

Universidad Central Marta Abreu de Las Villas

Facultad de Ingeniería Mecánica

Tesis presentada en opción al grado Académico de
Master en Ingeniería Mecánica, Mención Procesos de
Manufactura

Título: ``Fabricación de Boquillas de Quemadores de
Alta Durabilidad

Autor: Ing. Germán Chevalier Agüero

Tutor: Dr. Ing. Norge Coello Machado

Santa Clara 2006.

RESUMEN

Este trabajo da respuesta a uno de los problemas energéticos nacionales más importantes de nuestros tiempos, ya que más del 50% del combustible que se consume en Cuba se destina a la combustión y toda mejora en este sentido se ve multiplicada a lo largo del País.

Su campo de acción está estrechamente vinculado con la eficiencia de los sistemas de combustión y toca de manera directa la fabricación y explotación de boquillas de quemadores en Cuba.

El trabajo se apoya en la elaboración de tecnologías de identidad nacional para la fabricación de boquillas de quemadores, que incorporan las características positivas de las boquillas del primer mundo, tiene en cuenta las particularidades de los combustibles que aquí se consumen y profundiza en las condiciones de explotación en la industria, para garantizar la mejora constante de la calidad y durabilidad de estos productos.

La necesidad de una referencia actualizada procedente del primer mundo llevó a transitar desde un inicio simultáneamente por tres caminos:

1-El estudio de los prototipos de boquillas importadas, de altísimo precio en el mercado mundial, aplicando las técnicas de ingeniería inversa en los laboratorios.

2-La profundización en la bibliografía técnica y materiales actualizados sobre los distintos temas que se abordan en estas tecnologías.

3-Valoración crítica de las insuficiencias que presentaban las boquillas en explotación a partir de los diagnósticos de fallas, comprobados en el terreno nacional y la búsqueda de las causas posibles que originaron estas fallas.

Con estos criterios se pudo considerar ¿Qué propiedades eran suficientes? Y ¿Cuáles debían ser aumentadas?

Apartir de estas interrogantes se asumieron las tecnologías y sus modificaciones para lograr resultados equivalentes en una primera etapa y superiores totalmente en una segunda etapa a las de las boquillas importadas.

Se proyectaron y realizaron un conjunto de ensayos de laboratorio y pruebas en la industria que permitieron concretar los valores de los parámetros tecnológicos más importantes e introducirlos luego de manera inmediata y con excelentes resultados en los procesos industriales.

Todos estos resultados técnicamente bien fundamentados han sido tomados en cuenta por los distintos niveles técnicos y políticos del país para considerarlo como “el nacimiento de tecnologías nacionales para la fabricación de boquillas de quemadores de alta durabilidad.”

El trabajo cuenta con el reconocimiento otorgado por el CITMA como “Logro científico técnico anual” por el aporte económico en la provincia Villa Clara y “Logro del quinquenio 91 -95”, el aval de presentación en gran número de eventos nacionales e internacionales y el primer lugar nacional en el 5º FORUM DE CIENCIA Y TECNICA.

INTRODUCCION.

La fabricación de boquillas de quemadores en Cuba para el consumo nacional resulta un tema relativamente joven, aunque se pueden enumerar ciertos antecedentes que recogen experiencias, en algunos casos amargos por no contarse con una verdadera cultura constructiva sobre este campo en los inicios.

Abordar todo el trabajo desarrollado y sus resultados en un informe de tesis de maestría se considera imposible, teniendo en cuenta las limitaciones de extensión que se establecen en estos tipos de documentos. No obstante en esta tesis de maestría, se ha recogido un conjunto de elementos básicos que puedan mostrar criterios, acciones y resultados capaces de convencer sobre el valor técnico, científico, político y económico que tiene para Cuba las tecnologías de fabricación de boquillas de quemadores de alta durabilidad.

Problema práctico a resolver:

Creación de un sistema de tecnologías integrales que permitan la fabricación en la industrias de boquillas de quemadores con alta durabilidad y calidad constructiva asegurada, a costo de fabricación considerablemente inferior a las importadas, adecuadas para el trabajo con los combustibles cubanos y con el menor impacto contaminante sobre el medio ambiente.

Problema científico a resolver:

A) Identificación de las causas que provocan las cortas vidas de servicio de las boquillas para quemadores importadas y algunas nacionales durante su periodo de explotación en la industria y determinar las acciones sobre las mismas.

B) Aplicar los principios de carburización profunda y supercarburización sobre aceros del tipo 20X13 a la superficie interior de los agujeros, buscando la relación del comportamiento entre superficies interiores y exteriores, y la influencia de las variables que intervienen a fin de permitir los controles indirectos sobre los procesos industriales de forma práctica y sencilla. Esto permitiría predecir y comprobar las capas difundidas en el interior de los agujeros.

Objeto de trabajo:

Elevar la cultura técnica cubana en el campo de fabricación de boquillas de quemadores a partir de la creación de tecnologías integrales con la actualización e incorporación de conocimientos técnico y científicos que le permitan responder a las exigencias organizativas, económicas, políticas y medioambientales que reclama el País en estos días. Simultáneamente producir en Planta Mecánica las boquillas de quemadores más críticas de adquirir en el mercado internacional para la industria del territorio.

Objetivos:

a) Identificar y enumerar los problemas principales que ha presentado y presentan la explotación y la fabricación de boquillas de quemadores en Cuba.

b) Establecer e introducir un conjunto de criterios teóricos en el campo de la calidad y sus formas de controles, que no se manejan en la fabricación de boquillas dentro del limitado número de empresas que han acometido esta tarea.

c) Desarrollar tecnologías capaces de garantizarla fabricación de boquillas atendiendo a:

-Alta calidad general y durabilidad de servicio.

-Costo de fabricación y venta considerablemente bajo en comparación con los precios del mercado internacional.

-Aseguramiento de un trabajo estable con los crudos cubanos altamente corrosivos y erosivos.

d) Que cada aporte técnico o científico con sus resultados sea introducido de manera inmediata y fácil para su ejecución, con parámetros muy claros que permitan su total y efectivo control, así como su aporte de forma cuantificable.

e) Identificar los problemas mas directos que se confrontan en la explotación de las boquillas respecto a sus incidencias sobre el medio ambiente, y se definan las soluciones exponiendo los resultados parciales.

Hipótesis:

El proceso de explotación de boquillas de quemadores en Cuba presenta particularidades nacionales que tienen que ver directamente con los tipos de combustibles que aquí se consumen y las condiciones de explotación en las empresas cubanas, en particular merece una atención especial la presencia en forma de mezclas o el uso puro de crudos cubanos.

Teniendo en cuenta los diagnósticos de fallas registrados, una causa importante a considerar para la vida útil de la boquilla, puede ser el efecto erosivo que provocan los combustibles sobre los conductos. Por tanto los tratamientos termoquímicos de carburización profunda y supercarburización (ya probados en inyectores de motores diesel según la patente ASTM-A335-P3B) dirigida a la superficie interior de los conductos podría elevar la resistencia al desgaste erosivo en aceros de alto cromo, como el 20X13 en diez o mas veces.

Novedad científica:

Identificación del desgaste erosivo de los conductos del combustible como la causa principal de falla en boquillas importadas o de producción nacional durante el periodo de vida útil de servicio.

El aumento de la durabilidad de las boquillas hasta diez veces o más aplicando los procesos de carburización profunda y supercarburización a la superficie interior de los conductos con predicción de capas según la relación del diámetro y la longitud del agujero para cada proceso y tipo de boquilla

Principales tareas:

- 1) Identificar la problemática de la fabricación y explotación de boquillas en Cuba y sus antecedentes.
- 2) Establecer un conjunto de criterios teóricos y prácticos que se deben introducir en los procesos de fabricación de boquillas para lograr resultados superiores en todos los sentidos.
- 3) Desarrollar experimentos de laboratorios capaces de concretar los parámetros tecnológicos para los procesos industriales y su control
- 4) Realizar un estudio bibliográfico actualizado a fin de incorporar aquellos conocimientos o resultados de punta necesarios para elevar la calidad y rigor de este trabajo.
- 5) Incorporar al aseguramiento de la calidad constructiva el mejoramiento de la maquinabilidad del acero 20X13 y la utilización de los dispositivos flexibles en el proceso de maquinado.
- 6) Aseguramiento de la durabilidad mediante la adecuación y uso de patentes ya comprobadas en el campo de los tratamientos térmicos y termoquímicos.

7) Asegurar un sistema de control de calidad capaz de superar las deficiencias e insuficiencias de un gran número de tecnologías existentes en nuestras industrias para la fabricación de estas piezas de repuesto.

8) Valoración de la incidencia económica y medioambiental con ejemplos prácticos reales, dados por la aplicación del trabajo en casos concretos de la industria.

9) Caracterización de la capa carburada y supercarburada sobre acero 20X13 e interpretación de su proceso de formación.

Valor Metodológico:

Está dado por el aporte de los conceptos, el orden en que deben ser aplicados y los parámetros de referencia con los que se pueden organizar el proceso productivo de fabricación de boquillas y predecir los resultados. Este documento posibilita elaborar de manera muy precisa los procedimientos e instrucciones de trabajo acorde con la ISO 9000 para un caso concreto en cualquier industria.

El documento es explícito en cuanto a los procesos experimentales prácticos y de laboratorios posibilitando reproducir nuevas experiencias utilizando estas referencias y sacar conclusiones comparativas.

Valor Práctico:

Esta en todo el conjunto de conocimientos y resultados experimentales industriales y de laboratorio que han sido llevados de manera fácil al proceso de fabricación de boquillas de quemadores en la empresa Planta Mecánica, resolviendo un problema grave a industrias del territorio y en general al país. Se han fabricado boquillas de quemadores con un resultado práctico significativo en el funcionamiento y durabilidad superior a las recibidas del primer mundo.

Resultados principales:

A. Se identificó como causa principal que provoca la destrucción prematura de las boquilla importadas, la baja resistencia al desgaste por erosión, jugando un papel fundamental la acción de los crudos Cubanos sobre toda esta problemática de desgaste acelerado.

Para el caso de otras boquillas producidas en algunas de las empresas cubanas, se pudo detectar de forma general una gran acumulación de insuficiencias constructivas no

admisibles en sus parámetros principales, que Independientemente de su deficiente durabilidad, no posibilitaba el correcto funcionamiento desde su puesta en marcha.

- B. Construcción y venta de de 11 tipos de boquillas de quemadores para Plantas de Fertilizantes, Termoeléctricas, Industria Textil, Industria del Cemento, Cervecería y algunos Centrales Azucareros. Los costos de fabricación y venta fueron muy bajos si se comparan con los precios de venta de las originales importadas que fueron sustituidas. En todos los casos la vida de servicio superó en diez o más veces a las que antes se utilizaban.

En empresas con controles estrictos y muy confiables, como la Planta de Fertilizantes de Cienfuegos, se registraron aumentos de vida de hasta 56 veces con la introducción de las boquillas cubanas.

- C. Se logró un manual de tecnología con toda su documentación para la fabricación en pequeñas series de 11 tipos de boquillas antes mencionadas. Estos documentos están disponibles para ser transferidos a otras empresas que deseen acometer esta tarea.
- D. Se introdujo y adecuó a nuestras condiciones industriales los procesos de carburización profunda y supercarburización en aceros del tipo 20X13 con gran efectividad en la formación de capa difusiva sobre los conductos de boquillas que antes registraban alto deterioro por desgaste .Para esto se tomó como base de apoyo la patente ASTM-355-P3B.

Se indicaron las diferencias micro estructurales para capas carburadas y supercarburadas en muestras testigos de acero 20 X13. Se aportaron además Criterios teóricos que pueden explicar las diferencias en la formación de uno u otro tipo de capa.

- E. Se consolidó un sistema de apoyo para el control de calidad con muchos ingredientes particulares para la fabricación de boquillas en Cuba. Se tiene en cuenta los tres momentos del control para el diseño del sistema y muy en particular la responsabilidad que se adquiere al fabricar estos tipos de piezas.

El concepto de proceso complejo que se le confiere a todas estas tecnologías va más allá de la complejidad de sus configuraciones geométricas o de las condiciones de trabajo. Está en línea con la responsabilidad y los niveles de peligrosidad que implica

su mala explotación o su incorrecta fabricación, así como los riesgos de pérdidas materiales o de vidas humanas que pudieran acompañar a estos errores.

F. Aseguramiento de mejoras en la maquinabilidad del acero 20X13 a partir de tratamientos térmicos intercalados y la comprobación mediante ensayos de comportamientos práctico según los indicadores de maquinabilidad más utilizados en la bibliografía técnica. Este aspecto tiene una notable incidencia sobre la calidad constructiva.

G. Arroja un saldo económico sustancial la aplicación de estas tecnologías. Existen posibilidades potenciales superiores que dependen de la generalización práctica que se pueda materializar. Tanto el aporte económico como el ahorro de los portadores energéticos se pueden cuantificar con mayor o menor exactitud en dependencia del rigor que sobre controles energéticos se tengan en cada empresa.

INDICE

RESUMEN-----

INTRODUCCION-----

DESARROLLO-----

CAPITULO---I

1— MARCO TEORICO Y ESTUDIOS INICIALES.

- 1.1- Referencias sobre boquillas atomizadoras.
- 1.2- Referencias sobre quemadores.
- 1.3- Combustibles líquidos de consumo nacional y su combustión.
- 1.4- Aplicación de las técnicas de ingeniería inversa en el estudio de las boquillas.
- 1.5- Análisis de la explotación de las boquillas y sus fallas.
- 1.6- Aplicación de diagramas de causas y efectos a la fabricación de las boquillas.
- 1.7- Tratamientos termoquímicos de carburización sobre acero 20X13.
- 1.8- Tratamientos termoquímicos de supercarburización sobre aceros de baja aleación.
- 1.9-Conclusiones parciales del capítulo – I.

CAPITULO---2

2.--- ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD CONSTRUCTIVA.

- 2.1- Mejoramiento de la maquinabilidad del acero 20X13.
- 2.2 - Criterios generales para el control dimensional de boquillas.
 - 2.2.1-Comprobación de las dimensiones determinantes según el tipo de boquillas.
- 2.3 - Tecnologías de maquinado aplicadas a producción de pequeñas series de boquillas.
 - 2.3.1- Tecnología de fabricación de boquillas BABCOX and WILKOC.
 - 2.3.2- Tecnología de fabricación de boquillas tipo Y de la textilera.
- 2.4- Conclusiones parciales del capítulo-2.

CAPITULO---3

3--- ASEGURAMIENTO DE LA DURABILIDAD.

- 3.1- Preparación previa y aseguramiento de los materiales para el tratamiento termoquímico.
- 3.2- Tecnología del proceso de carburización.
- 3.3- Tecnología del proceso de supercarburización.
- 3.4- Control de calidad para el tratamiento termoquímico.
- 3.5- Caracterización de las capas carburadas y supercarburadas.
 - 3.5.1- Identificación de las capas sobre probetas testigos.
- 3.6 -Pronósticos de capas para procesos de carburización profunda.
- 3.7- Conclusiones parciales del capítulo – 3.

CAPITULO -4

4--CONSIDERACIONES ECONOMICAS E IMPACTO SOBRE EL MEDIO AMBIENTE.

- 4.1- Análisis técnico-económico.
 - 4.1.1-Valoración aplicada en la Cervecería de Manacas.
 - 4.1.2-Valoración del ahorro en la provincia de Cienfuegos.
- 4.2- Impacto sobre el medio ambiente.
- 4.3- Elementos favorables que aporta la introducción de las boquillas de alta durabilidad en el territorio y el país.
- 4.4- Conclusiones parciales del capítulo – 4.

*COCLUSIONES GENERALES.

*RECOMENDACIONES

*BIBLIOGRAFIA

*ANEXOS

*AVALES

CAPITULO I

MARCO TEÓRICO Y ESTUDIOS INICIALES

1.1 - Referencia sobre boquillas atomizadoras.

La boquilla atomizadora, es el elemento destinado a pulverizar la columna o el flujo de líquido combustible que llega hasta el quemador, posibilitando la mezcla (combustible-aire), para garantizar la combustión. Su funcionamiento es más efectivo en la medida que las partículas en que se desdobra el fluido son más numerosas y de menor radio. Sólo a partir de determinados valores de la dimensión de la gota se logra la combustión total durante su trayectoria y antes que esta partícula toque el suelo. Los ángulos, las distancias y la trayectoria de las partículas son parámetros inherentes a la boquilla y el quemador, que juegan directamente con la cámara de combustión, donde se produce la llama, cumpliendo requerimientos dimensionales, proporcionales a la bóveda refractaria.

Cada boquilla tiene sus características de diseño y pueden basar su principio de funcionamiento, teniendo en cuenta el mecanismo mediante el cual atomizan el líquido combustible.

Atendiendo al criterio antes señalado las boquillas atomizadoras se pueden clasificar en:

1. Boquillas de atomización con fluido auxiliar (vapor o aire).
2. Boquillas atomización mecánica.
3. Boquillas de atomización por presión.

. Antecedentes.

La explotación y fabricación de boquillas de quemadores en Cuba.

A la hora de estructurar, organizar y concebir un sistema de control total de la calidad que permita la optimización del proceso de producción de las boquillas para quemadores de hornos, es necesario tener en cuenta una serie de requisitos, tales como:

- I- Complejidad de la boquilla a producir.
- II- Masividad de la producción. (Tipo de producción).
- III- Condiciones de trabajo.

I- La complejidad constructiva de la boquilla a producir. Tiene una influencia preponderante en el análisis preliminar del proceso de producción. Para su proyección constructiva las hemos clasificado en tres grupos:

- a) Boquillas simples: Estas poseen una configuración simple y regular, así como un principio de funcionamiento sencillo.
Se construyen mediante tecnologías de maquinado con máquinas herramientas universales, no poseen zonas roscadas y las exigencias en cuanto al acabado, ángulos y diámetros de agujeros no son rigurosas. A este grupo pertenecen las boquillas de la fábrica de cemento.
- b) Boquillas complejas: Poseen una configuración compleja, algunas presentan zonas roscadas, necesitan de una tecnología constructiva con el uso de dispositivo especiales para el barrenado de los agujeros, requieren un alto nivel de exigencia de acabados, ángulos y diámetros de agujeros así como necesidad de una coincidencia precisa en la confluencia de los conductos de combustible y vapor. Su principio de funcionamiento es simple. Dentro de este grupo tenemos la boquilla de la termoeléctrica. La de la Textilera de Villa Clara, Planta de Fertilizantes de

Cienfuegos, planta Termoeléctrica de Cienfuegos las de las antiguas calderas de la Cervecería de Manacas.

- c) Boquillas de alta complejidad: Son construibles mediante tecnologías especializadas y de avanzada como las máquinas de Control Numérico. Tienen un principio de funcionamiento complejo y requieren de un alto nivel de exigencia en cuanto al acabado, ángulos y diámetros de agujeros (generalmente con agujeros muy pequeños). Suelen estar formadas por diversos componentes entre los cuales se establecen como requisito de funcionamiento elevados grados de ajustes y tolerancias. Las boquillas de atomización por presión mecánica de bajos consumos son representantes de este grupo. Son muy aplicadas en Cuba las procedentes de la firma DANFOSS.

II-La masividad de la producción o tipo de producción: Es otro requisito fundamental a tener en cuenta a la hora de concebir el proceso de producción de las boquillas. La producción puede ser unitaria, en serie o en masa. En nuestro país actualmente funcionan las dos primeras variantes, aunque no se descarta la posibilidad futura de producir boquillas en masa a través del análisis de la producción de éstas en tornos revólver. El tipo de producción se relaciona directamente con el proceso tecnológico a producir.

Si la boquilla es simple y se produce en masa se recomienda el uso de tecnología por máquinas automáticas, si es en serie la tecnología ha de ser por máquinas convencionales y en el caso de una producción unitaria la tecnología será por máquinas convencionales.

En el caso de boquillas complejas, si la producción es masiva se utilizará una tecnología por máquinas automáticas con dispositivos de maquinado para los agujeros. Si la producción es en serie es recomendable el uso de una tecnología por Control Numérico con dispositivos de maquinado de los agujeros. En el caso de una producción unitaria es razonable usar una tecnología por máquinas convencionales como dispositivos de maquinado para los agujeros.

