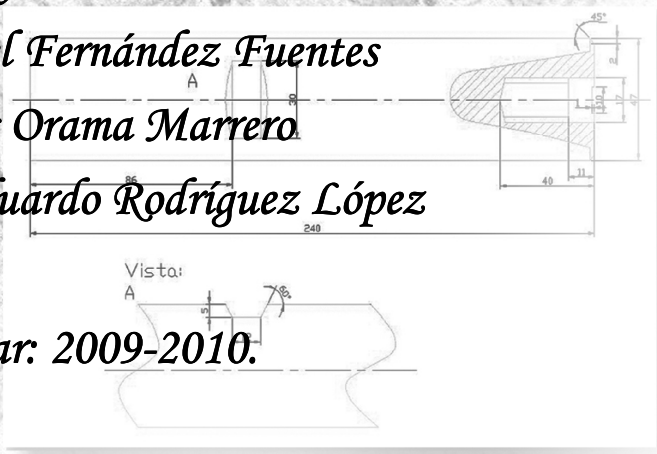
Elaboración de una Tecnología de Fabricación del pasador del pivote de la dirección del Ómnibus YUTONG

Autor: Yandy Peñate Mesa

Tutores: Dr. Rafael Fernández Fuentes

Ing. Jesús Orama Marrero

Consultante: Ing. Eduardo Rodríguez López



Curso Escolar: 2009-2010.

Pensamiento

“…son vanas y están plagadas de errores las ciencias que no han nacido del experimento, madre de toda certidumbre…”

“…la ciencia más útil es aquella cuyo fruto es el más comunicable…”

Leonardo di ser Piero da Vin

Dedicatoria

-A mi madre, por su amor y preocupación, por guiarme en el camino que hoy me lleva a dedicarle mis años de estudio.

-A mi padre, que a pesar de estar lejos de mí, siempre se ha preocupado por mis estudios, y me ha aconsejado para andar por el camino correcto.

-A mis abuelos, Mamine y Pipo, los cuales han soñado siempre con verme graduado.

-A mi esposa por su paciencia, comprensión y escucharme en todo momento, por su apoyo continuo en estos años de sacrificio por haber estado siempre presente cuando más lo necesité, mostrando su amor desmedido y ayuda incondicional.

-A mi bebé, la cual es mi razón de ser, la que me inspira cada día a ser mejor y más capaz en cada cosa que hago.

-A mis tíos Roberto y Edelys, por su constante preocupación durante estos cinco años de estudio

-A mis suegros por su ayuda incondicional durante todos estos años.

-A mi hermano por estar siempre allí cuando lo necesité.

Agradecimientos

-A Dios por ayudarme y renovar mis fuerzas cada día para poder llevar a término este trabajo de diploma.

- A mis tutores Rafael Fernández Fuentes y Jesús Orama Marrero por el esfuerzo y la ayuda que me prestaron.

-Al Ingeniero Eduardo Rodríguez López Trabajador de la Geominera

- A mi familia por su confianza y su sacrificio durante todos estos largos años.

-A los que de una forma u otra estuvieron presente y contribuyeron a la realización de éste trabajo.

.

A todos……. ¡GRACIAS!

Resumen

En el presente trabajo se aborda el estudio de la caracterización del material del pasador del pivote de la dirección del ómnibus YUTONG y se propone la tecnología de fabricación por maquinado con Tratamiento Térmico**,** en colaboración con el Centro de Investigación de Soldadura (CIS) de la Universidad Central “Marta Abreu de Las Villas” para establecer criterios acerca de posibles reemplazos del material de esta pieza.

De esta manera se logra disminuir las importaciones al país, aumentar la vida útil de los ómnibus y favorecer el transporte público a lo largo y ancho de nuestra isla.

Se realiza la caracterización química de la referida pieza mediante Espectrometría de Emisión Atómica (EEA) y la caracterización microestructural mediante análisis metalográfico óptico y medición de dureza Vickers.

Presently work is approached the study of the characterization of the material of the pin of the pivot of the address of the bus YUTONG and he/she intends the technology of production had schemed with Thermal Treatment, in collaboration with the Center of Investigation of Welding (CIS) of the Central University "Marta Abreu" of The Villas to establish approaches about possible substitutions of the material of this piece.

This way it is possible to diminish the imports to the country, to increase the lifespan of the bus and to favor the public transportation to the long and wide of our island.

He/she is carried out the chemical characterization of the mediating referred piece

TABLA DE CONTENIDOS

DEDICATORIA ii

AGRADECIMIENTOS iv

RESUMEN vi

INTRODUCCIÓN 1

CAPÍTULO 1. Estado del Arte. 3

1.1 Definición y Dinámica del Desgaste. 3

1.2 Conceptos del régimen del tratamiento térmico. 5

1.2.1 Tratamiento térmico de los aceros aleados. 7

1.3 Tecnología de Tratamiento Térmico. 8

1.4 Control de calidad del tratamiento térmico. 8

1.5 Características generales del tratamiento termoquímico. 9

1.6 Propiedades de la capa cementada. 12

1.7 Cementación en medio sólido. 12

1.7.1 Embalaje de las piezas en el carburizador para la cementación. 13

1.8 Cementación con Pastas. 14

1.9 Cementación con gases 14

1.10 Ventajas de la cementación gaseosa respecto a la sólida. 17

1.11 Defectos de cementación 17

1.12 Control de la calidad de las piezas cementadas. 18

1.13 Exigencias que se le plantean a las piezas cementadas. 19

CAPÍTULO 2. Caracterización del material del pasador del pivote de la dirección del ómnibus YUTONG. 20

2.1 Materiales y métodos 20

2.2 Resultados de la caracterización del material del pasador del pivote de la dirección del ómnibus YUTONG..... 21

CAPÍTULO 3. Propuesta de Tecnología y Evaluación Económica para la fabricación del Pasador del Pivote de la dirección del Ómnibus YUTONG..... 25

3.1 Tecnología de Maquinado del Pasador..... 25

3.2 Tecnología de Tratamiento Térmico. 29

3.2.1 Procedimiento para la cementación..... 29

3.3 Evaluación económica 32

CONCLUSIONES 36

Recomendaciones. 37

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... 38

ANEXOS 40

Anexo I 40

Anexo II Cementación en Carburizador sólido. 41

Anexo III 42

Anexo VI Alimentación de keroseno recomendadas para la cementación en distintos tipos de hornos. 45

Anexo VII..... 45

INTRODUCCIÓN

La recuperación de piezas en el sector del transporte público, como importante vía para la sustitución de importaciones, constituye una prioridad a nivel nacional, por lo que la máxima dirección de nuestro país ha dado indicaciones de desarrollo de esta importante tarea.

Se trata de un área clave en la industria de cualquier país del mundo, independientemente de su nivel de desarrollo, debido al ahorro económico que implica por concepto de aumento de la vida útil de las piezas o componentes, sustitución de inversiones en la fabricación de otras nuevas, disminución de costos relacionados con los almacenes, disminución de los tiempos de paradas de producción, entre otras.

El sistema de dirección del ómnibus YUTONG lo integra un componente denominado pivote, el cual posee un elemento en forma de pasador que se somete a condiciones severas de desgaste. Debido a estas severas condiciones de explotación, el pasador del pivote de la dirección del ómnibus YUTONG debe ser retirado de servicio al cabo de los 12 meses, aunque el resto del sistema de dirección aún cumpla con las exigencias de servicios.

La situación antes mencionada se torna problemática debido a que el fabricante del ómnibus YUTONG no suministra el pasador como elemento aislado, sino que suministra el pivote completo con un costo considerable; de aquí la intención del presente trabajo dirigida a promover y facilitar la fabricación de la referida pieza en nuestro país.

Se conoce que alrededor del 90% de las fallas en componentes de máquinas se debe al fenómeno de desgaste, por lo que la tendencia actual va dirigida a endurecer considerablemente una capa de una a dos décimas de milímetro en el exterior de la pieza, mientras se mantiene su interior con menor dureza, pero suficientemente tenaz para soportar cualquier condición de trabajo. La cementación ha sido uno de los procesos tecnológicos empleados para resolver esta situación y es considerada en el presente trabajo como opción para la fabricación del pasador del pivote de la dirección del ómnibus YUTONG.

De esta manera se realiza un trabajo de ingeniería inversa enmarcado en la caracterización del material del pasador original del pivote de la dirección del ómnibus YUTONG para hacer una propuesta para la fabricación del mismo, que incluye la selección del material adecuado, sus propiedades fundamentales, así como la tecnología de fabricación.

Idea inicial:

Valorar la posibilidad de fabricar el pasador del pivote de la dirección del Ómnibus YUTONG por separado, para evitar importar el conjunto completo y disminuir gastos en moneda libremente convertible por concepto de importaciones.

Planteamiento del problema:

Para la fabricación del pasador del pivote de la dirección del ómnibus YUTONG se requieren sugerencias del material, de su condición micro-estructural, así como características mecánicas del mismo, para lo cual se necesita – a modo de ingeniería inversa – una caracterización y evaluación del material original.

Hipótesis

Es posible establecer una tecnología de fabricación por ingeniería inversa, sobre la base de la caracterización y del estudio del efecto del Tratamiento Térmico para establecer criterios acerca del reemplazo del material de esta pieza para disminuir gastos por importaciones, aumentar la vida útil de los ómnibus y favorecer el transporte público con un consecuente efecto económico-social positivo.

Objetivos principales

- Caracterizar el material del pasador del pivote de la dirección del ómnibus YUTONG.
- Confeccionar la tecnología de maquinado y tratamiento térmico del pasador del pivote de la dirección del ómnibus YUTONG.
- Hacer un análisis técnico-económico de la posible fabricación del pasador del pivote de la dirección del ómnibus YUTONG.

CAPÍTULO 1. Estado del Arte.

1.1 Definición y Dinámica del Desgaste.

Cuando una máquina entra en servicio, sus distintas piezas en movimiento están sometidas, en la generalidad de los casos, a esfuerzos y solicitaciones mecánicas múltiples y combinadas. Siempre puede considerarse una primera etapa en la que los elementos en movimiento comienzan a desgastarse muy rápidamente, pero decrece inmediatamente sin comprometer en ningún caso el buen funcionamiento aunque de todos modos es importante tomar en cuenta una serie de precauciones que, si bien parecen de sentido común, tienen una decisiva importancia en la vida útil de las máquinas.

