



MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO
"Dr. Antonio Núñez Jiménez"
FACULTAD: METALURGIA - ELECTROMECÁNICA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

Trabajo de Diploma

*Evaluación del comportamiento de vida útil del eje central
del horno Herreshof de la Empresa Comandante
Ernesto Che Guevara.*

Autor: Carlos Frómeta Cardero

Tutor: Ing. María Victoria Rojas Fernández.

Moa 2008
Año del 50 Aniversario de la Revolución



MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO
"Dr. Antonio Núñez Jiménez"
FACULTAD: METALURGIA - ELECTROMECÁNICA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

Trabajo de Diploma

*Evaluación del comportamiento de vida útil del tramo de
eje central del horno Herreshof de la Empresa
Comandante Ernesto Che Guevara.*

Carlos Frómeta Cardero _____

Ing. María Victoria Rojas Fernández. _____

Moa 2008
Año 50 Aniversario de la Revolución

Pensamientos

“Del trabajo continuo y numeroso nace la única dicha, porque es la sal de las demás venturas, sin los que todas las demás cansan o no lo parecen: si tiene libertad de todos más que una raíz, es el trabajo de todos.”

“Cuando en los hombres se encarna un grave pensamiento, un firme intento, una aspiración noble y legítima, los contornos del hombre, se desvanecen en los espacios sin confines de la vida.”

José Julián Martí Pérez



Agradecimientos

A mi madre Elsi Estrella Cardero Chaveco, a mis hermanos Yadisney Frómeta Cardero, Yurietny Frómeta Cardero y Pavel Luis Frómeta, a mis 3 sobrinos, a mi tía y a mis 3 cuñados.

A tres personas que aunque no se encuentran físicamente siempre me apoyaron desde el cielo y me dieron fuerzas para seguir adelante, ellos son mis abuelos Pedro Luis Frómeta Sánchez, Luciadia Abad Romero y a mi padre Carlos Luis Frómeta Abad.

A mis compañeros de aula por estar conmigo en las buenas y en las malas y darme apoyo y esperanza cuando la necesite, que han sido para mí como una familia.

A los profesores del departamento por ayudarme en mi formación y brindarme los conocimientos necesarios para formarme como ingeniero, a mi tutora María Victoria Rojas Fernández y a la profesora Yaritza Ramirez Cruz.

A los compañeros de la Empresa Comandante Che Guevara y los de la Empresa Mecánica del Níquel por brindarme la información necesaria para poder terminar mi tesis y a dios por que sin su apoyo no hubiese llegado a donde estoy.

A todas estas personas muchas gracias.

RESUMEN

Los hornos de reducción operan bajo condiciones muy singulares, y sus elementos mecánicos interiores requieren de propiedades especiales extremas que permitan mantener un comportamiento estable de regímenes intensos de altas temperaturas y elevadas tensiones de trabajo, donde las cargas pueden ser de signos variables generados por esfuerzos mecánicos y gradientes térmicos. Los tramos del eje central son unos de los equipos que están expuestos a estas altas temperaturas provocando paros en la fábrica, los cuales son fabricados de una aleación de FeNiCrMoCu.

El presente trabajo se encaminó en evaluar el comportamiento y duración de la vida útil de los tramos de eje central del horno herreshof. Caracterización de la aleación marca FeNiCrMoCu según sus propiedades mecánicas y corrosivas. Determinación de las causas de fallas y roturas de los tramos de eje central. Para realizar este trabajo se hizo un procesamiento estadístico de los datos del tiempo de vida útil de los tramos del eje central, obteniéndose como resultado El tiempo aproximado de duración de los tramos de eje central en los hornos desde los comienzos de la fábrica hasta la actualidad es de aproximadamente 11 años.

Los ejes de mayor durabilidad son los de fabricación rusa debido al material de que son fabricados, hierro nodular con grafito esferoidal, que tiene mejores propiedades mecánicas que las de fabricación nacional que son de hierro gris con grafito laminar.

Palabras claves: tramos del eje central, rotura y causa

Abstract

The reduction furnaces operate under very singular conditions, and their inner mechanical elements require of extreme special properties that allow to keep a stable behavior of intense regimes of high temperatures and tensions of work, where the variable loads can be of signs generated by mechanical efforts and thermal gradients. The sections of the central axis are ones the equipment that are exposed to these high temperatures having caused unemployments in the factory, which are made of an alloy of FeNiCrMoCu.

The present work was directed in evaluating the behavior and duration of the life utility of the sections of central axis of the furnace herreshof. Characterization of the alloy marks FeNiCrMoCu according to its mechanical and corrosive properties. Determination of the causes of faults and breaking of the sections of central axis. In order to make this work a statistical processing was made of the data of the time of life utility of the sections of the central axis, obtaining itself as result the approximated time of duration of the sections of central axis in the furnaces from the beginnings of the factory to the present time it is 11 years approximately.

The axes of greater durability are those of Russian manufacture due to the material of which they are made, iron to nodular with spheroidic graphite, that has better mechanical properties than those of national manufacture which they are of gray iron with laminar graphite.

Key words: sections of the central axis, breaking and cause

Índice

Introducción	1
Capítulo I. Marco teórico	4
1.1 Introducción.....	4
1.2 Estado del Arte.....	6
1.2.1 Hierro Fundido .Clasificación.....	6
1.2.2 Hierro de elevada aleación.....	9
1.2.3 Efecto de los elementos de aleación en el hierro fundido.....	11
1.3 Conclusiones del Capítulo.....	15
Capítulo II. Materiales y Métodos	16
2.1 Introducción.....	16
2.2 Métodos de investigación.....	16
2.3 Metodología para la investigación.....	17
2.4 Materiales y métodos utilizados.....	18
2.4.1 Análisis químico.....	18
2.4.2 Propiedades mecánicas.....	19
Capítulo III. Resultados y Discusión	20
3.1 Introducción.....	20
3.2 Caracterización del eje central.....	22
3.2.1 Composición química.....	23
3.2.2 Temperatura.....	25
3.3 Procesamiento estadístico de los datos.....	25
3.3.1 Durabilidad de los tramos de eje central según su procedencia.....	27
3.4 Causas de fallas y roturas de los tramos de eje central.....	35
Conclusiones del Capítulo.....	35
Capítulo IV. Valoración Económica	36
4.1 Determinación de los costos de producción de una tonelada de FeNiCrMoCu...	38
4.2 Cálculo del costo de producción de un tramo del eje central.....	39
Conclusiones del Capítulo.....	42
Conclusiones	43
Recomendaciones	44
Bibliografía	45
Anexos	

INTRODUCCIÓN

La Industria Cubana del Níquel con 60 años de creada, a partir del año 2000 constituye la primera fuente de exportación del país y se encuentra enfrascada en un proceso de ampliación de sus capacidades y modernización de su tecnología, y con ello equipos y aparatos para su desarrollo, lo que permitirá ir incrementando su papel en la economía nacional.

En la resolución económica del V Congreso del Partido Comunista de Cuba (1997) se plantea que para la recuperación y desarrollo de la economía cubana es necesario intensificar el desarrollo de la industria minero metalúrgica, y como objetivo estratégico incrementar la producción de concentrados de níquel con mayor eficiencia en las inversiones.

Para cumplir estos lineamientos a mediano y largo plazo, se requiere que paralelamente al crecimiento progresivo de la producción se perfeccionen los parámetros y regímenes de trabajo de las instalaciones y el equipamiento tecnológico, para aumentar la eficiencia de los hornos metalúrgicos lo que garantizará la existencia de un proceso productivo continuo.

El costo de producción del níquel está incrementado en gran medida por el elevado consumo energético debido a que una parte significativa del equipamiento utilizado se encuentra en fase de deterioro progresivo, exigiendo grandes esfuerzos para sustituir o recuperar los dispositivos, agregados y piezas que conforman los componentes principales del equipamiento.

De las fábricas productoras de níquel la empresa Ernesto Che Guevara no está exenta a estos cambios por el aumento de la producción y la variación de la composición mineralógica del mineral alimentado. Esto trae como consecuencia la parada continua de los equipos, con esto disminuye la productividad de la fábrica y el costo de producción aumenta.

Los hornos de reducción son unos de los equipos a que más reparaciones están expuesto, ya que son los encargados de reducir el hierro que se encuentra en el mineral laterítico alimentado para lo que se requiere altas temperaturas y una atmósfera con alto contenido de gases reductores (CO, H₂), pero a su vez, están presentes otros elementos (CO₂, N₂) que provienen de la combustión del petróleo en

las cámaras y del aire alimentado a las mismas. Por lo tanto los hornos de reducción operan bajo condiciones muy singulares, y sus elementos mecánicos interiores requieren de propiedades especiales extremas que permitan mantener un comportamiento estable de regímenes intensos de altas temperaturas y elevadas tensiones de trabajo, donde las cargas pueden ser de signos variables generados por esfuerzos mecánicos y gradientes térmicos.

Se han reportado no pocos paros de instalaciones de lozas de hornos (Libros Registro de Datos y Averías de la Planta de Hornos de Reducción) donde han ocurrido roturas repentinas de los tramos del eje central originadas, en ocasiones se parten por diferentes causas.

Por lo antes expuesto podemos declarar como **problema**:

Disminución de la eficiencia operativa de los hornos Herreshof para la reducción de mineral laterítico, debido a la rotura de los tramos del eje central

Como **objeto de investigación** se plantea:

Tramos de eje central del horno herreshof de la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara.

Objetivo general:

Evaluar el comportamiento y duración de la vida útil de los tramos de eje central del horno herreshof.

Objetivos específicos

1. Caracterización de la aleación marca FeNiCrMoCu según sus propiedades mecánicas y corrosivas.
2. Determinación de las causas de fallas y roturas de los tramos de eje central.

Sobre la base del problema a resolver se establece la siguiente **hipótesis**:

Si se conoce el tiempo de vida útil de cada uno de las tramos, así como las causas que originan las roturas se podrá entonces realizar una evaluación de cómo obtener un eje con mejores propiedades que garantice una mayor estabilidad de trabajo del horno herreshof.

Para lograr el cumplimiento del objetivo propuesto, se plantean las siguientes **tareas del trabajo**:

- Búsqueda bibliográfica para la sistematización del conjunto de conocimientos y teorías relacionadas con el objeto de estudio.
- Evaluación del comportamiento de los tramos según el régimen de trabajo
- Caracterización de la aleación marca FeNiCrMoCu según sus propiedades mecánicas y corrosivas.
- Procesamiento estadístico de los datos.
- Determinación de las causas de fallas y roturas de los tramos de eje central.

CAPITULO I. MARCO TEÓRICO

1.1.Introducción

Las fundiciones son aleaciones férreas con contenidos de carbono entre 2 y 4.5 % en peso. Una fundición se conforma para obtener la morfología final colando el metal fundido en un molde. El metal solidificado mantiene la forma del molde. Se obtiene una microestructura menos uniforme con algo de porosidad y por ello con propiedades mecánicas inferiores.

Existen 4 tipos generales de fundiciones:

1. FUNDICIÓN GRIS: El contenido de carbono varía entre 2.5 y 4 % en peso y el de silicio entre 1 y 3 % en peso. Aquí el grafito existe en forma de hojuelas redondeadas y rodeadas por una **matriz de ferrita o de perlita**. Debido a las hojuelas de grafito, una superficie de fractura da una apariencia grisácea a la que debe su nombre (2).

Mecánicamente la fundición gris es comparativamente débil y frágil a las tensiones debido a su microestructura. Las hojuelas de grafito que están puntuales, sirven como punto de concentración de esfuerzos cuando se le aplica una tensión externa. La resistencia y la ductilidad son mucho más altas bajo cargas compresivas.

Tienen algunas propiedades que las hacen muy utilizadas. Por ejemplo presentan altas resistencias a las aplicaciones que involucran vibración, por esta razón la base de las maquinas y equipo pesado que es sometido a vibración están frecuentemente construidas de este material. Además presentan una alta resistencia al desgaste.

2. FUNDICIÓN BLANCA

Para fundiciones bajas en sílice (<1% en peso) y velocidades de enfriamiento rápidas, la mayoría del carbón existe como cementita y no como grafito. Una superficie de fractura de este material, da una apariencia blanca y de allí se deriva su nombre.

Dada la gran cantidad de cementita, esta fundición es muy dura, pero a la vez muy frágil, al punto de que es casi imposible malearla. Su uso se limita a aquellas aplicaciones que necesitan un material muy duro, una superficie muy resistente pero un bajo grado de utilidad tales como los rodillos en algunos molinos.

3. FUNDICIÓN MALEABLE

Calentando la fundición blanca a temperaturas entre 800 y 900°C por un período de tiempo prolongado y una atmósfera neutra (para prevenir la oxidación) causa una descomposición de la cementita formando grafito, el cual existe en la forma de clusters o rosetas rodeadas de una matriz perlítica o ferrítica dependiendo de la velocidad de enfriamiento, la cual genera una estructura nodular (3).

El hierro maleable comienza como un hierro blanco de fundición, que luego de ser sometido a un tratamiento térmico a unos 900°C. el grafito se separa muy lentamente, de manera que la tensión superficial tiene el tiempo de formar partículas esferoidales en forma de copos. Debido a su baja estructura, los esferoides son relativamente pequeños y alejados uno de los otros, y tienen una menor sección transversal vis-a-vis a la propagación de grieta. También tienen límites contundentes, en contraposición a las partículas esferoidales que disminuye las causas al agrietamiento y rotura a que esta expuesta la fundición gris.

4. FUNDICIÓN DÚCTIL

La fundición dúctil o esferoidal se produce añadiendo pequeñas cantidades de **magnesio y cerio** a la fundición gris en estado líquido. En este caso, el grafito no se segrega como escamas sino que forma esferoides lo que confiere a la fundición propiedades mecánicas diferentes. No es frágil y tiene propiedades mecánicas similares a las de los aceros. Presenta una mayor resistencia a la tracción que la fundición gris. Se suele utilizar para la fabricación de válvulas y engranajes de alta resistencia, cuerpos de bomba, cigüeñales y pistones (4).

1.2. Estado del Arte

1.2.1. Hierro Fundido .Clasificación

La industria de la producción de hierro fundido es una de las principales a nivel internacional. Anualmente son producidas piezas que son ensambladas y empleadas como componentes de equipos y maquinarias. La producción de hierro fundido es el triple al resto de las producciones de metales ferrosos y no ferrosos juntos, superado solo por la producción de acero laminado según datos obtenidos en (<http://www.turkdokum.com/turkishfoundryindustry.htm>) y en (Censo de Fundición del Mundo, 1990.)

El término de hierro fundido es aplicado a una familia de aleaciones ferrosas que contienen más del 2% de carbono en peso con concentraciones de silicio y a la mayor concentración de impurezas que los aceros. Incluye al hierro gris, maleable, dúctil (conocido como nodular por algunos autores), blanco con elevado nivel de aleación y con grafito compacto, según varios autores entre los que se encuentran (Walton, 1981, Guirshovich, 1966).

El equivalente del carbón (EC) al hierro fundido ayuda a distinguir los hierros en la microestructura que contiene el grafito y los hierros blancos donde está principalmente la cementita y el carbón. El equivalente del carbón es definido:

$$CE(\text{wt}\%) = C + \frac{Si + P}{3}$$

Donde la alta concentración que se expresa y el equivalente bajo del carbón favorece la formación del hierro fundido blanco, mientras que la baja concentración que se expresa o el alto equivalente del carbón promueve el hierro fundido de la congregación (Miguel Ángel Yescas).

El hierro fundido por lo general se refiere a la fundición gris, pero identifica a un amplio grupo de aleaciones ferrosas, que solidifique en un punto eutéctico. El color de la superficie fracturada puede utilizarse para identificar una aleación. El hierro fundido blanco lleva el nombre de su superficie blanca, debido a las impurezas el carburo ocasiona fractura o la formación de grietas, dando lugar a una fundición gris

la cual lleva el nombre de su fractura debido a su superficie gris. Esta se produce porque los copos de grafito desvían un lugar de paso, y dan lugar a la formación de nuevas grietas en el material que se rompe.

Hierro (Fe) representa más del 95% en peso de la aleación de materiales, mientras que los principales elementos de aleación son de carbono (C) y silicio (Si). La cantidad de carbono emitidos en plancha es 2.1-4% en peso. Las planchas contienen cantidades apreciables de silicio, normalmente 1-3% en peso y, en consecuencia, estos deben considerarse aleaciones ternarias Fe-C-Si aleaciones. A pesar de ello, los principios de hierro fundido de solidificación se entiende desde el binario hierro-carbono diagrama de fase, en donde se encuentra el punto eutéctico ° C en 1154 y 4,3% en peso de carbono. Desde hierro fundido tiene cerca de esta composición, su temperatura de fusión de 1150 a 1200 ° C es de unos 300 ° C más bajo que el punto de fusión del hierro puro. Hierro fundido tiende a ser frágil, a excepción de fundición maleable planchas. Con su bajo punto de fusión, la buena fluidez, colabilidad, excelente maquinabilidad y resistencia al desgaste.

El hierro gris es el más empleado, con una producción anual superior al resto de los metales fundidos. La presencia de grafito laminar, señala Pages, (2000) le proporciona características como la baja resistencia a la tracción, al impacto y a la abrasión. Sin embargo presenta propiedades excelentes como la colabilidad, facilidad para el maquinado y la amortiguación de vibraciones.