En cuanto a las boquillas de alta complejidad, si la producción es en masa es preciso utilizar una tecnología por máquinas automáticas, si la producción es en serie se aplica una tecnología por CNC, lo mismo es aplicable a la producción unitaria ya que es justificable el diseño de un programa de computación debido a la configuración extremadamente compleja de éstas boquillas.

III-El tercer requisito a tener en cuenta se basa en las condiciones de trabajo. Dentro de este acápite se incluyen una serie de aspectos como son:

- Combustible que se utiliza.
- Afectaciones del medio ambiente.

En cuanto al combustible que se utiliza, es necesario aclarar que en las condiciones actuales de nuestro país hay una inestabilidad grande con respecto al suministro de combustible. Hoy se trabaja con un determinado combustible, pero mañana es preciso trabajar con otro, ambos se almacenan en los mismos tanques a pesar de tener características diferentes en cuanto a sus parámetros fundamentales: velocidad de flujo, viscosidad, impurezas, presión, temperatura de precalentamiento, etc. Esto trae como consecuencia inestabilidad en el trabajo de las boquillas, por lo que a la hora de diseñar el proceso productivo, desde la selección del material hasta su puesta en funcionamiento hay que tener en cuenta todas estas influencias negativas

para que no repercutan de forma funesta en el resultado final. Las boquillas tienen que fabricarse de modo que soporten con flexibilidad el uso de los combustibles el tiempo más largo posible; sin afectaciones durante el funcionamiento o sea deben ser duraderas y confiables.

Las afectaciones del medio ambiente como son: altas presiones y temperaturas de atomización, erosión producida por el combustible que circula a altas velocidades y la corrosión producto de la combustión del mismo o al simple contacto del metal con el combustible líquido; traen consigo que se produzcan fenómenos adversos como erosión, corrosión, cavitación, fatiga térmica y otros que contribuyen al deterioro sistemático de las boquillas.

Todo este análisis general no es más que, como su nombre lo indica, una forma de definir una concepción del proceso, una guía para introducir al especialista en los principios fundamentales de diseño y construcción de boquillas. No obstante este proceso implica un nivel de especificación mayor que será tenido en cuenta en otros epígrafes y capítulos posteriores.

Las distintas partes de la pieza conllevando a que la misma falle durante su funcionamiento en las partes de menor resistencia.

Tampoco es recomendable, en nuestras condiciones de producción actuales, un semiproducto conformado, debido a que el proceso tecnológico se encarece puesto que la masividad de la producción no justifica la fabricación de una estampa.

Parámetros a considerar durante la valoración de los defectos y fallas en los quemadores.

Es importante, a la hora de realizar el control de la calidad, conocer la forma en que trabaja la pieza dentro del sistema, ya que esto indica que parámetros hay que mantener estrictamente sin variación ni cambio alguno y cuales pueden variarse por el tecnólogo diseñador.

El propósito de cualquier atomizador quemador de combustible es inyectar el interior del hogar en forma de una neblina muy fina.

Para lograr una combustión correcta del combustible líquido, es necesario garantizar una atomización adecuada del mismo, como aspecto fundamental.

La placa atomizadora o boquilla se mantiene en su posición contra la tobera de distribución, mediante el casquillo del extremo del atomizador que da al hogar. El otro extremo del atomizador se conecta a la alimentación del petróleo y vapor mediante mangueras flexibles, por medio de la conexión de doble corriente, de fácil acoplamiento, montada en el extremo de la pieza separadora.

Las boquillas, por la propia función que realizan están sometidas a un medio agresivo lo que implica características en el material como la dureza, el espesor de capa cementada y otras, que tienen que mantenerse dentro de un cierto rango para no afectar las características de calidad reales de las mismas.

Fenómenos que se manifiestan en las boquillas afectando su durabilidad.

- Corrosión: En el caso de las boquillas se enmarca dentro de la corrosión de los metales en medios no electrolíticos, Esto se reduce a la simple reacción entre el metal y el medio líquido agresivo. En el caso del keroseno y el petróleo los principales componentes corrosivos activos son el azufre y el agua.
- Cavitación: Ocurre cuando la presión de un líquido baja tanto que cae por debajo de la presión del vapor saturado y la composición interna del líquido deja de ser homogénea. En el líquido se forman burbujas y cuando la presión

aumenta nuevamente estas se llenan de líquido a una velocidad muy elevada, lo que provoca un ruido de estallido al desaparecer las cavidades.

- Erosión: Se provoca cuanto los líquidos en movimiento a altas velocidades originan desgastes continuos y desprendimientos de metal de la superficie de las piezas.

Estos fenómenos se presentan inevitablemente durante el funcionamiento de la boquilla, por lo que es imprescindible tenerlos en cuenta a la hora de diseñarlas y producirlas. Es por ello que se ha llevado a cabo el control de deterioro. Mediante la realización de este control se determinan los problemas fundamentales que se presentan en las boquillas durante su funcionamiento, lo que permite prever las roturas y por lo tanto tratar de evitarlas.

Parámetros a considerar durante la valoración del defecto y fallas en las boquillas.

a)- La presión de atomización.

La presión con que llega el líquido a la boquilla varía, lo que provoca que cambien las condiciones a que están sometidas las mismas, si la presión del combustible líquido es superior a la ideal, la boquilla deja pasar mayor cantidad que la requerida, produciendo un aumento en el desgaste de la misma, disminuyendo su vida útil.

b)- La calidad del combustible.

El combustible utilizado en nuestras instalaciones presenta impurezas debido a que no se ejecuta un filtrado correcto y a la ausencia de filtros en las boquillas, estas condiciones conducen a que se acorte considerablemente la vida de las boquillas.

c)- La temperatura del combustible.

Este va a estar expuesto a variaciones de temperatura, lo que implica ciertos problemas, por ejemplo: un tanque instalado en el exterior, puede estar sometido a altas temperaturas y a bajas temperaturas, esto trae consigo que el combustible líquido sufra cambios en su viscosidad óptima, lo que puede transformar la forma de atomización de la boquilla. En el caso de que la temperatura descienda lo suficiente aumentando la viscosidad y el combustible se espese ocurre que las gotitas de aceite se agrandan haciendo la llama más larga y lenta y por lo tanto la combustión se demora más tiempo, erosionando el material de la boquilla y aumentando por consiguiente su capacidad. Esto normalmente significa que la combustión se haga con hollín.

d)- La limpieza de las boquillas

Las boquillas deben almacenarse correctamente para evitar las suciedades y los daños, de modo que se obtenga una combustión óptima durante su funcionamiento.

En algunos casos se recomienda el cambio de la boquilla en lugar de su limpieza ya que es posible que el daño que esta tenga sea irreparable e introduzca errores en el ángulo y en el cono de pulverización, no obteniéndose una combustión óptima. No obstante existen instalaciones donde se chequean con periodicidad las boquillas aumentando la vida útil de servicio de estas.

Factores que determinan la calidad en la fabricación de boquillas.

1. Calidad constructiva: Está dada por los aspectos de la tecnología de maquinado y otros diversos factores inherentes a la producción.
2. Durabilidad de servicio: Lo permite la selección correcta del acero, adecuada aplicación de los tratamientos térmicos y la obtención óptima del complejo de propiedades físico-químicas y mecánicas.
3. Costo relativamente barato: El producto final debe salir a un costo muy inferior a las boquillas importadas, aún cuando su calidad sea superior.

1.2 – Referencias sobre quemadores.

Características generales de quemadores de para combustibles líquidos.

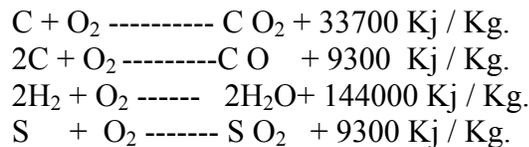
TIPO DE QUEMADOR	PRESIÓN DE COMBUSTIBLE	VISCOSIDAD COMBUSTIBLE (CST) (° ENGLER)	CONSUMO DE FLUIDO AUXILIAR. (Kg. / Kg. comb.)	PRESIÓN FLUIDO AUXILIAR (MPA)
MECANICA (sin retorno)	2—3	12 -21 2-3	-----	-----
MECANICA (con retorno)	2 - 3	12 -21 2-3	-----	-----
CON FLUIDO AUXILIAR(vapor) BAJA PRESIÓN DEL COMBUSTIBLE	0.2—1.2	38 -62 5-8	0.1 -1.0	0.05 -1.0
CON FLUIDO AUXILIAR (vapor) ALTA PRESION DEL COMBUSTIBLE	1.2 --- 2.0	12 -21 2—3	0.02 - 0.1	0.3 -1.0
CON FLUIDO AUXILIAR (aire) PRESION MEDIA.	0.2-0.7	21-62 3-8	0.3	0.15-0.8
CON FLUIDO AUXILIAR (aire)PRESIÓN MEDIA	0.01-0.15	12-62 2-8	0.4-0.5	0.05-0.15
CON FLUIDO AUXILIAR (aire)BAJAS PRESIONES	0.01-0.05	12-62 2-8	15-30% DEL AIRE TOTAL PARA LA COMBUSTIÓN	0.005-0.01
COPA ROTATORIA	NECESARIA PARA FLUJO	21-62 3-8	15-30% DEL AIRE TOTAL PARA LA COMBUSTIÓN	0.025-0.003

1.3 -Características de los combustibles líquidos y su combustión:

El proceso de combustión que tiene lugar en los generadores de vapor que queman combustibles líquidos, consiste en la rápida combinación química del oxígeno con los componentes combustibles del petróleo formado CO_2 y H_2O y desprendiendo calor. Los ingredientes principales son carbono o hidrógeno. El aire contiene oxígeno y nitrógeno cuando el vapor del combustible líquido se mezcla con el oxígeno del aire en las correctas proporciones, en presencia de una chispa, se producirá una llama que generará calor.

A primera vista no parecen existir grandes problemas en quemar un poco de combustible líquido, no obstante es más complicado de lo que parece, el combustible líquido debe quemarse con tan poco excedente de aire como sea posible para no generar hollín.

Cuando la combustión no es completa puede darse lugar a que quede carbono sin oxidar y a la formación de monóxido de carbono y otros compuestos con los que relacionamos a continuación



De donde se hace evidente la indeseable de la combustión incompleta.

Para garantizar una combustión completa debemos suministrar un exceso de aire al proceso tratando como mencionábamos anteriormente que sea lo menor posible porque podría incrementar las pérdidas por gases de salida.

En el gráfico No. 1 se plantea la pérdida q_2 , q_3 y q_4 , la sumatoria de las mismas y la eficiencia del generador de vapor para distintos excesos de aire (α) a una potencia fija, se decir nos brinda el exceso de aire óptimo para lograr la mayor eficiencia del generador de vapor.

La combustión debe ser controlada, para que este se realice eficientemente debemos constar con una buena instrumentación dentro de la cuál no deben faltar:

1. Analizador continuo de oxígeno en los gases.
2. Analizador continuo de monóxido de carbono en los gases.

El trabajo conjunto de ambos analizadores nos permite mantener el régimen de combustión óptimo para el generador de vapor.

Para optimizar la combustión debemos realizar diferentes diagnósticos de combustión que nos permita entre otros aspectos determinar los niveles óptimos de excesos de aire para las condiciones de nuestros generadores de vapor.

Las mayores eficiencias se obtienen para un rango determinado de exceso de aire, si esto lo hacemos para distintas potencias obtenemos el gráfico No. 2 donde se plantea la concentración de C O (monóxido de carbono) en los gases de salida y la sumatoria de las pérdidas para distintos excesos de aire ($\% \text{O}_2$). En él observamos que la mayor eficiencia se obtiene a distintos niveles de exceso para cada carga, sin embargo siempre ocurren en el mismo rango de conocimiento de C O formado. Pudiéramos pensar que lo mejor sería controlar la combustión solamente por la concentración de (monóxido de carbono) C O producido, en todo momento del trabajo del generador.

Como se observa en ambas curvas, para un mismo nivel de exceso de aire varía la concentración de CO (monóxido de carbono) en dependencia de las condiciones de operación de los equipos de combustión principalmente los quemadores. Durante el transcurso del trabajo del generador de vapor pueden deteriorarse sus condiciones de operación y usando ambas mediciones se puede detectar la existencia de condiciones anormales en la combustión.

El resumen, es necesario controlar ambas mediciones, oxígeno en exceso y concentración monóxido de carbono en los gases de salida, para obtener un adecuado control de combustión.

La combustión puede ser realizada en los generadores de vapor con la utilización de diferentes tipos de combustibles que pueden ser sólidos, líquidos y gaseosos.

El grado de preparación de cada uno de ellos, para ser quemadores, no es el mismo, en este caso se refiere a los combustibles líquidos.

Los combustibles líquidos utilizados en los generadores de vapor, pueden ser más o menos pesados, según su viscosidad, los menos viscosos o ligeros llevar muy poco o ninguna preparación, no ocurriendo así con los más viscosos o pesados.

Los principales combustibles líquidos que se consumen en el país son:

- Mazut – 40 (importado)
- Mazut – 100 (importado)
- Refino Nacional Cubano a partir del importado, puede tener hasta un 10% de crudo nacional.
- Crudo Nacional Cubano, Varadero

Según el tipo de quemador a utilizar se elige el método de preparación del combustible, para su mezcla con el aire, la cuál puede ser llevada a cabo por vaporización o atomización.

El combustible destinado a quemadores pasa por muchas fases antes de llegar al quemador de combustibles líquidos, cada fase origina un incremento de precio de venta final por tanto este combustible resulta más caro que entonces, pero a la par un producto refinado que posibilita el ser utilizado de mejor forma para conseguir una combustión efectiva.

Un requisito vital para una combustión es tener un cono de atomización perfecto.

Un combustible líquido necesita una gran superficie para hacerlo vaporizar siendo indispensable crear un área de combustible lo más extensa posible. Si el combustible se transforma en vapor rápidamente, las posibilidades de una combustión limpia y efectiva aumentan.

Si un combustible líquido en su estado líquido se fuerza a través de una boquilla, se disgregará en un astronómico número de gotas diminutas, las cuales al ser mezcladas con el aire formarán un vapor de combustible líquido.

De esta forma el combustible líquido se prepara para la combustión, al ser primeramente atomizado a través de una boquilla.

1.4 – Aplicación de las técnicas de ingeniería inversa en el estudio de las boquillas.

Llamamos técnicas de ingeniería inversa a un conjunto de ensayos y análisis de laboratorio, que aplicados sobre un grupo de piezas originales, nos permite conocer el tipo de material utilizado, las propiedades mecánicas más importantes, los procesos tecnológicos realizados, y el estado estructural final del material, a fin de poder reproducir repuestos similares en propiedades y durabilidad a las originales que los fabricantes nos ofertan.

Para lograr estos objetivos se seleccionaron grupos de boquillas originales de productores extranjeros y también algunas producidas en el territorio nacional.

Resultados de los estudios:

1 – Boquilla tipo Y procedente de la Termoeléctrica de Cienfuegos. (Unidad de 158 MW.)

- a) – Tipo de quemador. – (Atomización con vapor.)
- b) – Nivel de complejidad constructiva - (compleja.)
- c) – Nacionalidad – (Japón.)
- d) – Tipo de acero – (Equivalente al Gost. -20X13.)
- e) – Estado micro estructural. – (Troostita.)
- f) – Tratamiento térmico detectado. – (Temple con revenido alto.)
- g) – Valor de la dureza en condiciones de entrega. – (30 HRc.)
- h) – Criterio sobre su calidad constructiva. – (Alto nivel de precisión y de acabados.)
- i) – Precio en el mercado internacional. – 394.18 dólar/u

2 – Boquilla sopladora tipo Y de la planta de Fertilizantes de Cienfuegos.

- a) – Tipo de quemador. – (Atomización con vapor.)
- b) – Nivel de complejidad constructiva.- Compleja.
- c) – Nacionalidad – Inglaterra.
- d) – Tipo de acero – (Equivalente al Gost. – 30XHMA.)
- e) – Estado micro estructural. – Troostita.
- f) – Tratamiento térmico detectado – Temple y revenido alto.
- g) – Valor de la dureza en estado de entrega. 35 – 38 HRc
- h) - Criterio sobre su calidad constructiva. – Aceptable.
- i) – Precio en el mercado internacional. – 17.20 dólar/u

3 – Boquilla tipo Y de la textilera Desembarco del Granma.

- a) – Tipo de quemador – De atomización con vapor.
- b) – Nivel de complejidad constructiva. – Compleja.
- c) – Nacionalidad. – Japón
- d) – Tipo de acero. – (Sin homólogo en la GOST.)
- e) – Estado micro estructural. – Martensita + carburos.
- f) – Tratamiento térmico detectado. – Temple y revenido bajo.
- g) – Valor de la dureza en estado de entrega. 62 – 64 HRc
- h) – Criterio sobre su calidad constructiva. –Excelente.
- i) – Precio en el mercado internacional. – 425 dólar/u

4 – Boquilla Babkoc and Wilcox de la Cervecería de Manacas.

- a) – Tipo de quemador – De atomización con vapor radial.
- b) – Nivel de complejidad constructiva. – Compleja
- c) – Nacionalidad. – Hechas en los talleres de la Cervecería.
- d) – Tipo de material – Bronce laminado.
- e) – Estado micro estructural. – Solución sólida $\alpha + \beta'$
- f) – Tratamiento térmico detectado. – Ninguno.
- g) – Valor de la dureza en estado de entrega. – 0 HRc
- h) – Criterio sobre su calidad constructiva. – Muy deficiente.
- i) Precio en el mercado internacional. – No se conoce

1.5 –Control de la explotación de las boquillas y sus fallas.

1- Boquillas tipo Y de atomización por vapor pertenecientes a la planta de fertilizantes nitrogenados de Cienfuegos.

-Aumento del conducto por erosión

-Modificación por erosión de la tobera con cambios de la configuración del agujero de circular a ovoidal y alargamiento trasversal desde 3,5 mm hasta 4,2 mm.

2 – Boquilla de atomización por vapor tipo 6-Y -28- 43 de la termoeléctrica Carlos Manuel de Céspedes.(Unidad De 158 MW.)

Estas se controlan mediante bancos de prueba con sistematicidad, solo se produce desgaste en el conducto del combustible y se sustituyen antes de deformarse en la zona de la tobera.

3 – Boquillas de atomización por presión de hornos pequeños y calderas compactas. (Tipo Damfoss).

-Se aplican con ángulo de conos distinto a los que corresponden al diseño de la instalación. Se registran 6 tipos según los ángulos de conos.

-Se erosiona y deforma el agujero de salida en un tiempo demasiado corto, aunque prolongan su explotación fuera del periodo de servicio eficiente por la escasez de las mismas.

-Se registran tupiciones, debido a la falta de filtros adecuados en el sistema y la mala calidad en algunos suministros de combustibles.

4 – Boquilla de atomización con vapor del tipo Babcook and Wilcox.

-Están descontinuadas, trabajan fuera de parámetros y no garantizan totalmente una combustión limpia, provocaban acumulación de costras de combustibles sin quemar en el piso.

-Se deteriora el agujero central, por erosión acompañado de un aumento del gasto del combustible e inestabilidad en la regulación.

-Tienen configuración compleja y se producen en bronce con deterioro muy rápido, por las pobres propiedades del material seleccionado para este fin.

5-Boquilla de atomización con vapor tipo Y de la textilera (Desembarco del Granma.)

Desgaste del conducto de combustible por erosión; vida útil prolongada, y control mediante bancos de prueba.

6 – Boquillas para hornos de fabrica de cemento.

-Deterioro del agujero central por erosión con consumo de un alto % de crudo cubano Varadero.

7 – Boquilla de encendido para la textilera (Desembarco del Granma)

-Por su corto funcionamiento, no presentó afectaciones apreciables durante los controles.

8 – Boquillas para quemadores de fuel-oil de hornos de forja.

- Deterioro y desgaste disperejo por la erosión del combustible en el agujero central.

NOTA:

Es necesario aclarar que el control del deterioro es un argumento retroactivo, que debe tenerse en cuenta a la hora de conformar el proceso tecnológico, ya que nos permite distinguir las características de calidad real, pero a la vez hay que tenerla en cuenta al final del proceso como garantía de la calidad del mismo.

1.6 - Aplicación del diagrama de causa y efecto en la toma de decisiones.

