



REPÚBLICA DE CUBA  
MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR  
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO  
FACULTAD METALURGIA – ELECTROMECAÁNICA  
DEPARTAMENTO METALURGIA

**TESIS EN OPCIÓN AL TÍTULO DE  
INGENIERO METALÚRGICO**

**DISPONIBILIDAD DE CÁMARAS EN LA  
PLANTA DE HORNOS DE REDUCCIÓN DE  
LA EMPRESA ERNESTO GUEVARA**

**AUTOR: LEOLVIS MERIÑO CESAR**

**MOA**

**2010**



REPÚBLICA DE CUBA  
MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR  
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO  
FACULTA DE METALURGIA – ELECTROMECAÁNICA  
DEPARTAMENTO METALURGIA

# TESIS EN OPCIÓN AL TÍTULO DE INGENIERO METALÚRGICO

## DISPONIBILIDAD DE CÁMARAS EN LA PLANTA DE HORNOS DE REDUCCIÓN DE LA EMPRESA ERNESTO GUEVARA

**AUTOR: LEOLVIS MERIÑO CESAR**

**TUTOR: ing. YURIANNIS LABRADA PEÑA**  
**TECNÓLOGO DE PROCESOS INDUSTRIALES**

**MOA**

**2010**



## PENSAMIENTOS

"La verdadera grandeza de la ciencia acaba valorándose por su utilidad".

**Gregorio Marañón**

"La inteligencia consiste no solo en el conocimiento, sino también en la destreza de aplicar los conocimientos en la práctica".

***Aristóteles***



## AGRADECIMIENTOS

Una obra se concibe y elabora cuando el caudal de pensamientos, enfoques diversos y arduo trabajo logran vencer la inercia del comienzo y atrapar la escurridiza musa, pero solo con valiosas colaboraciones, es posible transitar el largo y complejo camino entre el inicio y el fin. Es por ello que dejo constancia de mi especial agradecimiento:

**A Dios:** Por que me da la fe, salud y fuerza para lograr las metas propuestas.

**A mi madre:** Por mi existencia, por el apoyo que me ha brindado y la confianza que deposita en mí, por sus esfuerzos realizados en todas las esferas de la vida para que pudiera alcanzar esta meta.

**A mi tutor:** Ing. Yuriannis Labrada Peña por su amistad incondicional, orientación y absoluta dedicación durante el desarrollo de la investigación.

**A:** Mis buenos compañeros de trabajo, llegue mi agradecimiento y desde lo más profundo de mi corazón.

**A mis hijos y esposa:** Por haberme apoyado incondicionalmente en esta larga carrera

De mi vida, para lograr unos de mis grades sueños.



## DEDICATORIA

Dedico este logro personal:

**A: Aída E. Merino Cesar (mi madre):** Por el amor que me profesó y por su constante lucha ante las dificultades que a veces me hacían dudar en la posibilidad del triunfo, a ella que además de mi existencia le debo todo lo que soy y lo que pueda ser mientras viva.

**A mis queridísimos hermanos (Amauri, yalianís):** Por lo que representan en mi vida, por ser fuentes de inspiración en mi quehacer personal y por formar, junto a mi madre, el complemento idóneo para mi feliz existencia.

**A mi esposa Diannis y a mis hijos (Lediel y Elizabeth):** Por haber sido mi fuente de inspiración y unos de los regalos más grandes que me ha dado la vida.



## RESUMEN

El presente trabajo tiene como propósito determinar la influencia de la disponibilidad de cámaras en los hornos de reducción para así determinar la eficiencia de cada horno y el volumen productivo con que dispone la planta para operar. Para la investigación se utilizó materiales investigativo que existen en la base de datos de la empresa, se realizaron estudios a las cámaras para saber las causas que provocaron averías, se determinó el tiempo de duración operacional de los materiales refractarios con que están compuesta y el coeficiente de correlación entre extractable y disponibilidad. Se utilizaron los siguientes métodos, el histórico, el lógico y el analítico, todo estos para analizar los resultados de la investigación. En el análisis se comprobó las afectaciones más frecuentes, que provocan las averías en las cámaras como es punto rojo en la tapa, desprendimiento de ladrillos y garganta llena, las medidas para solucionar este problema, el aporte económico y productivo que tiene la recuperación de cámaras y utilizar el material refractario de más calidad. Se concluyó, que los hornos necesitan una disponibilidad de cámaras por encima de 85%, para obtener una buena productividad y buenos resultados en los extractables de níquel y cobalto.