Vigilar el calentamiento, el comportamiento de la carga y la velocidad, así como disponer del lubricante adecuado, son algunas de las precauciones a tomar en cuenta durante esta primera etapa. Una segunda etapa es la de marcha normal, representa de hecho la vida real o útil de las piezas, en la que el ritmo del desgaste se reduce al mínimo, es decir, es débil o al menos constante. Las sobrecargas, errores humanos, medio ambiente agresivo, deficiente lubricación y otras son las causas que acortan esta etapa. Posteriormente, en una última etapa considerada de envejecimiento y muerte, el desgaste aumenta considerablemente, apareciendo roturas y fallos cada vez más frecuentes [1].

El desgaste es un proceso complejo que se produce en las superficies de los cuerpos sólidos debido a la fricción de otro cuerpo o medio, trayendo por consecuencia la variación de la macro y micro-geometría superficial de la estructura y de las propiedades de las capas superficiales, con o sin pérdida de material.

La ley que define la variación de la magnitud del desgaste con el tiempo se denomina "dinámica del desgaste". El modelo más tradicional de la dinámica del desgaste se da en la Fig. 1.1 donde se muestran tres períodos fundamentales:

I- Período de asentamiento.

II- Período de desgaste (normal).

III- Período de desgaste catastrófico.

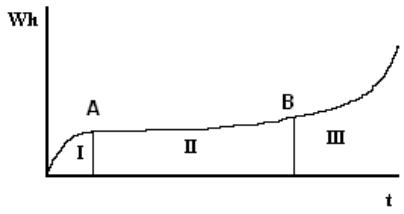


Fig.1.1- Dinámica del desgaste. I - Período de asentamiento;

II - Período de desgaste (normal); III.- Período de desgaste catastrófico.

El período de Asentamiento se caracteriza por una alta velocidad e intensidad del desgaste. La magnitud del desgaste en este período puede llegar al 30 - 50 % del desgaste permisible. Durante este período el contacto se produce en los picos más altos de la rugosidad superficial generando altas presiones y deformaciones.

En el período de desgaste normal producto de la disminución de las presiones reales, al existir una mayor área de contacto real; la velocidad del desgaste se hace constante y el desgaste sigue aumentando con un ritmo más lento; hasta llegar al punto B (Fig.1.1)

En el período de desgaste catastrófico la magnitud del desgaste es tal, que se generan en la unión cargas dinámicas complementarias; lo que representa un aumento en la temperatura, así como del nivel de ruido y de las vibraciones. Este período se conoce como "período de avería"

La microdureza ejerce una gran influencia en la vida de las piezas sometidas al desgaste. El aumento de la microdureza con tratamientos preliminares reduce la deformación de la superficie y su desgaste, provocados por la fricción y la difusión de las capas superficiales al interactuar mecánicamente.

El proceso de endurecimiento preliminar tiene su límite, cuando es excesivo puede dar lugar al incremento del desgaste por el descascaramiento de la superficie del metal, lo cual implica que el proceso debe ser controlado para evitar llegar a esos límites.

El efecto de la rugosidad se observa fundamentalmente durante el período de asentamiento, donde se cambia la forma y tamaño de las asperezas, por ello, en el diseño es inteligente asegurar el método de maquinado que dé la geometría superficial más parecida a la que se obtendrá después del asentamiento. Esto tiene como resultado que se reduce este período y se alarga la vida útil [1].

1.2 Conceptos del régimen del tratamiento térmico.

El tratamiento térmico es un conjunto de operaciones que consisten en el calentamiento, mantenimiento y enfriamiento de las piezas metálicas, con el fin de cambiar la estructura y las propiedades de las aleaciones que las componen.

Cualquier proceso de tratamiento térmico puede ser representado gráficamente en las coordenadas de temperatura y tiempo. Los parámetros del proceso de tratamiento térmico son:

- Temperatura máxima de calentamiento (T_{max})
- Tiempo de permanencia (tp)
- Velocidad de calentamiento (V_{cal})
- Velocidad de enfriamiento (V_{enf})

En la práctica se suele calcular la velocidad media de calentamiento (V_{mcal}) o enfriamiento (V_{menf}). Esta es igual a la temperatura máxima de calentamiento (T_{max}) dividida por el tiempo de calentamiento (t_{cal}) o enfriamiento (t_{enf}):

$$V_{m.cal} = \frac{T_{max}}{(t_{cal})} \qquad V_{m.enf} = \frac{T_{max}}{t_{enf}} \quad \ldots\ldots (1.1)$$

El calentamiento del acero es la operación principal de cualquier tratamiento térmico, esta operación ocupa del 40 al 80% del tiempo que dura todo el proceso tecnológico. Durante el calentamiento en el metal transcurren diversos procesos; las dilataciones térmicas, transformaciones de fase y estructurales, variaciones de las propiedades físicas y mecánicas,

etc. En diversas aleaciones estos procesos transcurren de distintos modos, por esta razón, al realizar correctamente el calentamiento del acero se puede obtener las propiedades tecnológicas, mecánicas y físico-químicas requeridas.

De acuerdo con lo antes planteado, para una pieza determinada se distinguen la velocidad de calentamiento técnicamente posible y la velocidad de calentamiento técnicamente admisible.

La velocidad de calentamiento técnicamente posible depende de muchos factores, los cuales son:

- El método de calentamiento: Se efectúa en hornos eléctricos, baños de sales o de aceite, electrolitos, instalaciones de corriente de alta frecuencia (ICAF), etc. El tipo de instalación de calentamiento influye sobre el coeficiente de transferencia de calor, es decir, sobre la cantidad de calor transmitida a un cuerpo en unidad de tiempo por unidad de área y el coeficiente de transferencia de calor depende de las características del medio calentador, de su temperatura, de la configuración y disposición de las piezas.
- La diferencia de temperaturas entre el medio calentador y el metal que se calienta.

La velocidad de calentamiento técnicamente admisible (o tecnológica) se determina teniendo presente los siguientes factores:

- La composición química del acero, que influye en las propiedades térmico-físicas.
- La estructura del acero.
- La configuración de la pieza.
- Las zonas de temperaturas en la cual se efectúa el calentamiento.

Cuánto más alta sea la temperatura del horno o del baño, más rápido se realiza el calentamiento del metal. Además, sobre la velocidad de calentamiento del metal influye el modo de disposición de las piezas en el medio calentador. El calentamiento de una o dos piezas en el horno, se efectúa dos veces más rápido que cuando las piezas están colocadas en una capa compacta.

La velocidad de calentamiento es tanto menor cuanto más compleja es la composición química del acero, ya que los elementos de aleación disminuyen en grado considerable la termoconductibilidad del hierro [2, 3].

Las piezas de forma compleja que tienen pasos bruscos de la sección gruesa a la fina deben calentarse lentamente, de lo contrario las tensiones térmicas que surgen durante el calentamiento rápido provocarán deformaciones.

El enfriamiento del metal es la operación final del tratamiento térmico. El papel principal del medio de enfriamiento consiste en evacuar el calor del metal que puede realizarse por termoconductividad y convección.

El resultado del tratamiento térmico depende de la velocidad de enfriamiento que tiene que asegurar la obtención de la estructura prefijada y propiedades mecánicas necesarias, siendo mínimo el valor de las tensiones internas en el metal.

1.2.1 Tratamiento térmico de los aceros aleados.

Los elementos de aleación no solo influyen sobre la temperatura de las transformaciones alotrópicas del hierro, sino también sobre la velocidad de los procesos de difusión que transcurren al calentar o enfriar el acero. Debido a ello, los regímenes de tratamiento térmico para el acero aleado difieren de los del acero al carbono ordinario. Durante el tratamiento térmico, la velocidad de calentamiento del acero aleado, debe ser tanto más pequeña cuanto más bajo es el contenido en elementos de aleación.

Todos los elementos de aleación, salvo el cobalto empeoran la termoconductividad del acero, en virtud de lo cual para evitar la deformación de las piezas, los agrietamientos internos y otros defectos que se producen por gran diferencia de temperaturas en la superficie y en el núcleo, las piezas de aceros aleados se calientan de manera lenta y uniformemente, a diferencia de las de aceros al carbono [4, 5].

La velocidad de enfriamiento de los aceros aleados depende de las propiedades mecánicas que se desean obtener, pero siempre es considerablemente menor que la de los aceros al carbono.

En el revenido del acero al carbono la velocidad de enfriamiento no tiene una considerable importancia, en tanto que en el revenido del acero aleado dicha velocidad influye en las propiedades mecánicas, sobre todo en la resiliencia. El revenido de los aceros aleados se efectúa a temperaturas más altas que el del acero al carbono porque muchos elementos aleados desplazan los procesos de ablandamiento durante el calentamiento de los aceros templados a la zona de temperaturas más altas, es decir, elevan la estabilidad del acero al revenido.

Los elementos aleados ejercen gran influencia en el carácter de saturación de la superficie de las piezas de acero con distintos elementos durante el tratamiento químicotérmico, por ejemplo, durante la cementación los elementos aleados influyen en la concentración de carbono en la

superficie y a diferentes profundidades de la capa cementada, en la cantidad y carácter de distribución de la fase de carburo [2].

1.3 Tecnología de Tratamiento Térmico.

Al diseñar una tecnología de Tratamiento Térmico deben tenerse en cuenta una serie de parámetros y factores que además de permitir obtener las propiedades deseadas, garanticen que sean reducidos a un mínimo los defectos que puedan producirse en las piezas, lo que a su vez hace que el número de piezas en desecho disminuya, repercutiendo esto en optimizar económicamente la operación [6, 7].

Los factores a tener en cuenta, fundamentalmente, para el diseño de la tecnología del Tratamiento Térmico son:

a) El control adecuado de la temperatura de calentamiento.
b) El control de la velocidad de calentamiento para diferentes períodos del mismo, en dependencia del material de trabajo.
c) El control del tiempo de mantenimiento, garantizando las transformaciones o procesos estructurales necesarios.
d) El control de la velocidad de enfriamiento.

1.4 Control de calidad del tratamiento térmico.

El control técnico se realiza en todas las etapas de la producción e incluye:

- Control de la calidad de la materia prima.
- Control de los procesos tecnológicos del tratamiento térmico.
- Control de la producción del taller térmico.