El Diagramas de Causa y Efecto en nuestro caso resultó imprescindible para lograr los mejores resultados en el trabajo.

El Diagrama de Causa y Efecto es uno de los métodos más efectivos para determinar las causas que originan la aparición de defectos en los productos.

Los factores involucrados en los problemas de calidad de la empresa son incontrolables.

Los diagramas de causa y efecto resultan de gran utilidad en la selección y ordenamiento de las causas de la dispersión de la calidad y en la organización de las relaciones mutuas.

Esta técnica constituye una herramienta muy importante para el aseguramiento de la calidad de un producto partiendo del análisis de todos aquellos factores capaces de influir en una mayor o menor medida sobre la misma.

Tomando en cuenta aquellos factores que tienen la mayor influencia y actuando sobre ellos de forma positiva se pueden lograr cambios muy drásticos en el comportamiento del producto así como la elevación de su período de servicio.

Para el desarrollo de este trabajo se consideró como forma de organizar más adecuada la enumeración de las causas.

En la construcción del diagrama de causa y efecto del producto se parte de los elementos que caracterizan el proceso de producción y el control de posventa que son:

-El hombre, las mediciones, la tecnología, la materia prima, las máquinas y las condiciones de trabajo.

De esta forma el diagrama general quedaba estructurado así:

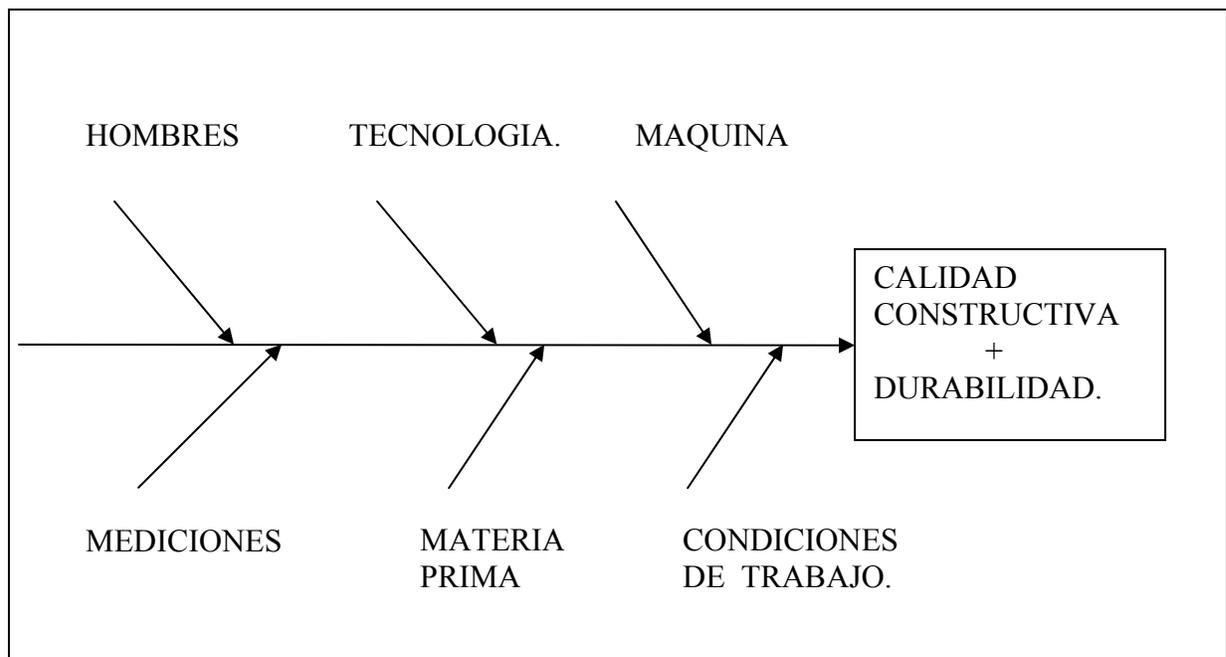


Fig. Diagramas de causa y efecto

Con esta estructura l quedó construido el diagrama general según el paso 3, y posteriormente se incorporaron todos los factores causales hasta quedar como se muestra en el anexo No-

Se analizaron todos los factores con todos y cada uno de sus componentes concluyéndose que la causa mas determinante en la corta vida de las boquillas extranjeras y cubanas era la pobre resistencia a la erosión que presentaban frente a la acción de los combustibles suministrados en cuba para la combustión. En este análisis se tomó como elemento principal los controles realizados en colaboración con la Empresa de Calderas en las provincias de Villa Clara y Cienfuegos. También se desarrollaron diferentes encuestas con el personal técnico, obrero y profesional, los cuales coincidían en el criterio causal sobre los mismos factores ya comprobados en los trabajos de inspección.

De igual manera se comprobó que la causa principal del mal funcionamiento de muchas boquillas fabricadas en empresas nuestras, era que no cumplían los requerimientos dimensionales ni las exigencias en los ajustes y tolerancias que indicaban sus planos de diseño, provocando en ocasiones configuración inadecuada de la llama que terminaba por destruir la bóveda refractaria.

1.7 Carburización profunda del acero 20X13 en carburantes sólidos

Se han utilizado recientemente aceros al cromo del tipo X13 en elementos de industria que poseen altas durezas superficiales, las que se obtienen por carburización.

Se ha investigado la carburización del acero 20X13 en carburantes preparados de carbón vegetal AR-3 y acetato de sodio ($\text{CH}_3\text{COON}_a \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) Los componentes secos son tamizados y mezclados en proporciones deseadas. La carburización es llevada a cabo en contenedores sellados. Se ha encontrado que la micro dureza en este caso es mayor cuando el carburizador contiene el 15% de acetato de sodio y la cubierta de la caja se sella con niveles de arena y ácido bórico.

El efecto de la temperatura de carburización y el tiempo en la profundidad de capa se muestra en la tabla1.

TABLA 1

Temperatura de carburización	Espesor de capa en mm despues de...(h)		
	4 h	6 h	8 h
900	0,35	0,49	0,56
950	0,56	0,67	0,84
1000	0,70	0,84	0,98

La temperatura de temple después de la carburización es un factor importante en la obtención de altas durezas superficiales. La dureza se hace mayor (66 ÷ 68 HRC) después

de un temple a 880 °C (después de haber carburizado a 950°C en 6 horas. Las condiciones de carburización también tienen un efecto sustancial en la dureza después del temple.

La principal característica del acero 20X13 es la resistencia al rojo. Después de aumentar la temperatura a 500°C por dos horas, la dureza es de 54 HRc. Esto hace posible utilizar al acero 20X13 carburizado como acero termo resistente.

La composición de fases químicas del caso se determina en muestras carburadas por 8 horas con carburizadores de 15 ó 30% de acetato de sodio. La característica de la capa difusiva después de la carburización es la de una zona inusual en la superficie, la profundidad depende de la composición del carburizador y de las condiciones en que se produce dicha carburización.

Se establece de esta forma una comparación entre la carburización normal (A) y la carburización profunda (B).

Para determinar la distribución de carbono y cromo en la profundidad de la capa, se utilizaron los análisis de secciones y espectral (figuras 1 y 2). Se observó que la concentración de carbono aumentó más allá de los límites de la zona oscura mostrando una difusión de superficies en el proceso de carburización.

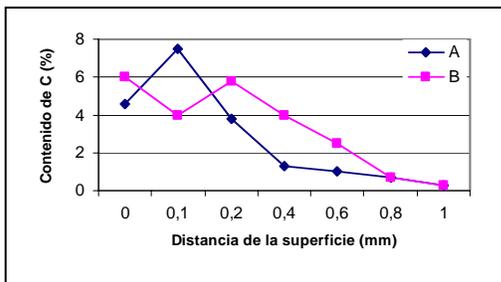


Fig- 1
Distribución del carbono en la capa.

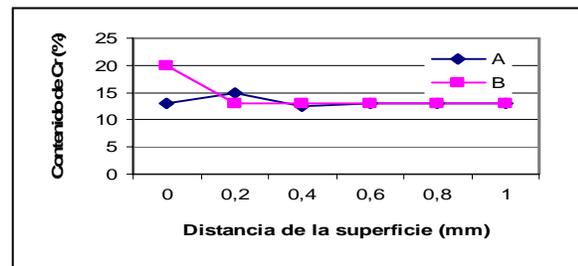


Fig. -2
Distribución del cromo en la capa.

Para el análisis de fases del caso en las muestras carburizadas a 950 °C por 8 horas y con posteriores temperaturas de temple en aceite (880 °C), se utilizó el difractor DROW-1.

Los patrones de rayos X se realizaron con radiaciones si filtrar K;Fe. La zona oscura contenía Fe₃C y FeCr₂O₄. La cementita sólo se observó en los niveles de superficie para la zona oscura.

Las dimensiones de las líneas de interferencia en la región 20-54-58° conduce a considerar que en el Fe₃C (en gran cantidad) están presentes la martensita tetragonal y la austenita retenida. La superposición de estas líneas hace que se complique las determinaciones cuantitativas. La estructura inicial de la zona oscura se explica por la baja estabilidad de la

austenita cuando el cromo se encuentre preferentemente en espinelas (FeCr_2O_4) debido a su gran afinidad por el oxígeno. En el proceso de enfriamiento para el temple en aceite la transformación a troostita puede ocurrir con la superposición de transformaciones bainíticas en un rango mayor de temperaturas, esto explica la alta intensidad de la línea (110°C). La aparición de la austenita retenida y martensita se debe al hecho de que la transformación de bainita en la región alta es acompañada por el enriquecimiento de carbono en la austenita sin transformar. Durante el mayor enfriamiento la austenita se transforma parcialmente en martensita los diagramas de rayos x de la muestra a una temperatura de 400°C presentan las líneas de la fase ;solamente, intensidad en la cual aumenta. Los resultados de análisis espectrales y metalográficos llevan a la conclusión de que el carbono en la zona oscura está parcialmente en forma de inclusiones de grafitos separados. Los análisis de rayos x en la zona oscura muestran la presencia de cementita sobre la base de composición química del nivel, esta presenta entonces la formula $(\text{Fe}_3\text{Cr})\text{C}$.

En los perfiles de las líneas de difracción de las muestras templadas con la cementita y $\text{Fe}(110)$ se superponen. La temperatura 400°C lleva a un incremento en la intensidad de la línea (110) de Fe; la cual se hace más estrecha (en que haya cambios en la intensidad de línea de cementita).

La distribución de micro durezas a través de la profundidad de análisis, se muestra en la figura 3.

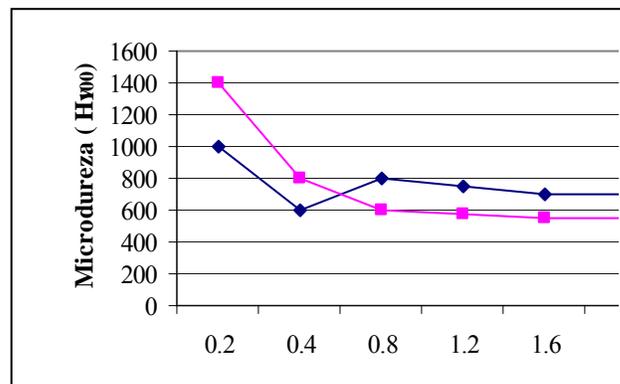


Fig. 3. –Distribución de dureza en la capa.

La caída de la micro dureza en las muestras empleadas al aire después de la carburización se puede explicar por la presencia y la precipitación de cantidades significativas de carburos durante el enfriamiento y empobrecimiento de austenita en cuanto a carbono y cromo.

Como resultado la austenita disminuye su estabilidad y se descompone en esta zona con formaciones típicas de la perlita.

Los resultados experimentales fueron usados en el desarrollo de procesos de carburización para herramientas y equipamientos de acero 20X13 en la Avtoprovod factory (localidad de Shchuchin, región de Grodno). La vida de servicios de cubo tratados aumento en un factor de 4 con relación a los concluidos a partir de aceros U10A.

1.8 Tratamientos termoquímicos. Carburización Profunda y Supercarburización

La Supercarburización o el proceso de Carburización sobre aceros de baja aleación, fueron desarrollados por O. Cullen en 1957.

En este proceso la concentración de carbono excede su límite de solubilidad en estos rangos de temperatura (o sea 1.2% C) en el acero puede llegar al 4%. Sin embargo los rangos de concentración usuales de carbono en la superficie son (1.8 hasta 2.2), (2.0 hasta 2.49), (2.4 hasta 2.8), y 3% mínimo.

Estos niveles de carbono pueden ser obtenidos mediante métodos convencionales de carburización tales como Pack has (caja de gas), estos utilizando gas enriquecido de hidrocarburo o metano mas nitrógeno, ambos a presión atmosférica y en vacío.

Las formas de las curvas, pueden variar con ajustes apropiados en el ciclo de tratamiento térmico. Este proceso es apropiado para aceros que contienen una cantidad apreciable de elementos formadores de carburos, especialmente el cromo y el molibdeno. Estos se incluyen en AISI 4118, 5120, 8620, 8720, 8822, 9310, y 52100.

El proceso consiste en calentar en una atmósfera carburante, preferentemente a una temperatura poco elevada (927 – 982 °C) equivalente (1700 – 1800 °F) de 2 a 5 horas, para que los carburos no se disuelvan completamente en la austenita, sino que permanezcan adheridos en la frontera de los granos, es decir bordeando los granos de austenita. Estos granos disuelven mas carbono y luego forman mas carburo al pasar por enfriamiento hasta una temperatura media de 677 °C – (1250 °F) con permanencia de una hora. Durante ésta permanencia la red de carburo se ensancha y aumenta.

Este ciclo de recalentamiento hasta la temperatura de 927 – 982 °C y el consiguiente enfriamiento a 677 °C se repite de 2 a 4 veces, finalmente las piezas se templen en aceite después de un calentamiento lo suficientemente alto para ser considerado temperatura de temple, por ejemplo: 816 °C – (1500 °F). Luego por intervalo de 0,5 a 1 hora se realiza el revenido a una temperatura de 177 °C (350 °F).

La tabla expuesta lista dos ciclos típicos de tratamiento de supercarburización (A y B) aplicado por ASTM – A 335 – P 3 B a un acero de composición:

(0,15 % C, 0,48 % Mn, 0,76 % Si, 0,20 % Ni, 2,08 % Cr, 0,52 % Mo, 0,008 % S, 0,02 % P y 0,03 % Cu).

Un análisis típico a una muestra de acero de baja aleación después de una carburización normal, temple y revenido, y después de una supercarburización, temple y revenido se comportan:

	Martensita (%)	Austenita (%)	Carburo (%)
Carburización Normal	81	14	5
Supercarburización	65	10	25

La estructura final del temple y revenido contiene un gran volumen de fracciones de carburo en los límites de los granos con cromo y molibdeno disipados en la matriz

Tabla No. 2: Ciclos típicos de Carburización A y B por ASTM – A · 355 – B38.

No	Tipo de operaciones	Ciclo A	Ciclo B
1	Carburizar a 927 °C (1700 ° F) ---	2 horas	2 horas
	Poner control a 677 °C (1250 ° F) *	-----	-----
	Trabajar con 677 °C (1250 ° F) ---	65 min.	75 min.
2	Poner control a 927 °C (1700 ° F) *	-----	-----
	Trabajar con 927 °C (1700 ° F) ---	40 min.	75 min.
	Carburizar a 927 °C (1700 ° F) ---	5 horas	5 horas
	Poner control a 677 °C (1250 ° F) *	-----	-----
	Trabajar a 677 °C (1250 ° F) ---	60 min.	80 min.
3	Poner control a 927 °C (1700 ° F) *	-----	-----
	Trabajar a 927 °C (1700 ° F) ---	40 min.	60 min.
	Carburizar a 927 °C (1700 ° F) ---	4 horas	5 horas
	Poner control a 677 °C (1250 ° F) *	-----	-----
4	Trabajar a 677 °C (1250 ° F) ---	-----	65 min.
	Poner control a 927 °C (1700 ° F) *	----	----
	Trabajar con 927 °C (1700 ° F) ---	----	60 min.
	Carburizar a 927 °C (1700 ° F) ---	----	5,5 horas
	Poner control a 816 °C (1500 ° F) ---	----	----
	Trabajar a 816 °C (1500 ° F) ---	15 min.	20 min.
	Mantenimiento a 816 °C (1500 ° F) ---	55min	30 min.
	Apagar hasta (120 ° F) ---	15 min.	20 min.
	Lavar y dar revenido 177°C (350 ° F) ---	3 horas	3 horas
	Comprobar dureza ---	65 HRc	67 HRc
	Contenido de Carbono en la superficie	2,75 % C	3,26 % C

Ventajas sobre la carburización convencional:

1. Mejora la resistencia al desgaste abrasivo en las bombas de inyección de máquinas Diesel.
2. Incrementa la vida útil en cuanto a resistencia a la fatiga en un 25 %
3. Aumenta la capacidad de resistencia superficial a las altas tensiones de contacto en piezas tales como engranes puntos de apoyo y rodamientos
4. Incrementa la resistencia si el NH 3 está presente en los ciclos de endurecimiento

CONCLUSIONES PARCIALES. CAP. -1

Estas precisiones que se plantean definirán los caminos del trabajo aportando claridad para desarrollar las tareas y permitiendo un plan de acción concreto a ejecutar.

- 1) El concepto de calidad en una boquilla significa:
 - a) Adecuada Calidad Constructiva.
Aporta el total cumplimiento de todas las relaciones dimensionales y de acabado que el diseño y tipo requiere en su comportamiento eficiente.
 - b) Elevada durabilidad de servicio.
Permite el funcionamiento eficiente y estable conservando sus condiciones dimensionales estables su respuesta a la acción de corrosión, erosión, fatiga térmica y cavitación a que puede estar sometida una boquilla
 - c) Costo de producción relativamente barato. En las condiciones nacionales se logra con tecnologías integrales adecuadas a nuestras industrias mecánicas.
- 2) Independientemente de las particularidades dimensionales y de acabado que requiera la construcción de una u otra boquilla, todos los procesos de fabricación de boquillas deben considerarse un proceso complejo por lo que necesita controles antes, durante y después de su fabricación haciéndose también hincapiés en el control Pos-Venta.
- 3) El acero 20X13 se recomienda por muchos fabricantes para la producción de boquillas y resulta el acero seleccionado para nuestros procesos de fabricación.
- 4) La maquinabilidad del acero 20X13 en estado de entrega no es la más adecuada para los procesos de barrenado y por tanto se requiere del desarrollo de tratamientos térmicos intermedios a fin de mejorar su maquinabilidad.
- 5) La aplicación de los diagramas de causas y efecto o la espina de pescado resulta idóneo para caracterizar las causas que inciden en la Calidad Constructiva y durabilidad de las boquillas, así como la herramienta adecuada para el mejoramiento constante de esta producción nacional.
- 6) Las boquillas que presentan ciertas complejidades necesitan de dispositivos especiales para asegurar su precisión dimensional en cuanto a los parámetros geométricos que se consideran básicos para su funcionamiento.
- 7) La falla que más se presenta entre las boquillas controladas en los diagnósticos, se deben al desgaste de los conductos por erosión, así que cualquier tipo de tratamiento que eleve la resistencia de los aceros en los conductos a la acción de este efecto posibilita prolongar la durabilidad.
- 8) Los procesos de carburización profunda y supercarburización tienen las características de ser muy efectivos sobre los aceros con alto cromo y pueden ser de más fácil aplicación e introducción en las condiciones industriales para mejorar la resistencia al desgaste por erosión en los conductos de las boquillas.
- 9) La incidencia que tiene el mal funcionamiento de las boquillas de quemador sobre la contaminación del medio ambiente ha sido muy poco tratada y requiere una atención mayor en los análisis de combustión para el futuro.
- 10) Los problemas económicos a resolver con la fabricación de boquillas van más allá de la simple sustitución de una pieza de repuesto y deben ser tratados incluyendo todas las aristas a considerar pero sobre todo que coincidan con las realidades concretas dentro de cada empresa.

CAPÍTULO - 2

ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD CONSTRUCTIVA

2.1- Mejoramiento de la maquinabilidad en el 20x13.

En las condiciones de entrega, la llamada pastosidad de los aceros inoxidable provoca la rotura de las barrenas finas durante el proceso de taladrado de agujeros pequeños con longitudes relativamente grandes.