Con el objetivo de mejorar la baja resistencia a la tracción del hierro gris, fue producido el hierro maleable, el cual se obtiene por tratamiento térmico del hierro blanco donde el grafito aparece en forma de nódulos, pero el costo de estas producciones es muy superior al del hierro gris. En la búsqueda del aumento del módulo de elasticidad del hierro surgió hace relativamente pocos años el hierro esferoidal, al cual muchos autores le llaman hierro dúctil, por el incremento que sufre esta propiedad. Sin embargo estas aleaciones no son las más empleadas en el caso donde las piezas producidas son empleadas en condiciones donde predomina el desgaste abrasivo, donde el hierro blanco presenta un mejor comportamiento y aún

superior los hierros de elevada aleación, pero estos últimos tienen el gran inconveniente de ser prácticamente no maquinables.

Hierro fundido Esferoidal

Hierro fundido esferoidal del grafito, Fe-3.2C-2.5Si-0.05Mg % en peso, conteniendo nódulos del grafito en una matriz que es perlítica. Uno de los nódulos está rodeado de ferrita, simplemente porque la región en torno a la zona de los nódulos es decarburizado como depósitos de carbono en el grafito. El hierro fundido esferoidal el grafito generalmente se encuentra en la matriz perlítica sin embargo, el recocido, causa que el carbono en forma de perlita precipite en forma de grafito o en partículas más pequeñas de grafito, dejando en el fondo una matriz ferrítica, esto le confiere al hierro una mayor ductilidad (1).

Hierro fundido Blackheart

El hierro fundido blackheart es producido calentando el hierro fundido blanco entre 900-950 °C y después se pone a refrescarse lentamente por unos días. Esto da lugar a una irregular micro estructura que contiene nódulos del grafito en una matriz ferrítica. El término "blackheart" viene del hecho de que la fractura de la superficie tiene un aspecto gris o negro debido a la presencia de grafito en la superficie. El propósito del tratamiento térmico es aumentar la ductilidad del hierro fundido. Sin embargo, este proceso de producción de grafito esferoidal no se utiliza, ya que se pueden producir directamente en la fundición inoculando con magnesio o cerio (1).

Hierro fundido Usar-Resistente Del Alto-Cromo

Este hierro fundido se utiliza en circunstancias en que se desea obtener alta resistencia al desgaste. Por ejemplo, durante la violenta trituración de rocas y minerales. Contiene una combinación muy fuerte de la formación de carburo de elementos de aleación. Su composición química es, por lo tanto, Fe-2.6C-17Cr-2Mo-2Ni% en peso. (Bedolla-Jacuinde 2001).

1.2.2. Hierro de elevada aleación

Walton, (1981), Petty, (1968), (ASTM A 352) clasifican a los hierros de elevada aleación como un grupo independiente de aleaciones de hierro fundido, donde las propiedades dependen directamente de la influencia de los elementos de aleación. En estas aleaciones de hierro fundido, el contenido de aleación está bien por encima del 4% y consecuentemente no pueden ser producidos por aleación en cuchara, como el resto de las aleaciones conocidas. Ellos usualmente son producidos en fundiciones con equipamiento especializado para producir hierros de elevada aleación. Sin embargo esta afirmación es solo aplicable cuando la suma total de los elementos de aleación está muy por encima de 4%.

Los elementos como el cobre y el níquel tiene un efecto grafitizante durante la transformación eutéctica, sin embargo durante la transformación eutectoide dificultan la difusión del carbono promoviendo la formación de carbono combinado; mientras otros elementos como el cromo y el molibdeno son formadores de carburos y aumentan su estabilidad. El manganeso favorece la formación de carbono combinado, además de tener una afinidad especial con el azufre, lo cual le proporciona una aplicación insustituible señalan Petty, 1968, Sy, 1959, Krause, 1969 entre los que se encuentra un artículo 10 de Key-to Steel, 2000

Otro efecto de estos elementos es conducir el proceso de solidificación según los mecanismos de transformación de la austenita en perlita, bainita o martensita y de ahí la formación de diferentes microestructuras.

Petty, 1968 y en un sitio de la Key-to-steel, 2000 señala que entre los hierros de elevada aleación se destacan:

1. Los hierros aleados con níquel: los cuales deben ser templados para ser usados en aplicaciones donde predomine el desgaste abrasivo. Su matriz es austenítica. Un material típico de este grupo es el Ni-Resist resistente a la corrosión y al calor.

2. Los hierros aleados con cromo: presentan elevada dureza y resistencia al desgaste abrasivo. Este tipo de hierro aleado es muy poco maquinable.
3. Aleados con cromo y níquel: entre este tipo de hierros se destaca el Ni-Hard, el cual presenta una matriz martensítica con carburos del tipo $(Fe,Cr)_3C$, con durezas elevadas, pero con una maquinabilidad muy limitada.
4. Aleados con molibdeno: el molibdeno es el endurecedor más efectivo del hierro fundido. Se emplean niveles de 1% generalmente y provoca la formación de estructuras aciculares con una elevada dureza, lo cual limita considerablemente su maquinabilidad.

Estos hierros fundidos ya no resultan tan baratos como el hierro gris no aleado y también presentan menor colabilidad y maquinabilidad que éste.

Algunos autores entre los que se encuentran Liu Yuanzhong y Luo Maorang, (1998); proponen un hierro fundido con muy bajos contenidos de azufre y fósforo (0,01 a 0,025%) con alto silicio (2,0 a 3,4%) y la adición de cobre, cromo y molibdeno por debajo de 2%, además de emplear un elemento tierra rara (0,025 a 0,03%) unido a un metal no ferroso. Según los autores con esta aleación se pueden producir bolas para pulverizar minerales, con muy buena resistencia al impacto, a la fatiga, con costo bajos y elevando la vida de servicio de 2 a 5 veces el de las bolas obtenidas con un hierro de levado contenido de cromo y medio contenido de manganeso. Pero el proceso de desulfuración y el costo de los inoculantes para obtener el hierro esferoidal, así como el equipamiento necesario para su inoculación, no resultan tan baratos. Aunque el nivel de aleación con cobre y cromo es muy inferior al propuesto por el resto de los autores hasta aquí citados.

Con el objetivo de aumentar la dureza y la resistencia al impacto, Togawa (1991) propone un hierro de bajo contenido de silicio (0,2 a 1,0%) con contenidos de molibdeno (0,5 a 2,0%), cromo (27 a 34%), wolframio (0,5 a 2,0%) y boro hasta 0,1%. El cual es tratado térmicamente entre 950 y 1 100 °C y revenido después del temple entre 200 y 500 °C, para alcanzar los niveles de dureza deseados.

En un hierro con estos niveles de silicio tan bajos y los elevados contenidos de elementos formadores y/o estabilizadores de carburos, no puede estar presente el grafito lo cual dificulta la maquinabilidad, pero también los costos son elevados por el nivel de aleación y por el proceso de tratamiento térmico, dado el nivel de energía a consumir.

Seto yoghito, (1992) proponen un hierro fundido aleado con excelente resistencia al desgaste, empleando adiciones de molibdeno (5 a 15%), níquel (0,3 y 3%), cromo (7 a 18%), vanadio (1 a 8%) y wolframio hasta 10%. Establecen como condición que: $\%Mo + 0,5 \%W$ esté entre 2 y 15% y aprovechando la microsegregación del vanadio, incrementar la dureza. Además endurecen la matriz con un tratamiento térmico. En tales condiciones la dureza alcanzada hace excelente la aleación para usos donde sea necesario alta resistencia al desgaste, pero la maquinabilidad se ve extremadamente limitada. Los comentarios sobre los costos de producción son similares a los expuestos anteriormente, con objetivos similares.

1.2.3. Efecto de los elementos de aleación en el hierro fundido

La influencia de los elementos de aleación está relacionada fundamentalmente con el control de la transformación de la austenita.

El carbono es sin lugar a dudas, después del hierro, el elemento más importante; se le puede encontrar combinado con el hierro (carbono combinado) en forma de carburo (o cementita con 6,67% C) o en el estado libre de grafito (carbono libre o grafito).

Entre los factores que influyen en que el carbono se encuentre en una u otra forma están la velocidad de enfriamiento y la presencia de elementos grafitizantes. Un enfriamiento lento y la presencia de silicio, níquel, cobre, etc.; facilitan la formación de grafito, por lo que la solidificación se puede explicar mediante el empleo del diagrama estable, como señala Van de Velde, (1999). La forma, cantidad, tamaño y distribución de las láminas de grafito deben ser controladas cuando se requiere obtener fundiciones de calidad. Por otra parte un enfriamiento rápido y la presencia

de agentes formadores y/o estabilizadores de carburos como el cromo y el molibdeno, dan lugar a la formación de carburos y la solidificación se explica a través del diagrama metaestable. El hierro que se obtiene así presenta elevada dureza y no puede ser mecanizado con los medios normales en las máquinas herramientas. En realidad el proceso de solidificación del hierro fundido es un proceso muy complicado, como puntualiza Van de Velde, 1999; pues aún después de un período superior a 100 años, quedan algunos aspectos sin explicación sobre el doble diagrama Fe-C, no por la existencia de un doble sistema, ni porque las aleaciones con un muy alto contenido de carbono no pueden ser explicadas por este sistema, sino por la variedad de diagramas de que se dispone. Otro aspecto que debilita los diagramas actuales es la formación de carburos a una temperatura tan baja como 1080°C, cuando se alea con elementos como el silicio, el cual solo se disuelve en la austenita sin intervenir en la composición de los carburos.

Los elementos de aleación pueden provocar cambios en la velocidad de enfriamiento del hierro gris. El silicio contribuye a la formación de ferrita y austenita. Algunos autores como Krause (1969), Janowak (1982), plantean que el silicio disminuye la solubilidad del carbono en la austenita y favorece la difusión del carbono, por lo que favorece la formación de grafito a partir de la descomposición de los carburos primarios. Las cantidades de silicio deben ser calculadas teniendo en cuenta el carbono total, la velocidad de enfriamiento y el espesor de las piezas. (Maurer, 1924) propuso un diagrama donde en función de los contenidos de carbono y silicio se obtienen diferentes estructuras. Janowak y Gundlach, (1987) proponen un nomograma, en papel logarítmico que permite la determinación de la resistencia a la tracción básica, a partir del carbono equivalente (CE) y el espesor de las piezas en fundiciones grises no aleadas.

Otros elementos tienen un efecto contrario al silicio, por ejemplo el cobre, el estaño, el antimonio y el arsénico se acumulan en la interfase austenita-grafito, creando una barrera a la emigración del carbono para formar grafito, como señala (Sy). De esta forma estorban la grafitización. Realmente este efecto ocurre durante la transformación eutectoide, pues en la transformación eutéctica como señalan varios

Tesis en Opción al Título de Ingeniero Metalúrgico Carlos Frómata Cardero 19

autores, entre ellos Krause, 1969; aumentan el potencial de grafitización, el cual se puede inferir a partir del cálculo de la constante de grafitización propuesta por Guirshovich, (1986)

El manganeso y el níquel ensanchan el campo austenítico al rebajar las temperaturas α_T y A_1 . La velocidad de formación de ferrita disminuye a temperaturas más bajas porque disminuye la velocidad de difusión del carbono, al bajar la temperatura. Así se asegura un nivel superior de carbono en la austenita.

El manganeso ejerce una acción opuesta a la del silicio, pues favorece la formación de carbono combinado, se combina fácilmente con el hierro y el azufre. El manganeso se combina con el azufre en una proporción de 1,77 partes en peso de manganeso por una parte de azufre teóricamente, en la práctica se necesita alrededor de tres veces el contenido de azufre para neutralizar su efecto adverso sobre el hierro fundido. El manganeso disminuye la temperatura de transformación eutectoide de la austenita, aumenta el intervalo de la austenita y disminuye la concentración de carbono en la transformación eutectoide y en la transformación eutéctica, un 1% de manganeso disminuye la concentración de carbono en 0,06 – 0,07%, pero aumenta la temperatura de transformación eutéctica, un 1% de manganeso aumenta la temperatura de transformación eutéctica en 3°C aproximadamente. El manganeso se distribuye entre la austenita, la ferrita y la cementita, fundamentalmente en esta última y forma $(Fe,Mn)_7C_3$ y $(Mn,Fe)_{23}C_6$.

El azufre aparece en las fundiciones como sulfuro de hierro o de manganeso, el primero es perjudicial porque obstaculiza la grafitización, hace la fundición dura y frágil. En la práctica se mantiene el azufre entre 0.05 y 0.12. El sulfuro de manganeso solidifica antes de que lo haga el hierro fundido y lo hace asumiendo diferentes formas geométricas en los límites de los granos por lo que resulta inofensivo para el metal. Todo hierro producido comercialmente contiene alguna cantidad de azufre. El azufre no es totalmente indeseado, algunos tipos de hierro fundido tienen un contenido mínimo para producir la microestructura y las propiedades deseadas.

El fósforo cuando se encuentra hasta 0,1% es soluble en el hierro, cantidades superiores forman un microconstituyente conocido como esteadita, que es un complejo eutéctico de hierro y fosforo de hierro, el cual solidifica en los límites de los granos. Cuando alcanza contenidos de 0,2% en el hierro gris, la esteadita se presenta en los límites de las celdas y asume la forma de un triángulo cóncavo. Cuando llega a contenidos de hasta 1%, forma una red alrededor de los límites de los granos. La eutéctica fosfórica le confiere a la fundición líquida una particular fluidez porque disminuye el punto de solidificación, pero al mismo tiempo aumenta la dureza y la fragilidad.

El cromo junto al molibdeno entre los elementos que cierran el campo y lo restringen a una pequeña zona cerrada. Favorecen ambos la formación de ferrita y hacen continuos los campos α y δ . El cromo es un formador de carburos como son la cementita aleada $(Fe, Cr)_3C$; y otros. Es además un fuerte promotor de perlita, pues aumenta la solubilidad del carbono en la austenita e inhibe así la formación de la ferrita. Pero también es un promotor de temple y carburos durante la solidificación. El silicio y la inoculación con Ferrosilicio (75%) son efectivos en la reducción del temple causado por el cromo, pero no lo son en la eliminación de los carburos intercelulares. La acción del cromo en cuanto al afino de la perlita es débil. (Honeycombe, 1981)

Krause, Janowak señalan que el molibdeno es uno de los elementos de aleación más ampliamente usado con el propósito de elevar la resistencia del hierro gris. Es añadido en cantidades entre 0.20 y 0.75 %. Este elemento aumenta las propiedades del hierro a elevadas temperaturas. Como el módulo de elasticidad del molibdeno es muy alto, las adiciones al hierro fundido provocan un aumento del módulo de elasticidad de este material. Es un potente endurecedor, colabora con el cromo, cobre y níquel para endurecer la matriz. En el diagrama Fe – C – Mo en su variante metaestable, se presentan unas cuantas fases de carburos: cementita aleada en la cual se disuelve hasta 2% de molibdeno, tres carburos binarios y carburos MoC y Mo₂C. En general el molibdeno disminuye la solubilidad del carbono en la fase alfa. El molibdeno no es un grafitizador, ni un estabilizador fuerte de carburos, esto es lo

que explica por qué puede ser adicionado a la carga metálica sin variar prácticamente su carácter.

1.3. Conclusiones

El análisis de las fuentes bibliográficas consultadas permite plantear las siguientes conclusiones:

1. La bibliografía consultada aporta información sobre aleaciones de hierro fundido; pero son escasas las referencias sobre la aleación FeNiCrMoCu, se hace una descripción de las propiedades mecánicas, aplicación y las diferentes composiciones en las que se puede encontrar este hierro aleado.
2. El análisis bibliográfico refleja gran variedad de enfoques sobre los hierros de elevada aleación, en los cuales se varía composición de los elementos aleantes con el objetivo de mejorar sus propiedades mecánicas en dependencia del uso que vaya a tener la aleación.
3. Diferentes investigadores clasifican a los hierros de elevada aleación como un grupo independiente de aleaciones de hierro fundido, donde las propiedades dependen directamente de la influencia de los elementos de aleación.

CAPÍTULO II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Introducción

La selección de los materiales de construcción de la fábrica Comandante Ernesto Che Guevara se realizó basado en la experiencia adquirida en la fábrica René Ramos La tour, ensayos de laboratorio y a escala semi-industrial en los laboratorios del centro de investigación CIPIM liderado por el master en corrosión Pedro Fernández y Víctor Zinoviev

En la etapa de la construcción de la fábrica y durante el período de explotación año 1986-1989, el grupo de ingeniería en corrosión e inspección industrial realizaron un control minucioso a los equipos fundamentales y accesorios, equipos auxiliares y estructuras metálicas de los talleres de producción y auxiliares, verificándose la marca y calidad de todos los equipos por el plano, principalmente el horno de reducción.

La energía térmica y los agentes necesarios para la reducción del mineral se obtienen de la combustión de petróleo en las cámaras y del petróleo aditivo que se añade al mineral en la planta de secado.

Desde la puesta en marcha de la planta, los tramos del eje central se habían estado suministrando por la ex-URSS y posteriormente, a mediados de la década de los 90 de la Empresa Mecánica del Níquel “Comandante Gustavo Machín Hoed de Beche” y de la Empresa ACINOX Antillana de Acero.