La materia prima se somete al control de composición química de macro y micro estructura, ésta composición se verifica por análisis químicos y espectrales, es decir, por métodos que permiten apreciar cuantitativa y cualitativamente la composición química [8].

A fin de aumentar la fiabilidad y el plazo de servicio de las máquinas en las empresas modernas, en cada operación del proceso de tratamiento térmico se controlan dos índices en todas las piezas, la dureza y el espesor de la capa, obtenidas por tratamiento termoquímico.

Después de efectuar el tratamiento térmico, la calidad se controla con mayor frecuencia midiendo la dureza en los aparatos Rockwell, Brinell y Vickers.

La comprobación de la calidad del tratamiento térmico de las piezas así como la detección de los defectos interiores y exteriores del metal, se hacen utilizando el método magnético, radiográfico, luminiscente, ultrasónico, y otros procedimientos de controles físicos no destructivos.

El método magnético se usa para determinar la estructura y la dureza de las piezas después del tratamiento. El método ultrasónico permite detectar los defectos interiores en las piezas y productos semi-preparados de varios espesores, este se basa en la facultad de oscilaciones ultrasónicas de reflejarse en la superficie de las inclusiones heterogéneas dispuestas en el interior del material. Debido a su poder de penetrar a gran profundidad en el metal y alto coeficiente de reflexión del límite metal-aire, las oscilaciones ultrasónicas han adquirido amplio uso para detectar los defectos que no pueden ser descubiertos por los métodos magnéticos o luminiscentes.

1.5 Características generales del tratamiento termoquímico.

El tratamiento quimicotérmico (TQT) o termoquímico combina las acciones térmicas y químicas con el fin de cambiar la composición química, estructura y cualidades de la capa superficial de un metal; el mismo se realiza como resultado de la saturación por difusión de un metal o una aleación con no metales en un medio activo saturado a una temperatura determinada [9].

El tratamiento termoquímico tiene por objetivo endurecer la capa superficial de los metales y sus aleaciones y elevar su resistencia contra los ataques de los medios agresivos desde el exterior a temperatura normal o elevada.

El espesor de la capa de difusión depende de la temperatura de calentamiento, de la permanencia en ella durante la saturación y de la concentración del elemento difusible en la superficie. Cuanta más alta sea la concentración del elemento difusible en la superficie de la pieza, tanto mayor será el espesor de la capa. Cuanto más elevada sea la temperatura del proceso, más alta será la velocidad de difusión de los átomos y por consecuencia, aumentará el espesor de la capa de difusión.

Para elevar la durabilidad de las piezas de máquinas de mayor responsabilidad se usan ampliamente la cementación (carburación) nitrocementación y nitruración, mientras que a una

escala algo menor se emplea la saturación superficial con boro, silicio y metales, pueden servir de ejemplo las piezas de automóviles y tractores, de máquinas herramientas, agrícolas, textiles y otras, sometidas a la cementación, nitrocementación y nitruración.

El proceso de tratamiento químicotérmico se compone de tres etapas las cuales son [10]:

1. La disociación: consiste en la descomposición de las moléculas y la formación de átomos activos del elemento que difunde, por ejemplo, la disociación de óxido de carbono o de amoníaco.
2. La adsorción: Es cuando los átomos del elemento que difunde se ponen en contacto con la superficie de la pieza de acero, formando enlaces químicos con los átomos del metal.
3. La difusión: Es la penetración del elemento de saturación hacia la zona interior de metal.

Los principales factores que influyen sobre los resultados de la cementación son:

1. La temperatura y duración del proceso.

Generalmente para la cementación se utilizan las temperaturas de 900 – 950 ^0C . Según la opinión de algunos autores, la utilización de temperaturas más altas conducen a:

- Aumento del desgaste de las instalaciones.
- Aumento del consumo de cajas de cementación.
- Crecimiento extraordinario del grano.
- Empeoramiento de la calidad de la capa cementada
- Aumento del encorvado de las piezas.

2. Los elementos de aleación.

Los elementos de aleación ejercen una influencia esencial sobre la difusión del carbono en la austenita, lo que está relacionado con la deformación de la red cristalina.

Los resultados de la cementación, fundamentalmente, se determinan por la influencia de los elementos de aleación sobre:

- La concentración de carbono en la capa superficial.
- La profundidad de la zona templada.
- El tamaño de grano.
- La formación de la estructuras.

La mayoría de los elementos que forman carburos (cromo, molibdeno, wolframio, vanadio, titanio, y otros) aumentan la concentración de carbono en la capa superficial con lo que se mejora en grado considerable los resultados de la cementación, a saber, aumentan la profundidad de la capa cementada.

Los elementos que no forman carburos, disminuyen la profundidad de la capa cementada, dada su influencia en la reducción de la concentración de carbono en la superficie del acero. (Ver Anexo 3)

Durante la aleación de los aceros que se utilizan para la cementación, generalmente se emplean Cr Ni, Mn, W, Mn, Ti, y con menos frecuencia, el Nb.

Prácticamente no se utilizan: Si, Co, Al, S, P.

3. La velocidad de alimentación y presión del aire.

Junto con la composición del gas, la velocidad de alimentación del aire ejerce una influencia decisiva en los resultados de la cementación. El aumento de la velocidad de alimentación del gas aumenta la profundidad y la concentración del carbono en la capa cementada. Sin embargo, este aumento tiene lugar hasta una velocidad óptima determinada de alimentación.

Puede ocurrir que en el medio gaseoso se forme una gran cantidad de carbono elemental, el cual no será absorbido por completo por la superficie de las piezas y, en este caso, en la superficie se forma el carbono de hollín, el cual detiene los procesos de cementación.

Si la velocidad de alimentación del gas es grande al principio del proceso, entonces la cementación puede incluso no ocurrir [11]. Según algunos datos el aumento de la presión del gas conduce a la intensificación de los procesos de cementación, sin embargo, este aumento puede tener lugar durante el primer período del proceso. Posteriormente predominarán los procesos de difusión y es probable que la presión no ejerza influencia esencial en los resultados de la cementación.

1.6 Propiedades de la capa cementada.

- La dureza en la superficie de la capa cementada debe estar dentro de los límites de 58…62 HRC y en el núcleo, 30…45 HRC.
- El volumen específico de la capa carburada y templada es mayor que el del núcleo, por lo cual en ella surgen tensiones de compresión [13, 14].
- Las piezas cementadas de capa suficientemente gruesa poseen una resistencia alta a la fatiga por contacto, que alcanza 2000….2200MPa y más, también una elevada resistencia al desgaste.
- El grosor efectivo de la capa cementada se determina por la relación óptima hacia la dimensión característica de la pieza a cementar [12].

Por ejemplo, para las piezas cilíndricas, se determina por la relación entre el grosor de la capa (x) y el radio (R) y para las ruedas dentadas esta relación se refiere al módulo, etc.

Para las piezas cilíndricas que soportan cargas medias y grandes, el grosor óptimo de la capa que asegura una alta resistencia de contacto, constituye:

$\frac{x}{R} \geq 0{,}1$ y para las piezas que requieren una alta resistencia a fatiga por flexión

$\frac{x}{R} = 0{,}1.....0{,}12$

1.7 Cementación en medio sólido.

De cementante pueden servir el carbón vegetal activado (de roble o de abedul), así como el semicoque de hulla y el coque de turba. Para acelerar el procedimiento, al carbón vegetal se adicionan los activadores como el carbonato de bario, sosa calcinada (carbonato de sodio), y la potasa en cantidades de 10 a 40% de la masa del carbón.

Los requisitos que se exigen al carburizador sólido son:

1. Capacidad de desprender carbono activo con la velocidad necesaria a la temperatura escogida de cementación.
2. Capacidad de conservar la actividad durante el empleo reiterado.
3. Contracción mínima y resistencia máxima a la temperatura de cementación.

4. Pequeño peso específico.
5. Alta conductividad térmica.
6. Ausencia de polvo y de impurezas dañinas.

La duración de permanencia a la temperatura de cementación en el horno, depende del espesor de la capa cementada que se desea obtener. En la práctica, la permanencia se calcula tomando en consideración que dicha capa crece con velocidad de 0,1mm por una hora, ejemplo, la capa de 1mm de espesor se obtiene en 9,5h-10,4h.

Para controlar la marcha del proceso y el espesor de la capa cementada en la caja, junto con las piezas, se colocan probetas redondas de 10-15mm de diámetro del mismo acero que las piezas. Al efectuar la cementación las probetas se sacan periódicamente, se rompen y según su fractura se determina el espesor de la capa cementada [15].

1.7.1 Embalaje de las piezas en el carburizador para la cementación.

El embalaje de las piezas se efectúa en cajas especiales, construidas con capas de hierro, soldadas o fundidas. Las cajas se construyen con aceros de bajo carbono que tienen una durabilidad de 150 -200 horas, o con acero o aleaciones resistentes al fuego (durabilidad de

4 000 – 6 000 horas).

El espesor de las paredes varía en grandes límites desde 1 hasta 15 mm, por su forma las cajas pueden ser redondas, rectangulares, cuadradas, etc. Es necesario escoger la forma racional, que corresponda a la configuración de la pieza. Las cajas elegidas para piezas específicas deben ser estandarizadas. La configuración y la dimensión se establecen de acuerdo con el tamaño del horno, teniendo en cuenta su carga máxima. Últimamente se utilizan mucho las llamadas celdas individuales.

El empleo de las celdas individuales permite:

- Ahorrar metal durante la preparación de las cajas de cementación.
- Reducir el tiempo de calentamiento y enfriamiento, lo que ahorra combustible.
- Disminuir el consumo del carburizador.
- Eliminar los desechos causados por la penetración del carbono en las partes donde no debe.
- Acelerar el proceso de la cementación.
- Excluir los procesos de cobreado.

- Disminuir el encorvado de las piezas.
- Alcanzar la homogeneidad suficiente en la profundidad de la capa cementada.

1.8 Cementación con Pastas.

El procedimiento consiste en que la superficie de la pieza a tratar se pone una capa de sustancia en forma de suspensión, masilla o mezcla pastosa. Después ésta se seca y la pieza se calienta hasta la temperatura de cementación.