Esta dificultad era necesario enfrentarla porque se consideraba este acero y sus homólogos como muy adecuados para la fabricación de boquillas por muchos productores del primer mundo, además para nosotros resultaba el acero idóneo para la aplicación de la carburización y supercarburización.

El objetivo de este estudio, era analizar el comportamiento del mismo material en varios estados de tratamiento térmico durante el taladrado, para seleccionar el estado óptimo micro estructural para su mecanizado.

Para el desarrollo de los ensayos de maquinabilidad, contamos solamente con 16 probetas de acero 20x13 (\varnothing 40 mm x 20 mm) por el costo de este tipo de acero y las restricciones que existen en nuestras industrias en la disponibilidad de los laminados. Este acero según criterio de taller, de especialista, técnicos operarios, es un acero difícil de mecanizar. En él se observan micro grietas producto de la pastosidad y el efecto de desprendimiento de la viruta por arrancamiento durante el refrentado, hacia las partes centrales de la probeta, como consecuencia de las bajas velocidades que hay en estos puntos.

Es importante aclarar que la maquinabilidad, como propiedad tecnológica tiene muchas aristas y diferentes formas de evaluar y de interpretar su comportamiento. Para nosotros era fundamental la valoración de la durabilidad relativa de la herramienta, así como enfrentar en las tecnologías los retos de lograr agujeros pequeños sobre aceros inoxidable sin que se partieran estas barrenas en el interior o se quemara prematuramente los bordes cortantes, por efecto de la excesiva pastosidad.

Decidiendo un orden lógico en la realización de los experimentos valoramos la posibilidad de tres variantes de tratamiento térmico, más el estado de entrega para obtener criterios de maquinabilidad durante el proceso de desprendimiento de la viruta, según el rango de dureza de cada estado estructural y teniendo en cuenta conjuntamente la combinación estado estructural y valor de la macro dureza.

Es importante aclarar que cada valor de dureza que se registre, debe ir acompañado del estado micro estructural con el cual se conjuga, pues con un mismo valor de dureza se pueden encontrar dos estados micro estructural para igual composición y de diferentes comportamientos de la maquinabilidad en ese acero.

Se dieron tratamientos correspondientes a estados estructurales sorbíticos a través del temple y revenido hasta valores de 14-19 HRc y de 22-27 HRc. Se barrieron valores ligeramente superiores obteniéndose estados sorbito - troostítico entre, 30-35HRc, los valores superiores de 35 HRc resultan inadecuados por los pésimos efectos sobre la vida de las herramientas convencionales.

Para diferenciar los estados de cada grupo de probetas del acero 20x13 realizamos el siguiente marcado: cada grupo consta de 4 probetas, las probetas marcadas con el No.1 son las correspondientes al estado de entrega donde este acero tiene su máxima pastosidad negativa en la herramienta de corte.

Las probetas marcadas con el No.2 corresponden al primer estado estructural al sorbitico después del temple y revenido donde se obtuvieron valores de 14-19 HRc.

Las probetas marcadas con el No.3, corresponden al segundo estado estructural sorbitico obtenido después del temple y revenido, donde se obtuvieron valores de 22-27 HRc

Las probetas marcadas con el No.4 correspondientes al estado sorbitico-troostitico obtenido después del temple y revenido, donde se obtuvieron valores de 30-35 HRc; después de efectuados los tratamientos térmicos correspondientes para obtener los diferentes estados estructurales, los ensayos de dureza Rockwell dieron los siguientes resultados: en las tablas que se muestran a continuación.

Los tratamientos térmicos correspondientes fueron:

1^{er} Grupo estructural: Temple (1000-1050C°), con revenido a (750C°).

2^{do} Grupo estructural: Temple (1000-1050C°), con revenido a (700C°).

3^{er} Grupo estructural: Temple (1000-1050C°), con revenido a (600C°).

Tabla 4.1: Valores de dureza Rockwell obtenidos

1^{er} ESTADO ESTRUCTURAL, SORBITICO (14-19 HRc)

Probeta No.	Valores de Dureza (HRc)				
	Hrc1	Hrc2	Hrc3	Hrc4	Hrc5
1	17	15	14	14	16
2	15	15	16	16	15
3	15	19	16	20	15
4	14	19	19	20	14

2^{do} ESTADO ESTRUCTURAL, SORBITICO (22-27 HRc)

Probeta No.	Valores de Dureza (HRc)				
	Hrc1	Hrc2	Hrc3	Hrc4	Hrc5
1	23	23	25	26	25
2	25	24	24	27	26
3	28	27	24	26	25
4	24	24	27	25	26

3^{er} ESTADO ESTRUCTURAL, SORBITICO-TROOSTITICO (30-25 HRc)

Probeta No.	Valores de Dureza (HRc)				
	Hrc1	Hrc2	Hrc3	Hrc4	Hrc5
1	31.5	34	35	33.5	34
2	33	31	31	30	30
3	28	30	30	32	30
4	30	31	33	30	30

Estado de entrega de 20x13 = 0 HRc aproximado a 140 HB en estado reconocido, dureza considerablemente baja, alta pastosidad en este estado.

Para contar con una referencia conocida se tomaron mueras de acero 50 normalizado dada la ausencia de acero 45, y la relativa semejanza entre ambos, de tal manera que pudiéramos establecer comparaciones practicas en cuanto a la formas de virutas mas adecuadas.

Se contó con 5 herramientas (brocas), para todo el ensayo tomando 1 broca por cada grupo del acero 20x13 y una para el grupo del acero patrón (acero 50), al cual se le asignaron valores del 100% de maquinabilidad. Cada grupo del acero 20X13 consta de 4 probetas y el acero patrón 4 probetas.

El régimen de corte se seleccionó de la siguiente forma:

$$V_t = \frac{C_v \cdot D^{q_v} \cdot K_v}{T^m \cdot S^Y}$$

Donde: T = 25 min.

$$T^m \cdot S^Y$$

$$C_v = 7$$

$$q_v = 0,4$$

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{uv} \cdot K_{lv}$$

$$V_t = \frac{7 \cdot (11,8)^{0,4 \times 0,43}}{25^{0,2} \cdot 0,2^{0,7}}$$

$$K_{mv} = C_m \frac{(75)^{nv}}{\sigma B} \quad K_{uv} = 0,3$$

$$K_{lv} = 1$$

$$V_t = \frac{7 (2,68) \times 0,43}{1,90 \cdot 0,32}$$

$$K_{mv} = 1 \frac{(75)^{0,9}}{50}$$

$$V_t = 13,44$$

$$K_{mv} = 1,44$$

Sustituyendo tenemos:

$$K_v = 1,44 \cdot 0,3 \cdot 1$$

$$K_v = 0,43$$

$$N_t = \frac{1000_{vt}}{\Pi D}$$

$$N_t = \frac{1000 \cdot 13 \cdot 44}{3.14 \times 11.8}$$

$$N = 362,73 \text{ rpm}$$

$$N \leq N_t + 0,05 N_t$$

$$N_r \leq 362,73 + 0,05 (362,73)$$

$$N_r \leq 362,73 + 18,14$$

$$N_r \leq 380,87$$

En realidad tomamos 392 rpm, ya que este valor está solamente un 3% por encima del valor calculado, valor asimilable por la herramienta de corte, la cual trabaja con una velocidad de 14.52 m/min., valor recomendable para el taladrado.

Factores que intervienen durante la experimentación.

- Materiales que se elabora y sus propiedades.
- Velocidad de la herramienta.
- Avance de la herramienta.
- Profundidad de corte.
- Desgaste de la herramienta.

Durante la experimentación, permanecieron constantes:

El número de revolución por min. de la herramienta de corte, el avance de la herramienta de corte, la velocidad y la profundidad de corte; con el objetivo de considerar la maquinabilidad como una característica del material

* Material y geometría de la herramienta.

Siguiendo las recomendaciones de las literaturas consultadas se utilizaron brocas de Acero P18 de la marca CSN 221140 Poldi HSS 02 de Ø 11,8mm con ángulo de 118°.

* Aspectos a tener en cuenta durante el desarrollo del experimento.

- Cada vez que se vaya a realizar el taladrado de una probeta debe colocarse la misma en 4 posiciones.
- Al instalar la herramienta en el husillo, este debe estar libre de cualquier materia extraña para evitar el descentramiento de la misma.
- Al terminar el taladrado de las probetas de un mismo grupo estructural, es necesario cambiar la herramienta para evitar que la misma se mezcle con la herramienta con la cual se va a taladrar el grupo estructural siguiente.

* Instalación experimental.

Para la realización de las mediciones del desgaste en las herramientas de corte y la rugosidad superficial en las probetas. Se utilizaron 2 puestos de trabajo.

- Microscopio universal alemán de la Carl Zeiss Jena, en el cual fue instalada la herramienta de corte sobre un pequeño prisma, el equipo mide hasta la milésima y se puede apreciar un lugar más haya, hasta la diezmilésima.
- Rugosimétero electrodinámico modelo SURFTEST-III (Examinador de superficies, este equipo mide el parámetro Ra, parámetro que más información brinda al operario y es el más exacto.

* Metodología a seguir para medir el desgaste en las brocas.

- Se instalaron las brocas sobre el prisma de forma tal que al girarla sobre este el primer gavilán; esté al nivel de la luz del equipo, para efectuar una lectura de la medición sin errores.
- Se efectuaron a lo largo del gavilán 6 mediciones es decir 3 pares de mediciones, cada par con 2 valores, para sacar un total por cada par. Se procede a girar la herramienta 180^o sobre el prisma de forma tal que el 2^{do}.gavilán esté al igual que el 1^{ro} al nivel de la luz del equipo para poder realizar las lecturas, y se vuelve a repetir el 2^{do} paso, finalmente se saca la diferencia de cada par.

* Dificultades en la medición. Resultados del ensayo.

Durante el desarrollo de las mediciones, se pudo observar que al realizar las Correspondientes al 2^{do}.gavilán de la broca con la cual se efectuó el taladrado a las probetas del 1er estado sorbítico (HRc 14-19), resulto imposible efectuar las mediciones, ya que existía filo recrecido en el mismo, esto hace que se falsee la la lectura e introduce errores en la medición. Igualmente en el 2^{do}. Gavilán de la broca con la cual se trabajo el 2^{do}. estado sorbítico (HRc 22-27), ocurrió lo mismo, fue apreciable el filo recrecido así como virutas que quedaron adheridas al mismo.

Los resultados de las mediciones se muestran a continuación:

Broca: Grupo 20x13, Estado de Entrega.

1 ^{er} . Gavilán	2 ^{do} . Gavilán
1- Par: 1-50,662mm 2-50,7mm Total: 0,038mm	1-Par: 1-49,901mm 2-49,857mm Total: 0,04mm
2- Par: 1-50,169mm 2-50,155mm Total: 0,014mm	2-Par: 1-49,478mm 2-49,491mm Total: 0,013mm
3- Par: 1-49,821mm	3-Par: 1-49,110mm

2-49,799mm
Total: 0,022mm

2-49,142mm
Total: 0,032mm

Broca: Grupo 20x13, HRc 14-19

1^{er} Gavilán

1-Par: 1-48,256mm
2-48,282mm
Total: 0,026mm

2-Par: 1-48,086mm
2-48,118mm
Total: 0,032mm

3-Par: 1-47,787mm
2-47,824mm
Total: 0,037mm

Broca: Grupo 20x13, HRc 22-27

1^{er} Gavilán

1-Par: 1-45,939mm
2-45,869mm
Total: 0,07mm

2-Par: 1-45,833mm
2-45,773mm
Total: 0,06mm

3-Par: 1-45,835mm
2-45,786mm
Total: 0,049mm

Broca: Grupo 20x13, HRc 30-35

1^{er}. Gavilán

1- Par: 1-49,831mm
2-49,789mm
Total: 0,042mm

2^{do}. Gavilán

1-Par: 1-49,119mm
2-49,173mm
Total: 0,054mm

2- Par: 1-49,442mm
2-49,454mm
Total: 0,012mm

2-Par: 1-49,054mm
2-48,998mm
Total: 0,056mm

3- Par: 1-49,332mm
2-49,386mm
Total: 0,054mm

3-Par: 1-48,999mm
2-49,032mm
Total: 0,033mm

Broca: Grupo: Acero50, estado de entrega

1^{er}. Gavilán
1- Par: 1-50,133mm.
2-50,177mm.
Total: 0,044mm.

2^{do}. Gavilán
1-Par: 1-49,640mm.
2-49,661mm.
Total: 0,021mm.

2- Par: 1-49,999mm.
2-50,072mm.
Total: 0,073mm.

2-Par: 1-49,054mm.
2-49,279mm.
Total: 0,023mm.

3- Par: 1-49,647mm.
2-49,693mm.
Total: 0,046mm.

3-Par: 1-48,695mm.
2-48,710mm.
Total: 0,015mm.

* -Valores de Ra medidos.

LI-Lado Izquierdo
LD-Lado Derecho

Probeta: Acero 20x13, Estado de Entrega

Tapa1: LI: 5mm. Tapa 2: LI: 4mm. Núcleo: LI: 6mm.
LD: 5mm. LD: 4mm. Central: LD: 6mm.

Probeta: Acero 20x13, HRc 14-19

Tapa1: LI: 4mm. Tapa 2: LI: 4mm. Núcleo: LI: 4mm.
LD: 4mm. LD: 4mm. LD: 4mm.

Probeta: Acero 20x13, HRc 22-27

Tapa1: LI: 5mm. Tapa 2: LI: 4mm. Núcleo: LI: 6mm.
LD: 5mm. LD: 4mm. LD: 6mm.

Probeta: Acero 20x13, HRc 30-35

Tapa1: LI: 4mm. Tapa 2: LI: 6mm. Núcleo: LI: 5mm.
LD: 4mm. LD: 6mm. LD: 5mm.

Probeta: Acero 50, estado de entrega.

Tapa1: LI: 4mm. Tapa 2: LI: 3mm. Núcleo: LI: 4mm.
LD: 4mm. LD: 3mm. LD: 4mm.

Los resultados obtenidos suministraron el criterio de que era necesario un número mayor de ensayo porque las diferencias de las mediciones del desgaste eran aun insuficientes y las limitaciones materiales no permitieron disponer de más barras de acero 20X13.

No obstante se establecieron comparaciones entre las configuraciones de las virutas de acero 20X13 y las del acero patrón C-50 y esto permitió aportar elementos favorables para la selección práctica del mejor estado estructural del 20X13 según los distintos rangos de dureza.

Las virutas de configuración más adecuadas en comparación con el patrón de acero 50 pertenecieron al rango de dureza de 22 – 27 HRc.

Las virutas correspondientes al material en estado de entrega presentaban configuración muy lisa y continua, muy distante a las del patrón.

Las comprobaciones de los acabados superficiales de los cortes longitudinales de los agujeros identificaron como mas favorables los rangos de durezas de 14 -19 HRc y también en el rango de 22 – 27 HRc.

En todos los casos se pudo comprobar que el estado más adecuado de este acero se obtiene a partir del temple y revenido alto, eliminando las características estructurales que provocan la alta pastosidad.

2.2-Criterios generales para el control dimensional.

El trabajo de control dimensional guarda estrecha relación con los niveles de complejidad que para el proceso de producción le hemos designado a cada tipo de boquilla. Estos niveles se traducen en medidas más exhaustivas en correspondencia con los diferentes grados de complejidad dimensional y no con la cantidad de dimensiones que se necesite comprobar.

Para cualquiera de los tres tipos de boquillas se deben considerar las dimensiones a comprobar en dos grupos:

1- Dimensiones determinantes. Son aquellas que regulan y determinan el funcionamiento de la boquilla, donde un error puede ser capaz de invalidar el funcionamiento.

2- Dimensiones no determinantes. Son aquellas que aceptan desviaciones de las dimensiones en rangos más amplios y aun así no influyen en el comportamiento de los parámetros de la atomización.

Para desarrollar el trabajo se hizo necesario clasificarlas boquillas en tres grupos:

I -- Boquillas simples.

II – Boquillas complejas.

III- Boquillas de alta complejidad.

2.2.1- COMPROBACIÓN DE LAS DIMENSIONES DETERMINANTES SEGÚN EL TIPO DE BOQUILLA.

I-En el primer grupo, que comprende las boquillas simples, la certificación de sus parámetros se realiza con ayuda de microscopios instrumentales, utilizando métodos directos de medición.

Se hace compleja únicamente la medición de la boquilla cuya de salida del combustible presenta un ángulo (ángulo de cono de salida) para la medición del cual se utiliza un método indirecto a partir de la medición de la diferencia de altura e/ la superficie frontal y la base del orificio central, se determinó el cateto opuesto del

ángulo de salida, procediendo a determinar el valor del ángulo mediante la función seno del ángulo.

- -Tomando como referencia la boquilla de arrancada de la textilera con las mediciones básicas para el funcionamiento tendremos:
 - a) - Diámetro del orificio $\Phi 1, 2, 3$, y la media.
 - b) - Angulo de cono de salida.
 - c) – Profundidad de la cámara rotacional.
 - d) – Ancho y longitud de la ranura de fresado.

El diámetro del orificio central de la boquilla fue medido con ayuda del cabezal micrométrico del microscopio instrumental, la medición se realizó en tres secciones diferentes tomándose la media de las mismas, lo cual como es sabido eleva la precisión de los resultados el ángulo del cono de salida pudo ser medido certificando primero el diámetro de la superficie frontal de la boquilla y luego la diferencia de altura entre la superficie y el borde superior del cono central, el diámetro dividido por dos se convirtió en la hipotenusa del ángulo y la diferencia de altura en el cateto opuesto, estos datos permitieron evaluar el ángulo mediante la función seno. La profundidad de la cámara rotacional fue medida con un indicador multigratorio con valor de división $V/d = 1 \mu\text{m}$, se procedió a enfocar la superficie superior de la cámara y se tomó la lectura del indicador, luego enfocamos el fondo de la cámara y tomamos la segunda lectura por el indicador, la diferencia de los mismos nos permitió evaluar la profundidad de la cámara.

La medición del diámetro de la cámara se hizo posible gracias al método de reflexión luminosa que permite apreciar el diámetro de orificios no pasantes, este mismo método nos permitió evaluar el ancho y longitud de la ranura fresada. En todas las mediciones lineales la incertidumbre no superó los $\pm 5 \mu\text{m}$ --.

II – En el segundo grupo que comprende las boquillas complejas los parámetros pueden ser certificados en microscopio instrumental por el método directo, el cual garantiza plenamente los requisitos de precisión. En este tipo de boquilla se presentan las características particulares de poseer diferentes orificios, los cuales están taladrados bajo un ángulo determinado, que son vitales para el buen funcionamiento de la boquilla. Esto determina que sea imprescindible su certificación, la comprobación se hizo posible sacrificando una boquilla, a partir de un corte longitudinal para la comprobación correcta de sus parámetros.

A modo de ejemplo utilizaremos la boquilla de la termoeléctrica de Cienfuegos, haciendo referencia a sus parámetros fundamentales para el funcionamiento.

Orificio de combustible.

- a- Diámetro del conducto del combustible
- b- Diámetro axial del conducto de combustible
- c- Longitud del conducto de combustible
- d- Número de agujeros.

Orificio del vapor.

- a- Diámetro mínimo del conducto del vapor
- b- Diámetro máximo del conducto del vapor
- c- Longitud del conducto del vapor del diámetro máximo
- d- Longitud del conducto del vapor del diámetro mínimo
- e- Diámetro axial del conducto de vapor
- f- Numero de agujeros

Estos parámetros se comprueban con ayuda del microscopio instrumental o en su defecto con ayuda de uno universal, el diámetro del orificio de combustible y el diámetro del orificio de vapor se miden tres secciones distribuidas uniformemente a lo largo de los mismos, este procedimiento nos permite posibles desviaciones en la forma del orificio, como referencia tomamos el punto de intersección de las líneas del retículo del microscopio que corresponde al centro del mismo.

Cada medición fue repetida 3 veces tomando la media para evaluar con mayor precisión el parámetro, de esta misma forma se comprueba la diferencia de diámetro entre las secciones del orificio para el vapor. La longitud de los conductos de combustible y vapor se miden directamente con ayuda del carro longitudinal del microscopio, antes de realizar la medición, la boquilla se alinea con respecto al eje longitudinal del microscopio utilizando como referencia uno de los bordes de los orificios, este detalle es de suma importancia pues reduce de forma sustancial los errores de medición.