2.1. Métodos de investigación:

Para la realización de la presente investigación se utilizan los siguientes métodos:

1. Método de investigación documental o bibliográfica para la sistematización del conjunto de conocimientos y teorías relacionadas con el objeto de estudio.
2. Método de investigación estadístico – matemático para determinar el tiempo de vida útil de los tramos que conforman el eje central y determinar las causas de las roturas.

Se hizo una revisión de toda la documentación existente en la Empresa para recopilar toda la información necesaria que nos pudiera ayudar a compilar datos e información valiosa, en la oficina de programación y control nos fue facilitado un

documento donde está registrado estadísticamente a partir del año 1996 el comportamiento de la vida útil de los tramos de eje central en todos los hornos, donde está la fecha de cambio de cada tramo por hornos de reducción desde el 1 hasta el 24, motivo por el que fue sustituido y las causas que lo originaron.

Además nos auxiliamos en el dictamen técnico realizado el 28 de Julio de 2004 debido a la avería ocurrida en el tramo de eje central del horno 18 y así conocer las causas que lo originaron, aquí aparece la composición química de las aleaciones utilizadas y las propiedades mecánicas de dichas aleaciones.

Para la mejor comprensión del tema y con el objetivo de buscar datos que nos aporten elementos que nos ayuden a resolver el problema planteado consultamos también el reporte técnico del eje central realizado en Enero del año 2007 donde aparece de forma completa y detallada todos los cambios realizados de los tramos de eje central desde el comienzo de la Empresa, se explica el material de que han sido fabricados, la procedencia, tiempo de duración así como las causas de cambios.

2.2. Metodología para la investigación

1. Procesamiento estadístico de los datos.
2. Determinación de las causas de fallas y roturas de los tramos de eje central.

A partir de las informaciones obtenidas del reporte técnico del eje central realizado por Rodríguez P. Manuel en el año 2007 y el dictamen técnico del eje central realizado por Hernández Acosta R. y Córdova Téllez A en el año 2004, se hizo el procesamiento estadístico de los datos que nos permitieron conocer el tiempo de vida útil de los tramos de eje central y a partir de este pudimos conocer las frecuencias de roturas manifestada, esto a su vez nos permite realizar un estudio minucioso y detallado de las causas que originan dichas roturas para así realizar las propuestas pertinentes.

2.3. Materiales y métodos utilizados

Los materiales utilizados fueron el registro de cambio de tramo de eje desde 1992 hasta la fecha en la planta de horno de reducción, dictamen técnico realizado en el año 2004 y el reporte técnico del eje central realizado en el año 2007.

Según el dictamen técnico existen referencias de que se realizaron algunos ensayos mecánicos a los tramos de eje central original de fabricación rusa, así como análisis químico y metalográfico, pero no fue posible corroborarlo por no existir documentación escrita. De igual forma se hace referencia a los análisis realizados a los tramos adquiridos en ACINOX Antillana de Acero pero tampoco existe documentación de ello.

2.3.1. Análisis químico

Según el dictamen técnico del eje central realizado en el año 2004 por Hernández Acosta R. y Córdova Téllez A. Se puede decir que:

Primeramente se tomó una muestra del eje que fue sustituido y se le realizaron las siguientes operaciones:

1. **Cepillado:** Se aplicó el cepillado en dos caras aproximadamente paralelas en una Máquina acepilladora
2. **Pulido:** donde se emplearon máquinas herramientas, pulidoras de laboratorio, técnicas de pulido manual y pulido electrolítico. Para garantizar un correcto pulido de la superficie sin redondeo en los bordes, las muestras se montaron sobre bakelita y resina epoxídica.
3. **Limpieza, lavado y secado:** Después de la adecuada preparación de las superficies, la muestra se lava con acetona para eliminar restos de grasa, polvo y pasta de pulir cuidando no frotar la superficie pulida. Posteriormente se limpian con etanol absoluto para eliminar cualquier vestigio de humedad.

El análisis químico se realizó empleando un Espectrómetro de Masa SPECTROLAB 230 con electrodo de carbón bajo arco sumergido en atmósfera de argón en el Laboratorio de corrosión de la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara. Se comprobó la composición química de las muestras para verificarlas con los estándares

2.3.2. Propiedades mecánicas

Las propiedades mecánicas fueron tomados del dictamen técnico del eje central realizado por Hernández Acosta R. y Córdova Téllez A en el año 2004, cedidas por la oficina de fabricación, referidos a las exigencias técnicas exigidas por el cliente para producir los tramos del eje central.

CAPITULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Introducción

En la Industria Cubana del Níquel se realizan continuamente notables esfuerzos para garantizar procesos estables y continuos, introduciendo una serie de mejoras tecnológicas con vistas a obtener producciones con calidad, eficiencia y rentabilidad, lo cual requiere de un equipamiento fiable y seguro.

La Empresa “Comandante Ernesto Che Guevara” no ha escapado a estos sustanciales cambios y en la actualidad se encuentra en un importante período de reconversión y recuperación industrial para estabilizar su proceso productivo. No obstante, existen serios problemas en cuanto al comportamiento de muchos equipos debido a fallas presentadas por las más diversas causas.

En los Hornos de Reducción se verifica la reducción selectiva del hierro presente en el mineral laterítico, para lo que se requiere altas temperaturas y una atmósfera con alto contenido de gases reductores (CO , H_2), pero a su vez, están presentes otros elementos (CO_2 , N_2 y otros) que provienen de la combustión del petróleo en las cámaras y del aire alimentado a las mismas. Por lo tanto estos equipos operan bajo condiciones muy singulares, y sus elementos mecánicos interiores requieren de propiedades especiales extremas que permitan mantener un comportamiento estable de regímenes intensos de altas temperaturas y elevadas tensiones de trabajo, donde las cargas pueden ser de signo variables generados por esfuerzos mecánicos y gradientes térmicos.

Los hornos de reducción (Fig. 1, anexo 1) están compuestos por un cilindro metálico vertical de 15 m de altura revestidos interiormente con ladrillos refractarios y exteriormente con una carcasa metálica, sistemas de alimentación, barrido, descarga y cámaras de combustión. Están provistos de 16 hogares o soleras (Ho - H16) en forma de bóvedas esféricas a través de los cuales circula la carga (mena) que, proveniente de la planta de secaderos, se le suministra por la parte superior a través de un alimentador sinfín, Existen en la planta un total de 24 hornos, agrupados en 3 tres lozas de 8 hornos cada una.

A continuación se muestran los datos tecnológicos de los hornos de reducción de la

Empresa "Comandante Ernesto Che Guevara".

Datos tecnológicos del horno de reducción

Volumen del horno, m ³	387
Rendimiento del horno:	
Según el material recibido, Kg/h.....	19.665
Según el material reducido, Kg/h.....	15.500
Aire de enfriamiento de árbol m ³ /h.....	2.200
Aire de enfriamiento de hogares m ³ /h.....	9.570
Aire de post-combustión m ³ /h.....	2000

En cada uno de los hogares existe un perfil diferente de temperaturas, como se puede apreciar a continuación.

Perfil de temperatura en el horno, °C

Hogar-----	Mineral -----	Gases -----
Ho - H3-----	90 -----	330-360
H4 - H5-----	540 -----	740-780
H6-----	590 -----	700-730
H7- H8 -----	625 -----	570-630
H9 - H10-----	660 -----	700-720
H11 - H12 -----	690 -----	700-720
H13 - H14-----	715 -----	720-730
H15 - H16-----	730 -----	730-750

La atmósfera en el interior de los hornos es reductora ligeramente sulfurosa, es generada por las materias primas que intervienen en el proceso de reducción del mineral. Está compuesta por: CO, CO₂, SO₂, CH₄, O₂, H₂O, N₂.H₂, es un ambiente corrosivo y muy tóxico.

3.2. Caracterización del eje central

La homogeneización y arrastre de la carga dentro del horno se garantiza con un sistema de 68 brazos, 4 en cada hogar, acoplados a un árbol central hueco, denominado eje central, que a su vez está compuesto por 10 tramos, denominados tramos de eje central.

El movimiento del eje central se garantiza por la transmisión cónica accionada por un electromotor de 20 kW que proporciona una frecuencia de rotación de 1.4 a 1.5 rev/min, el eje se enfría por la succión del aire del medio ambiente de la parte inferior hueca hacia arriba de forma natural.

Datos constructivos del eje central

Diámetro del eje.....	960 mm
Alto total del eje con:	
Punto de apoyo y llanta.....	23250 mm
Secciones del eje	10 unidades
Alto de cada tramo:	
Tramo 1.....	3017 mm (transmisión)
Tramo 2.....	2247 mm (H15 - H16)
Tramo 3, 4, 5.....	2030 mm (H9 - H14)
Tramo 6, 7, 8.....	2097 mm (H3 - H8)
Tramo 9.....	2231 mm (H1 - H2)
Tramo 10.....	1600 mm (H0)
Llanta.....	384 mm
Punto de apoyo.....	1390 mm
Espesor de pared del eje.....	40-60 mm
Material del eje.....	4H1MШ

En la Fig.2, anexo 1 se muestra el esquema del horno, donde aparecen acoplados los tramos de eje central, se observa que el tramo Nro 1 se apoya sobre una base o punto de apoyo, que se encuentra fuera del horno y sirve como base al resto de los tramos desde el Nro 2 hasta el Nro 10, que se encuentran dentro del horno, cada uno

está ubicado en dos hogares o soleras, excepto el Nro 10 que se ubica en el Ho y la parte posterior se encuentra fuera del horno, cada uno de ellos tiene diferentes dimensiones y se denominan precisamente de acuerdo a ellas.

Acoplados al eje central del horno, en la parte externa de los tramos están insertados los brazos y los dientes rascadores, cuya función principal es transportar el mineral de solera en solera, estos ejercen cierta presión sobre ellos en su movimiento provocando en ocasiones paros y roturas.

3.2.1. Composición química

Los elementos de aleación se adicionan a las fundiciones ordinarias para comunicarles alguna propiedad especial, tal como resistencia a la corrosión, al desgaste o al calor o para mejorar las propiedades mecánicas. La mayoría de estos elementos aceleran o retardan la grafitización y esta es una de las principales razones de su empleo. Los más utilizados son cromo, cobre, níquel, molibdeno y vanadio.

Los tramos de eje central desde los comienzos de explotación de la fábrica fueron suministrados por la antigua Unión Soviética elaborados con una aleación de hierro nodular denominada ЧН1МШ y fabricada por la norma GOST 7769, también fueron suministrados por la Empresa ACINOX Antillana de acero y la Empresa Mecánica del Níquel “Comandante Gustavo Machín Hoed de Beche” con la aleación de hierro gris denominada FeNiCrMoCu, este es un hierro aleado con los elementos antes mencionados que le confieren características especiales de quimioresistencia y termo resistencia para ofrecer un servicio estable.

En la tabla Nro. 1 se muestra la composición química de dichas aleaciones.

Marca de la aleación	Composición química, %							
	C	Si	Mn	Cr	Ni	P	S	Mo
ЧН1МШ	3.2-3.8	1.8-2.8	0.8-1.2	Hasta 0.1	0.8-1.4	≤0.15	≤0.02	0.3-0.6
ACINOX	2.8-3.4	1.4-1.8	0.9-1.3	0.6-1.0	1.6-2.0	≤0.27	≤0.012	-

Tabla 1. Composición química de las aleaciones utilizadas en la fabricación de los tramos de eje central.

Las propiedades mecánicas de estas aleaciones se muestran en la tabla Nro.2

Marca de la aleación.	Propiedades Mecánicas				Matriz Estructural
	$\bar{\sigma}_B$ (Kg/mm ²)	$\bar{\delta}$ %	E (Kgf/mm ²)	HB (HSD) ²	
ЧН1МШ	>25 (46.4)	>1.5	1400-1500	220-286	P, C nodular
ACINOX	>8.0	-	-	43.1	P, C laminar

Tabla 2. Propiedades mecánicas de las aleaciones utilizadas en la fabricación de los tramos de eje central.

En la tabla 2 se expresan los valores de resistencia a la tracción ($\bar{\sigma}_B$ Kg/mm²), alargamiento relativo ($\bar{\delta}$ %), momento torsor (E Kgf/mm²) y dureza (HB HSD)² de ambas aleaciones.

Esta composición química fue tomada de la documentación existente en la industria (Dictamen Técnico, 2004).

Según consta en el dictamen técnico, se han realizado algunos ensayos mecánicos a los tramos de eje central de fabricación rusa que fueron sustituidos por diferentes causas y se comprobó que el mismo es de hierro fundido de Ni -Mo con matriz Perlita - Cementita y grafito nodular.

Además se le realizaron análisis químico y metalográfico y se comprobó que la marca de aleación se correspondía con la dada por el fabricante (ЧН1МШ).

De igual forma se procedió con los ejes suministrados por ACINOX en lo correspondiente a composición química, verificando que se correspondía con la composición química dada, determinándose que es hierro fundido al níquel pero con grafito en forma laminar, el mismo presenta buenas propiedades mecánicas, y elevada resistencia a medios corrosivos, abrasivos, al fuego etc. , pero nunca llegan a ser semejante a la exhibidas por el hierro fundido al Ni - Mo con grafito nodular, esta fundición tiene características mecánicas y de resistencia en diferentes medios muy superior a las restantes aleaciones.

3.2.2. Temperatura

Los tramos de eje central están expuestos a altas temperaturas, en la Fig. 2, del anexo 1 se muestra el perfil de temperatura del horno por soleras, donde se puede observar que varía desde Ho - H16, siendo desde el Tramo Nro 2 hasta el Nro 7, ubicados en las soleras H6 – H16 los que se encuentran expuestos a las más altas temperaturas.

La temperatura de fusión de las aleaciones de que son fabricados los tramos de eje central es la siguiente, para la aleación 4H1MШ de fabricación rusa (Antigua Unión Soviética) es de alrededor de 600 °C y la de producción nacional, obtenida tanto en ACINOX Antillana de Acero, así como en la Empresa Mecánica del Níquel es de alrededor de 500 °C.

Por lo antes expuesto podemos decir que la temperatura a que operan los tramos de eje central es muy superior para la cual fueron diseñadas dichas aleaciones, es por ello que ocurren roturas periódicas y se hace necesaria su sustitución.

3.3. Procesamiento estadístico de los datos

Los datos para realizar esta investigación fueron tomados del reporte técnico realizado en la Empresa en el año 2007 por el grupo de Corrosión, donde aparece registrado desde la puesta en marcha de la Empresa la cantidad de ejes que fueron instalados, los cambios realizados, así como los motivos de dichos cambios, desde el año 1986 hasta la actualidad.

Para la primera etapa de explotación fueron recibidos 32 ejes, se instalaron 24, uno en cada horno y se dejaron 8 adicionales que quedaron de reserva, tenemos que aclarar que en los hornos 21, 22, 23 y 24 se instalaron los ejes pero estos no entraron en explotación hasta después del año 1993.

Los hornos de reducción, desde el inicio de la puesta en marcha comenzaron a presentar problemas con el sistema de aislamiento térmico, no se sostenía al cuerpo del eje dejándolo expuesto a las altas temperaturas del mineral y los gases que oscilan entre 650 – 750°C.

En la tabla 3, anexo 2 se refleja el tiempo de permanencia de los primeros 32 ejes instalados en el período desde el año 1986 hasta 1995 y oscila entre 8 y 10 años, excepto los HR-21, 22, 23, 24 que entraron en explotación más tarde.

Durante este período se utilizaron 28 ejes de fabricación rusa, las principales causas que incidieron en el deterioro de estos fueron:

- ✓ La camisa metálica al caerse causaba averías al interrumpir la rotación, ejerciendo una elevada resistencia al mecanismo por introducirse entre el piso de refractarios, las brazos y la sección del eje, generalmente uno de estos elementos se fracturaba ocasionando paros prolongados y la desfavorable exposición del eje a altas temperaturas.
- ✓ Fracturas de brazos permitiendo la acumulación de mineral calcinado en la cámara, el eje realiza esfuerzos mecánicos por encima de su diseño causando la fractura.
- ✓ Larga exposición de eje a elevadas temperaturas sin estar rotando. Afectando las secciones por quemado del metal, deformaciones en la brida o el orificio de alojamiento de los brazos, afectando en conjunto el eje.

En el año 1993 se realizó una modernización en la Empresa con la introducción de la nueva tecnología PRIOR, que consistió en la modificación de las cámaras de combustión, cambio de quemadores y protección térmica del eje, que por proyecto era de lana de vidrio con soporte metálico y se sustituyó por mantas termos aislantes.

Se sustituyeron 17 ejes de ellos, 16 de fabricación rusa y 1 fabricado en ACINOX Antillana de Acero y en el año 95 se adquiere un eje en la Empresa Mecánica del Níquel.

Como se puede apreciar hasta el cambio de tecnología, los ejes de los hornos trabajaban en condiciones severas, al quedar expuestos a elevadas temperaturas, este régimen de servicio ocasionó que muchas secciones a tramos fallaran, especialmente las 2030, 2097 y 2247, que están en la zona donde la temperatura es más alta.

3.3.1. Durabilidad de los tramos de eje central según su procedencia

Como se puede apreciar en la tabla 3, anexo 2 se muestra, por cada uno de los hornos de reducción desde el inicio de la puesta en marcha de la fábrica (año 1986), la fecha de inicio y de retiro de los ejes según su procedencia.