El tipo de pasta determina el procedimiento para aplicarla. Si la pasta es de consistencia relativamente líquida, las piezas se sumergen en ella, y cuando es más espesa se aplica con brocha [3].

El espesor de la capa de pasta debe ser 6-8 veces mayor que la profundidad prefijada de la capa cementada. Los componentes principales de las pastas son el negro de humo y carbonato de sodio.

Procurando no perjudicar la capa de pasta, las piezas secas se colocan cuidadosamente una sobre otra en la caja y se cierran con una tapa. La caja se introduce en el horno a una temperatura de 950-1050 ^{0}C, cuanto más alta sea la temperatura de calentamiento tanto menor será la duración del procedimiento.

1.9 Cementación con gases.

Actualmente, el procedimiento de la cementación con gases es el proceso principal en las plantas de producción en serie, esta permite reducir el tiempo de operación, puesto que en ella no es necesario calentar cajas; se puede asegurar la mecanización y automatización del proceso, se hace más sencillo el tratamiento térmico posterior y lo principal, se obtiene la concentración prefijada de carbono en la capa.

En este proceso de cementación gaseosa se exige una adecuada metodología de cálculo en cuanto a su tecnología, el cual consiste en:

1. Conociendo la profundidad de la capa que se desea obtener, se calcula el tiempo en horas necesarias para ello, este tiempo será desde que la temperatura de cementación es alcanzada hasta que se extrae la pieza del horno.

2. Como las piezas son introducidas en el horno a una temperatura inferior a la de cementación $\left(800^0 C\right)$ es conveniente desde esa temperatura ir acondicionando la atmósfera del horno aunque con un menor goteo, que en dependencia del tipo de horno, se calcula según el Anexo 7.

La cementación con gas se suele realizar a temperaturas de 930-950 ^0C . Con el fin de acortar la duración del proceso, a veces se emplea la cementación a altas temperaturas de 1000-1050 ^0C . Con el aumento de la temperatura la velocidad de cementación se acrecienta bruscamente, no obstante, la cementación de los aceros, incluso de grano fino hereditario, efectuada con gas a altas temperaturas, empeoran sus características mecánicas, reducen el plazo de servicio del equipo y de los accesorios y aumentan la deformación de las piezas.

Para acortar la duración de la cementación se usa el régimen escalonado de alimentación con carburante. Al alcanzar la temperatura de trabajo se efectúa una alimentación con carburante intensivo de 130-170 gotas por minutos (Periodo de saturación) la cual luego se disminuye hasta 30-50 gotas por minutos, lo que mantiene la atmósfera reductora en el horno (Periodo de difusión). Este método permite disminuir el consumo de gas y las precipitaciones de hollín y conseguir una limpieza satisfactoria de la superficie.

A continuación se ejemplifica mediante un gráfico los parámetros en el caso de obtención de una capa de 1.0 mm de profundidad.

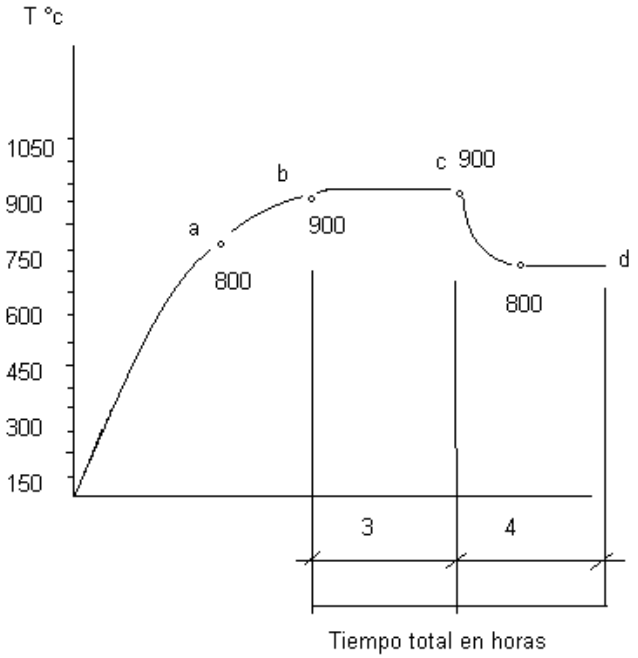


Figura: 1.1 Representación gráfica de la cementación gaseosa, en las coordenadas Temperatura y Tiempo.

ab – Período de calentamiento de $(800-900^0 C)$, goteo a razón de 70-80 gotas/min.

bc – Cementación durante 3 horas a razón de 100 gotas/min ver Anexo VIII

cd – Cementación durante 4 horas a razón de 30-40 gotas/min ver Anexo VIII.

bd – Tiempo total de cementación (7 horas)

1.10 Ventajas de la cementación gaseosa respecto a la sólida.

- Se puede realizar el temple directo.
- No hay hollín en las piezas.
- Limpieza total de la superficie.
- Mejor control de la capa.
- Protección de la atmósfera.
- Mejores resistencia a la fricción.
- Resistencia a la fatiga.
- Mayor durabilidad.

1.11 Defectos de cementación

La corrosión de la superficie en las piezas se observa cuando en el cementante (sólido) penetran los sulfatos de bario o de sodio, o bien cuando los carbonatos se funden en las superficie de las piezas. El defecto se detecta en forma de finísimos cortes, rechupes superficiales, rugosidades, etc. La profundidad desigual de la capa de cementación se advierte durante el calentamiento irregular de las piezas debido a las diferencias de temperaturas en diferentes zonas del horno.

Al cementar con cementante fino en cajas de grandes dimensiones, la diferencia de profundidad de las capas en distintas piezas puede alcanzar 50%, porque el cementante sólido tiene baja termoconductibilidad, la cual se empeora disminuyendo el tamaño de las partículas de carbón, por eso es necesario (tanto como sea posible) emplear cajas de pequeñas dimensiones, utilizar fragmentos de carbón de tamaño recomendable y garantizar el calentamiento uniforme de las piezas.

El escaso contenido de carbono en la capa cementada se debe a la baja temperatura del proceso, la insuficiente duración de la permanencia en ésta, la débil actividad carburadora del cementante y el insuficiente o excesivo suministro del cementante gaseoso.

Las manchas de cementación se producen debido a la distribución desigual de los carbonatos en la masa de cementantes sólido, la precipitación del negro de humo en la superficie de la pieza, etc. La insuficiente profundidad de la capa cementada o bajo grado de saturación de la misma se debe a la temperatura demasiado baja o a la insuficiente permanencia en esta. Las grietas en la capa cementada se observan primordialmente en los aceros al cromo_ níquel siendo resultado de una situación desfavorable de tensiones residuales internas.

La oxidación interna se produce durante la cementación como consecuencia de la penetración de oxígeno en la capa superficial de la pieza y la oxidación de los elementos de aleación que componen el acero. Como resultado disminuyen las propiedades para el endurecimiento y penetración de temple. Para evitar este defecto, al final del proceso se suministra al horno una pequeña cantidad de amoníaco.

1.12 Control de la calidad de las piezas cementadas.

Para asegurar los altos requisitos que se requieren de los artículos cementados en las fábricas se emplea el control complejo de la calidad.

Se verifican los siguientes parámetros:

- El espesor de la capa, que se determina en la macro y micro-estructura o por la distribución de la dureza [16].
- El control de los parámetros del proceso tecnológico de cementación como (temperatura de calentamiento, duración del proceso, consumo de gases, composición de la atmosfera), en los hornos continuos sin mufla se realiza 2….3 veces cada semana.
- La calidad de las piezas cementadas y nitrocementadas están en función fundamentalmente de la micro-estructura y la dureza de la superficie y el núcleo, de la brusquedad o no con que varían la estructura desde la superficie hasta el núcleo y del contenido de carbono y nitrógeno (si es el caso) en las primeras capas.
- Otros factores determinantes en la calidad de las piezas tratadas es la distribución de la dureza a través de la capa.

Para producciones industriales debe además controlarse periódicamente la concentración de carbono en la superficie, la temperatura de calentamiento y la duración del proceso, suministro de gas o líquido y la composición de los gases de entrada y salida.

El control de las piezas cementadas se realiza tanto después de la cementación como después del tratamiento térmico posterior: temple y revenido.

El control de la profundidad de la capa se realiza en los especímenes del control (testigos o mechas) según la micro-estructura de los especímenes enfriados lentamente, los cuales se fabrican de la misma marca del acero.

La profundidad total de penetración del carbono en el acero suele considerarse como profundidad total de la capa cementada, hasta donde se tiene el inicio de la estructura perlita ferrita. En las piezas importantes, a veces, se establece el control de la profundidad de la capa cementada directamente sobre ellas. El método de control de la profundidad de la capa

templada de uso corriente es el de fractura. La fractura por la capa debe ser gris mate, con aspecto de porcelana.

La medida del espesor de la capa puede hacerse con microscopio, o mediante la lupa Brinell.

La medición de la dureza de las piezas cementadas se realiza en varios aparatos, lo que depende de la profundidad de la capa y su configuración. La dureza de las piezas de poca importancia se controla con ayuda de una lima calibrada.

Para pequeña profundidad de cementación (0.1 – 0.2 mm) se recomienda realizar la medida de la dureza con el aparato Vickers (la norma es de unos 600 – 700 Hv), cuando se tengan profundidades de cementación mayores de 0.2 mm se puede realizar el control de la dureza con los aparatos Rockwell utilizando las cargas de 60 – 150 kg (la norma es de unos 58 – 60 unidades HRC) [17-19].

1.13 Exigencias que se le plantean a las piezas cementadas.

A las piezas cementadas tratadas térmicamente se les plantean las siguientes exigencias:

- La dureza superficial HRC $\geq$ 60 unidades (en algunos casos 56 – 58 unidades).
- Las roturas de la capa superficial y del núcleo deben ser de grano fino.
- La micro-estructura de la capa superficial debe constar de martensita de agujas ocultas.
- El núcleo debe poseer la resistencia necesaria y el límite cedente bastante alto.
- En condiciones de producción de piezas de aceros aleados, en la micro-estructura del núcleo no se admite la presencia de ferrita residual.
- El encorvado debe ser mínimo. El aumento de la temperatura de cementación y de temple conduce al aumento del encorvado, lo cual provoca la realización de operaciones suplementarias (enderezamiento, eliminación de las sobremedidas suplementarias, etc.).