La inclinación con que fueron maquinados los conductos de vapor se certifica en el microscopio instrumental con ayuda de su cabezal para mediciones angulares, para facilitar la operación se realizó un corte transversal a la boquilla para poder observar su configuración interna, es requisito indispensable alinear la pieza respecto al eje longitudinal del microscopio, hecho esto se desplaza la línea de referencia del retículo hasta el borde de uno de los orificios tomándose la lectura en escala angular, luego se desplaza el carro y se toma la segunda lectura en el mismo borde del otro orificio, la diferencia entre ellas nos permite conocer el ángulo que existe entre ambos orificios siendo la mitad del mismo el de inclinación de los conductos.

III-El tercer grupo comprende las boquillas de alta complejidad, la certificación de sus parámetros es también realizable en microscopio instrumental, se hace dificultoso en este caso la medición de las cavidades delanteras de la pieza interior de las boquillas, la cual fue posible gracias a la toma de réplica, método que no garantiza una alta precisión pero permite valorar el parámetro, o de lo contrario se pudo sacrificar un tamaño de muestra haciéndole el corte y realizando la medición con mayor precisión.

Como ejemplo haremos referencia a la boquilla de atomización por presión de la Firma DANFOSS.

Parámetros fundamentales.

- a) - Φ del agujero.
- b) - Cámara de giro.
- c) - Canales tangenciales.
- d) - Angulo de salida.

Entre los parámetros que define el buen funcionamiento de estas boquillas se encuentra el diámetro del orificio que se certifica por la medición directa con ayuda de uno de los cabezales del microscopio, se toma tres lecturas y de ellas se determina la media, tomándose este valor como verdadero.

Para medir el radio de la cámara de giro se tomó una impresión en plastilina que luego fue medida en el microscopio, esta medición puede realizarse también mediante la técnica de sección y corte lo cual eleva la precisión pero lleva consigo la destrucción de la boquilla (método destructivo); otro parámetro a considerar fue el ancho de los canales tangenciales, que se midió directamente con ayuda de los cabezales del microscopio y finalmente se procedió a certificar los del elemento rotacional con ayuda del cabezal angular del microscopio, todos estos parámetros fueron determinados con incertidumbres que no superan los $5\mu\text{m}$. en las mediciones lineales y el minuto en las mediciones angulares.

2.3-Tecnologías de maquinado aplicadas para la producción en pequeñas series.

Las tecnologías de maquinado para fabricación de boquillas atomizadoras se pueden elaborar en diferentes circunstancias teniendo en cuenta ciertos requisitos esenciales que determinan la factibilidad de estos procesos tecnológicos. En todos los casos debemos considerar los niveles de complejidad constructiva, el equipamiento disponible en cada empresa y el tipo de producción que se desee realizar.

En nuestro caso todas las solicitudes de fabricación de boquillas a que nos enfrentamos se correspondían con procesos de fabricación en pequeñas series.

Procedemos a desarrollar algunas de las tecnologías más aplicadas sólo como ejemplos que ilustran algunas de sus características generales.

2.3.1- Proceso tecnológico de elaboración de las boquillas Babcock and Wilcox de la Cervecería de Manacas. (Anexo)

Se parte de una barra Φ 32 x 400 mm de acero 20X13.

I- Corte.

II – Tratamiento térmico de temple y revenido alto hasta alcanzar durezas de 14 -19 HRc.

III- Torneado.

a) – Colocar centrar y fijar el plato de tres muelas dejando 25 mm afuera.

1 – Refrentar cara a limpiar.

2 – Cilindrar a Φ 31,16mm hasta las muelas.

3 – Cilindrar a Φ 30,16 -0,062 mm hasta las muelas.

4 – Cilindrar a Φ 20,64 -0,052 mm x 5 mm \pm 0,2 dejando margen para 2,5 mm.

5 – Perfilar R 2,5 mm.

6 – Hacer centro tipo A Φ 1,6 x 60°.

7 – Taladrar Φ 1,6 mm hasta 12 mm de longitud.

8 – Perfilar 130° a Φ 16 mm.

9 – Tronzar a mantener $14 \pm 0,4$ mm.

IV- Torneado

a) – Colocar, centrar y fijar por Φ 20,64 -0,052 mm.

1 – Refrentar cara a dar 13,3 mm de longitud.

2 – Biselar 5 x 35° (tecnológico).

3 – Hacer centro tipo Φ 1,6 x 60°.

V- Taladrado.

a) Colocar, centrar y fijar la pieza en el dispositivo especial. Centrar la herramienta en el buje guía del dispositivo y este fijarlo a la mesa de la taladradora con ayudas de bridas y tornillos.

1 – Taladrar los 6 agujeros de Φ 1,6 pasantes.

VI- Torneado.

a) Colocar centrar y fijar por Φ 20,64 -0,052 mm.

1 – Refrentar cara a mantener 8,5 mm.

2 – Perfilar 70° .

3 – Taladrar $\Phi 7 + 0,036 \times 1,2$ mm de profundidad con fresa de punta plana.

VII- Rectificado

a) Colocar montar y fijar un dispositivo.

1 – Refrentar a mantener 8 mm de longitud.

VIII- Trazado.

Tronzar en una pieza solamente la ranura de 1,6 mm manteniendo $11 - 0,070$ mm

IX- Fresado.

a) Ranurar en plato de 3 muelas, a 1,6 mm 4 veces.

X- Banco.

1 – Eliminar rebabas.

2 – Emparejar los empalmes en las ranuras, mantener bordes agudos.

-Parámetros principales que determinan la calidad de las boquillas de la Cervecería de Manacas.

1 - Φ 1,6 mm del agujero central que garantiza una buena pulverización del combustible.

2 – Angulo de pulverización $\alpha = 130 \pm 3'$ que garantiza la concentración óptima de la llama.

3 - $\Phi 30,16 - 0,062$ mm que permite el sellaje lateral de la boquilla.

4 - Φ de posición de los agujeros para el vapor a $23 \pm 0,084$ mm.

5 - Φ de los agujeros para el vapor de 1,6 mm.

6 – Dureza del material de 58 a 61 HRc.

7 – Angulo de inclinación lateral de los agujeros para el vapor $= 30^\circ \pm 3'$.

9 – Rugosidad de cono de pulverización de .

2.3.2 -Proceso tecnológico de elaboración de la boquilla de la textilera “Desembarco del Granma”

a) Montar la pieza en bruto en el plato del torno y fijarla sobresaliendo 40 mm, con esto se cumple el principio de constancia de la base, ya que se pueden elaborar varias superficies con una misma base de colocación limitando los errores solamente a los producidos por la maquina herramienta.

1 – Refrentar cara a limpiar.

2 – Cilindrar en desbaste con profundidad 3 mm en una longitud de 30 mm.

3 – Cilindrar en desbaste con profundidad $t= 2,9$ mm hasta una longitud de 13 mm con cuchilla de ángulo de filo principal de 45° .

4 – Cilindrar en desbaste para elaborar el cono de 45° del diámetro 25,3 mm al diámetro 38,2 mm.

5 – Tronzar a una longitud de 23,4 del borde de la pieza.

6 – Controlar las dimensiones elaboradas.

b) Invertir la pieza y sujetar el plato por el Φ 38,2 mm, cumpliendo con el principio de constancia de la base, ya que se elabora la ranura y el agujero de central manteniendo una misma base de colocación.

1 – Taladrar con Φ 15 mm una profundidad de 9 mm.

- 2 – Taladrar ce fresado dos labios con ángulo en la punta de 90 y un diámetro 19 mm a una profundidad de 10 mm.
- 3 – Ranurar a una profundidad de 1 mm a partir del $\Phi 22$ mm.
- 4 – Ranurar con portaherramientas girando 30° con una cuchilla de ranurar, preparada con un ángulo de incidencia tal que no rose con la superficie formada por el $\Phi 39$ mm.
- c) Apoyar por la superficie de la sección de $\Phi 25,3$ mm con el objetivo de cumplir con el principio de coincidencia de la base evitando el error de emplazamiento, pero tiene una pequeña área de apoyo para la suficiente rigidez para la elaboración mecánica; por lo que se decide colocarse un casquillo pro el $\Phi 38,2$ mm que aumenta el área de apoyo y permite cumplir con lo anteriormente planteado.
- 1 – Rectificado de desbaste con una profundidad de 0,2 mm en cuatro pasadas.
- 2 – Rectificado de acabado con $t = 0,05$ mm en dos pasadas.
- d) Apoyar la pieza por la superficie que encierra el $\Phi 44$ mm que ofrece un área de apoyo que garantiza un correcto emplazamiento, ayudada por la espiga que centra la pieza evitando el posible error de emplazamiento.
- 1 – Taladrar con broca de $\Phi 3$ mm pasante.
- 2 – Retaladrar con $\Phi 4,5$ mm.
- e) Montar la pieza sobre él como presente en $\Phi 38,2$ mm eliminando 5 grados de libertad y el que falta se elimina con la clavija del mecanismote división evitando de esta forma que aparezcan errores en el taladrado por conceptos de emplazamiento.
- 1 – Taladradar con $\Phi 2,5$ mm hasta pasar al agujero $\Phi 4,5$ mm.

-Parámetros principales que determinan la calidad de la boquilla de la textilera

- 1 - Φ exterior de 38,2 js12 ($\pm 0,125$ mm) que permite el sellaje.
- 2 - Φ de posición de los agujeros para la salida del vapor y el petróleo en su conjunto $\Phi 34$ Js12 ($\pm 0,125$ μ m).
- 3 - Φ interior de 19 Js 12 ($\pm 0,105$ mm) para lograr un adecuado acople tonel Φ interior del estabilizador de flujo.
- 4 - $\Phi 22$ Js 12 ($\pm 0,105$ mm) que es donde comienza la ranura inclinada.
- 5 - Φ de posición de los agujeros de entrada del vapor 36 Js 12 ($\pm 0,125$ mm).
- Angulo de inclinación $30^\circ \pm 3'$ de los agujeros de $\Phi 2,5$ mm.
- 7 – Angulo de inclinación de $45^\circ \pm 3'$ que determina en gran medida la dispersión de la llama.
- 8 - Φ de los agujeros por donde entra el combustible de 3 mm.
- 9 - Φ de los agujeros para el vapor que se debe realizar de 2,5 mm.
- 10 – Dureza del material 58 – 62 HRc.

CONCLUSIONES PARCIALES. – CAP. - 2

1- Las dificultad mayor que se confronta en la práctica con el maquinado del Acero 20X13 y sus homólogos para la fabricación de boquillas de quemadores es la excesiva pastosidad que presentan estos aceros en el estado de entrega.

2- Dentro de las distintas operaciones del proceso de maquinado, el más afectado resulta el taladrado, y este comportamiento se hace más crítico mientras más pequeño y más profundo resulte el agujero pasante.

3 – Mediante los tratamientos de temple y revenidos se pueden lograr estados micro estructurales muy favorables para el mejoramiento de la maquinabilidad de algunos aceros inoxidable cuando las operaciones de maquinado juegan un papel importante sobre la calidad constructiva.

4 – A los efectos del proceso de fabricación de boquillas atomizadoras, se pudo comprobar que el estado estructural más favorable para el maquinado del acero 20X13 lo brinda el estado micro estructural mediante el temple y revenido con valores de dureza de (22 – 27 HRc).

5 – Para el control dimensional de las boquillas atomizadoras debe establecerse correctamente la identificación de las dimensiones determinantes en el funcionamiento y las dimensiones no determinantes, así como los medios y métodos capaces de garantizar estos controles con la debida seguridad para cada caso.

CAPITULO III.

ASEGURAMIENTO DE LA DURABILIDAD

3.1 Tratamientos termoquímicos de carburización y supercarburización en caja.

Los tratamientos termoquímicos de carburización y supercarburización han sido considerados teniendo en cuenta las tecnologías que son adecuadas para una producción en pequeñas series, por tanto se seleccionaron los procesos en caja.

3.1.1 Preparación previa y aseguramiento de materiales para el tratamiento termoquímico

Como los procesos de supercarburización y carburización profunda se realizan en presencia de carburantes sólidos, se hizo necesario preparar la mezcla apropiada de igual manera para cada caso. Primeramente se tomó carbón vegetal, que se sometió a una trituración intensiva de forma que el tamaño de partícula fuese menor o igual que 2.5mm, valor que garantiza la optimización del proceso ya que aumentan las superficies de contacto sin afectar el correcto flujo de gases entre dichas particular.. Luego este carbón se sometió a una deshumedificación utilizando para ello una estufa del tipo UKKI-13 a temperatura de 120⁰C y en un tiempo de 5 horas, tiempo y temperatura que garantizan la eliminación de la humedad indeseable presente en el carbón vegetal. Al concluir este proceso se procede al pesaje del mismo, sabiéndose de antemano la cantidad aproximada que ocuparía el volumen total de la caja seleccionada. Para nuestro caso este valor se considero como 740g, valor al cual se le calcula el 10% ,en esta proporción añadirle el activador Na₂CO₃ (carbonato de sodio) correctamente calcinado al contarse con la mezcla necesaria se procede a limpiar manualmente la caja en la cual se realizara el proceso la caja posee una altura h = 92 mm, un largo l = 150 mm, un ancho b = 92 mm y fue seleccionada siguiendo el principio de la utilización eficiente del carburante ya que las probetas ocupan el 30 o 35 % del volumen de la caja sobre la cual se ubican las probetas espaciadas entre si guardando distancias de 10 a 15 mm. Posteriormente se llenó de mezcla la caja cuidando que la compactación en la misma fuera la adecuada. Luego del llenado de la caja se procedió a la hermetización de la misma, para lo cual se utilizó una caja metálica sellada con ayuda de mezcla hermetizante. Esta mezcla hermetizante esta compuesta por caolín y silicato de sodio y debe poseer una alta pastosidad con el fin de que contenga el mínimo de humedad posible para que al ser calentada no se fracture ni se desprege de las paredes de las cajas.

Cuando todas estas preparaciones previas al tratamiento termoquímico fueron cumplimentadas se coloco la caja en un horno eléctrico CHO-3.6.2/10M1.

3.2. Tecnología del proceso de carburización

Existen diversos criterios acerca de la optimización de los procesos de carburización, los cuales persiguen resultados satisfactorios según su duración. Siguiendo experiencias adquiridas se varían los regimenes de exposición a la temperatura de difusión. El rango de temperatura oscilo entre los 950 y 1050 grados calcios, pero se decidió utilizar 1000 grados para el cuidado de la instalación y evitar el crecimiento del grado austenítico. Además, a 1000⁰ C se mejoran notablemente las condiciones de difusión puesto que la relación CO/CO₂ aumenta y para valores por encima a esta temperatura se observa la tendencia a la oxidación de los carburos de cromo.

Las etapas en que se realizaron los procesos de carburización fueron:

- Precalentamiento a 600⁰ C.

- Calentamiento hasta 1000⁰C.(A esta temperatura que posibilitara la austenitización)
- Permanencia a la temperatura de 1000⁰C.(A esta temperatura se disuelve el carbono en la austenita y se realiza la óptima difusión para tiempos prefijados(5h, 10h, 15h).
- Enfriamiento junto al horno hasta temperaturas inferiores a A₁(En este enfriamiento ocurre la transformación del Fe_γ en Fe_α, y se precipitan los carburos de cromo con presencia además de austenita residual en pequeños porcentos.)

3.3 -Tecnología de los procesos de supercarburización

La realización de estos procesos es descrita según la ASTM-335-P-3B de la siguiente manera:

- Precalentamiento a 600⁰ C.
- Calentamiento hasta 927⁰C (austenitización del acero).
- Permanencia a 927⁰C(disolución del carbono en la austenita y difusión)
- Enfriamiento hasta 677⁰C(transformación del Fe_γ en Fe_α y precipitación de carburos de cromo y Fe sobre los limites de grano)
- Permanencia a 677⁰C (precipitación de carburos de Cr y Fe sobre los límites de grano con la correspondiente coagulación y coalescencia de los mismos.)
- Se repiten según se requieran los pasos de calentamiento y permanencia, enfriamiento y permanencia y haciéndose cíclica esta operación.

Tomándose estos criterios se dispuso la realización de estos procesos en nuestro taller experimental. De esta manera se cumplimentó por vez primera un itinerario que acataba las normativas anteriores

Itinerario tecnológico, cumplimentando en el taller de Tratamiento Térmico del CIDF en Planta Mecánica según la tecnología ajustada.

Proceso	Temperatura	Tiempo prefijado	Hora inicial	Hora final
1.Encendido del horno	25 ⁰ C	-	7:30 a.m.	7:30 a.m.
2.Precalentamiento	600 ⁰ C	30min	8:30 a.m.	9:00 a.m.
3.Calentamiento	930 ⁰ C	2h	9:55 a.m.	11:55 a.m.
4.Enfriamiento	700 ⁰ C	1h	1:00 p.m.	2:00 p.m.
5.Calentamiento	930 ⁰ C	5h	2:20 p.m.	7:20 p.m.
6.Enfriamiento	700 ⁰ C	1h	9:00 p.m.	10:20 p.m.
7.Calentamiento	930 ⁰ C	4h	10;45 p.m.	3.45 a.m.
8.Enfriamiento	700 ⁰ C	1h	5:50 a.m.	7:00 a.m.
9.Calentamiento	930 ⁰ C	5h	7:25 a.m.	12:25 p.m.
10.Enfriamiento	820 ⁰ C	1h	1:10 p.m.	2:10p.m.
11.Apagado del horno	120 ⁰ C			

3.4 Control de la calidad para el tratamiento termoquímico.

3.4.1-Selección y preparación de las probetas representativas para el control.

Para el estudio de la capa carburada y la garantía de un adecuado testigo del proceso tecnológico, que quedará asentado como parte del control de calidad, se tomó una probeta que recoge en esencia la información necesaria para valorar las capas carburadas y súper carburadas en los tratamientos de las boquillas.

Estas probetas debían ser sencillas, fácil de construir y fácil de procesar para facilitar tanto los estudios iniciales como los procedimientos del control industrial posteriormente.

Para lograr esta aproximación se tuvieron en cuenta las dimensiones reales de dichos elementos que se encuentran actualmente en explotación, así por ejemplo se consideraron las dimensiones máximas que corresponden a las boquillas del combinado textil "Desembarco del Granma" y las de menos dimensiones que se encuentran en la Cervecería Manacas. Este estudio definió que las probetas a construir debían poseer forma cilíndrica con un diámetro de 39mm y espesor desde 8.5 hasta 23mm, pasando por espesores intermedios de 10 y 13.5mm, además se decidió barrenar dichas probetas con agujeros de diámetros representativos para los conductos de aire y combustible de las boquillas.

Estos agujeros que en total son 3 se realizaron con diámetros de 1.2, 3.2, 5.2mm que aseguraban barrer las dimensiones reales y posibilitaban el uso de las brocas existentes en los talleres a que tuvimos acceso. Las probetas se elaboraron de acero 20X13, ya que es el acero destinado para esta función.

Las probetas fueron sometidas a los procesos de carburización y supercarburización, sirviendo de base para los estudios iniciales y posteriormente quedan establecidas como probetas testigos en los procesos industriales.

. Luego de concluido estos tratamientos con el correspondiente enriquecimiento de carbono sobre la superficie externa e interna de los conductos, se procedió al análisis micro estructural, para lo cual debe de realizarse un proceso preparatorio de la superficie objeto de estudio.

. La zona de corte, a preparar, se corresponde con el plano de simetría de las probetas y para alcanzarla se hace necesaria la división de estas en dos partes mediante un disco abrasivo de corte, cuidando que una de estas fracciones sea perfectamente semicircular o sea que al ser cortada conserve el valor del diámetro inicial. Las muestras se someten a los procesos convencionales de desbaste y pulido mecánico y posteriormente se atacan con Nital al 2% durante 25 segundos aproximadamente, tiempo en el cual se sensibilizan los carburos de cromo haciéndose perceptibles a nuestra vista y evidenciando el cuadro micro y macro estructural.

-3.4.2-Proceso de control industrial.