3.3.1.1. Horno de reducción 122-02-HR-1

El eje se instala en diciembre del año 1986 hasta el 4 de abril de 1996 con un período de permanencia en el horno de 10 años, luego se instala uno de procedencia rusa y se cambia el tramo 2097 por deformación, por uno fabricado en ACINOX Antillana de Acero, que fue sometido a prueba y en el 2004 se cambia por flexión y se monta un eje de procedencia rusa, el cual se encuentra trabajando hasta nuestros días.

3.3.1.2. Horno de reducción 122-02-HR-2-3-4-6-7-8-9-10

Se instala en estos hornos en diciembre del año 1986 hasta el año 1996 con un período de permanencia de 10 años, se instala uno de procedencia rusa, el cual se encuentra trabajando actualmente, con un período de permanencia de 12 años.

3.3.1.3. Horno de reducción 122-02-HR-5

En diciembre del año 1986 se instala un eje hasta el 1 de agosto de 1996 con un período de permanencia en el horno de 10 años, luego se instala uno de procedencia rusa, el cual trabajó hasta el 19 de enero del 2003 y se cambia por deformación, con período de permanencia de 7 años, en este año se instala uno de procedencia rusa con algunas secciones recuperadas, este actualmente se encuentra trabajando, tiene un período de permanencia de 5 años,

3.3.1.4. Horno de reducción 122-02-HR-11-12-14-15-16-17-19

El eje se instala en estos hornos en diciembre de 1986 hasta diciembre de 1995 con un período de permanencia de 9 años, se instala uno de procedencia rusa, pero con algunas de las secciones fabricadas en ACINOX Antillana de Acero, el cual se

encuentra trabajando sin efectuarse retiro, con un período de permanencia de 13 años.

3.3.1.5. Horno de reducción 122-02-HR-13

El eje se instala en diciembre de 1986 hasta el 21 de noviembre de 1995 con un período de duración de 9 años, se instala uno nuevo, donde se montan 6 secciones (tramos) fabricadas en ACINOX Antillana de Acero, de ellos 3 secciones 2030, 2 secciones 2097 y una sección 2231, que se cambia el 5 de noviembre de 1998 con solo un tiempo de permanencia de 3 años.

Se vuelve a cambiar el 28 enero de 2005 con un período de duración de 7 años y se instala uno nuevo el cual trabajo hasta el día 27 de marzo del 2008 con un período de permanencia de 3 años, donde se partieron los tramos 2097 fabricado en ACINOX Antillana de Acero, el 2231 y 2247 de fabricación rusa, que fueron recuperados y más tarde se cambiaron todos por tramos de fabricación rusa que fueron adquiridos en Las Camariocas, los cuales se encuentra trabajando hasta nuestros días.

3.3.1.6. Horno de reducción 122-02-HR-18

Se instala el eje en diciembre de 1986 hasta el 5 de enero de 1995 con un período de duración de 9 años, en esta fecha se cambia el eje y se colocan 4 tramos fabricados en la Empresa Mecánica del Níquel “Comandante Gustavo Machín Hoed de Beche” hasta el 25 de octubre del 1999 con un período de permanencia de 4 años. Luego se reemplazan los 4 tramos fabricados en la EMNi y dos de fabricación rusa por 6 secciones fabricados en ACINOX Antillana de Acero, los cuales trabajaron hasta el 18 de julio del 2004 con un período de permanencia de 5 años. En este año se cambian hasta mayo del 2008, por uno con algunas de las secciones recuperadas, este se encuentra trabajando sin efectuarse retiro, con un período de permanencia de 4 años.

3.3.1.7. Horno de reducción 122-02-HR-20

El eje se instala en diciembre de 1986 hasta el 27 de diciembre de 1994 con un período de permanencia en el horno de 8 años, luego se sustituye el 19 de marzo de 1997 con un período de permanencia de 3 años, el cual se encuentra trabajando hasta la fecha, con un tiempo de trabajo de 11 años.

3.3.1.8. Horno de reducción 122-02-HR-21

El eje se instala en diciembre de 1986 hasta el 20 de diciembre de 1994 con un período de permanencia en el horno de 8 años, se instala uno nuevo el cual se encuentra trabajando sin efectuarse retiro hasta nuestros días.

3.3.1.9. Horno de reducción 122-02-HR-22

El eje se instala en diciembre de 1986 hasta el 20 de enero de 2006 con un período de permanencia en el horno de 20 años, donde se instala uno nuevo el cual se cambia en mayo del 2007 por uno ruso el cual se encuentra trabajando sin efectuarse retiro hasta nuestros días.

3.3.1.10. Horno de reducción 122-02-HR-23

El eje se instala en el año 1986 pero no llegó a trabajar hasta el 31 de agosto de 1993 que se efectúa la modernización en la Empresa con la introducción de la nueva tecnología PRIOR y se cambiaron los tramos el día 8 de junio del 2004 por presentar fisuras en la unión emplatillada, con un período de permanencia de 12 años, donde se instala uno nuevo el cual se encuentra trabajando sin efectuarse retiro hasta nuestros días.

3.3.1.11. Horno de reducción 122-02-HR-24

Este al igual que el horno anterior se instaló el eje pero no llegó a trabajar hasta el 31 de agosto de 1993, fecha en que se efectúa la modernización en la Empresa con la introducción de la nueva tecnología PRIOR, el cual se encuentra trabajando sin efectuarse retiro, con un período de permanencia dentro del horno de 16 años.

De lo antes expuesto podemos decir que el tiempo promedio de permanencia de los ejes en los hornos de reducción de la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara es la siguiente: de los 32 ejes instalados en el período del año 1986, año en que comienza la explotación de la fábrica hasta el año 1995 oscila entre los 8 – 10 años. Los hornos de mayor permanencia de los ejes son desde el horno 122-02-HR-1 hasta el 122-02-HR-10 y los de menor duración son los 122-02-HR-19 y 122-02-HR-21, como se muestra el gráfico Nro 1

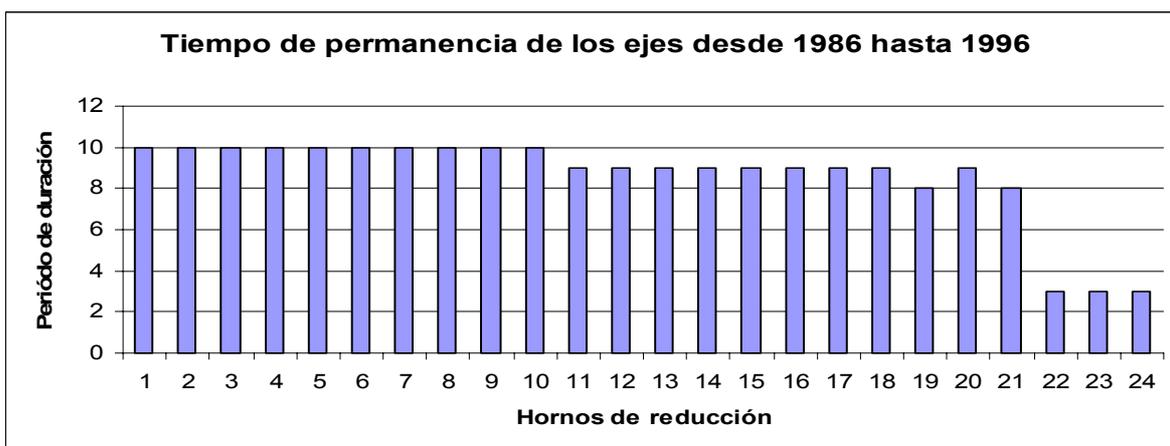


Figura 1. Tiempo de permanencia de los ejes en los hornos desde 1986 hasta 1996

Después de realizada la modernización de la Empresa, en el año 1993, el tiempo de permanencia de los ejes en los hornos fue de 12 años, excepto el 122-02-HR-1, 122-02-HR-5, 122-02-HR-13 y 122-02-HR-18, que fue necesario cambiarlo en más de una ocasión siendo el tiempo de duración aproximadamente 4 años, Gráfico Nro 2.

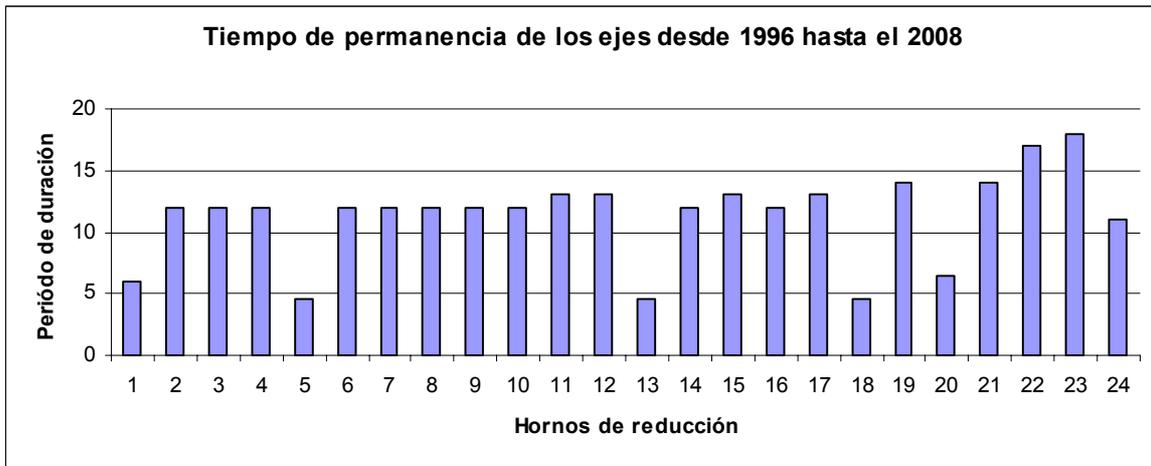


Figura 2. Tiempo de permanencia de los ejes en los hornos desde 1999 hasta 2008

De forma general podemos decir que el tiempo total aproximado de duración de los tramos de eje central en los hornos desde los comienzos de la fábrica hasta la actualidad es de aproximadamente 11 años, como se puede ver en la gráfica Nro. 3

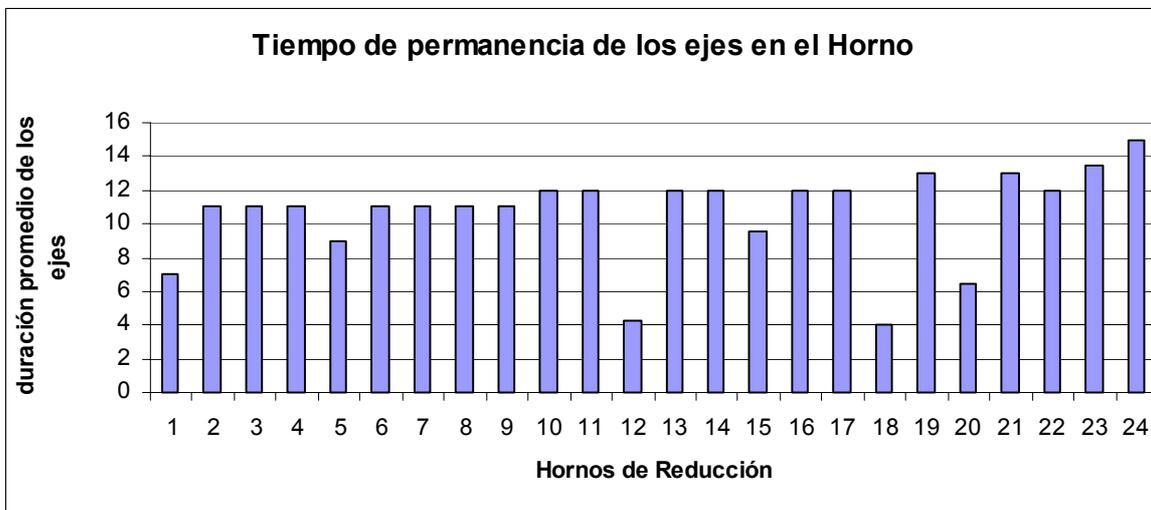


Figura 3. Tiempo de permanencia de los ejes en los hornos

En las figuras 4, 5 y 6 se refleja el tiempo promedio de duración de los tramos de eje central por su lugar de procedencia (de fabricación rusa, fabricados en ACINOX

Antillana de Acero y los elaborados en la Empresa Mecánica del Níquel) en los 24 hornos de reducción.

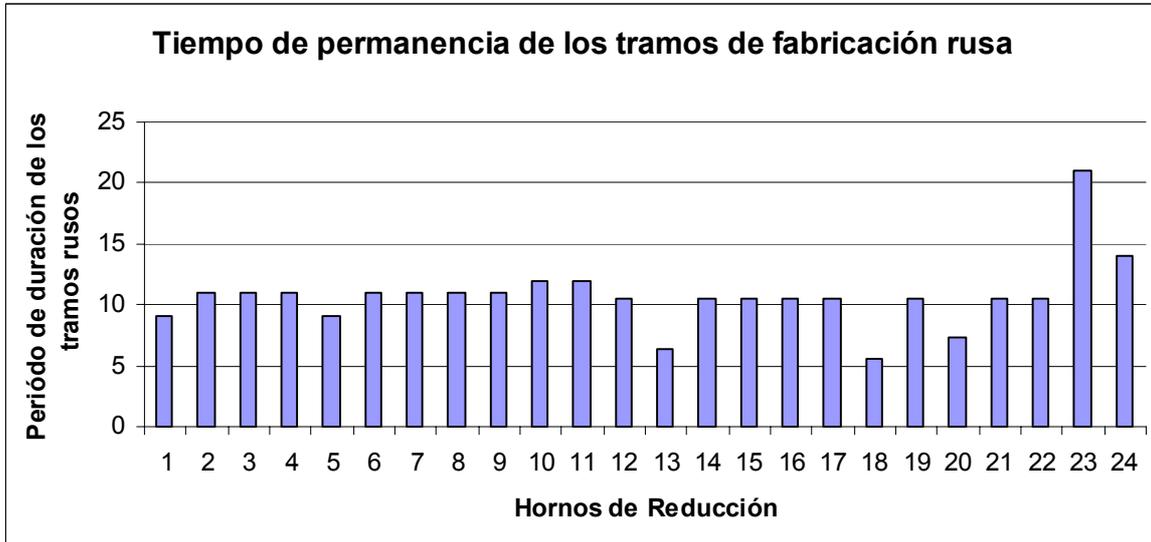


Figura 4. Tiempo de permanencia de los tramos de fabricación rusa

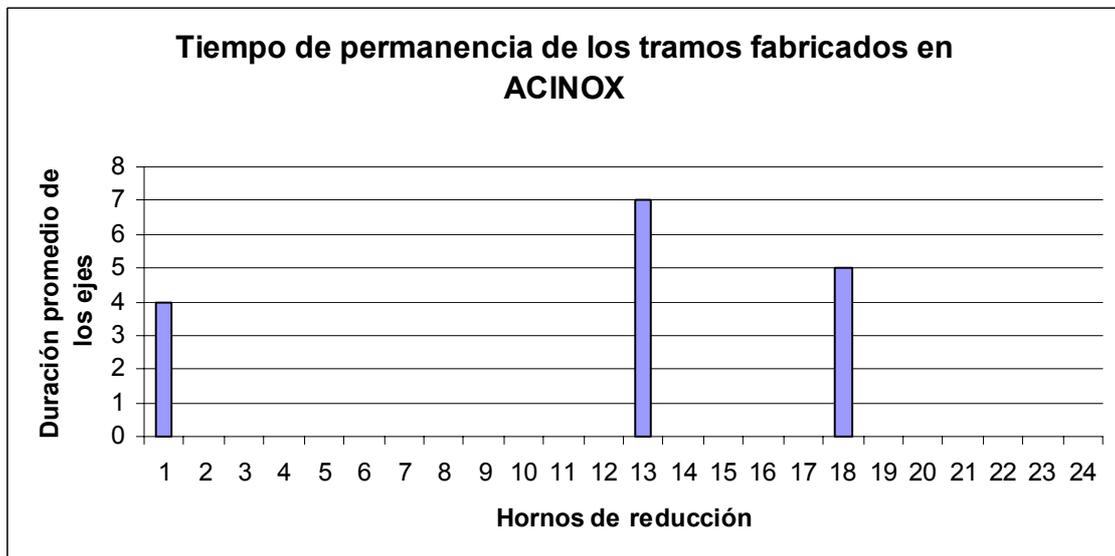


Figura 5. Tiempo de permanencia de los tramos fabricados en ACINOX

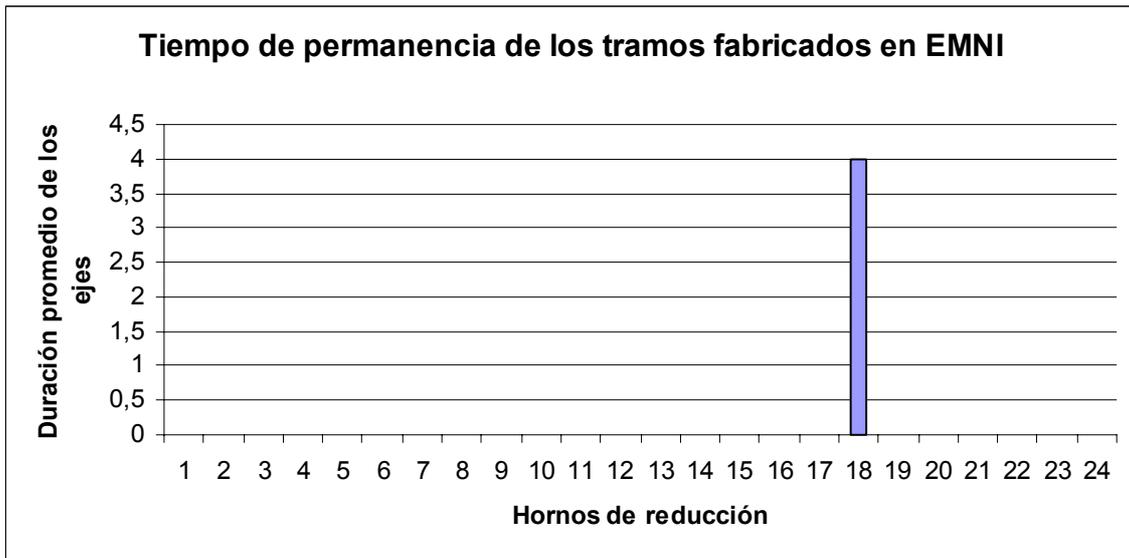


Figura 4 Tiempo de permanencia de los tramos fabricados en la EMNI

En estas gráficas se puede observar que los tramos de eje central de fabricación rusa son los más utilizados, se utilizan para los 24 hornos de reducción y tienen un tiempo promedio de duración de 10 años, los fabricados en ACINOX solo se utilizaron en tres de los 24 hornos y el promedio de duración es de 6 años, en la EMNI solo se fabricaron tramos para un solo horno y el tiempo de duración fue de 4 años.