CAPÍTULO 2. Caracterización del material del pasador del pivote de la dirección del ómnibus YUTONG.

2.1 Materiales y métodos

Se utilizó una probeta (de aproximadamente 47 mm de diámetro y 20 mm de espesor) retirada transversalmente del pasador que se muestra en la figura 2.1.

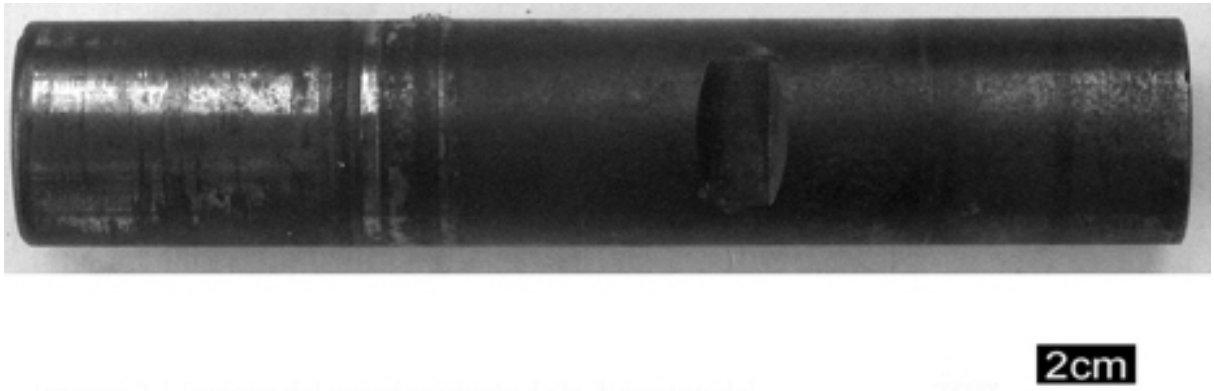


Fig. 2.1 Pasador del Pivote de la dirección del ómnibus YUTONG.

La probeta fue cortada y luego se le realizó un desbaste mediante el uso de papel esmeril con granulometrías entre 80 y 600, para luego pasar al pulido con paño y alúmina en suspensión (1 μm). La probeta fue atacada con Nital al (2%) para revelar su microestructura. La observación de la microestructura se realizó en el microscopio óptico modelo NIM -100 (marca NOVEO) el cual permite la adquisición de imagen digital con aumento de hasta 800X.

Se obtuvo un perfil de microdureza barriendo toda la zona desde la superficie al centro [20]. La dureza se midió empleando un durómetro marca SHIMADZU, con carga de 100g aplicada durante 10 segundos.

El análisis químico se realizó mediante Espectrometría de Emisión Atómica (EEA) en el que se pudo obtener cada uno de los componentes que forman la aleación.

Estas operaciones de preparación de muestras y medición de microdureza fueron llevadas a cabo en el Laboratorio de Metalografía del Centro de Investigaciones de Soldadura de la Universidad Central Martha Abreu de Las Villas.

2.2 Resultados de la caracterización del material del pasador del pivote de la dirección del ómnibus YUTONG.

La composición química del material del pasador del pivote de la dirección del ómnibus YUTONG se muestra en la Tabla 2.1, donde se puede apreciar que se trata de un acero con bajo contenido de carbono y baja aleación al Cr, Mn, con composición química característica de los aceros de cementación.

Tabla 2.1. Resultados del análisis químico del material del pasador del pivote de la dirección del ómnibus YUTONG.

C	Mn	P	S	Si	Ni	Cr	Cu	Fe (Base)
0.19	0.91	0.07	0.03	0.33	0.01	1.22	0.085	97.16

Haciendo uso de la base de datos Matweb [21] y de otras referencias de la literatura [22, 23], se determinó que la composición química del material del pasador se asemeja a la del acero AISI 5120 (tabla 2.2) y al acero GOST 18XГ (tabla 2.3), por lo que se puede seleccionar uno de estos aceros para la fabricación del pasador.

Tabla 2.2 Composición química nominal del acero AISI 5120

C	Mn	P	S	Si	Cr
0.17-0.22	0.70-0.90	0.035	0.040	0.15-0.35	0.70-0.90

Tabla 2.3 Composición química del acero 18XГ (Norma GOST 4543 – 71 Aceros de Cementación)

C	Mn	Si	Cr	V
0.15-0.21	0.9-1.2	0.17-0.37	0.9-1.2	----

Tabla 2.4 Resultados de los ensayos de dureza.

Punto	HV	Valor Medio	Distancia µm	Punto	HV	Valor Medio	Distancia µm
1	681.1	690.1	20	**8**	541.8	564.6	1020
	664.9				566.6		
	724.4				585.3		
2	781.9	759.6	120	**9**	492.7	521.7	1120
	771.9				547.7		
	724.9				524.7		
3	681.1	708.7	220	**10**	463.6	463.6	1220
	771.9				463.6		
	673				463.6		
4	689.5	741.1	320	**11**	420.5	426.1	1320
	771.9				441.3		
	762				416.5		
5	724.4	740.2	420	**12**	397.5	401.3	1420
	771.9				412.6		
	724.4				393.8		
6	706.6	709.5	520	**13**	404.9	400.0	1520
	715.4				404.9		
	706.6				390.2		
7	681.1	675.7	620	**14**	350.5	405.2	1620
	681.1				463.6		
	664.9				401.6		

En la Fig.2.2 se puede apreciar como en la superficie del material en cuestión existen valores de dureza considerablemente altos entre 615 y 780 HV, mientras que en el metal base estos valores están entre 300 y 350 HV, en los valores intermedios de dureza se da paso a una zona de transición.

Este comportamiento de la dureza es compatible con el criterio del empleo de un acero en condición de cementación, por lo que dentro del proceso de fabricación del pasador se hace imprescindible la inclusión de este proceso.

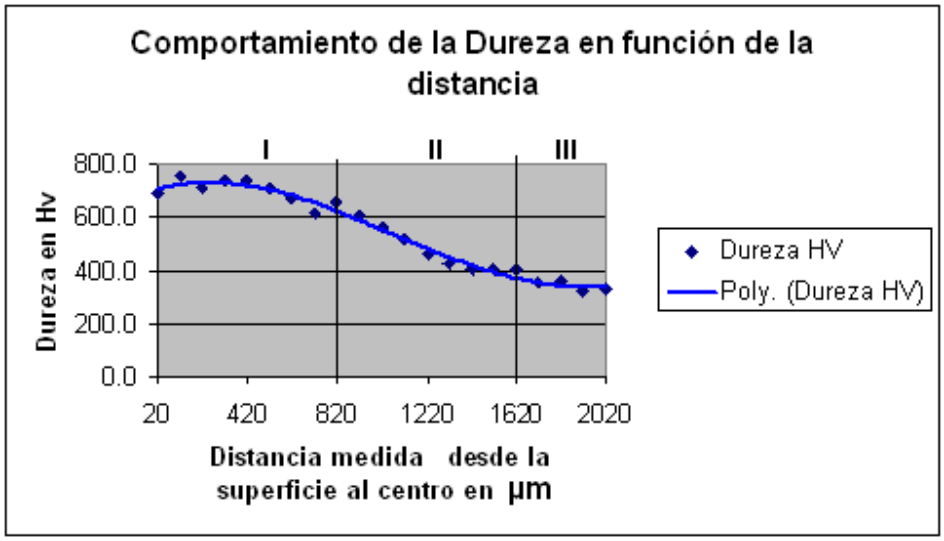


Fig.2.2 Comportamiento de la dureza en función de la distancia.

I- Zona de la capa Cementada.

II- Zona de Transición.

III- Zona del metal base.

Los resultados de dureza son consistentes con la microestructura observada en la figura 2.3, en las que se aprecian microconstituyentes característicos del temple y revenido bajo de un acero de cementación, constituida por martensita revenida de bajo carbono, mientras que en la figura 2.4 se presenta una microestructura característica de la zona cementada y tratada térmicamente con temple y revenido bajo, constituido por martensita revenida de alto % de carbono extraordinariamente fino.

En las figuras 2.3 y 2.4 se muestran las estructuras del material del pasador de la dirección del Ómnibus YUTONG.

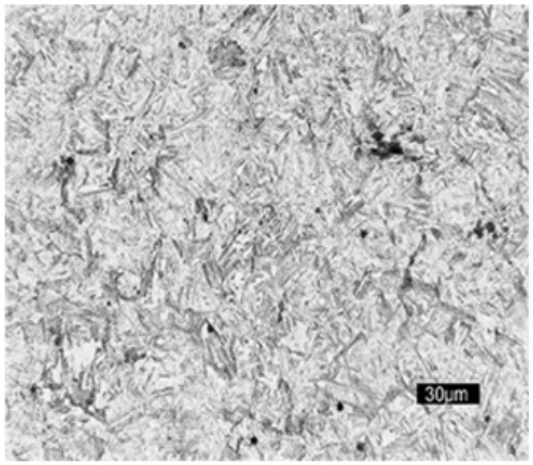


Fig: 2.3 :Estructura Metalográfica del Pasador (Zona del metal base)

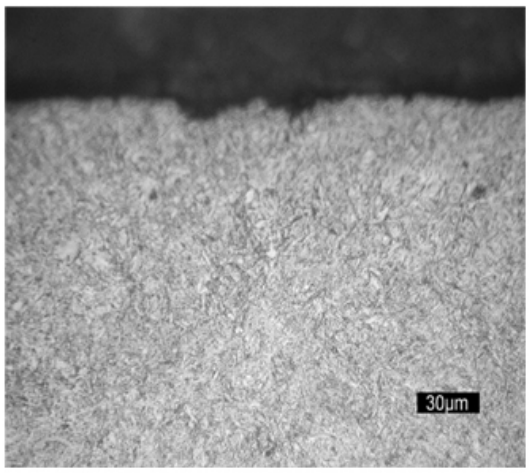


Fig. 2.4:Estructura Metalográfica del Pasador (Zona de la capa cementada)

CAPÍTULO 3. Propuesta de Tecnología y Evaluación Económica para la fabricación del Pasador del Pivote de la dirección del Ómnibus YUTONG.