Control de entrada

Control de acero

Para que se puedan contar con resultados finales satisfactorios en este tipo de proceso, se hace necesario el control de entrada del material a utilizar. Este control debe hacerse rigurosamente ya que nuestras fábricas reciben laminados de un sinnúmero de proveedores, provocándose

inestabilidad en los sumideros lo cual trae consigo la inevitable violación de las más elementales normas de clasificación del acero. Así comúnmente encontramos aceros de un grupo formando parte de lotes con diferente composición, debido esto a la deficiente marcación de las barras que al romperse sus paquetes contenedores se juntan sin posibilidades de identificación visual. Además muchas veces no contamos con el correcto Certificado de Calidad que contenga los aspectos siguientes:

- ❑ Tipo de material
- ❑ Dimensiones del semiproducto.
- ❑ Cantidad del material entregado al taller.
- ❑ Composición química.
- ❑ Costo del material.

Como se tienen conocimientos de estas deficiencias, es necesario realizarle un minucioso análisis de composición a la barra con la cual se construyen nuestras probetas de ensayo. Esta composición debe corresponderse con la del acero 20x13 según GOST-5632-51.

$$C = (0.16 / 0.24) \% \qquad S \leq 0.025 \%$$

$$Si \leq 0.6 \% \qquad P \leq 0.03 \%$$

$$Mn \leq 0.6 \% \qquad Ni \leq 0.6 \%$$

$$Cr = (12.0 / 14.0) \%$$

En nuestros laboratorios contamos con equipos de alta confiabilidad y precisión para el control de la composición química. Para lo cual solo es necesario tomar una muestra de la barra de 15×15 mm. y someterla al ensayo mediante método espectral. Este equipo se conoce por la designación comercial “ESPECTROLAB” y corresponde a la firma SPECTRUM. Este resulta el equipo idóneo para realizar el control de la composición con gran rapidez alta confiabilidad del resultado.

Control de la mezcla carburante.

Como todo elemento que interviene en nuestro proceso, la mezcla carburante es sometida a un análisis de entrada para la verificación de la calidad requerida. Esta mezcla carburante debe poseer las características adecuadas para la correcta realización de los procesos termo-químicos de saturación superficial con carbono, debido a esto se requiere que el carburador escogido posea las siguientes condiciones:

- ❑ Capacidad de desprender carbono activo con la velocidad necesaria y en un tiempo prolongado a temperaturas de cementación prefijadas.
- ❑ Pequeño peso específico y coeficientes mínimos de concentración.
- ❑ Alta conductividad térmica.
- ❑ Ausencia de elementos dañinos al proceso.

En nuestro caso el carburizante contiene carbón vegetal escogido a partir de su versatilidad y bajo costo económico. Este carbón debe controlarse minuciosamente ya que aparte de poseer baja conductividad térmica puede quemarse rápidamente si no proviene de una madera dura. Debido a esto debe tratarse de que el carbón utilizado provenga de plantas como la aroma que además de poseer alta dureza se contrae en pequeñas proporciones. Además en la mezcla carburante debe existir activador en un 10 ó 15%, porcentaje que permita la eliminación de los productos de la reacción en la fase gaseosa. Al unirse el activador utilizado por nosotros (Na_2CO_3) y el carbón vegetal se obtiene una mezcla carburante que no está exenta de componentes inevitables como la humedad y el azufre, siendo este último de gran nocividad y de difícil control. La hidratación del carburante puede ser evitada al calentarse junto a una estufa hasta $120\text{ }^\circ\text{C}$ en un intervalo de cinco horas o más. Se ha comprobado prácticamente que en este tiempo la mezcla carburante disminuye su humedad al 10%, por lo que no se hace necesario otro tipo de control que el de temperaturas a través del termopar adjunto a la estufa.

Además del control en cuanto a la composición del elemento carburado se realizan controles de tamaño de las partículas representativas a través de un juego de tamices, tomándose para ello una pequeña muestra de la mezcla. Este análisis debe arrojar un tamaño representativo de 2,5mm, valor concebido para nuestras condiciones experimentales.

De lo anterior expuesto se deduce que en nuestro trabajo del control de entrada para la mezcla carburante, deben considerarse cuatro aspectos fundamentales:

1. Procedencia del carbón vegetal.
2. Porcentaje de humedad en la mezcla.
3. Tamaño de partículas.
4. Cantidad de activador.

- Control del proceso.

Los procesos de carburización y supercarburización, además de los tratamientos térmicos posteriores requieren de estrictas normas de control, ya que los mismos están propensos a cambios sensibles durante su ejecución. Para lograr el cumplimiento de estas normas de control de la calidad, se hace necesario desempeñar un eficiente y cooperado trabajo que debe estar encaminado a la detección de deficiencias que conspiran contra los resultados finales deseados, y debe hacerse según el tipo de producción exigida. De esta manera podemos estar frente a cuatro formas de análisis y producción:

1. Supercarburización en probetas de ensayo.
2. Carburización en probetas de ensayo.
3. Supercarburización aplicada a boquillas.
4. Carburización aplicada a boquillas.

El itinerario de control de la calidad es seguido según dos esquemas fundamentales, diseñados atendiendo a las especificidades de la pieza a tratar y estructurados de manera eficiente y sencilla. Esta estructuración se muestra en el material adjunto como anexo a este trabajo y consta de diversos pasos. Así por ejemplo para el caso de la carburización y supercarburización aplicadas a boquillas se incluyen dentro de las piezas a tratar muestras testigos, las cuales separamos de este análisis para realizarle un estudio más detallado. Luego de estos procesos termoquímicos

aplicados a boquillas se procede a los análisis de micro constituyentes y al control de capas en el laboratorio, utilizando los medios a nuestro alcance. Según los resultados de este análisis se suceden los tratamientos térmicos de temple o la definición de las causas de los defectos presentados durante los procesos. Al concluir el temple se realiza un control de dureza, empleando para ello un durómetro Rockwell. Este temple debe hacerse a temperaturas prefijadas que para el caso de la carburización se determinan según el tipo de acero y sus recomendaciones, mientras que para el caso de la supercarburización ya se tienen en cuenta la estructura y composición de la capa enriquecida con carbono. De resultar negativo el control de dureza superficial, se devuelven las boquillas al temple para la repetición de este proceso. Al surtir efectos deseados el temple se procede al revenido que debe arrojar valores de dureza controlados según el tratamiento termoquímico aplicado al inicio de este proceso. Luego de los ensayos de dureza posteriores al revenido, se analizan en el laboratorio las muestras testigos incluidas en el proceso y se expide el correspondiente Certificado de Calidad.

Es necesario destacar que las muestras testigos son incluidas con el fin de no aplicar sobre las boquillas métodos destructivos de defectado, contribuyendo esto a la disminución de los costos correspondiente al control de la calidad.

Para nuestras condiciones investigativas el diagrama de control durante el proceso se hace mucho más sencillo, y se construye teniendo en cuenta la utilización de probetas y no de boquillas como en el caso anterior (anexos). Este diagrama contiene los aspectos fundamentales para la evaluación de los requisitos indispensable en el control de la calidad seguidos por nosotros en el taller experimental. Al ser recibidas por el taller de tratamiento térmico las probetas provenientes de los procesos de maquinado, se someten a los tratamientos de carburización o supercarburización primeramente, y luego al temple y revenido para cada caso. Esto implica que nuestras probetas deben ser controladas después de cada tratamiento, para asegurar que los resultados finales sean valederos y que por tanto dichas probetas contengan el máximo de información posible.

Al realizar cada control de dureza debe entregarse una parte al laboratorio, conteniendo este la correspondiente clasificación del proceso y la numeración de la probeta. Estas mediciones deben realizarse sobre las superficies de la muestra luego de ser limpiadas con algún agente mecánico, protegiendo así contra las roturas al equipo y a la vez arrojando resultados más confiables.

Control Final

El control realizado a piezas carburadas y súper carburadas puede enfocarse de diversas maneras según el conjunto de propiedades a evaluar. De esta forma se deduce que en dependencia de las características a comprobar deben crearse los grupos de control metalográfico. Así para nuestro proyecto investigativo se acordó trabajar en cuatro direcciones que se rigen de la siguiente manera:

1. Ensayos macro estructurales a probetas endurecidas luego de la carburización.
2. Ensayos macro estructurales a probetas endurecidas luego de la supercarburización.

3. Ensayos micro estructurales a probetas sin tratamientos térmicos posteriores a la carburización.

4. Ensayos micro estructurales a probetas sin tratamiento térmico posterior a la supercarburización.

Los ensayos macro estructurales de control a las probetas del primer y segundo grupos, se realizan en un durómetro Rockwell luego de eliminada toda suciedad superficial presente en las muestras. Esta medición debe arrojar valores de dureza mayores a 62 HRC, que es un parámetro evaluativo en el desempeño de un correcto proceso termoquímico de saturación con carbono y es a la vez un valor deseado. Al tercer y cuarto grupo divididos para su estudio, se le realizaron todo un conjunto de ensayos micros estructurales capaces de evaluar las características fundamentales de la capa enriquecida con carbono. Estos ensayos se encaminan en la medición de los espesores de las subcapas de la capa total, de los porcentos de micro constituyentes existentes en cada una de ellas así como de los valores de micro dureza. Dichos espesores, porcentos y valores son obtenidos en un microdurómetro PMT- 3 de fabricación soviética que posee un penetrador de diamante en forma piramidal. La huella Vickers que posibilita este dispositivo, depende para su evaluación de la carga aplicada en un tiempo idóneo de 20 seg. La carga a aplicar es escogida, 20 gramos para nuestro caso, de forma que brinde los resultados reales de la zona que se quiere evaluar. De esto se infiere que ella huella no debe ser tan grande que se salga del campo elegido, ni tan pequeña que provoque grandes errores de visualización. Debe cuidarse además que la distancia entre una huella y otra distancia que asegure mediciones que no contengan desviaciones producto de la deformación en frío local originada al penetrar el diamante en la superficie analizada. La lectura real de la huella se logra a partir de la medición de la misma con ayuda del tambor adjunto al instrumento, utilizando además la tabla de micro dureza diseñada para un valor del coeficiente $E = 0.3100$ (micro. /unid tamb.). Dicha tabla depende además de los valores de lectura obtenidos en el tambor y de la carga aplicada. Para que estos valores de micro dureza brinden el máximo de información posible, se hace necesaria la construcción de perfiles en dependencia de la zona y el valor real obtenido. Además de estas mediciones el microdurómetro brinda la posibilidad de determinar los espesores de capa total y de las subcapas. Estas capas son medidas a cada lado de los agujeros y se hacen seis mediciones totales para la periferia de cada uno de ellos, además se miden los espesores obtenidos en la superficie de las probetas. Las mediciones se realizan con ayuda del micrómetro situado en la platina móvil del instrumento y deben arrojar valores que varían según la zona analizada.

3.5 caracterización de las capas carburadas y supercarburadas.

Existen diferencias notables entre una capa cementada sobre un acero de bajo carbono por los métodos tradicional y las capas obtenidas por los procesos de carburización y supercarburización sobre aceros aleados al cromo y al molibdeno.

Las capas cementadas en aceros de bajo carbono no aleados son bien conocidas por todos y se caracterizan por una zona hipereutectoide, una eutectoide y otra hipoeutectoide. Estas no llevan ningún tipo de comentario.

Las capas obtenidas en el acero 20X13 mediante los tratamientos de carburización profunda y la supercarburización presentan características muy especiales y es por esta razón que profundizaremos en sus particularidades.

El acero 20X13 posee un contenido de cromo muy elevado (13%), lo que le permite aportar durante las reacciones termoquímicas que dan origen a los carburos de cromo, toda la cantidad de cromo necesaria para obtener capas con 95% ó más de carburos. Aunque en la bibliografía se citan capas con 95 % de carburos, nosotros en las prácticas del tratamiento logramos valores superiores.

El carbono que se aporta durante el proceso difusivo tiene tres caminos para desplazarse, y cada uno requiere del aporte de magnitudes de energía distintos para garantizar su desplazamiento. Estas magnitudes de energía necesarias guardan estrecha relación con la distribución que presentan los carburos de cromo en las capas carburadas, súper carburadas y las estructuras de las subcapas.

Los caminos para la difusión del carbono están dados por la posibilidad del desplazamiento por la superficie externa para lo cual se requieren valores de energías del rango de , por los límites de los granos se requieren valores de energía del rango de y atravesando el grano por su interior requieren valores de energía del rango de .

Cuando los procesos que estamos analizando, cuentan con una elevada aportación de carbono por parte de la fuente suministradora, los niveles de temperatura elevados con cambios y permanencias que favorezcan la precipitación de los carburos, podemos encontrar que las capas carburadas están formadas por dos subcapas:

-La primera capa se caracteriza por la presencia de carburos de cromo en contenido superior al 50%. Esta capa presenta una elevada brillantez en el análisis micrográfico, lo que facilita reconocer la configuración de los carburos.

- La segunda capa se caracteriza por la presencia de carburos en menor cantidad a la capa que le antecede y la pérdida de la brillantez estableciendo un contraste bien definido con la primera capa.

Cuando no se dan todas las condiciones adecuadas para garantizar la aportación del carbono suficiente en relación con el cromo disponible, la capa total puede quedar formada solamente por la subcapa segunda y los % de carburos en la superficie de saturación no rebasan el 50 %.

Atendiendo a estos criterios hemos llegado a valorar las formaciones de las capas que pueden obtenerse en la superficie interior de agujeros pequeños sobre piezas de acero 20X13 sometidas a procesos de carburización ó de supercarburización.

3.5.1 -IDENTIFICACIÓN DE LAS CAPAS EN LAS PROBETAS TESTIGOS.

Proceso	Espesor en (mm) de la probeta –E.	Zona analizada	Espesor en (μm) de la subcapa 1	Espesor en (μm) de la subcapa 2	Espesor en (μm) de la capa Total
Carburización (5h,1000° C)	8.5	Zona Externa	40	600	640
		Agujero 5.2mm	40	570	610
		“ 3.2mm	20	470	490
		“ 1.2mm	-	410	410
	10	Zona Externa	50	650	700
		Agujero 5.2mm	30	360	390
		“ 3.2mm	30	370	400
		“ 1.2mm	-	420	420
	13.5	Zona Externa	50	645	695
		Agujero 5.2mm	50	540	590
		“ 3.2mm	30	500	530
		“ 1.2mm	*	*	*
	23	Zona Externa	50	550	600
		Agujero 5.2mm	40	450	490
		“ 3.2mm	-	380	380
		“ 1.2mm	-	230	230

Proceso	Espesor en (mm) de la probeta- E.	Zona analizada	Espesor en (μm) de la subcapa 1	Espesor en (μm) de la subcapa 2	Espesor en (μm) de la capa Total
Supercarburización (ASTM)	8.5	Zona Externa	60	600	660
		Agujero 5.2mm	60	605	665
		“ 3.2mm	40	615	655
		“ 1.2mm	20	432	452
	10	Zona Externa	65	640	705
		Agujero 5.2mm	60	620	680
		“ 3.2mm	55	575	630
		“ 1.2mm	15	354	369
	13.5	Zona Externa	60	610	670
		Agujero 5.2mm	50	590	640
		“ 3.2mm	40	530	570
		“ 1.2mm	15	460	475
	23	Zona Externa	65	700	765
		Agujero 5.2mm	50	650	700
		“ 3.2	40	620	660
		“ 1.2	-	550	550

3.6 -PRONOSTICO DE CAPAS PARA EL PROCESO DE CARBURIZACIÓN PROFUNDA SOBRE LAS BOQUILLAS.

Tipo de Boquilla según procedencia	Espesor de análisis (mm)	Diámetro del conducto de combustible (mm)	Diámetro del conducto de vapor (mm)	Diámetro de la tobera (mm)	Espesor de las subcapas estimadas			
					Conducto de combustible		Conducto de vapor	
					Subcapa1	Subcapa2	Subcapa1	Subcapa2
Textilera	13	2.5	3	4.5	25÷30	450÷500	25÷30	450÷500
Textilera (boquilla arrancada)	8	2.1	-	-	25÷30	430÷480	-	-
cervecería Manacas	8	1.6	1.6	-	0	400÷450	0	400÷450
Fabrica de fertilizantes	6.25	2	2.4	3.5	30÷35	450÷500	35÷40	450÷500
Termoeléctrica	24	3.2	2.2	3.5	0	330÷380	0	220÷270
Fabrica de cemento	8	6.62	-	-	40÷45	520÷570	-	-

CONCLUSIONES PARCIALES. – CAP - 3

1 –La relación (E/D), es el factor geométrico más importante a tener en cuenta para evaluar la influencia de los restantes parámetros de los tratamientos termoquímicos en la formación de capas por el interior de los agujeros pasantes.

Donde:

D = Diámetro del agujero.

E = Espesor que recorre el agujero (longitud).

Esta relación se encuentra muy estrechamente ligada al acceso del flujo de gas carburante por el conducto interior del agujero.

2 – Las capas obtenidas en los procesos de carburización y supercarburización, bajo condiciones no restringidas de acceso del gas cementante, se encuentran formadas por dos subcapas diferenciadas básicamente por la cantidad de carburos de cromo y su configuración.

3 –Para las producciones industriales en serie los procesos tecnológicos de carburización profunda presentan menor complejidad tecnológica que los de supercarburización y un tiempo mas corto de realización.

4- Teniendo en cuenta los resultados de los análisis metalográfico, los tratamientos de supercarburización permiten obtener capas superiores en cuanto espesor, uniformidad, y cantidad de carburos de cromo que los tratamientos de carburización profunda.

5 – Mediante el uso de probetas testigos de tipo plana con agujeros pasantes, se pueden controlar y predecir los espesores de capas que presentarán las superficies interiores de los agujeros en las boquillas atomizadoras, sometidas a procesos de carburización y supercarburización.

CAPITULO -IV

ANALISIS TECNICO ECONOMICO E IMPACTO SOBRE EL MEDIO AMBIENTE.

4.1 – Análisis técnico económico.

La valoración técnico económica de la incidencia que ha tenido la introducción de las tecnologías de fabricación de boquillas de quemadores en la Empresa Planta Mecánica de Santa Clara, está dada por el aporte de nuevas opciones para la comercialización en el terreno nacional y ofrece la posibilidad de ofertar estos productos de altos precios en el mercado internacional con durabilidad superior a las que se ofertan en diversos países del Primer Mundo.

Para las empresas que han recibido las boquillas y para el País en general, la incidencia económica resulta el aporte más importante con que cuenta este trabajo, y aunque estos aspectos resultan en ocasiones un tanto difícil de medir y de cuantificar, en todos los casos son significativos los aportes.

Para ilustrar con un ejemplo práctico puntual hemos tomado la incidencia económica que se calculó en la **Cervecería de Manacas** por beneficios a la fábrica.

Para un correcto análisis técnico económico debía de tomarse en cuenta los siguientes aspectos:

- 1 – El ahorro de combustible que aportaron las boquillas por su buen funcionamiento y la adecuada eficiencia en la combustión que permite a la llama.
- 2 – El ahorro neto que permitieron las boquillas reconvertidas por ser aplicadas los fines de semanas y otros días de baja carga de producción.
- 3 – La disminución o eliminación del gasto en materiales y salarios por concepto de reparación de la obra refractaria, destruida prematuramente al utilizar las boquillas con errores constructivos y hechos de bronce.

VALORACION.

1 – El primer sentido de la valoración debe tener en cuenta los gastos comparativos y los consumos de combustible por año antes de 1992 y después de 1992. Ya que a partir de este año se introdujeron las boquillas de Planta Mecánica, estas boquillas estuvieron trabajando hasta 1997 en que fueron sustituidas las viejas calderas por otras modernas de nacionalidad españolas. Por no existir un control totalmente confiables de todos los consumos por año las cifras no se reflejan con números, aunque se señalaban ahorros hasta de un 40 % en 5 años.

2 – El ahorro por introducción de las boquillas reconvertidas viene dado por la utilización de áreas de los conductos de combustible restringido desde Φ 2 mm hasta Φ 1,75 mm, que representaba una disminución de un 20 % para uso en los fines de semanas o en días para producción con una sola línea. Ya esta cifra de ahorro se encuentra incluida en el balance de ahorro total de consumo de combustible, pero su aporte se debe a la introducción de boquillas rediseñadas.