La longevidad de los ejes de fabricación rusa responde fundamentalmente a tres aspectos esenciales:

1. Alta calidad en la tecnología de fundición, que permite obtener piezas con geometría compleja sin la presencia de defectos visibles e internos capaces de invalidar las mismas para el uso que fueron diseñadas.
2. Calidad metalúrgica, estas fundiciones presentan composición química homogénea, distribución del grafito en la matriz en forma de minúsculos nódulos que garantizan la continuidad de esta no permitiendo la formación de grietas, mínima presencia o ninguna de inclusión no metálica.
3. Excelente homogeneidad de la estructura cristalina con la dosificación muy cuidadosa de los elementos de aleación, la estructura de esta aleación es de clases perlita-cementita.

En las fundiciones nacionales las limitaciones que están presentes son fundamentales dos:

1. La calidad en la tecnología de fundición con geometría compleja, los defectos son abundantes tanto dimensionales como de fundición.
2. La capa de penetración de la fundición blanca es profunda y alcanza durezas muy altas, las inclusiones de grafito en la matriz está distribuida en forma de láminas, por estas causas las fundiciones son muy sensibles al agrietamiento por entallas, vibraciones y contracciones térmicas, tales características son negativas para alcanzar larga permanencia de estos ejes en los hornos de reducción.

Consideramos que la aleación que ofrece ACINOX posee calidad metalúrgica y mecánica, a pesar de que el grafito laminar debilita la matriz de la estructura, es decir la interrumpe más que el nodular por lo que esta aleación es mucho más sensible al agrietamiento, producto de las tensiones térmicas y mecánicas a la que están sometidas estas piezas, algo contrario ocurre con el hierro nodular que absorbe esto con mayor facilidad sin dar lugar al agrietamiento.

Las condiciones de trabajo a la que están sometidas estas piezas en los hornos de reducción son más severas atendiendo a temperatura y atmósfera gaseosa independientemente del aislamiento térmico que la protege del medio, pero con respecto a esto tenemos el inconveniente de que su cara fría puede alcanzar hasta los 600°C según la instrucciones del fabricante, y estas aleaciones están recomendadas para trabajar hasta los 500°C en atmósfera oxidante o reductoras.

Debemos indicar de estas aleaciones que a estas temperaturas, sus propiedades mecánicas disminuyen considerablemente, un 30 % o más.

Por tanto el montaje de estos ejes centrales fabricados en ACINOX Antillana de Acero se realizó a riesgo y de forma experimental en uno de nuestros hornos que aún no había sido modificado.

3.4. Causas de fallas y roturas de los tramos de eje central

El eje central se parte por diferentes causas, que a continuación se relacionan:

- Cuando el esfuerzo a que está sometido es mayor que la resistencia mecánica del material del eje, esto puede ser ocasionado por un tranque en algunas de las partes móviles del eje.
- Defectos de fundición no visibles.
- Acción directa del quemador de la cámara de combustión sobre el eje.
- Sobrecarga, puede ser en el momento de arranque si existe algún tranque en el eje.
- Tiempo de vida útil del eje, ya que la estructura de la red cristalina puede variar producto a la acción del calor y los gases y pasar a estructuras más débiles, favoreciendo el incremento de tensiones en el metal.

En el anexo 3 Figura 7-15 se puede ver reflejada en los tramos de eje central las roturas que se exponen anteriormente que fueron tomadas del Dictamen Técnico, 2004 y Reporte técnico del 2007.

Conclusiones del Capítulo

1. El tiempo de permanencia de los ejes instalados desde 1986 hasta 1995 oscila entre 8 y 10 años, los ejes instalados con la introducción de la tecnología PRIOR presentan un tiempo de permanencia entre 4 y 14.
2. Los tramos de fabricación rusa presentan un mayor tiempo de vida útil que los fabricados en ACINOX Antillana de Acero y los fabricados en la EMNI debido a la estructura del grafito que presenta, ya que presentan una estructura nodular mientras que los de producción nacional una estructura laminar.

CAPITULO IV. Valoración económica

Una de las finalidades de la contabilidad de los costos es la de proveer un soporte a la toma de decisiones empresariales.

En contraste con las otras dos finalidades de las misma (valoración de inventarios y evolución de actividades), los datos necesarios para ella, no suelen obtenerse de manera automática por el sistema contable, con frecuencia es necesario elaborar los datos que ofrece el sistema contable y añadir datos extra contables, incluso los datos contables pueden llegar a ser engañosos si no se interpretan de una manera adecuada.

La razón de estos es que no existen datos útiles para cualquier tipo de decisión, es decir se precisan costos distintos para propósitos diferentes.

Una empresa debe de conocer las relaciones existentes entre volúmenes de actividades, costos y beneficios para poder planificar sus acciones correctamente

Para esto debemos conocer conceptos básicos de la economía

Costos directos

Son los gastos necesarios para la fabricación de un producto o prestación de un servicio que se considera como costo directo como son:

1. Consumo material.
2. Salarios directos.

Otros que se puedan precisar en el costo, como:

- a) Servicios productivos.
- b) Energía.

Es factible considerar en el costo directo en la fabricación de productos, todo aquel gasto que se pueda identificar con cargo a su fabricación, como corte de una madera, para fabricar un mueble; pulido de piso en la fabricación de un inmueble, etc. Todos estos servicios recibidos y pagados a otras entidades, son considerados como costo directo o costo primario.

El consumo material es muy importante, su control en la fabricación de un producto, pero siempre debe tenerse en cuenta su incidencia en el costo, si se fabrica un producto que apenas consume dos tornillos, pudiera considerarse como un gasto indirecto, pero si se fabrica una cantidad apreciable, debe considerarse como un costo directo, también debe considerarse la importancia de la materia prima independiente de la cantidad a consumir o su valor para considerarlo como costo directo.

En la fabricación de cualquier producto o prestación de un servicio, es importante el costo directo por que a través de su control se logra un eficiente, económico y excelente resultado.

Costo indirecto

Todos los gastos de una fábrica con excepción de los materiales y mano de obra (salarios) y servicios directos mencionados anteriormente, son considerados como costos indirecto, como son salarios del personal auxiliar, gastos de almacenaje de materia primas, serenos, electricidad, depreciación, amortización de patentes de productos, materiales auxiliares de limpiezas, servicios de mantenimiento etc.

Como puede apreciarse son todos los demás gastos después de los directos que se incurre en la fábrica y que son necesarios para garantizar la producción o el servicio que se presta, y siempre que no se pueda precisar su empleo o consumo directamente con cargo a una orden de producción.

Estos gastos indirectos forman parte del costo del producto llevándose al costo de las órdenes de trabajo por cuotas establecidas antes o después de determinar los costos reales indirectos, tomándose como base, el salario, horas máquina, cuota por producto, porcentaje del costo directo, debiéndose escoger la base de distribución que más se acerque a la realidad de cada caso y en el ejemplo que ponemos más adelante, tomamos como base de cálculo el salario directo, que es el método más usado para distribuir los gastos indirectos.

Costo fijo

Son aquellos que no varían al nivel de producción, manteniéndose invariables, como son los gastos de depreciación, seguros, intereses por préstamos etc., sin embargo sí varían de acuerdo a su relación al nivel de producción cuando se aplican a las órdenes de trabajo por producciones, por producto, cuando ésta es mayor o menor éste importe disminuye o aumenta inversamente al nivel de producción o sea que cuando más producción, el índice de costo por orden es inferior y mayor cuando la producción es baja, aunque no varían en cuanto al total de gastos por ser fijos y gastos necesarios para mantener la capacidad productiva independiente al volumen de esta ya sea en unidades físicas o valor.

Costo variable

Son aquellos que varían según el nivel de producción, como son los materiales y salarios pagados directamente en la elaboración de un producto.

Si bien es cierto que a nivel de orden de trabajo, se mantiene un costo fijo a igual cantidad de producción, si es variable en cuanto a la cantidad de productos que elaboran, porque entre mayor sea la producción, mayor es el consumo o costos.

4.1 Determinación de los costos de producción de una tonelada de la aleación FeNiCrMoCu

Es necesario para dicho cálculo conocer las fichas del producto a analizar (FeCrNiMoCu) para una tonelada de material.

Ficha de costo para cada producto			
Elementos de costos	Costo unitario	Clasificación	Fijos o variables
Materias Primas y Materiales	2092,71	MD	V
Combustible	41,8	CIF	V
Energía Eléctrica	350,24	CIF	V
Otros gastos directos	763,61	CIF	V
Depreciación	214,08	CIF	V
Arrendamiento de Equipos	549,53	CIF	V

Gasto de Fuerza de Trabajo	1003,17	MOD	F
Salarios	636,51	MOD	F
Precio Establecido por MFP	6626,12	GP	F

Tabla 1: Fichas de costos y clasificación de los elementos de costos de una tonelada de la aleación FeNiCrMoCu.

En esta tabla se muestran la ficha de costos de una tonelada de la aleación FeNiCrMoCu., la cual contiene el costos unitario, calculados sobre la base del volumen del producto. Para el cálculo del costo de fabricación, punto de equilibrio, margen de contribución, etc; es necesaria una clasificación detallada de los diferentes elementos de costo. Si estos elementos no se interpretan adecuadamente los datos contables pueden ser engañosos.

4.2 Cálculo del costo de producción de una tonelada de la aleación FeNiCrMoCu

a) Cálculo del costo de fabricación.

$$\text{Costo de fabricación} = (MD + MOD + CIF) * \text{unidad}$$

$$\text{Costo de fabricación} = \$5651.65 * 1$$

$$\text{Costo de fabricación} = \$ 5651.65$$

En el estado de ganancia y pérdidas se utiliza el costo de fabricación donde se reconoce únicamente como costo del producto.

Los gastos indirectos se consideran como gastos del periodo.

b) Punto de equilibrio:

Para este caso la clasificación útil es agrupar la totalidad de los costos atendiendo solamente a su comportamiento con respecto a la variación del volumen de producción.

Costos variables (por unidad):

Materias primas-----	\$1483,92
Combustible -----	\$ 28,57
Energía eléctrica-----	\$350.24
Otros gastos directos-----	\$763.61
Depreciación-----	\$214.08
Arrendamiento -----	<u>\$549.53</u>
Costo variable unitario	= \$4011.97

Costo variable total = Costo variable unitario * unidad

$$= \$4011.97*1$$

$$= \$4011.97$$

Costos fijos:

Gasto de Fuerza de Trabajo -----	\$ 1003.17
Salarios -----	<u>\$ 636.51</u>
Costo fijo unitario	= \$ 1639.68

Costo fijo total = Costo fijo unitario * unidad

$$= \$ 1639.68*1$$

$$= \$ 1639.68$$

$$\text{Punto de equilibrio (unidades física)} = \frac{\text{costo fijo total}}{\text{Precio de venta} - \text{costo variable unitario}}$$

$$= \frac{\$1639}{\$6626.12 - \$4011.97} = 0.627 \text{ unidades}$$

$$\text{Punto de equilibrio (unidades monetarias)} = \frac{\text{costo fijo total}}{\frac{\text{Precio de venta} - \text{costo variable unitario}}{\text{precio de venta}}}$$

$$= \frac{\$1639}{\frac{\$6626.12 - \$4011.12}{\$6626.12}} = \$4143.35$$

c) Margen de contribución unitario:

Se denomina margen de contribución unitario de un producto a la diferencia entre su precio de venta y todos sus costos variables (incluyendo tanto los costos variables de administración como los de venta). Habitualmente se expresa en \$/u, pero también es frecuente expresarlo en % sobre el precio de venta. Si calculamos el margen de contribución total (Ventas – C.V totales), entonces el beneficio de una empresa puede expresarse como la diferencia entre el margen de contribución total (-) Gastos fijos.

Mientras mayor M.C.U tenga un producto, mayores capacidades le ofrece a la empresa de cubrir sus gastos fijos y obtener ganancias.

M.C.U = Precio de venta – costo variable unitario

$$= \$6626.12 - \$4012.11$$

$$= \$2615 \text{ (que representa un 39.47\% del precio de venta.)}$$

d) Margen bruto o utilidad bruta

El margen bruto de un producto es la diferencia entre su precio de ventas y sus costos de fabricación que incluyen en cambio, los costos de administración y ventas.

Margen bruto o utilidad bruta = Precio de venta – Costo de fabricación

$$= \$6626.12 - \$5651.65$$

$$= \$974.47$$

Es de gran importancia la clasificación de los costos fijos y variables, en análisis de costo-volumen-beneficio, y radica en que permite orientarse en decisiones futuras de explotación (a corto plazo) como pueden ser volúmenes de ventas,

nivel de utilización de las capacidades, factores que inciden en el punto de equilibrio del taller o empresa.

En mercados no saturados una vía para incrementar la ganancia es elevar la utilización de las capacidades productivas alejándonos a la derecha del punto de equilibrio, lo equivale a incrementar ventas.

Elementos de costos	Producto (una tonelada de la aleación FeNiCrMoCu)
Costo de fabricación	\$5651.65
Punto de equilibrio	\$4143.35
Margen de contribución	\$2615
Margen bruto	\$974.47
Venta total	\$6626.12
Ganancia	\$974.47

Tabla: 2 Resumen de los diferentes valores de costo, punto de equilibrio, márgenes, etc., para el tramo del eje central.

Conclusiones del Capítulo

1. El costo de fabricación de una tonelada de la aleación FeNiCrMoCu para el tramo del eje central asciende a \$5651.65 lográndose comenzar obtener beneficios a partir de las 0.627 unidades equivalentes a \$4143.35 que constituye el punto de equilibrio en unidades físicas y monetarias.
2. El margen de contribución total es de \$2615 y su margen bruto o utilidad bruta de \$974.47 por unidades.

Conclusiones

Una vez finalizada la investigación se llegó a las siguientes conclusiones:

1. El tiempo aproximado de duración de los tramos de eje central en los hornos desde los comienzos de la fábrica hasta la actualidad es de aproximadamente 11 años.
2. Los ejes utilizados en los hornos de reducción en la ECEG son suministrados de la Antigua Unión Soviética, de la Empresa ACINOX Antillana de Acero y la Empresa Mecánica del Níquel Comandante Gustavo Machín Hoed de Beche.
3. Los ejes de mayor durabilidad son los de fabricación rusa debido al material de que son fabricados, hierro nodular con grafito esferoidal, que tiene mejores propiedades mecánicas que las de fabricación nacional que son de hierro gris con grafito laminar.
4. Los tramos de eje central de menos durabilidad son los números 2030, 2097 y 2247 que son los que están expuestos a las temperaturas más altas dentro del horno.

Recomendaciones

Nuestro país se encuentra enfrascado en la modernización de las empresas de mayor impacto en la economía nacional y en la sustitución de importaciones, es por ello que en nuestro trabajo recomendamos:

1. Darle continuidad a este trabajo con vista a mejorar las propiedades de esta aleación y así poder alargar el tiempo de vida útil de los tramos de eje central.
2. En el país existen varias instituciones capaces y con tecnologías para obtener hierro fundido gris bajo aleado con inclusiones de grafito nodular, una de ellas es la Empresa Mecánica del Níquel “Comandante Gustavo Machín Hoed de Beche”, la cual está en condiciones de realizar estas fabricaciones.