3.1 Tecnología de Maquinado del Pasador.

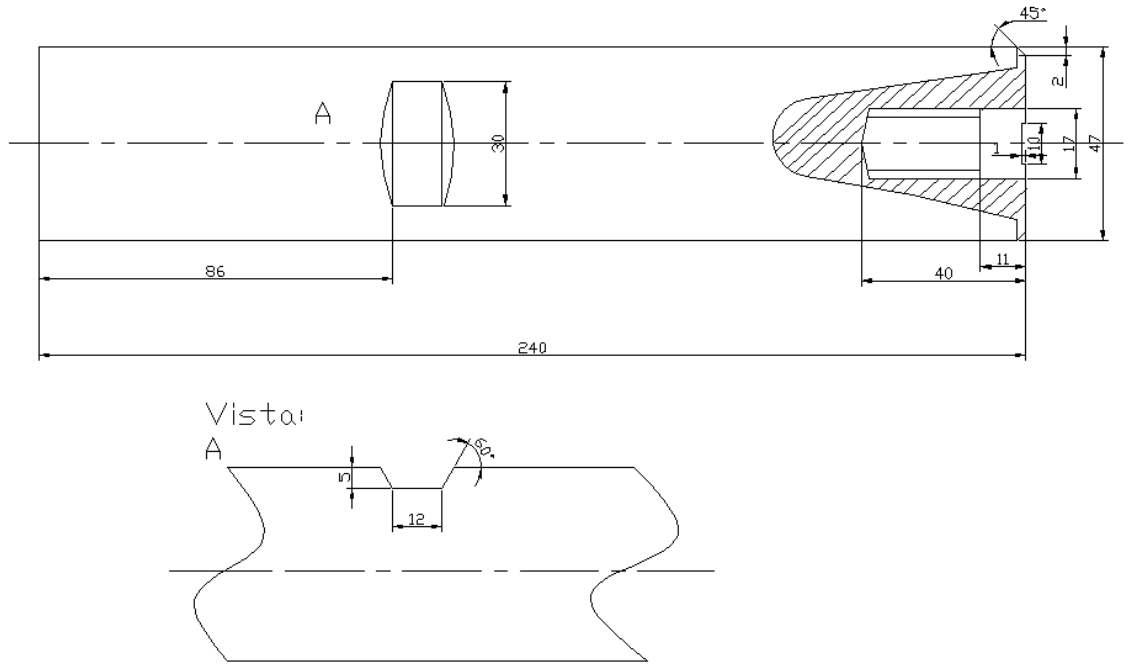


Fig: 3.1 : Croquis del Pasador.

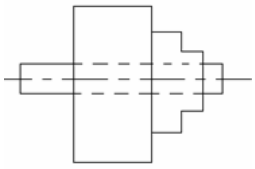
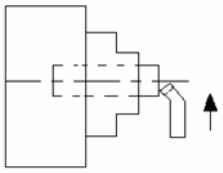
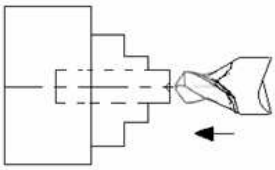
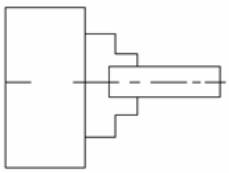
➢ *Selección de la pieza en bruto.*

En este punto se procede a la selección de la pieza en bruto, la cual es de 53 mm de diámetro y 248 mm de longitud.

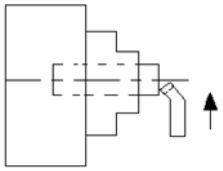
➢ *Selección de la secuencia de operación y pasos tecnológicos*

Se determina si es corta ó larga: La pieza es de dimensiones pequeñas, por lo que se puede considerar como una pieza tipo corta.

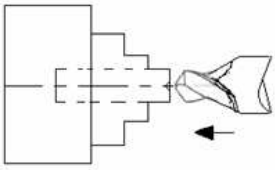
Operación No. 1: Torneado

Pasos tecnológicos y colocaciones	Croquis del paso tecnológico
A - Se coloca la pieza al plato, se centra y se fija	
1 - Refrentar hasta una longitud de 244 mm	
2 - Taladrar centro	
B - Se invierte la pieza (Invertir al plato)	

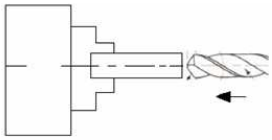
3 - Refrentar hasta una longitud de 240mm



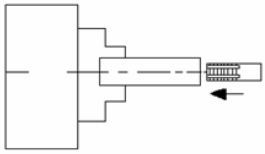
4 - Taladrar centro



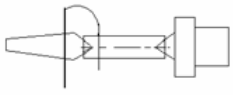
5 - Taladrar agujero ϕ14 a una longitud de 40mm



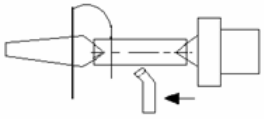
6 - Roscar con macho M14 a una longitud de 30mm



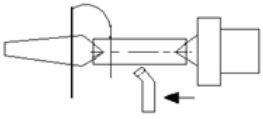
C - Colocar entre puntos



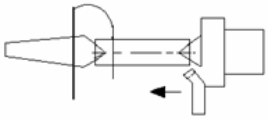
7 - Cilindrar en desbaste en ϕ53mm hasta ϕ49mm



8 - Cilindrar en acabado ϕ47,4mm.



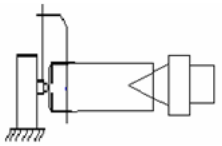
9 – Biselar



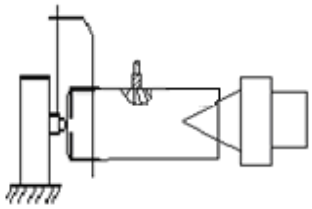
Operación No. 2: Fresado

Contenido del paso tecnológico y la colocación

Croquis del paso tecnológico



A - Colocar entre plato y punto

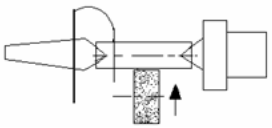


1 - Elaborar chavetero ϕ47,4mm a 86mm de su extremo izquierdo (ancho 12mm a una longitud de 30mm y una profundidad de 5mm)

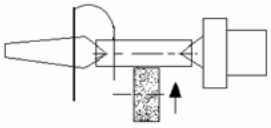
Operación No. 3: Rectificado

Contenido del paso tecnológico y la colocación

Croquis del paso tecnológico



A - Colocar entre puntos



1. - Cilindrar ϕ47,4mm hasta ϕ47mm

3.2 Tecnología de Tratamiento Térmico.

Atendiendo a los resultados de la caracterización del material del Pasador del Pivote de la dirección del Ómnibus YUTONG se puede plantear que este elemento debe ser sometido a un Tratamiento Térmico de Cementación seguida de Temple y Revenido bajo. Por tanto la Tecnología de Tratamiento Térmico se divide en tres etapas fundamentales, cuyos procedimientos se describen a continuación.

3.2.1 Procedimiento para la cementación

El procedimiento para la cementación parte de la selección del modo o medio carburante, que puede ser sólido, líquido o gaseoso. Todos estos modos de cementación tienen ventajas y desventajas, ya antes vistas; sin embargo, la particularidad de la cementación con carburante sólido dada por su simplicidad en cuanto a equipos y materiales necesarios la convierte en una opción atractiva, que puede aplicarse sin dificultad en cualquier taller que posea un horno de Tratamiento Térmico de cámara con dimensiones adecuadas.

De acuerdo a las recomendaciones de la literatura [10, 24] como carburante sólido se propone una mezcla de carbón mineral (granulometría de 4 a 8mm) con 20 – 25 % de carbonato de bario $BaCO_2$ y 3 % de carbonato de sodio Na_2CO_3 debidamente mezclados y calcinados a 100- 150 ^oC.

Las piezas sometidas a cementación, después de una limpieza preliminar, se colocan en cajas de acero soldadas o de hierro fundido Fig. 3.2. Antes de introducir las piezas, en el fondo de la caja se coloca y apisona una capa de carburante de un espesor de 20 a 30mm, sobre la cual se posiciona la primera fila de piezas, manteniendo una distancia de 10 a 15mm entre ellas y hasta las paredes laterales de la caja. Luego se agrega y apisona una capa de carburante superior de un espesor de 35 a 40mm para compensar su posible contracción.

La caja se cierra con una tapa, cuyos bordes se recubren con arcilla refractaria o con una mezcla de arcilla y arena de río; posteriormente se introduce en el horno para realizar el calentamiento conjunto hasta la temperatura de 700 ^oC; en esta temperatura se mantiene

el calentamiento para homogeneización por un tiempo de 15 min y posteriormente se reanuda el calentamiento hasta la temperatura de saturación (910 - 930 ^0C). El tiempo de exposición a la temperatura de cementación, para una capa 0.5 a 0.6 mm de espesor es de 5.5 a 6.5 horas. Las cajas, después de la cementación se enfrían al aire hasta una temperatura de 400 a 500 ^0C, después de lo cual se abren.

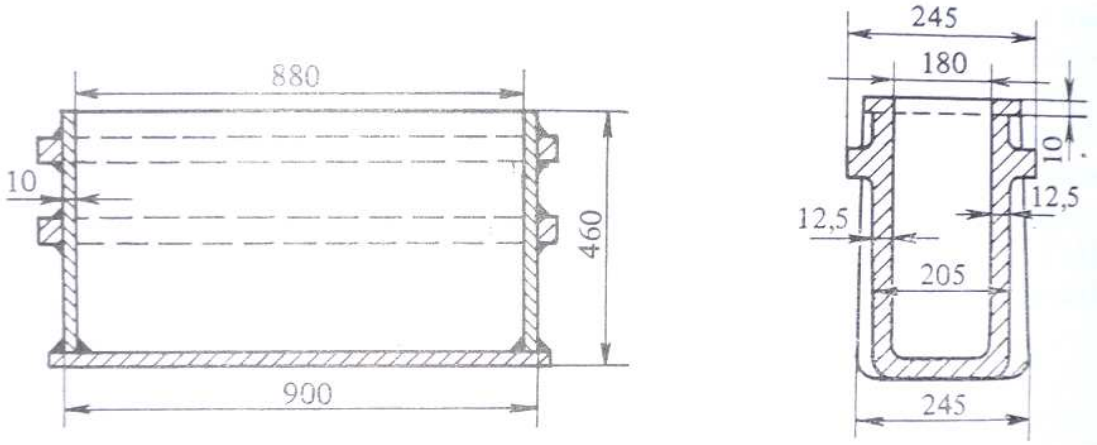


Fig. 3.2 Caja para Cementar con Carburante Sólido.