3 – El concepto de ahorro por disminución ó eliminación de las reparaciones prematuras de la bóveda refractaria, como consecuencia de la afectación que provocaban las boquillas de bronce anteriormente, si pudieron ser calculadas. Para ello recibimos toda la información y ayuda en los cálculos por la dirección de la empresa.

Por tenerse el listado de todos los materiales invertidos en las reparaciones, las fichas de costo y los índices de consumo de cada producto se pudo realizar los cálculos con alto grado de confiabilidad sobre este aspecto del ahorro.

4.1.1 Valoración del ahorro por concepto de eliminación de los gastos en materiales y salarios para reparación de la bóveda refractaria. (Cervecería de Manacas.)

La valoración que se realizó por el departamento de la empresa tomó como elemento básico el ahorro por concepto de eliminación de los gastos en materiales y salario que se venía produciendo en los últimos años para la reparación de la bóveda refractaria. Esto a su vez era la consecuencia de estar utilizando boquillas atomizadoras producidas en dicha empresa con defectos constructivos en material de bronce.

Por la constante incidencia directa de la llama sobre el refractario se producía el derrumbe prematuro de la bóveda acompañado de elevados gastos de reparación.

Los cálculos por conceptos de ahorro de combustible dada la eficiencia de combustión que introdujeron las nuevas boquillas no aparecen incluidos, así como por su alta durabilidad de servicio.

Ejemplo de cálculo:

*Relación de materiales a emplear según documento adjunto elaborado el 18 de Marzo de 1992 por un conjunto de especialistas sobre la reparación de los generadores de vapor de la fábrica de cerveza “Antonio Díaz Santana.”

Designación del material	Cantidad	Precio actual MLC.	
-Losa plana refractaria de importación 12 x 12 x 22"	300 U	---	<u>Conv.</u>
-Ladrillo refractario de importación. Chamota normal.....	4000 U -----	---	---
Chamota recto.....	-----	470.50/ton	350 U/ton
Chamota cuña.....	-----	490.50/ton	350 U/ton
-Disco de fibra de alta velocidad CINAZAS contrato con DISEMAX	20 U -----	---	---
CIROLIT contrato directo con la firma	-----	9.81/ U	---
Caridiamont contrato directo con la firma	-----	11.85/U	---
-Cemento aluminoso T-400 Cemento refractario	20 sacos -----	---	---
		800/ton	60 Kg. /saco
-Barro refractario Barro refractario normal	2 ton -----	---	---
		78.30/ton	
-Amianto en polvo polvo de amianto	1 ton -----	---	---
		2,184.00/ton	---

-Estos precios fueron tomados por la base de información del Dpto. de Comercial de la Empresa Provincial de Calderas ALASTOR.

Cálculo económico por concepto de costo de materiales empleados.

Materiales	Costo total MLC
- Losa plana refractaria 300 U	----
- Ladrillo refractario -400 x 470.507ton ÷ 350 U/ton	= 5,377.14
-Disco de fibra alta velocidad – 20 u x 9.81	= 196.20
- Cemento aluminoso – 20 sacos x 800/ton x 0.06 ton/ saco	= 960.00
-Barro refractario -2 ton x 78.30 /ton	= 156.60
-Amianto en polvo -1ton x 2,84.00 /ton	= 2,184.00

	8,873.94

--El costo de reparación sin tener en cuenta las losas refractarias asciende a 8,873.84 MLC.

*Análisis de las etapas de reparación que hubieran llevado las calderas trabajando con las boquillas de bronce anterior.

- El trabajo se introduce en 1992 y el corte se realizó en noviembre 1997.

Desde julio 92 – dic. 92 – 6 meses

Desde enero 93 – dic 96 – 48 meses

Desde enero 97 – nov. 97 – 11 meses

65 meses =5 años 5 meses

El periodo de reparación de la caldera recuperada, que recibió la afectación de la boquilla, según los documentos, arrojó un periodo de vida de 1 año y 9 meses o lo que es lo mismo = 21 meses.

En 5 años y 5 meses hubiera sido necesario 3 reparaciones en las calderas, de no haberse introducido las boquillas de acero 20X13 fabricadas en Planta Mecánica.

El ahorro por concepto de reparación ascendió a:

Costo de reparación unitaria x 3 veces en 5 años x 3 calderas =ahorro total.

8,873.94 MLC x 3 x 3 = **79,865.46 MLC**

Ahorro por concepto de pago de salario.

Teniendo en cuenta como indicadores de la relación del trabajo de reconstrucción de la obra refractaria un tiempo de 15 días para un reverberista A y un ayudante tendremos el análisis siguiente:

-Reverberista A- sueldo básico 217.28 Cond. Trabajo 30.56

-Ayudante reverberista –sueldo básico 118.17 Cond. Trabajo 30.56

Para un mes de trabajo se paga en salario a los dos 248.84 + 148 .67 =397.51 pesos.

Para 15 días de trabajo se paga 193.25 pesos.

Costo total por salarios = costo por reparación unitaria x 3 veces en 5 años x 3 calderas.

Costo total por salarios = 193.25 x 3 x 3 = **1,739.25 pesos**

se concluyó con un ahorro en materiales y salarios de:

Ahorro de materiales-----79,865.46 MLC

Ahorro por salarios-----1,739.25 MN

4.1.2- calculo del ahorro aportado al país por concepto de la sustitución de las boquillas importadas en la provincia de Cienfuegos.

El cálculo económico se apoya exclusivamente en el ahorro aportado con la sustitución de las boquillas importadas con un alto precio en el mercado internacional para esta provincia y el aumento de durabilidad de servicio que se pudo registrar.

El trabajo desarrollado tuvo una incidencia muy directa sobre la Termoeléctrica Carlos Manuel de Céspedes y la Planta de Fertilizantes nitrogenados de Cienfuegos.

En ambas empresas se invertían gran cantidad de divisas para adquirir anualmente la cantidad de boquillas que cada una de ellas consumían, considerando que los precios ya en aquellos tiempos eran extremadamente elevados y las compras por tanto insostenibles.

Al acometer esta producción y ofertarle a estas empresas estos renglones se liberaba el País de la compra anual de las boquillas.

Las boquillas incorporadas

El ahorro se puede desglosar de la manera siguiente:

Planta Termoeléctrica de Cienfuegos.

Costo de la boquilla japonesa – 394.18 dólar/u

El consumo total por año era de – 172 unidades.

Gasto anual en compra de boquillas = $394.18 \times 172 = 60,058.96$ dólares.

Planta de Fertilizantes Nitrogenados de Cienfuegos.

Costo de la boquilla inglesa – 17.20 dólar /u

El consumo total por año era de – 195 unidades.

Gasto anual en compras de boquillas = $17.20 \times 195 = 3,354.00$

Los gastos para estas dos empresas se remontaba a:

$60058.96 + 3354.00 = \underline{63,412.96}$ dólares.

Es importante significar que por las características de durabilidad de las boquillas de producción nacional, sólo fue necesario consumir en la Termoeléctrica 18 boquillas en el primer año y en la Planta de Fertilizantes 16. Los tiempos de durabilidad fueron aumentando con la introducción de los tratamientos termoquímicos mas perfeccionados.

4.2 – Valoración sobre el impacto en el medio ambiente.

Las afectaciones medioambientales más significativas que se producen en los procesos de combustión dentro de hornos e instalaciones de las calderas se pueden agrupar en tres direcciones principales:

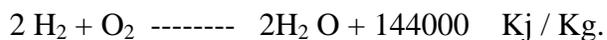
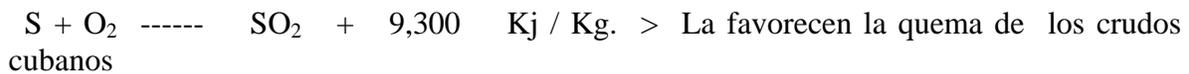
- 1- La expulsión de gases indeseables a la atmósfera y fuera de las especificaciones que permiten las normas dirigidas a la protección del medio ambiente.
- 2- El vertido de desechos sólidos, o sólidos con impregnaciones líquidas tóxicas, residuales de la combustión, de manera indiscriminada en cualquier lugar por parte del personal de algunas empresas.

3- Las afectaciones materiales sobre las instalaciones y la afectación biótica, como consecuencia del mal funcionamiento, incumplimiento de las normas de protección y los accidentes que provocan la negligencia o el desconocimiento.

A continuación se puede argumentar sobre las causas y consecuencias que tienen lugar durante estos procesos en nuestras industrias.

El proceso de combustión de los hidrocarburos presenta particularidades que no son corrientes en otros procesos de reacciones químicas que acostumbramos a valorar en nuestros laboratorios. En los procesos industriales las reacciones y los productos resultantes se ven afectados por un grupo grande de variables que deben de ser tomados en cuenta en todo momento.

En las condiciones prácticas es el accionamiento sobre los factores principales los que nos posibilitan los mejores resultados y el control de las reacciones en el sentido más favorable. En las reacciones de combustión ya conocidas se ponen de manifiesto aquellas reacciones que dan origen a los gases contaminantes:



Para las instalaciones industriales que queman combustibles líquidos, el quemador con su boquilla de atomización constituyen el corazón del sistema. Sin un correcto funcionamiento del quemador no se puede concebir la eficiencia industrial del conjunto por muy perfectas que se mantengan las demás partes de las instalaciones y todas estas insuficiencias vienen acompañadas de serias afectaciones sobre el medio ambiente.

Los gases más nocivos son el CO y el SO₂ y en un segundo nivel se incluye el CO₂.

Los dos primeros tienen alto nivel de toxicidad tiene acción directa sobre la creación del efecto invernadero sobre el planeta.

El CO₂ al concentrarse en determinadas zonas de la atmósfera provoca la llamada lluvia ácida.

El vertido indiscriminado de los desechos sólidos que se extraen de los hornos en los trabajos de limpieza, se practica corrientemente en algunas empresas desde hace muchos años y dondequiera que se viertan estos desechos queda la tierra contaminada con los residuos de los hidrocarburos, las impurezas acompañantes y los compuestos resultantes de las reacciones.

Por último, los accidentes del trabajo con sus múltiples razones de origen pueden constituir una de las más serias afectaciones sobre el medio ambiente afectando tanto la parte biótica como la abiótica. Son precisamente estos hechos los causantes de pérdidas irreparables más penosas que pueden ser evitables por el hombre.

4.3-Elementos favorables que se introducen con la fabricación de boquillas de alta durabilidad

1- Cada tecnología garantiza los niveles de atomización con la adecuada relación de combustión y funcionamiento para la que está diseñada la boquilla en la quema, reduce el % de CO a la atmósfera hasta el % permisible. No se recomienda aplicar gran exceso de oxígeno ya que provoca altos consumos de combustibles con bajos rendimientos térmicos.

2- Con los ajustes y las tolerancias adecuadas en las zonas planas de contacto y las zonas roscadas se impide el goteo por falta de hermeticidad y se evita la formación de costra en el piso debajo del quemador debido a la llamada cokificación junto con residuos de azufre.

3- Al fabricarse las boquillas según los detalles que explica el fabricante o con las modificaciones concientes en correspondencia con las reparaciones y cambios de la bóveda refractaria, se conserva la relación dimensional entre la geometría de la llama y la de la bóveda. Esto elimina los riegos de destrucción de las paredes por la incidencia directa de la llama y la creación de desechos de refractarios impregnados de residuos no quemados del combustible.

4- Cuando se deprimen los planes de producción en las empresas, generalmente se trabajan las calderas en parámetros muy bajos de entrega, que se corresponde con los de más baja eficiencia y aun así no se pueden controlar correctamente los procesos de la combustión. Esto provoca mayor aumento en los niveles de CO. En ocasiones se busca solución a esto generando una cantidad de vapor en exceso que luego expulsan a la atmósfera con la correspondiente pérdida del combustible en exceso empleado. Esto se resuelve aplicando boquillas reconvertidas siempre que los niveles de restricciones no sean muy drásticas.

5- Con los diagnósticos de durabilidad y el registro de vida programada de las boquillas se eliminan los períodos de trabajo ineficiente, una vez cumplido el tiempo de vida deben retirarse o por lo menos valorarse, mediante equipos, los productos del proceso de combustión de estas boquillas sistemáticamente. Con el inicio de una mala atomización las gotas del combustible quedan con un tamaño que llegan al piso sin quemarse totalmente después de haber recorrido toda su trayectoria, originando una costra de combustible más pesado sin quemar.

CONCLUSIONES PARCIALES. CAP – 4.

- 1- El aporte en divisas que representa la sustitución de las boquillas importadas por las de producción nacional en las empresas cubanas, se puede palpar de manera convincente con los ejemplos citados donde solo en tres empresas la cifra ascendió a 144,278.MLC. tomando solo elementos parciales.
- 2- Las afectaciones al medio ambiente más comunes que se registran durante la explotación de las instalaciones termoenergéticas se fundamentan en la expulsión de gases como el CO, CO², SO₂ y el vertimiento en lugares no controlados de los desechos sólidos arrancados del piso y las paredes de las bóvedas refractarias de los hornos.
- 3- Las acciones nocivas principales que se registran en los procesos de combustión en nuestras instalaciones termoenergéticas están agudizadas por el mal funcionamiento en los quemadores y por la explotación de boquillas fuera de sus especificaciones para su uso.

CONCLUSIONES GENERALES.

1 – La principal afectación que invalida el tiempo prolongado de servicio de las boquillas de quemadores en Cuba, es el efecto del desgaste erosivo de los combustibles que se queman en estas instalaciones.

2 – El acero 20X13 es uno de los aceros más adecuados para la fabricación de boquillas considerando las condiciones corrosivas y el efecto del desgaste erosivo a que están sometidas las boquillas. Aquí es fundamental la presencia del cromo en un % alto para garantizar la formación de una capa de carburos sobre las superficies mediante los procesos de Carburización y Supercarburización.

3 – La boquilla cubana de alta durabilidad debe caracterizarse por:

- El cumplimiento estricto de los parámetros dimensionales determinantes.
- La elevación de la resistencia al desgaste erosivo en los conductos de vapor y del combustible mediante el tratamiento termoquímico.
- Bajo costo de fabricación con tecnologías de identidad nacional.

4– Para implementar los sistemas de control de la calidad de los procesos de fabricación de boquillas atomizadoras para hornos y calderas es necesario considerar el proceso, como un proceso complejo, no solo por las características que tienen en particular estas tecnologías, sino además por el alto nivel de responsabilidad que acompaña a estos elementos en cuanto a pérdidas materiales o de vidas por accidentes o mal funcionamiento, así como las afectaciones al medio ambiente.

Por esto el sistema de control debe ser realizado antes, durante y después, haciendo énfasis en los controles pos-venta.

5 – La relación $R = E / D$ permite caracterizar un parámetro geométrico con valores numéricos capaz de posibilitar pronósticos de formación de capa para los procesos de carburización y supercarburización sobre la superficie interior de los agujeros con independencia de la configuración externa, ya que encierra en su consideración la accesibilidad del vehículo cementante.

6 – Los controles dimensionales de calidad en las boquillas, debe partir de la diferenciación de las dimensiones determinantes de las restantes no determinantes en cada caso particular para garantizar el funcionamiento limpio y estable del proceso de atomización y establecer los niveles de exigencias que corresponde a cada uno.

7 – Los procesos de supercarburización son mas favorables que los de carburización para la formación de capas de carburo sobre superficies interiores de agujeros cuando las relaciones $R = E / D$ son superiores a 10.

8 – Para el tratamiento termoquímico que aplicamos a las pequeñas series de boquillas existe un grupo grande de factores que pueden influir sobre la formación de las capas de carburos y sus dimensiones sobre la superficie interior de los agujeros dentro de los cuales se pueden relacionar:

* El tipo de acero utilizado, así como el contenido de elementos formadores de carburos y especialmente el cromo y el molibdeno.

- * El tipo de proceso (carburización ó supercarburización) y sus parámetros específicos.
- * La relación R dada por el cociente de la longitud entre el diámetro del agujero.
- * El acabado superficial por el interior del agujero.
- * El efecto de arista o de borde agudo en los extremos de los agujeros.

RECOMENDACIONES.

- 1 – El estudio sobre el deterioro de las boquillas de diferentes tipos en las instalaciones nacionales debe ser ampliado a lo largo de todo el País, esto nos permitiría acercarnos más a la problemática general y a la vez detectar en que lugares son mas graves estos problemas.
- 2 – Las empresas nacionales que no son capaces de fabricar las boquillas de repuesto para sus instalaciones según los requerimientos que se exponen en las conclusiones de este trabajo no deben acometer la tarea porque los resultados son siempre negativos.
- 3 – La empresa Planta Mecánica en coordinaron con la Comisión Nacional de Energía puede elaborar un proyecto que abarque la producción de los renglones de boquillas más importantes para el País, beneficiarse con estos contratos y aplicar a todo lo largo de la Isla la experiencia acumulada en estos últimos 10 años en el servicio al Territorio Central.
- 4 – Debe considerarse las posibilidades económicas que pudieran aportar, la producción y exportación de boquillas de quemadores como fuente de divisas para nuestro País, dado los precios que se les registran en el mercado mundial, los resultados estables que ya podemos mostrar en este campo y la necesidad que tiene nuestra empresa de abrir nuevos renglones seguros para la exportación.

BIBLIOGRAFÍA DEL AUTOR

- 1 - Chevalier Agüero, Germán. Algunas experiencias prácticas sobre métodos y medios de medición en el ensayo de dureza para piezas y herramientas. CIDF. 1998
- 2 - Chevalier Agüero, Germán.; Jorge Rivera Torres. Aplicación de Métodos Prácticos de control de dureza y composición mediante patrones comparativos. CIDF. 1995.
- 3 - Chevalier Agüero, Germán. Macro y microanálisis. CIDF. 1993.
- 4 - Chevalier Agüero Germán. Fabricación de boquillas atomizadoras de alta durabilidad para hornos y calderas. Memorias Foro Internacional "FUNDICIÓN 95" Nov. 9 de 1995. La Habana. Cuba.
- 5 - Chevalier Agüero Germán. "Aplicación de la carburización y supercarburización sobre aceros de alto cromo", Innovación No 436 de 1997.Planta Mec.(Memoria descriptiva) Cuba.
- 6 - Chevalier Agüero Germán. "Fabricación de los componentes del quemador de la caldera española del central Eriberto Duquesne." Revista Tecnología Mecánica. 1998.
- 7 - Chevalier Agüero Germán. "Reconversión de calderas mediante el rediseño de boquillas atomizadoras." Innovación No 462 de 1997. Planta Mec.(Memoria descriptiva), Cuba.
- 8 - Chevalier Agüero Germán. "Dispositivo flexible para el proceso de barrenado inclinado en la fabricación de boquillas de quemadores."Planta Mec. CIDF. 1993
- 9 - Chevalier Agüero Germán y Chaviano Alexis. "Fabricación de boquillas de quemadores aplicando las técnicas CNC." Empresa EIMPUD 1° de MAYO. 1992
- 10 - Chevalier Agüero, Germán y Bouza Jorge. "Diseño, construcción y explotación de Quemador para la caldera del Central G. Washington". Innovación Nº 133. Año 2000.(Memoria descriptiva), CIDF. Planta Mec.
- 11 - Chevalier Agüero Germán y Bouza Jorge. "Fabricación de boquillas de quemadores para el Central Quintín Banderas" Planta Mec. CIDF. Año 1999.

- 12 - Chevalier Agüero Germán. "Aplicación de la Inteligencia Artificial a la caracterización y clasificación de Aceros Inoxidables." Innovación. Año 2001, CIDEF. Planta Mec.
- 13 - Chevalier Agüero Germán. " Algunas experiencias sobre la fabricación de boquillas atomizadoras para hornos y calderas en Cuba." CONVENCIÓN METANICA – 2002. Memorias del evento. La Habana. Año 2002.