Bibliografía

1. ANÓN, Metalurgia planchas de fundición, University of Cambridge [en línea] <[http://www. cast airon.htm](http://www.castairon.htm)> [consultada:19 de abril de 2008]
2. ANÓN, Fundición gris, [en línea] <<http://www.utp.edu.co/Epublio17/gris>> [consultada: 4 de abril del 2008]
3. ANÓN, Fundición maleable, [en línea] <<http://www.utp.edu.co/Epublio17/gris>> [consultada: 4 de abril del 2008]
4. ANÓN, Fundición nodular, [en línea] <<http://www.utp.edu.co/Epublio17/nodular>> [consultada: 4 de abril del 2008]
5. BEDOLLA-JACUINDE. *Diario internacional de la investigación echada de los metales*, **13** (2001) 343-361
6. ASM. ASM Handbook. Volume 18. Friction, lubrication and wear technology. The Materials Information Society. ASM International. United States of America.1992
7. Censo de Fundición del Mundo, Modern Casting, 1990.
<http://www.turkdokum.com/turkishfoundryindustry.htm>
8. ELLIOTT R Cast Iron Technology Butterworths Copublishers Ltd
9. LAIRD, Richard Gundlach y Klaus Röhrig, *resistencia a la abrasión- Resistencia Cast Iron Handbook*, ASM International (2000) ISBN 0-87433-224-9.
10. GUIRSHOVICH, N.G. Clasificación y Propiedades del Hierro en Lingotes. Construcción de Maquinarias, 1966. p562
11. HERNÁNDEZ Acosta R. y Córdova Téllez A. Dictamen de Mantenimiento de la avería al eje central del horno de reducción 18, (2004).p6
12. HONEYCOMBE, R. W. K. Steels. Microstructure and properties Spottiswoode Ballantyne Ltd, Colchester, 1981
13. JANOWAK, J.F. GUNDLACH, R. B. Fundiciones Grises Aleadas (y2) Fundición Año XXXIII-segunda etapa- mayo-junio, 1987

14. KRAUSE, D. E. Gray Iron- A Unique Engineering Material. ASTM, Special Technical Publications 455, Philadelphia, 1969 pp 3-28
15. LIU Yuanzhong y Luo Maorang, CN1180110, 1998
16. PETTY, E.R. Physical Metallurgy of Engineering Materials. George Allen and Unwin Ltd. Londres, 1968. p 109
17. RODRÍGUEZ Sablón P. Reporte Técnico del eje central del horno de reducción, (2007). P14
18. SETO yoghito, otros (4) JP4080344, 1992
19. Sy, A de. Copper in cast iron. Principal Considerations. AFS Transactions. Vol.67. pp321-328, 1959
20. TIAN, H.H. Wear Resistant Materials for Engineering and Mining. Applications. Engineering & Mining Journal, Jun 1, 2002
21. TOGAWA TSUTOMO, otro (1). JP3150334, 1991
22. WALTON, C.F. Castings Iron Handbook. Iron casting Society, Inc. 1981

Anexo1

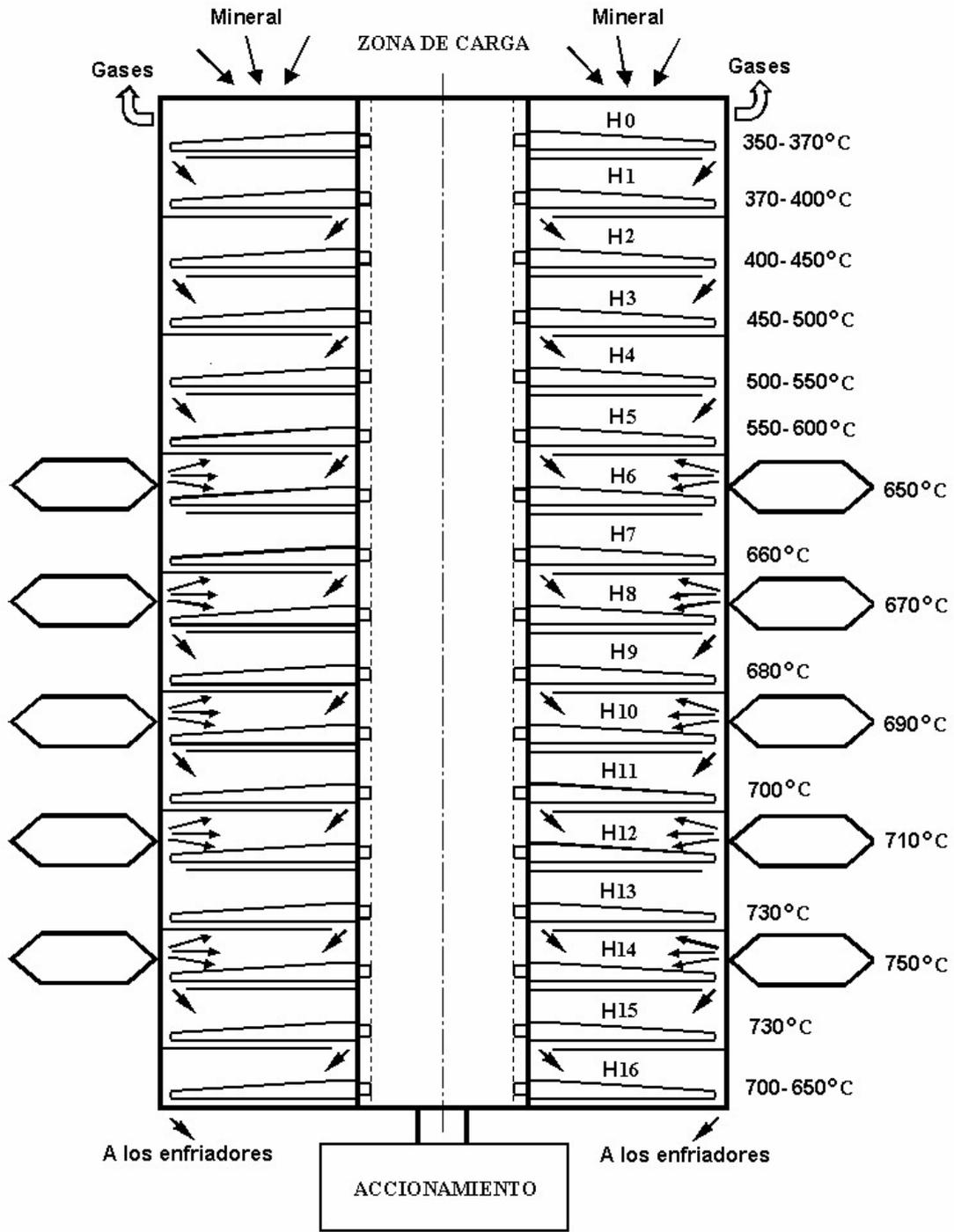
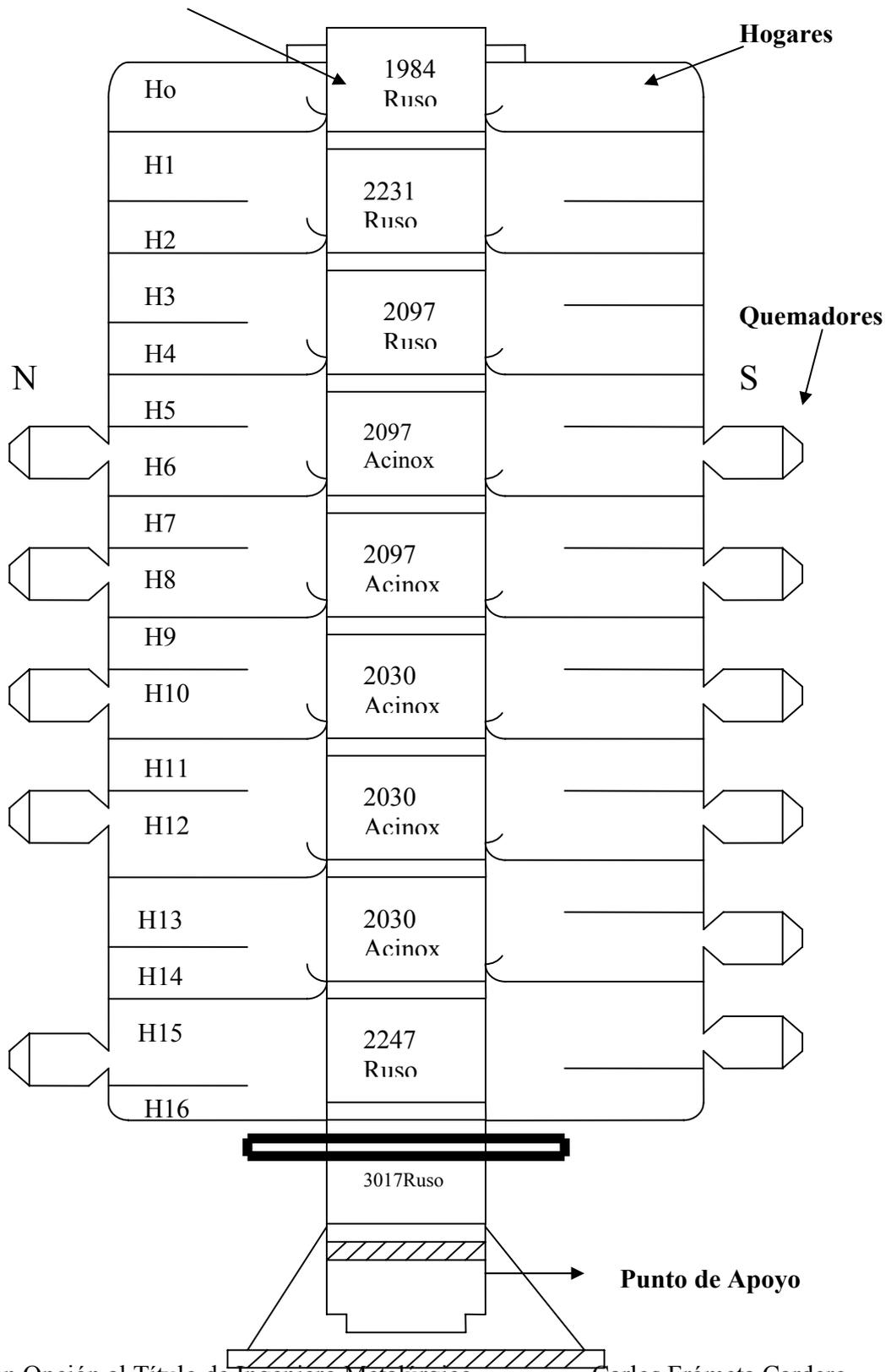


Fig. 1 Esquema general de la instalación de un horno de reducción.



Tesis en Opción al Título de Ingeniero Metalúrgico Carlos Frómata Cardero
 Fig. 2 Esquema del horno con los tramos del eje central acoplados

Anexo 2

Procedencia fecha inicio- retiro de servicio de los ejes. Eje Horno Reducción	URSS		ACINOX		EMNI	
	Fecha de inicio de servicio	Fecha de retiro servicio Tiempo de permanencia	Fecha de inicio de servicio	Fecha de retiro servicio Tiempo de permanencia	Fecha de inicio de servicio	Fecha de retiro servicio Tiempo de permanencia
122-02-HR-1	12/86..... 04/04/96... 2097 ACINOX 12/08/04	04/01/96 Se instala uno del CAME y se introduce un 2097 de ACINOX Se cambia por deformación (8 años) Se monta otro de CAME	04/04/96 sección 2097	04/03/00 sección 2097	-----	-----
122-02-HR-2	12/86.... 04/04/96... nuevo del CAME	04/04/96 (2-10 años) Hasta 05/08 sin retiro (12 años)	-----	-----	-----	-----
122-02-HR-3	12/86.... 11/06/96... nuevo del CAME	11/06/96 (2-10 años) Hasta 05/08 sin retiro (12 años)	-----	-----	-----	-----
122-02-HR-4	12/86.... 04/06/96... nuevo del CAME	04/06/96 (2-10 años) Hasta 05/08 sin retiro (12 años)	-----	-----	-----	-----
122-02-HR-5	12/86.... 01/08/96... nuevo del CAME	01/08/96 (2-10 años) Hasta 19/01/03 por deformación	-----	-----	-----	-----

	con secciones recuperadas	05/08 sin retiro (5 años)				
--	---------------------------	---------------------------	--	--	--	--

122-02-HR-6	12/86.... 01/08/96...	01/08/96 (2-10 años) Hasta 05/08 sin retiro (12 años)	-----	-----	-----	-----
122-02-HR-7	12/86.... 13/07/96... nuevo del CAME	13/07/96 (2-10 años) Hasta 05/08 sin retiro (12 años)	-----	-----	-----	-----
122-02-HR-8	12/86.... 13/07/96...	13/07/96 (2-10 años) Hasta 05/08 sin retiro (12 años)	-----	-----	-----	-----
122-02-HR-9	12/86.... 14/01/96...	14/01/96 (2-10 años) Hasta 05/08 sin retiro (12 años)	-----	-----	-----	-----
122-02-HR-10	12/86.... 16/01/96...	16/01/96 (2-10 años) Hasta 05/08 sin retiro (12 años)	-----	-----	-----	-----
122-02-HR-9	12/86.... 14/01/96...	14/01/96 (2-10 años) Hasta 05/08 sin retiro (12 años)	-----	-----	-----	-----
122-02-HR-10	12/86.... 16/01/96...	16/01/96 (2-10 años) Hasta 05/08 sin retiro (12 años)	-----	-----	-----	-----
122-02-HR-11	12/86....	24/12/95				

	24/12/95...	(2-9 años) Hasta 05/08 sin retiro (13 años)	-----	-----	-----	-----
122-02-HR-12	12/86.... 24/12/95...	24/12/95 (2-9 años) Hasta 05/08 sin retiro (13 años)	-----	-----	-----	-----
122-02-HR-13	12/86.... 21/09/95... 05/11/98... se montan 6 secciones de ACINOX	21/09/95 (2-9 años) Hasta 05/11/98 (3 años) 28/01/05 (7 años)	05/11/98 se instalan 6 Secc. 3-2030 2-2097 1-2231	28/01/05 (7 años)	-----	-----
122-02-HR-14	12/86.... 01/11/95...	01/11/95 (2-9 años) Hasta 05/08 sin retiro (13 años)	-----	-----	-----	-----
122-02-HR-15	12/86.... 10/08/95...	10/08/95 (2-9 años) Hasta 05/08 sin retiro (13 años)	-----	-----	-----	-----
122-02-HR-16	12/86.... 03/08/95...	03/08/95 (2-9 años) Hasta 05/08 sin retiro (13 años)	-----	-----	-----	-----
122-02-HR-17	12/86.... 13/01/95...	13/01/95 (2-9 años) Hasta 05/08 sin retiro (13 años)	-----	-----	-----	-----
122-02-HR-18	12/86.... 05/01/95... 18/07/07	05/01/95 (2-9 años) 25/10/99 (4 años) 07/07	25/10/99 6 secciones	18/07/07 (5 años)	05/01/95	25/10/99 (4 años)

		(4 y 3 años) secciones recuperadas				
122-02-HR-19	12/86.... 27/12/94...	27/12/94 (2-9 años) Hasta 05/08 sin retiro (13 años)	-----	-----	-----	-----

122-02-HR-20	12/86.... 27/12/94 19/03/97... Nuevo	27/12/94 (2-10 años) 19/03/97 (3 años) 05/08 sin retiro (11 años)	-----	-----	-----	-----
122-02-HR-21	12/86.... 29/10/94...	29/10/94 (2-8 años) Hasta 05/08 sin retiro (14 años)	-----	-----	-----	-----
122-02-HR-22	12/86.... 20/01/06...	20/01/06 (20 años) Hasta 05/08 sin retiro (2 años)	-----	-----	-----	-----
122-02-HR-23	12/86....	05/08 sin retiro (21 años)	-----	-----	-----	-----
122-02-HR-24	12/86.... 7/93...	Hasta el 1993 no entró en explotación Hasta 05/08 sin retiro (14 años)	-----	-----	-----	-----

Tabla 3 Clasificación de las aleaciones de hierro fundido según fabricante, ubicación en los hornos de reducción, fecha de montaje y desmontaje, tiempo de duración y causa de sustitución

Anexo3



Figura 3. Se observa un tramo del eje central del horno 18 con grieta en el cuerpo, sacado antes que se completara la fractura.



Figura 4. Tramo del eje central del horno fracturado por fallo de la estructura cristalográfica del material.



Figura 5. Muestra de otra parte del tramo del eje central donde ocurrió la rotura

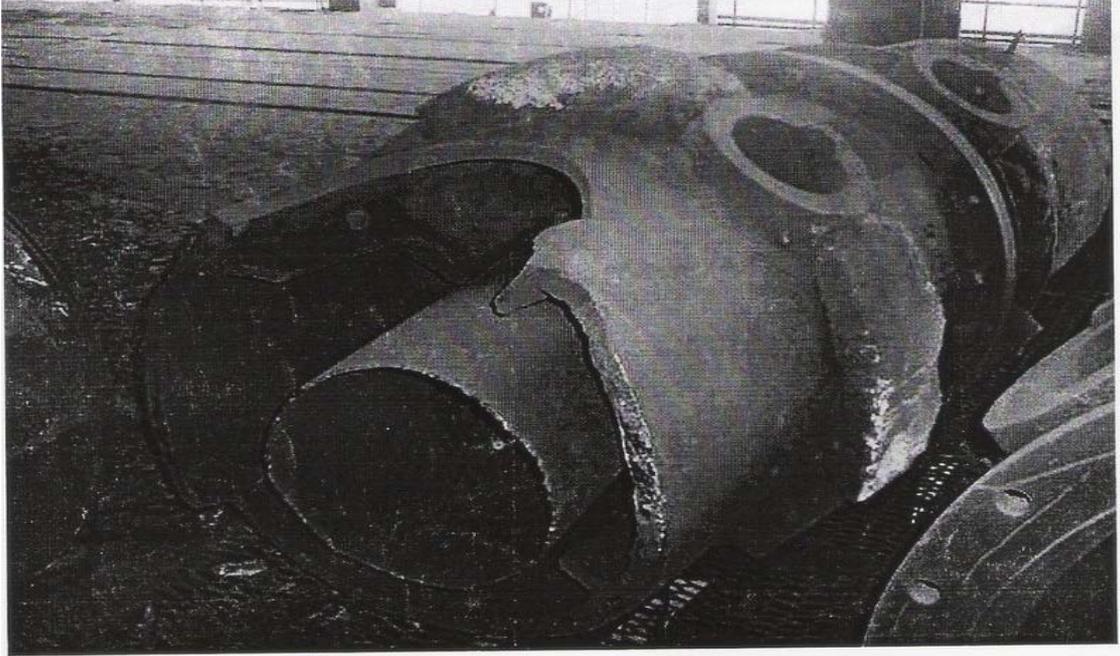


Figura 6. Tramo 2247 del eje central del horno fracturado por fallo de la estructura cristalográfica del material.