Tratamiento Térmico de Temple.

Las piezas calentadas hasta determinada temperatura se sumerge en el líquido de temple, donde permanece hasta su total enfriamiento. Este procedimiento se utiliza para templar piezas no complejas de aceros al carbono y aleados. En este caso, para los aceros al carbono de más de 2 – 5mm de diámetros, de medio de enfriamiento sirve el agua, y para los de dimensiones menores y para muchos aceros aleados, el medio de temple es el aceite. Este procedimiento se emplea en el temple mecanizado, en el cual las piezas que salen del horno entran automáticamente en el líquido de temple.

Cuando las piezas son más complejas deben emplearse otros procedimientos de temple. Para disminuir las tensiones internas, las piezas, a veces, no se sumergen inmediatamente en el líquido de temple, sino que se enfrían durante cierto tiempo en el aire, es decir, se preenfrían. Este procedimiento se llama temple con preenfriamiento.

Tratamiento Térmico de Revenido.

Uno de los orígenes de la aparición de grietas en las piezas templadas es la presencia de tensiones internas producto de la transformación martensítica. Para evitar este defecto es necesario aplicar el tratamiento térmico de revenido posterior al temple. Su objetivo es eliminar las tensiones internas y estabilizar la estructura martensítica.

Tipos de Revenido.

- *Revenido Bajo:* Se realiza en el intervalo de temperatura de 150ºC a 250ºC. Se utiliza para todos los aceros de herramientas de alto contenido de carbono. Prácticamente no disminuye la dureza, pero disminuye las tensiones internas y parte de la austenita residual.

-Revenido Medio: Se realiza a 350 – 450ºC. Es muy utilizado en muelles y resortes. Disminuye bastante la dureza y se eleva la tenacidad. Se obtiene una estructura de troostita de revenido. También se puede utilizar en herramientas que deban tener buena resistencia con suficiente elasticidad.

-Revenido Alto: Se realiza a 500ºC – 650ºC. En este proceso, la martensita se transforma en sorbita de revenido. Esta estructura garantiza una mejor combinación de resistencia y plasticidad del acero. En la sorbita de revenido la cementita adquiere forma granular, a diferencia de la obtenida en un normalizado. Como consecuencia de esto se eleva notablemente la resistencia con la misma dureza o aún más elevada con relación al acero normalizado. Este tipo de revenido se emplea para piezas de acero que estén sometidas a elevada fatiga o cargas de impacto [20].

3.3 Evaluación económica

En este epígrafe se realiza una estimación de Costos y se analiza el por qué es más eficiente la fabricación y recuperación del pasador de la dirección del Ómnibus YUTONG en nuestro país.

A continuación se muestran los precios de las piezas de la dirección del Ómnibus YUTONG en el mercado internacional.

Tabla 3.2 Valores actuales de las piezas de la dirección del Ómnibus YUTONG en el mercado mundial.

Piezas.	**Cantidad de Piezas.**	**Costo de las piezas en el Mercado Mundial (CUC)**
Buje del Muñón	1U	5
Pasador del Pivote	1U	15
Muñón Izquierdo	1U	95
Muñón Derecho	1U	95
Conjunto del Pivote completo	1U	210

Estos son los precios actuales en el mercado mundial en lo que se refiere a las piezas de la dirección del Ómnibus YUTONG, es válido destacar que los grandes fabricantes de dichas piezas en muy pocas ocasiones ponen en el mercado libre estos productos por separado, ya que en la mayoría de los casos lo que venden es el conjunto del la dirección íntegro, lo que da paso a una problemática en nuestro país, ya que la gran mayoría de los Ómnibus que se encuentran en nuestro poder sufren rotura por desgaste del Pasador de la dirección, manteniéndose en óptimas condiciones toda la dirección, por lo que estamos obligados a invertir gran cantidad de dinero para poder obtener una pequeña pieza como lo es el pasador.

A continuación se muestran los precios referidos a los costos de fabricación del pasador:

Lista oficial de precios.

- Valor del acero por Tonelada comprado en el exterior.

1T ----1 055 CUC

En este punto se puede decir que para 1T de acero que compramos en el exterior podemos fabricar en nuestros talleres un total de 250 piezas, basándonos en el hecho de que cada pieza original tiene un peso de aproximadamente de 4 kg y las barras del material en bruto presenta un diámetro de aproximadamente 53 mm.

Tomando en cuenta que si vamos a adquirir cada una de estas piezas en el mercado mundial tendríamos que invertir un total de 3 750 CUC, eso es despreciando el hecho que los grandes fabricantes de dichas piezas no la venden independiente y tenemos que comprar el conjunto del pivote completo, por lo cual habría que invertir en la compra del conjunto del Pivote gran cantidad de dinero.

- Fabricación de la pieza.

Tipo de servicio: Maquinado del semiproducto.

En este se incluyen todos los costos relacionados al maquinado como lo son, el corte de las barras en secciones estándar al tamaño de la pieza, cilindrado, rectificado…entre otras. También se incluyen todos los costos relacionados con el consumo de energía eléctrica y por conceptos de mano de obra, por lo que para maquinar 250 piezas en nuestros talleres, tendríamos que invertir aproximadamente un total de 100 CUC.

$$\sum C_P maq. = C_P Hc + C_P MH + C_P DAI + GastosSPVP + Gotros$$

$Donde$:

$\sum C_P maq$ -Costos de producción mediante el proceso de maquinado.

$C_P Hc$ - Costos de producción por conceptos de Herramientas de corte.

$C_P MH$ - Costos de producción por conceptos de Máquinas herramienta

$C_P DAI$ - Costos de producción por conceptos de dispositivos, accesorios e instrumentos de medición

$GastosSPVP$ - Gastos de salario del personal vinculado a la producción.

$Gotros$ - Otros gastos (energía eléctrica, combustibles, lubricantes, etc).

Tipo de servicio: Tratamiento Térmico.

A continuación se muestran las tarifas por tonelada de Tratamiento Térmico para las piezas y herramientas de aceros especiales y al carbono que incluyen los siguientes servicios.

Tabla 3.3 Tarifa por tonelada de Tratamiento Térmico para las piezas y herramientas de aceros.

Servicio Brindado.	**CUC por cada T**
Cementación	580
Temple	285
Revenido	200

Observaciones:

La presente tarifa ampara lotes de piezas o herramientas iguales o superiores a 1T.

Según el posterior Tratamiento Térmico realizado al pasador y siguiendo las normas establecidas que rigen los costos de dicho tratamiento podemos decir que para realizar dicho servicio habría que invertir un total de 1 065 CUC por cada tonelada, en el que se incluyen:

Cementación ----580 CUC

Temple -----285 CUC

Revenido ----200 CUC

$$\sum TT = Cementación + Temple + \mathrm{Re}venido$$

Por lo que para fabricar y darle el tratamiento requerido a 250 pasadores que equivalen a 1 tonelada tendríamos que invertir un total 2 220 CUC, lo que trae como beneficio un ahorro considerable de dinero al país, el cual contribuye a la reducción de importaciones ahorrando en cada tonelada que se fabrique en nuestro país un total de 1 530 CUC. Esto demuestra la rentabilidad económica de la producción industrial del Pasador.

$$\sum Ctotal = Cmaterial + \sum C_p maq + : \sum TT$$

CONCLUSIONES

- El proceso de estudio y caracterización permitió establecer que el acero con el que se fabrica el Pasador del Pivote, se puede homologar como 18XГ, según la norma GOST y como un acero 5120, según la norma AISI.
- El Pasador tiene una dureza superficial de 60 HRC hasta una profundidad de 0.8mm y su núcleo posee una dureza de 35 HRC, lo que induce a suponer que fue sometida a un tratamiento de cementación seguida de Temple y Revenido Bajo.
- Para fabricación del Pasador del Pivote de la dirección del Ómnibus YUTONG se propone el maquinado que incluye Torneado, Fresado y Rectificado seguido de Cementación con Temple y Revenido Bajo.
- La fabricación del Pasador del Pivote de la dirección del Ómnibus YUTONG en nuestro país puede reportar un ahorro de 1 530 CUC en cada tonelada que se fabrique.
- La principal afectación que invalida el tiempo prolongado de servicio del pasador de la dirección de Ómnibus YUTONG en nuestro país, es el efecto del desgaste que se produce en la superficie de dicho pasador.

Recomendaciones.

Teniendo en cuenta la relevancia actual se recomienda:

1. Continuar el estudio de la caracterización del material del pasador del pivote de la dirección del Ómnibus YUTONG, con vista disminuir las importaciones al país.

2. Realizar el proceso de Cementación con gas para producciones en series del Pasador ya que esta permite reducir el tiempo de operación con mayor productividad.

.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Colectivo de Autores, *Desgaste de los cuerpos sólidos.(Tribología: Fricción, Desgaste y Lubricación), 2008.*.
2. Zúev, V., *Tratamiento térmico de metales* 1986.
3. G. Hilly, *Curso Básico de metalurgia y siderurgia*. 1960.
4. Gordon, J., *Tecnología de Tratamientos Térmicos* 1985.
5. Victor Jorochailov , *Teoría y Tecnología del tratamiento superficial del acero1980*
6. Barrero, J.A., *Tratamiento Térmico de los aceros.* 1966.
7. Pérez, I.F.M., *Teoría y Tecnología del Tratamiento Térmico*.1966
8. Smith, W.F. *Ciencia e Ingeniería de los Materiales*.1980
9. Yu.M.Lajtin, *Metalografía y Tratamiento Térmico de los Metales.* 1985.
10. A.P.Guliáev, *Metalografía.* 1978.
11. Alpizar. *Apuntes acerca del tratamiento Térmico y la clasificación general de los aceros.*(Noviembre 2004),
12. Adenek Vyslovzil, *Ciencia de materiales para ramas de metales*. 1971.
13. Colectivo de Autores, *Prontuario Metalotécnico1966*
14. Colectivo de Autores. *Tratamiento térmico*.1971
15. Colectivo de Autores., *Ciencia de Materiales*1990.
16. Yu.Lajtin.B.Arzamásov, *Tratamiento quimicotérmico de los metales.* 1985,

17. Colectivo de Autores., *Wikipedia La Enciclopedia Libre, Aceros.*

18. Peréz and J.G. Cintra, *Teoría y Tecnología del Tratamiento Térmico.* 1985.

19. Jorochailov, V. and J. Gordon, *Teoría y Tecnología del Tratamiento Térmico de los aceros1985.*

20. Kirvosov, V., *Medición de fuerza y Dureza*. 1983.

21. Colectivo de Autores, *Base de datos www.matweb.com.*

22. Handbook, A., *Properties and Selection: Irons, Steels and High Performance Alloys*.

23. Colectivo de Autores *Tablas SAE-AISI, Aceros al Carbón, Aceros Aleados de Maquinarias y Herramientas Aceros Inoxidables*.