- 1 Alvarez, E: Tribología: Ciencia y Técnica. Material para curso de postgrado, 1997.
- 2 Arbolaez Castro, Bárbara. Proceso de Fabricación de Boquillas de calderas de la Compañía Babcock and wilcox / Bárbara Arbolaez Castro; Edildo Ortiz Santos, Tutor- TD –UCLV (Mecánica) 1991-46p.
- 3 Areas Bello Mileidys. Estudio de la Capa Carburada sobre acero 20X13/ Mileidys Areas Bello; Germán Chevalier, Tutor; TD- UCLV (MEC) 1994. 34pp.
- 4 ASTM B 874- 96: "Standard Specification for Chromium Diffusion Coating Applied by Pack Cementation Process", 1996.
- 5 ASTM E 3 -95: "Standard Practice for Preparation of Metallographics Specimens", 1995. ASTM E 3 -95: "Standard Practice for Preparation of Metallographics Specimens", 1995.
- 6 ASTM E 384 - 73: "Standard Method of Test for Microhardness of Materials", 1973. ASTM E 384 - 73: "Standard Method of Test for Microhardness of Materials", 1973.
- 7 ASTM E 407- 99: "Standard Methods for Microetching Metals and Alloys", 1999.

- 8 Avalos Pino, Idolidia. Sistema de control y mejoramiento de la calidad de las boquillas. / Idolidia Avalos Pinos. Norge Coello Machado, Tutor-TD; UCLV(Mecánica)1991-67p.
- 9 Balzers, E. S. A: "Recubrimientos de herramientas de corte reafiladas". Revista Metalurgia y Electricidad (6730): 52 – 54, 1995.
- 10 Boada Carrazana Ortelio. Teoría de corte de metales, Tomo II. Editorial Pueblo y Educación 1985.

- 11 C 664 – 87 (1999): “Test Methods for Thickness of Diffusion Coating”, 1996.
- 12 Espinosa, N. Dirección de la calidad. Editorial ISPJAE, La Habana.1986.
- 13 Fan-Shiong Shen, et al. “Super – carburization of low alloys steel and low carbon steel by fluidized - bed furnaces”. Journal Surface and Coatings Technology. PP 36-44, Vol 132, Nº 1 del 2000.
- 14 Fernández Landera Consuelo. Tipificación de boquillas. Trabajo de Diploma (Mec)
Curso 1992 – 1993 -28h.
- 15 García Padrón, R; Valdés Cortes; J. R Rodríguez Benítez. Normalización y control de la calidad para la industria ligera.(Tercera parte).Editorial pueblo y educación 1991.
- 16 Gantois; Michel. US Patent 5139584. “Carburization Process”. 1992
- 17 Guerra Deben, Jorge. Sevilla Pereda, Elida. Introducción al análisis estadístico para procesos. Editorial pueblo y educación, 1996. (Primera y segunda parte).
- 18 Guliaev. P. A. Metalografía. Tomo I. Editorial MIR- Moscú 1978.
- 19 Guliaev. P. A. Metalografía. Tomo II. Editorial MIR- Moscú 1978.
- 20 Hochman. J. Aceros inoxidables y Refractarios. Ediciones Urmo. 1968
- 21 Ishikawa Kaoru, Que es el control total de la calidad. La modalidad japonesa. Editorial de ciencias sociales, 1977
- 22 Isogai; Takefumi., et al. US Patent 6149734. “Method of heat treatment of steel”. 2000.
- 23 Jaimanera Fernández, R. Che y los comités de calidad. Revista de normalización N-1, 1988.
- 24 Juran J. M. Manual del control de la calidad. Segunda y tercera edición.
- 25 Kopusov, V.; et al: “Wear resistant coating and method for manufacturing” R.U. Patent 2136777, 1999.

- 26 Lajtin, Yu. M: Tratamiento químico térmico de los metales. Editorial Mir, Moscú, 1987.
- 27 Le Grant Rupert. Nuevo Manual del Taller Mecánico. Ediciones Revolucionarias Tomo I.
- 28 Lyakhovich, L. S: Manual del tratamiento termoquímico de los metales y aleaciones (en ruso). Editorial Mir, Moscú, 1981.
- 29 Madrigal Rodríguez Melchor. Investigación sobre la vida útil de las brocas cubanas. Revista Construcción de Maquinaria (3), 1984.
- 30 Maloney; James, et al. "Case carburized stainless steel alloy for high temperature application". 1995
- 31 Medición de fuerza y dureza. Kirnosov. V. Editorial pueblo y educación. P-29 -30.
- 32 Money González Lisette. Sistema de Control de Calidad para las Boquillas de Quemadores de Hornos/ Lisette Money González; Germán Chevalier, Tutor; TD-(MEC) 1994. 73 p.
- 33 Montaner Manuel. Ingeniería de herramientas. 1977.
- 34 Nakamura; Shotaro, et al. US Patent 6623567. "Method for high concentration carburizing and quenching of steel and high concentration carburized steel part". 2003
- 35 NC 16-33:80. Normas básicas de intercambiabilidad. DESVIACIONES LÍMITES DE LAS DIMENSIONES SIN ESPECIFICACIONES DE TOLERANCIAS.
- 36 NC 92-03:80 Control de la calidad. INSPECCIÓN DE ACEPTACIÓN. Planes de muestreo.
- 37 NC 92-11:80. Control de calidad. GRAFICO DE CONTROL POR VARIABLES.
- 38 NC 92-23:80. Control de la calidad. INDICES PARA MEDIR LA EXACTITUD Y ESTABILIDAD DE LOS PROCESOS TECNOLOGICOS. Requisitos generales.
- 39 NC 92-32:81. Control de la calidad. PRODUCTOS QUÍMICOS. Reglas generales para el muestreo.
- 40 NRSM 6:81. Control de la calidad. METODO DE CONTROL.
- 41 NRSM 7:81. Control de la calidad. CONTROL DE LOS PROCESOS POR MUESTREO DE ATRIBUTOS.

- 42 Pérez Rangel, Lilian. Aplicación de tratamientos termoquímicos en boquillas de quemadores/ Lilian Pérez Rancel; Omar Pérez Castellón, tutor -TD; UCLV (MEC); 1991.- 28p.
- 43 Pons Murgía Ramón. DIAGRAMAS DE CAUSA Y EFECTO. Revista Ingeniería Industrial. Volúmen-VI. Nº 2 (Junio de 1985)
- 44 Poor; Ralph, et al. "New Technology is de next step in vacuum carburizing". <http://WWW.industrialheating.com>
- 45 Prado Barroso Alfredo Juan. Determinación de la Maquinabilidad del hierro fundido nodular de bajo peso específico antes y después del tratamiento térmico. Revista Construcción de Maquinaria (2), 1988.
- 46 Queille; Philippe. US Patent 4744839 "Process for a rapid and homogenous carburization of a charge in a furnace". 1988.
- 47 Rapp, R.; et al: "The codeposition of elements in diffusion coating by pack cementation method". U.S. Patent 5, 364, 651, 1993.
- 48 Roca González, Humberto. Tecnología de elaboración de boquilla de atomización Y de estabilizador de flujo/ Humberto Roca González; Edildo Ortiz Santos, tutor-TD; UCLV (Mec); 1991.-56p.
- 49 Rodríguez Valdivia. José Luis. Elaboración de equipo y Métodos de selección de aceros para cadenas C6 y B6./ José. L. Rodríguez Valdivia; Germán Chevalier Agüero; Tutor TD; UCLV (Mecánica) 1988- 89.
- 50 Schäcke, P. TENDENCIAS DEL ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD EN LA CONSTRUCCIÓN DE MAQUINARIAS. Maschinenbau Technik. Berlín, 1982.
- 51 Servio Wong Liliana. Maquinabilidad de los hierros fundidos por EMPROMECC – MINAZ/ Liliana Servio Wong; Dester Perdomo, Tutor -TD; UCLV (MEC) 1973 33p.
- 52 Stieckels; Charles, et al. US Patent 5653822. " Coating method of gas carburizing highly alloyed steel". 1997.
- 53 Tahara; Maasaki, et al. US Patent 5792282. "Method of carburizing stainless steel and stainless steel products obtained thereby". 1998.
- 54 Tahara ;Maasaki, et al. US Patent 5593510. "Method of carburizing austenitic metal". 1997.
- 55 Vander, G; G., Lucas: "Microindentation hardness testing". Advanced Materials and Process September 1998.

- 56 Voronkov, A: "Conferencia sobre el método de recubrimiento por difusión superficial".
Planta Mecánica, 1992.
- 57 Williams Peter, et al. US patent 6165597. "Selective case hardening processes at low temperature". 2003.
- 58 Williams; Peter, et al. US patent 6547888. "Modified low temperature case hardening process". 2001.
- 60 Williams; Peter, et al. US patent 6547888. "Low temperature case hardening processes". 2000.
- 61 Zayets.; et al: "Method and composition for diffusion alloying of ferrous material"
U.S. Patent 6, 197, 436, 2001.

FOTOS DE BOQUILLAS: ANEXO - 1



Foto- 1. Vista de conjunto. Boquillas de diferentes tipos producidas con alta calidad y elevada durabilidad de servicio en Planta Mecánica.



Foto- 2. Boquilla de atomización con vapor del tipo Babcock and Wilcox perteneciente a la Cervecería de Manacas.



Foto - 3 B oquilla de atomización mecánica perteneciente a la Termoeléctrica de Nuevitas.



Foto - 4 Boquilla de atomización con vapor tipo Y perteneciente a la Termoeléctrica Carlos Manuel de Céspedes de Cienfuegos.



Foto - 5 Boquilla de atomización fabricada para la caldera Española del Central Quintín Banderas. Otro grupo de este mismo modelo se fabricó para el Central George Washington.



Foto - 8 Boquillas de atomización con vapor tipo Y pertenecientes a la Textilera Desembarco del Granma.

FOTOS DE BOQUILLAS: ANEXO -2



Foto – 7 Boquilla de quemador de los hornos de la fábrica de Cemento de Cienfuegos.



Foto – 9 Boquilla de atomización mecánica perteneciente a la caldera japonesa de la textilera Desembarco del Granma. Se aplica solamente para la arrancada.



Foto – 11. Boquilla de atomización con vapor tipo Y perteneciente a la fabrica de Fertilizantes de Cienfuegos.



Foto – 6 Boquilla diseñada y construida para el Central Heriberto Duquezne de atomización mecánica para baja presión.



Foto – 10 Boquilla diseñada y construida para el Central Heriberto Duquezne (parte superior) y debajo de ella están los dos modelos que sustituyó.

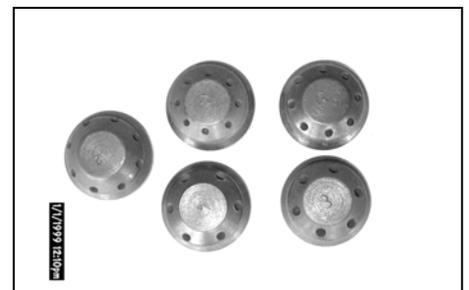


Foto – 12 Diferentes tipos de boquillas reconvertidas para entrega restringida de las calderas, junto a la original pertenecientes a la Textilera Desembarco del Granma.

FOTOS MICROGRAFICAS DE CAPAS: ANEXO -3

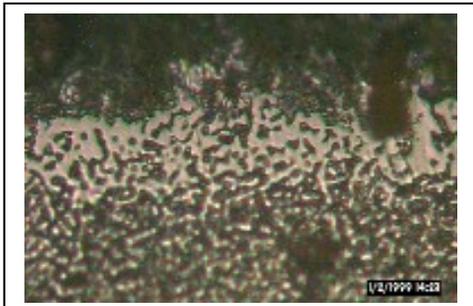


Foto – 19 Micrografía de capa supercarburada obtenida en la superficie de agujero de longitud 23mm y diámetro 3.2mm.

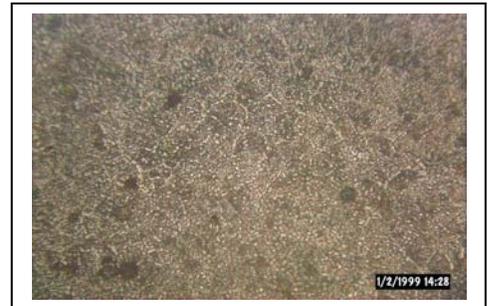


Foto- 20 Micrografía de capa carburada obtenida en la superficie interior de agujero de longitud 23mm y diámetro 3.2mm.

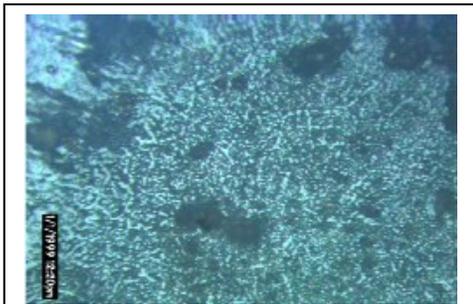


Foto – 21 Micrografía de la capa obtenida mediante supercarburización en agujero de longitud 23mm y diámetro 1.2mm.



Foto – 22 Montajes de las muestras y probetas para el estudio microestructural de las capas obtenidas.

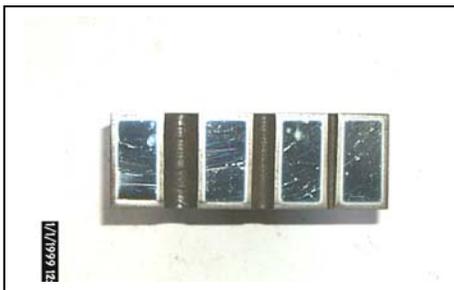


Foto – 23 Probeta preparada y atacada para realizar el macro y microanálisis metalográfico de las capas obtenidas, para diferentes espesores y diámetros de agujero.



Foto – 24 Instalación para la realización de las fotos microestructurales de las capas carburadas y súper carburadas sobre muestras y probetas.

PROPIEDADES DEL COMBUSTIBLES LIQUIDOS DE CONSUMO NACIONAL

COMBUSTIBLE	Q _s P, Kcal./Kg. (superior)	Q _i P, Kcal./Kg. (interior)	VISCOSIDAD (v), cts. TEMPERADURA (t), °c.	VISCOSIDAD (v), cts. TEMPERATURA (t), °C
Mazut - 40	10273	9642	420 30	32 80
Bunker C	10040	9469	110,3 50	45,5 80
Refinado Nacional (mezcla)	10233	9616	114,8 50	49,3 80
Crudo Cubano (tipo varadero)	9727	9181	1100 50	34 80
Mazut - 100	10990	-	1500 30	95 80

ESPEFICACIONES DEL PRODUCTO

1. Combustible Ligero:

No.	Índice de Calidad	U/M	Método de Ensayo	Valor Especifico
1.	Viscosidad a 50 °C	mm ² /s	NC33-19-84	180 máx.
2.	Azufre total	% m/m	NC33-33-85	215 máx.
3.	Temperatura de inflamación (cc.)	°C	NC33-06-83	62 min.
4.	Cenizas	% m/m	NC33-16-84	0,10 min.
5.	Carbón Conradson	% m/m	NC33-31-85	Determ. Obligat.
6.	Valor calórico - superior	MJ/Kg. Kcal./Kg.)	Calculado	41.0 (9800) min.
	Valor calórico – inferior	MJ/Kg. Kcal./Kg.	Calculado	38.5 (9200) min.
7.	Densidad	g/Cm ²	NC33-28-84	Det. Obligat.
8.	Agua	% V/V	NC33-20-84	2.0 máx.
9.	Sedimentos por extracción	% m/m	ASTM d473	0,15 máx.

2. Petróleo. Combustible mediano

Empresas productoras: Las mismas que el anterior

Descripción del producto: El mismo que el anterior

ESPECIFICACIONES DEL PRODUCTO

No.	Índice de Calidad	U/M	Método de Ensayo	Valor Especifico
1.	Viscosidad a 50 °C	Mm ² /s	NC33-19-84	181-320
2.	Azufre total	% m/m	NC33-33-85	3.0 máx.
3.	Temp. De inflamación (cc)	°C	NC33-06-83	62 min.
4.	Cenizas	% m/m	NC33-16-84	0.10 máx.
5.	Carbón Canradson	% m/m	NC33-31-85	Det. Oblig.
6.	Valor calórico superior	MJ/Kg. Kcal./Kg.	Calculador	41.0 (9800) min.
7.	Valor calórico inferior	MJ/Kg. Kcal./Kg.	Calculado	38.5 (9800) min.
7.	Densidad a 15 °C	g/cm ³	NC33-28-84	Det. Oblig.
8.	Agua	% V/V	NC33-30-84	2.0 máx.
9.	Sedimentos por extracc.	% m/m	ASTMD 473	0-.15 máx.

3. Petróleo. Combustible pesado.

Empresas Productoras: Las mismas que las 2 anteriores

Descripción del producto: El mismo que las 2 anteriores

ESPECIFICACIONES DEL PRODUCTO

No.	Índice de Calidad	U/M	Método de Ensayo	Valor Especifico
1.	Viscosidad a 50 °C	Mm ² /S	NC33-19-84	321-650
2.	Azufre total	% m/m	NC33-33-85	4.0 máx.
3.	Temperatura inflam. (cc)	°C	NC33-06-83	62 mín.
4.	Cenizas	% m/m	NC33-16-84	0.20 máx.
5.	Carbón Conradson	% m/m	NC33-31-85	Det. Oblig.
6.	Valor calórico superior	MJ/Kg. (Kcal./Kg.)	Calculado	40.17 (9600) min.
7.	Valor calórico inferior	MJ/Kg. (Kcal./Kg.)	Calculado	37.65 (9600) min.
7	Densidad	g/cm ³	NC33-28-84	Det. Oblig.
8.	Agua	% v/v	NC33-20-84	2.0 máx.
9.	Sedimentos por extrac.	% m/m	ASTMD 473	0.15 máx.

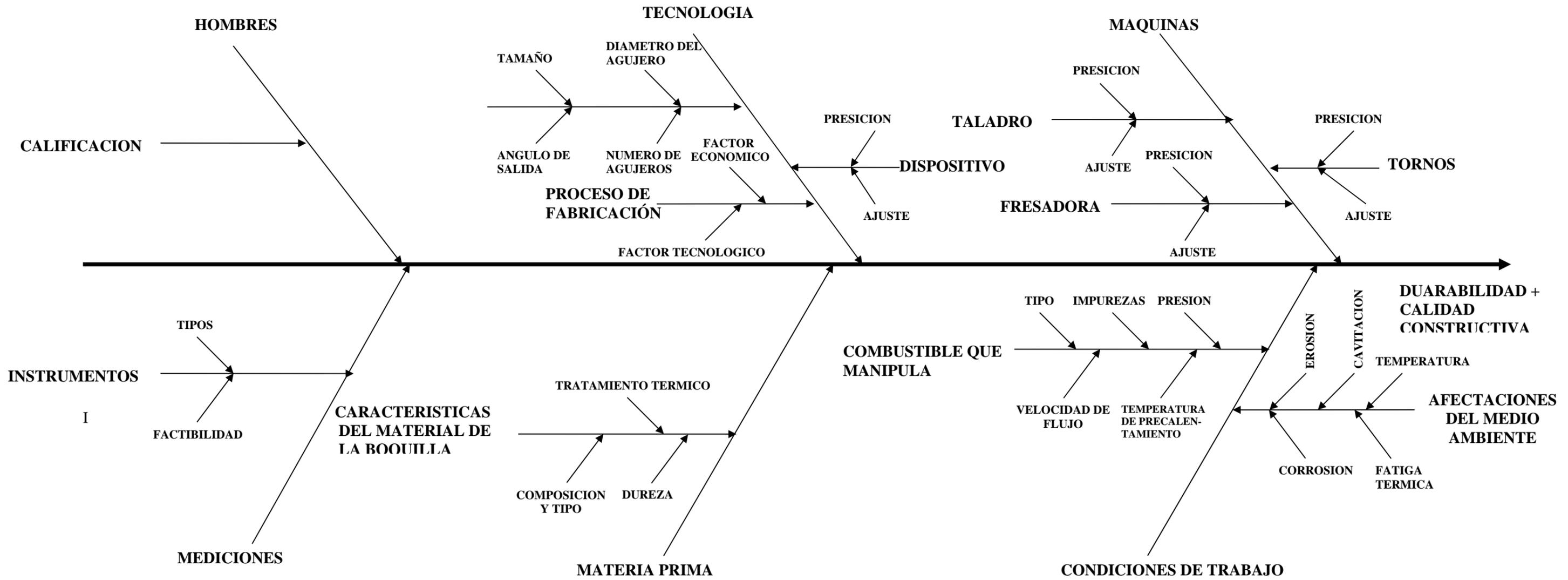


Figura . Diagrama general de causa y efecto