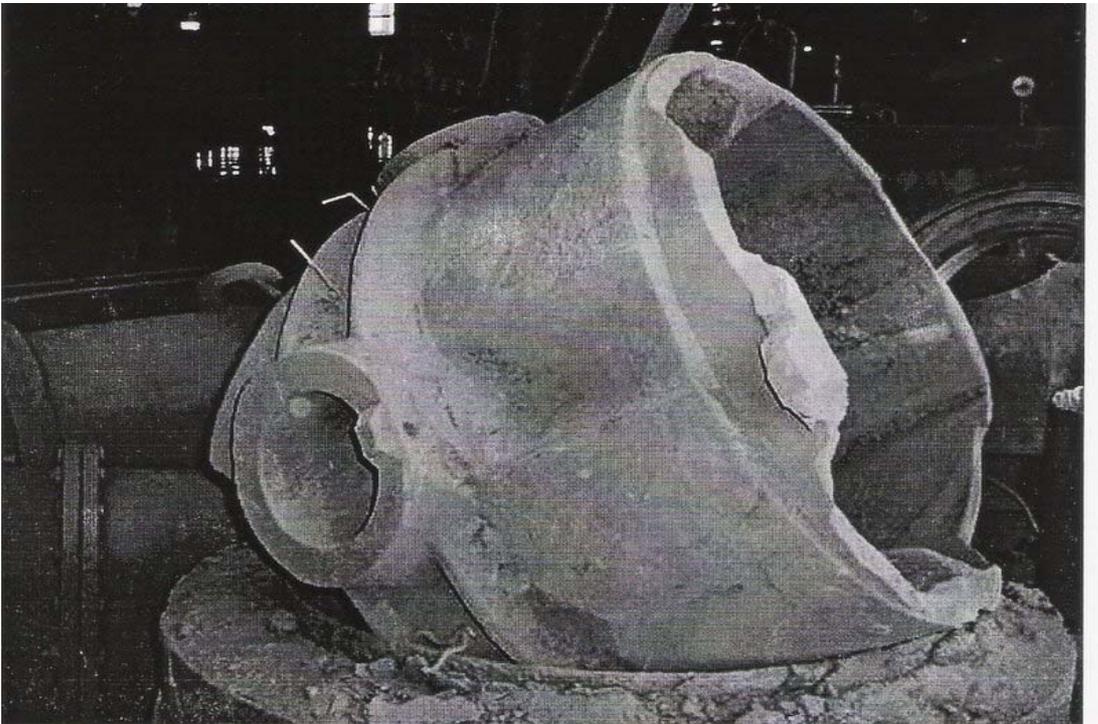


Figura 7. Tramo del eje central del horno donde ocurrió la fractura por un tranque del eje.

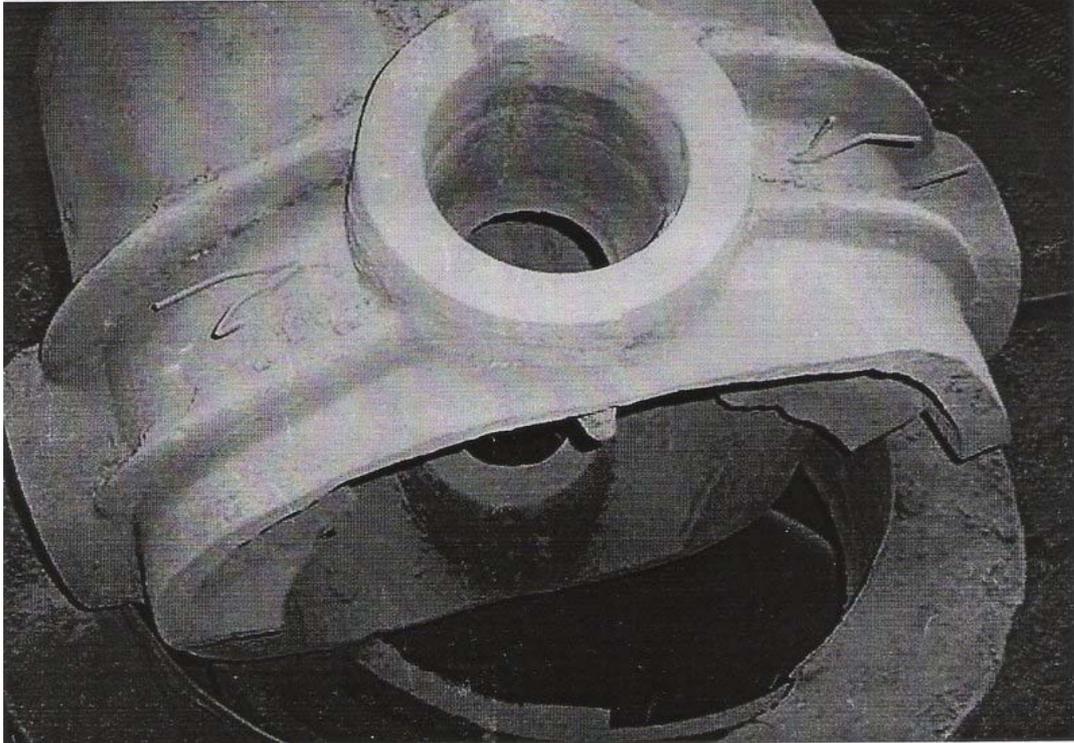


Figura 8. Muestra de otra parte del tramo del eje central donde ocurrió la rotura

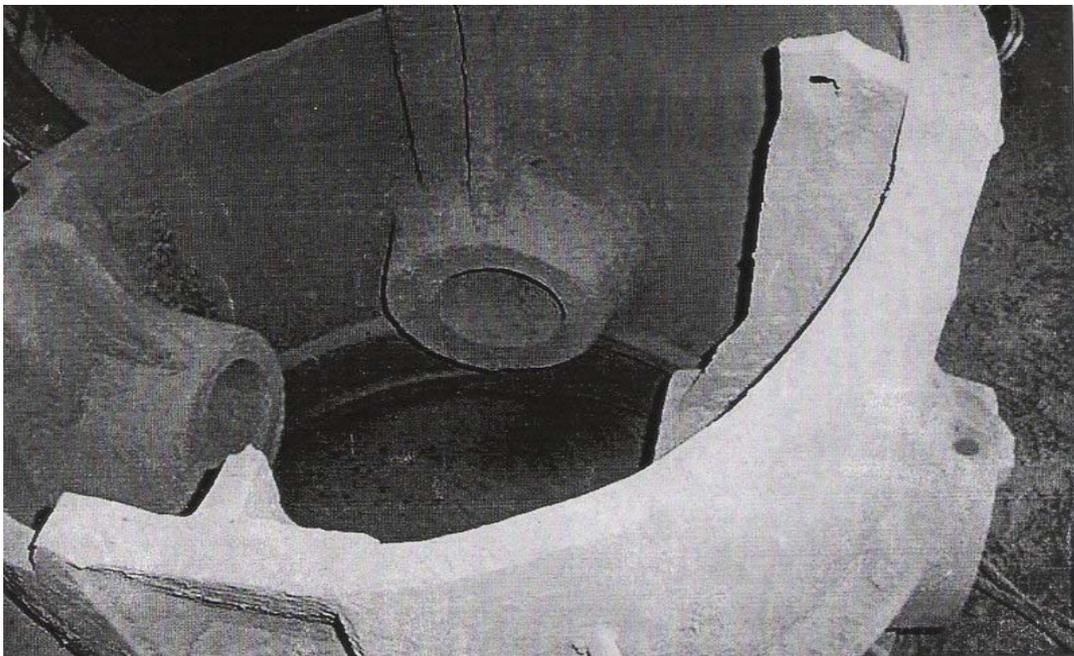


Figura 9 Tramo 2097 eje central donde ocurrió la fractura por tener más de 9 de explotación.

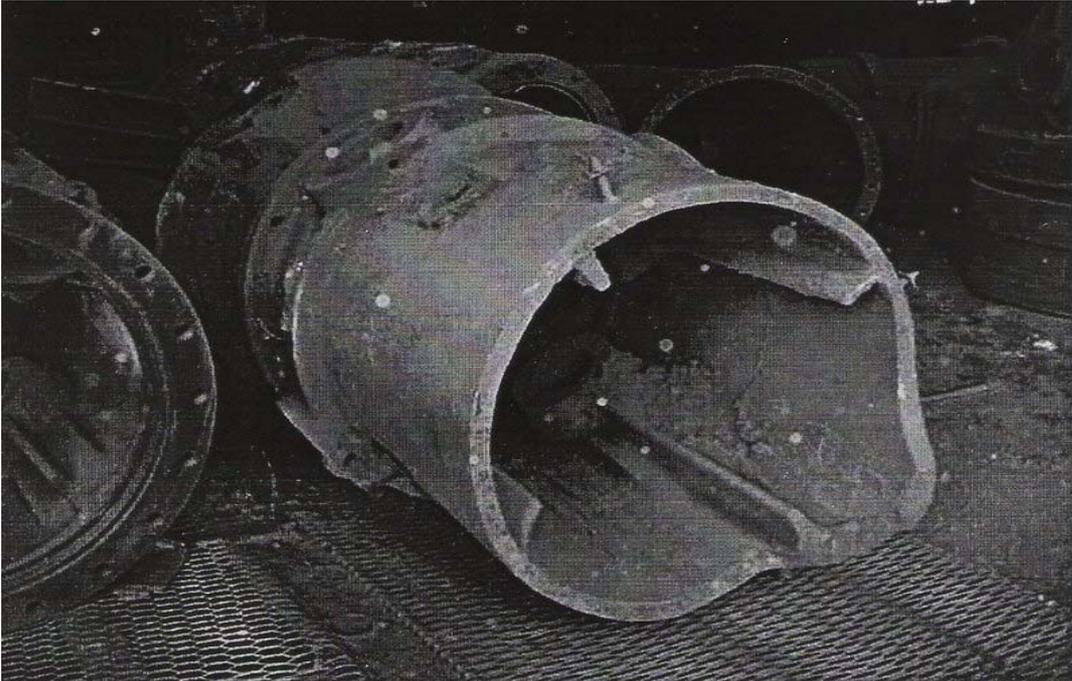


Figura 10. Tramo 2030 del eje central del horno fracturado por fallo de la estructura cristalográfica del material.

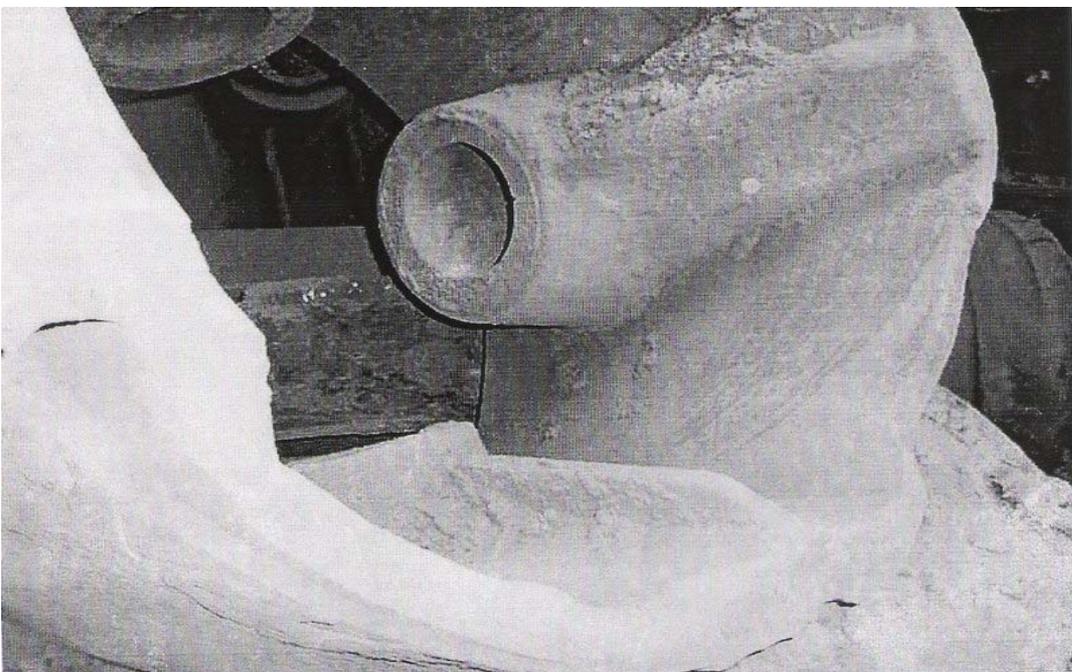
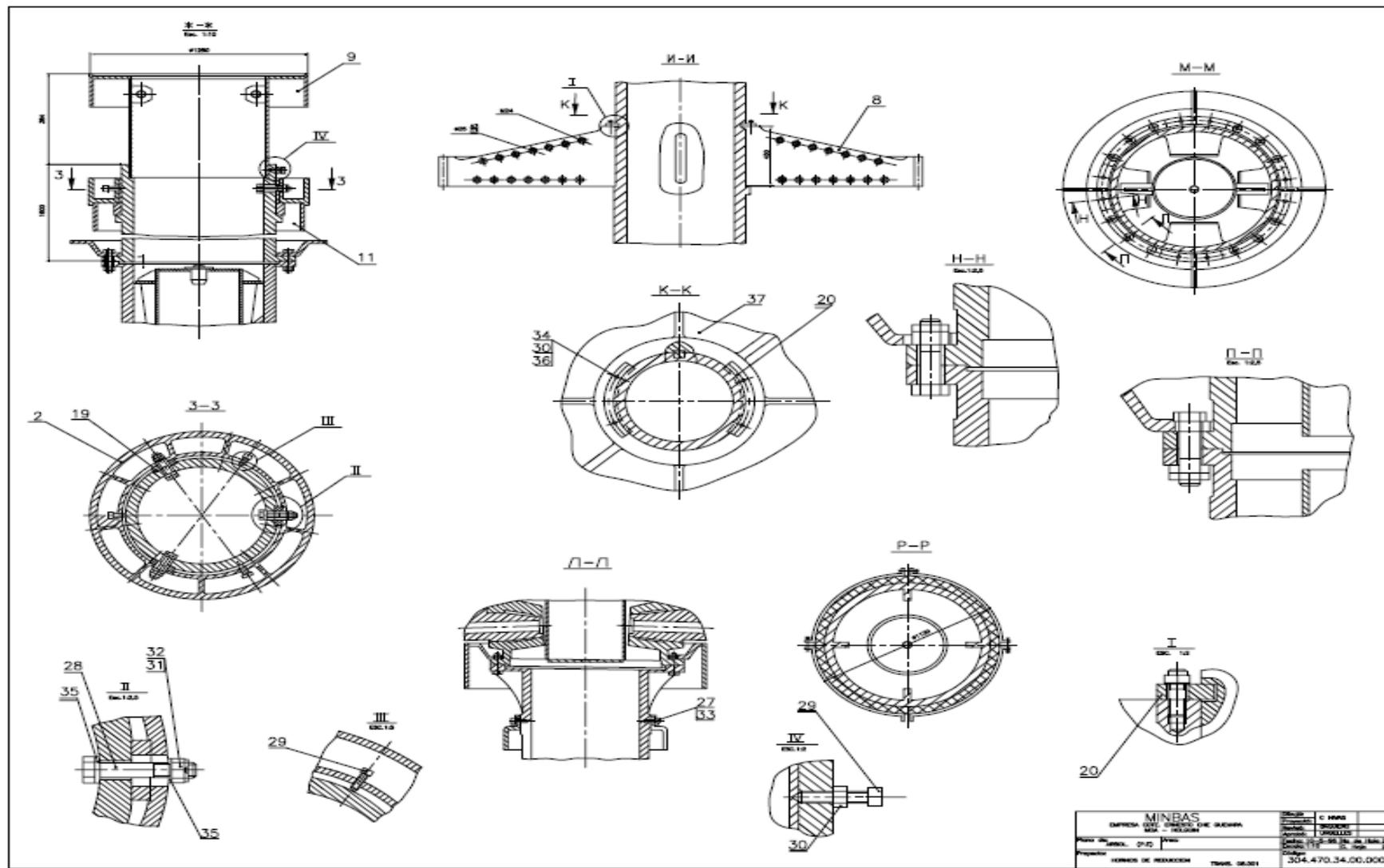