24. Yu.Lajtin.B.Arzamásov, *Tratamiento quimicotérmico de los metales.* 1985

ANEXOS

Anexo I

En la siguiente tabla aparecen las recomendaciones en cuanto a la microestructura, concentración de carbono y nitrógeno, así como la dureza de piezas cementadas y nitrocementadas.

Proceso Termoquímico	**Espesor de la capa mm**	**% de Carbón y Nitrógeno**			**Microestructura con aumento de 500 X**	**Dureza.**
		C para la profundidad de		**Nitrógeno**		
		0,1 mm	**0,2 mm**			
Cementación	0,5 – 0,7	0,85-1,1	0,75-1,0		Martencita+Cementita +Bainita	59 - 63
	>0,7		0,75-1,0		Martencita+Cementita	62 - 64

Anexo II Cementación en Carburizador sólido.

Composición del Carburizador	**Temperatura 0_C**	**Permanencia total h**	**Espesor de la capa mm**	**Observaciones.**
Carbón vegetal mezclado con 20-25 % $BaCO_3$y 3,5 – 5 % $CaCO_3$	930 -950	4 - 15	0,5 – 1,5	La caja se carga en el horno el cual puede estar a 600 -700 o_C para la mejor manipula-ción o a la temperatura de trabajo. El enfriamiento siempre al aire sin destapar la caja.
Carbón de piedra, semicoque mezclado con 10 -15 $BaCO_3$ y 3,5$CaCO_3$	930 -950	4 - 15	0,5 – 1,5	

El tamaño de la partícula de Carbón es de 5 – 10 mm y humedad no mayor de 5 – 6 %.

La mezcla de trabajo consiste de 25 – 30 % de carburizador nuevo y 70 – 75 % del ya usado.

A la mezcla de trabajo se le agregan cada vez 5 – 7 % $BaCO_3$.

Anexo III

Elementos aleantes	**Influencia del elemento aleante sobre.**		
	Concentración de Co	**Coeficiente de difusión D**	**Espesor de la capa X**
Mn	Aumenta	Disminuye poco	Aumenta
Cr	Aumenta	Disminuye poco	Aumenta
Mo	Aumenta	Disminuye	Aumenta
W	Aumenta poco	Disminuye poco	Influye poco
Ni	Disminuye	Aumenta	Disminuye
Si	Disminuye	No influye notablemente	Disminuye

Anexo IV Datos tecnológicos para la cementación gaseosa.

Carburizador	Temperatura ^oC	Permanencia	Espesor de la capa mm	Observaciones
Atmósfera endotérmica alrededor de (20% de CO, 40% de H_2, 40$ de N_2)+ hasta 5% de CH_4	930 - 950	6 -10	0,7 – 1,5	El proceso se realiza en un horno adecuado con una presión constante de 25 – 30 mm deH_2O. El enfriamiento se realiza directamente en el medio de enfriamiento o en el horno.
Gas obtenido a partir del Kerosén, alcoholes y otros líquidos hidrocarburos suministrados directamente a la cámara de trabajo.	930 - 950	4 -10	0,8 – 1,6	Se realiza el proceso en hornos de pozo o de cámara. Las piezas se introducen estando el horno a 930 – 950 ^oC. Antes de la cementación debe alimentarse todo el aire mediante el soplado El enfriamiento directa-mente en el medio de enfriamiento, el aire o conjuntamente con el horno.

Anexo V Principales defectos en la cementación y sus soluciones.

A continuación se hace un resumen de los principales defectos que generalmente se obtiene al cementar, indicando sus causas posibles y soluciones.

Defectos	Causas	Observaciones	Soluciones
Dureza insuficiente y puntos blandos.	Acero de mala calidad	Los análisis no se hacen, se observan segregaciones.	Hacer regularmente análisis del material.
Dureza insuficiente y puntos blandos.	Cementación insuficiente	El punzón atraviesa débil la Capa cementada. (La punta de diamante en el ensayo)	Separar bien las piezas dentro de las cajas. Controlar adecuadamente la operación mediante testigos.
Dureza insuficiente y puntos blandos.	Superficie descarburada, temple inadecuado.	Ensayos de dureza no satisfactorios	Vigilar estanqueidad de las cajas. Regular la atmósfera en los hornos.
Dureza insuficiente y puntos blandos.	Cementación inadecuada.	Dureza insuficiente en la capa, los gases no difunden	Hacer ensayos del cementante. Limpiar las cajas de incrustaciones. Recoger el cementante.
Dureza insuficiente y puntos blandos.	Temperatura de cementación o Temple inadecuado	Capas irregulares	Modificar forma de calentamiento.
Deformación de la capa cementada.	Cementante muy enérgico. Capa muy profunda temperatura elevada.	Se observa presencia de cementita libre y brusca variación en el % de C entre la capa y el núcleo.	Cementante adecuado no calentar enérgicamente ni sobrepasar los 950℃
Fragilidad	Sobrecalentamiento del metal a cementar o templar	Rotura cristalina. Falta de tenacidad.	Hacer un temple doble. Evitar secciones delga-das o irregulares. Revenir a 180-200℃ durante ½ h
Desconchado	Variación en el volumen durante el calentamiento. Piezas largas mas sostenidas	Las piezas no se pueden utilizar en este estado	Vigilar temperatura. Utilizar soportes adecuados. Templar observando un eje simétrico.

Anexo VI Alimentación de kerosenо recomendadas para la cementación en distintos tipos de hornos.

Temperaturas	**Tipos de hornos.**					
	4.25	**4.35**	**4.60**	**4.75**	**4.90**	**4.105**
	Goteos por minutos.					
Durante el calentamiento desde 800℃ hasta 920 - 950℃	20-40	40-50	70-80	90-100	120-140	160-180
Durante el calentamiento a 900℃	60-70	70-80	110-130	160-180	200-220	240-260

Anexo VII

Tipo de horno	**Alimentación de kerosenо en el período inicial.**		**Alimentación de kerosenо (gotas por minutos) en el periodo final.**
	g/min	**Duración en horas**	
Mg 25, Mg 35	70-80	2-3	20
Mg 60, Mg75	100-120	2-3	30-40
Mg 90, Mg105	200-300	2-3	50-70

Anexo 9

CARTA TECNOLÓGICA DE TRATAMIENTO TÉRMICO

NOMBRE DE LA PIEZA	No. DE LA PIEZA	CANT. DE PIEZAS	CANT. DE HOJAS	
Pasador			1/2	

PASOS DE LA PIEZA EN FÁBRICA		CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LA PIEZA	
No	**OPERACIONES**	**MATERIAL**	**MARCA**
1	CEMENTACIÓN	ACERO	18XGT
2	TEMPLE		
3	REVENIDO		
4			
5			
6			

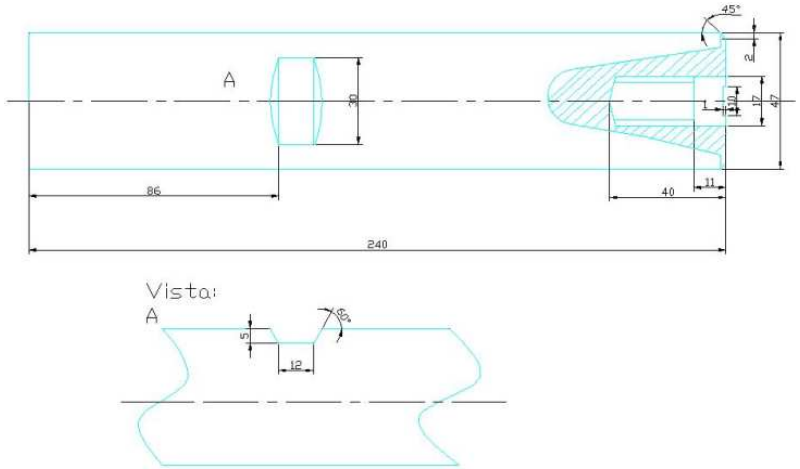
EXIGENCIAS TÉCNICAS

DUREZA	**SUPERFICIE**	**58-62 HRC**
	NÚCLEO	**28-32 HRC**
PROFUNDIDAD DE LA CAPA CEMENTADA		**0.8-1.0 mm**
TOLERANCIAS PARA DEFORMACIONES		**±0.02**

OBSERVACIONES:

Colocar las piezas de forma vertical para minimizar deformaciones

CROQUIS DE LA PIEZA



No	OPERACION	EQUIPO	DISPO-SITIVO No	CANTIDAD DE PIEZAS			REGIMEN DEL PROCESO					MEDIO DE CALENTAMIENTO O ENFRIAMIENTO			CANT. DE HOJAS
				CANT. DE DISPOS.	CANT. DE PIEZAS POR DISPOS.	TOTAL DE PIEZAS POR CARGA	T C°	TEMPERATURA/TIEMPO (MIN)				MEDIO	FORMA	T C° ENFRIA-DOR	$2/2$
								1 er. PREC.	2 do PREC.	FINAL	TOTAL				
1	Cementación		1	1	40	40	930	$700/20$ min	$850/1h$	$900/6h$		Carbono MINERAL	Vertical	24	
2	Temple						840	700	-	-	-	Aceite	Vertical	24	
3	Revenido						$280/1h$	-	-	-		Aire			