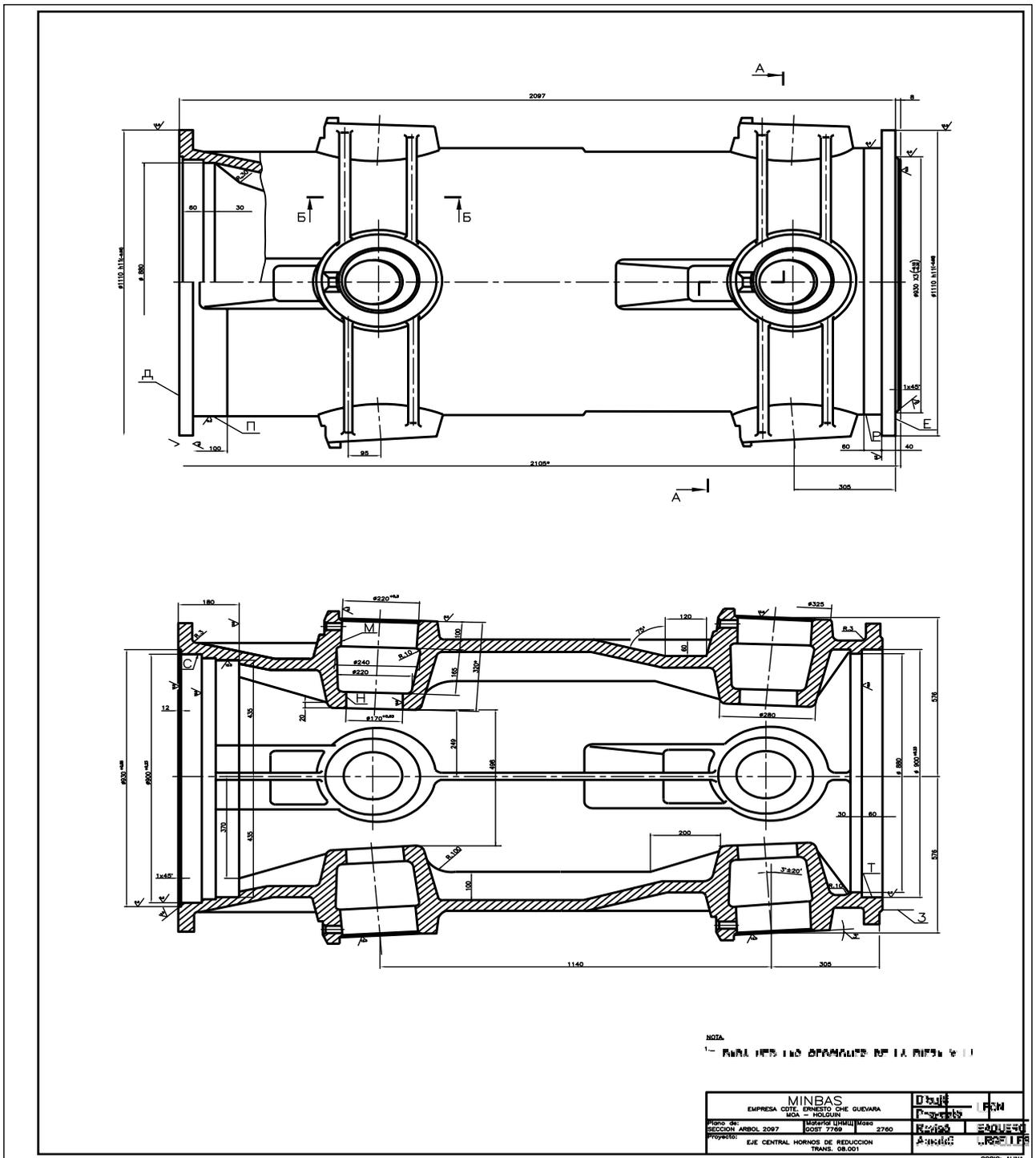
Figura 11. Muestra de otra parte del tramo del eje central donde ocurrió la rotura



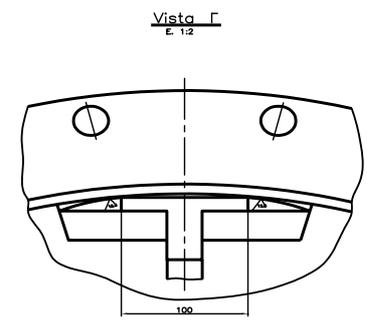
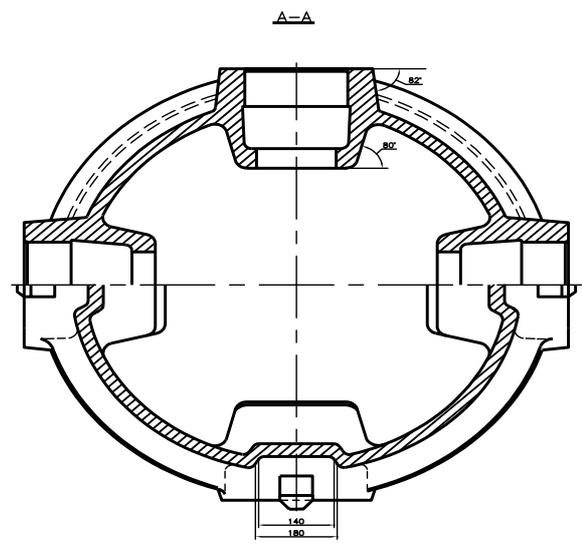
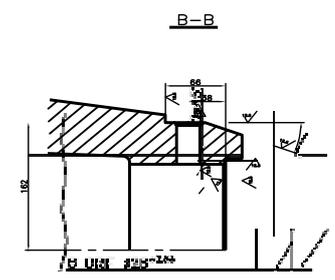
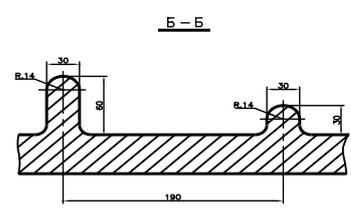
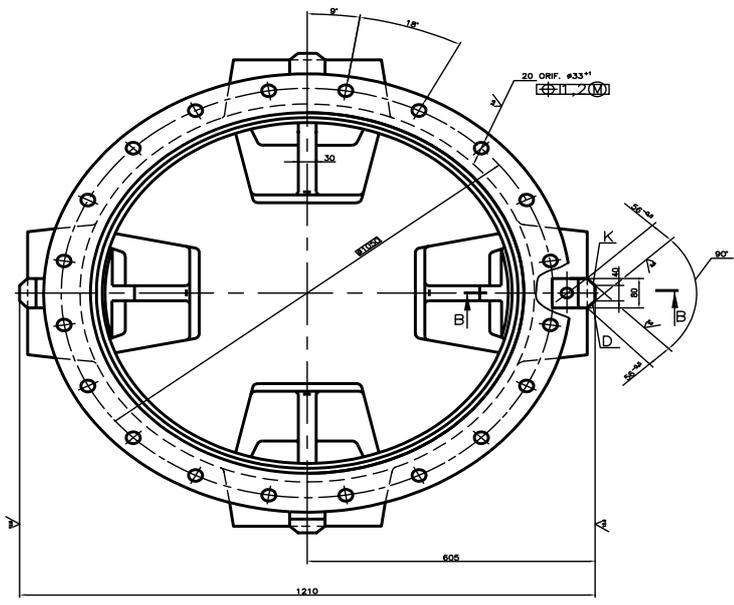
Plano 1. Esquema general del plano del eje
Tesis en Opción al Título de Ingeniero Metalúrgico

Carlos Frómata Cardero

Plano 2 . Esquema del tramo 3017



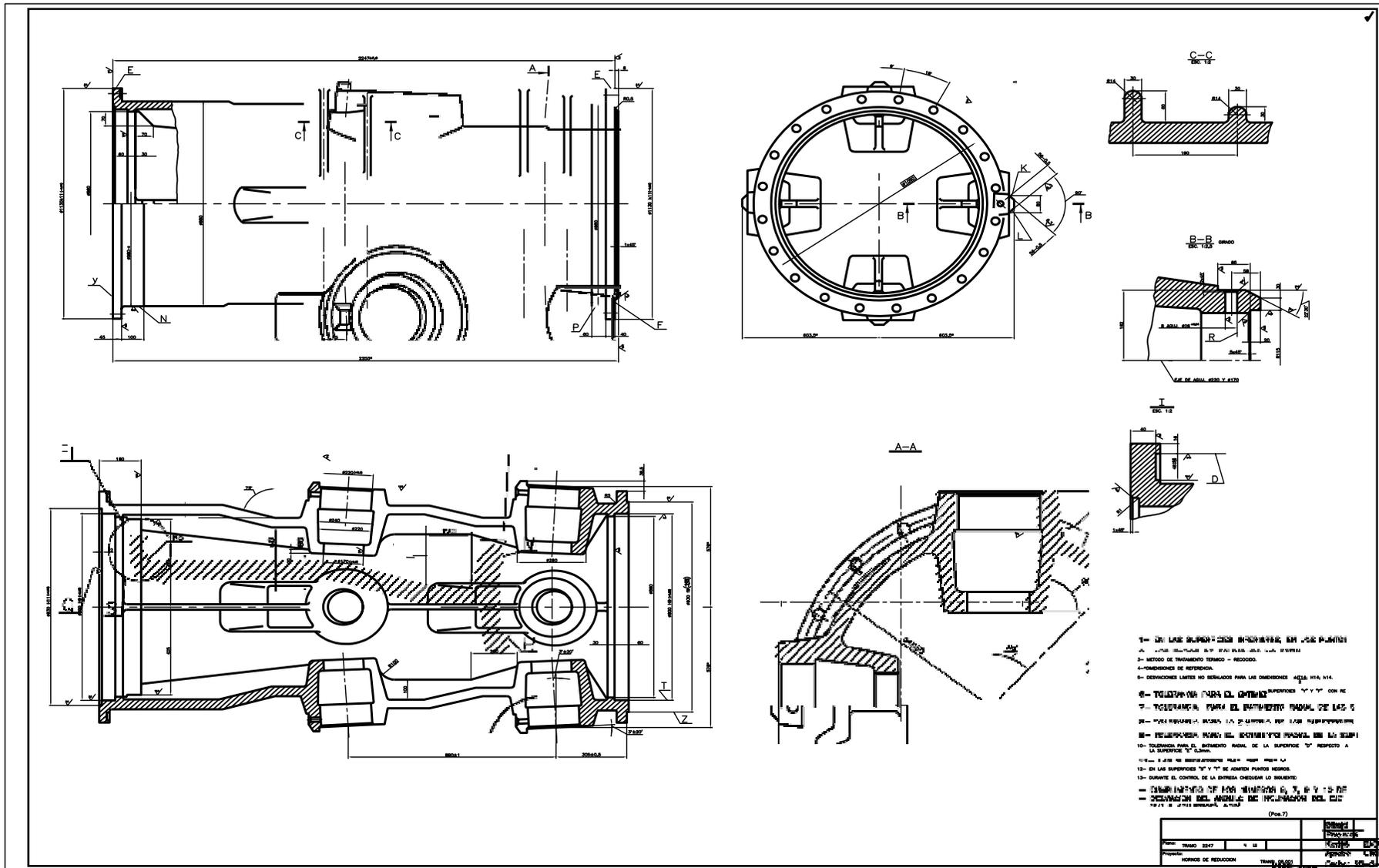
Plano 3. Esquema del tramo 2247



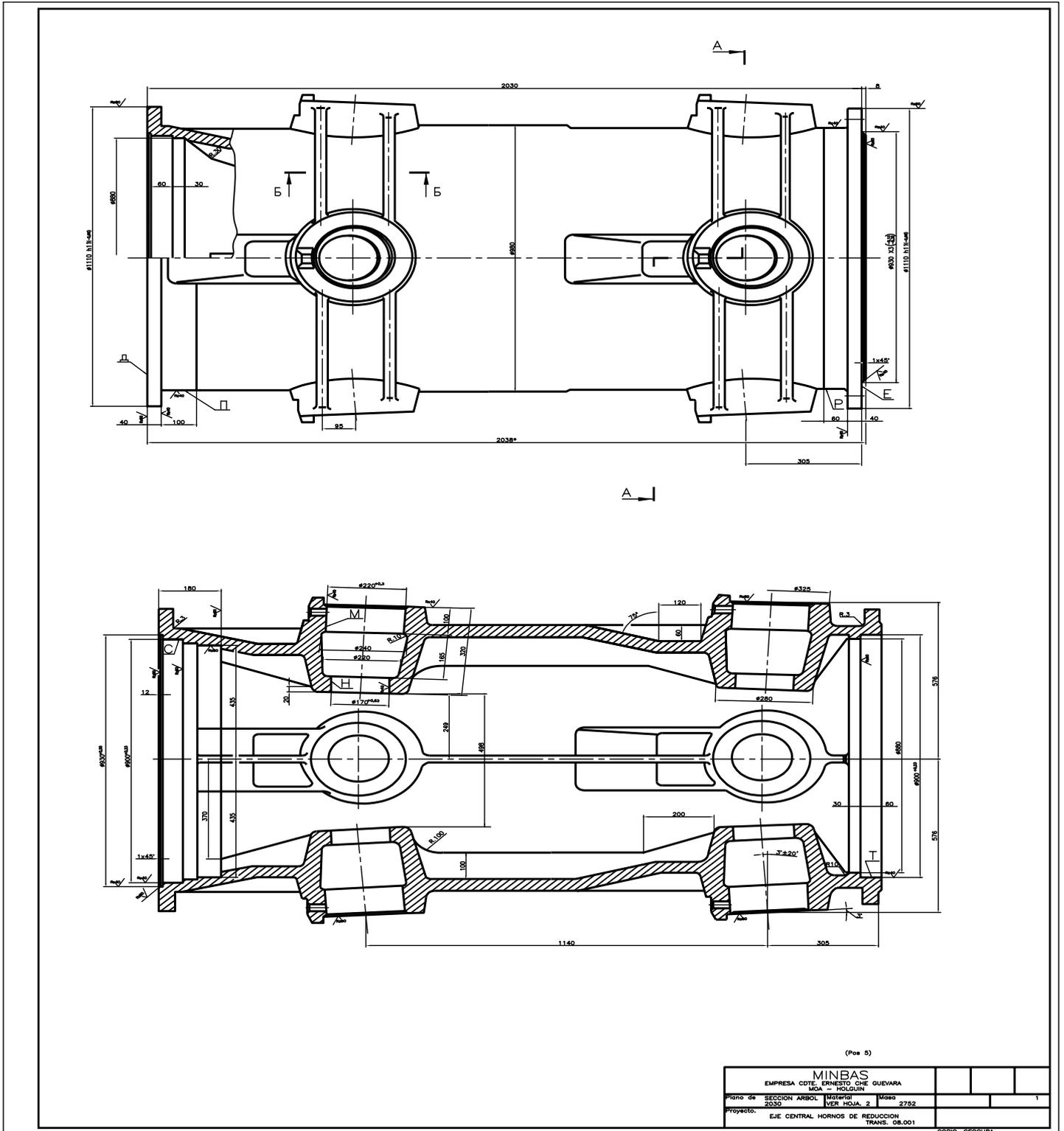
1. SE FABRICA Y RECIBE SEGUN EL OST.24.920.02-80
2. EN LAS ZONAS CRITICAS DE ALCANAR EN LAS
3. RADIOS DE FUNDICION NO INDICADAS DE 15-20mm.
4. H14, h14 ± 0.1
5. BATIMIENTO DE TOPE DE LAS SUPERFICIES F1 Y E RESPECTO AL EJE COMUN DE LA PIEZA NO MAYOR DE 0,1 mm.
6. BATIMIENTO RADIAL DE SUPERFICIES X Y Z RESPECTO AL EJE COMUN DE LA PIEZA NO MAYOR DE 0,2 mm.
7. EL EJE DEL CILINDRO DEBE CONCORDAR CON EL
8. DESPLAZAMIENTO DEL EJE SIMETRICO REFERENTE AL EJE
9. ES PRECISO ASEGURAR LA POSIBILIDAD DE INTERO
10. LAS SUPERFICIES P.I.C.T SON DE CARACTER TECNOLÓGICO.
11. SE ADMITEN ZONAS NEGRAS.
12. DIMENSIONES DE REFERENCIA.
13. MARCAR SEGUN H272-85.
14. TRATAMIENTO TERMICO GOST 11849-76.
15. TOLERANCIA DE PLANIDAD DE LAS SUPERFICIES E Y D -0.05 mm.
16. GOST DEL MATERIAL 7769-88

(Pos 5)

EMPRESA COTE: ERNESTO CHE GUEVARA MOA HOLGUIN		DIBUJOS P. 1/16 G. 1/16	
Plano de SECCION ARBOL	2030 2097	Materia: LPMU	Maso: 2752
Proyecto: EJE CENTRAL HORNO DE REDUCCION TRANS. 08. 001			Código: 304.470.34.004 C. GEOCUBA



Plano 5. Esquema del tramo 2097



Plano 6. Esquema del tramo 2097 Ruso

Plano 7. Esquema del tramo 2231



Plano 8. Esquema del tramo 1984