## **ABSTRACT**

Presently work has as purpose to determine the influence of the readiness of cameras in the reduction furnace it stops this way to determine the efficiency of each furnace and the productive volume with which it prepares the plant to operate. For the investigation you uses investigative materials that exist in the database of the company, they were carried out studies to the cameras to know the causes that caused that they were damaged, you determines the time of operational duration of the refractory materials with which they are compound and the correlation coefficient between extractable and readiness. The following methods were also used, the historical one, the logical one and the analytic one, all these to analyze the results of the investigation. In the analysis he/she was proven the most frequent affectations that cause the mishaps in the cameras like it is red point in the cover, detachment of bricks and full throat, the measures to solve this problem, the economic and productive contribution that has the recovery of cameras and to use the refractory material of more quality. The carried out study arrived the following conclusion, the ovens need a readiness of cameras above 85%, to obtain a good productivity and good results in the nickel extractable and cobalt.



## ÍNDICE.

| Contenido  | Páginas. |
|--|----------|
| <b>Introducción</b>  | 1        |
| <b>CAPÍTULO 1 MARCO TEÓRICO</b>  | 4        |
| 1.1 Introducción   | 4        |
| 1.2 Revisión bibliográfica   | 4        |
| 1.3 Parte teórica  | 8        |
| 1.4 Conclusiones parciales   | 9        |
| <b>Capitulo 2 MATERIALES Y MÉTODOS</b>                                   | 10       |
| 2.1 Introducción   | 10       |
| 2.2 Origen de la muestras  | 10       |
| 2.3 Procedimiento experimental   | 11       |
| 2.4 Características del hormigón de alta alúmina                         | 12       |
| 2.5 Parámetros a controlar   | 14       |
| 2.6 Sistema operacional del quemador de tecnología PRIOR                 | 14       |
| 2.7 Método para obtener el consumo de materiales refractarios            | 15       |
| 2.8 Método para obtener el aporte económico                              | 17       |
| 2.9 Método para evaluar el impacto medio ambiental                       | 19       |
| 2.10 Conclusiones parciales  | 19       |
| <b>CAPÍTULO 3 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.</b>                            | 20       |
| 3.1 Introducción   | 20       |
| 3.2 Defectos del quemador PRIOR  | 20       |
| 3.3 Evaluación de la situación de las cámaras                            | 20       |
| 3.4 Causas que afectan contra el tiempo de operación de las cámaras      | 22       |
| 3.5 Afectaciones que logran la salida de operación de las cámaras        | 22       |
| 3.6 Medidas para prevenir las afectaciones anteriores evaluación de la   | 23       |
| 3.7 calidad de los materiales refractarios en la recuperación de cámaras | 25       |
| 3.8 Análisis de la disponibilidad de cámaras.                            | 31       |
| 3.9 Análisis económicos sobre la recuperación de cámaras                 | 35       |
| 3.10 Análisis del impacto medio ambiental                                | 36       |
| 3.11 Conclusiones parciales  | 41       |
| <b>Conclusiones</b>  | 42       |
| <b>Recomendaciones</b>   | 43       |
| <b>Bibliografía</b>  | 44       |





## **INTRODUCCIÓN.**

La producción de níquel a partir del año 1990 se convierte en unos de los principales rubros de exportación, representado por la Industria Cubana del Níquel con más de 60 años de creada, la cual se encuentra enfrascada en un proceso de ampliación de sus capacidades y modernización de su tecnología, lo que permitirá incrementar su aporte a 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 explotar de una forma más racional y eficiente las grandes reservas de recursos minerales existentes en los yacimientos niquelíferos de la región oriental de Cuba y se perfeccione el sistema de extracción minera; lo que garantizará la existencia de un proceso productivo continuo.

Los yacimientos lateríticos constituyen la materia prima para la obtención de níquel + cobalto, aunque en nuestro país se concentran reservas importantes, las producciones mundiales de estos elementos obliga a incrementar el control del proceso metalúrgico para poder competir en el mercado internacional con productos de alta calidad.

Existen actualmente tres fábricas encargadas de toda la producción de Ni + Co en Cuba, ellas son: la Empresa “Comandante Pedro Sotto Alba”, la cual produce sulfuros de Ni + Co; y las empresas “René Ramos Latour” y “Ernesto Che Guevara”, que obtienen como producto final sínter de Ni + Co.

La empresa cubana socialista Comandante Ernesto Che Guevara, utiliza el proceso carbonato amoniacal, fue fundada en enero del año 1986, esta compuesta por siete plantas principales y otras plantas auxiliares de apoyo a la producción. Su estructura



y producción ha sido comparada con otras empresas a nivel internacional como TOCANTINS en Brasil, MURRI MURRI y GREENVALE en Australia, que tiene el mismo proceso. Los resultados de la empresa ERNESTO GUEVARA dependen de la estabilidad de la planta de hornos, los mismos son los encargados de reducir los minerales oxidados que se le suministra como materia prima, ellos cuentan con 10 cámaras que poseen quemadores de alta presión de tecnología Prior para suministrarle temperatura y un gran volumen de gases reductores.

Los hornos de reducción para lograr los perfiles térmicos y gaseosos capaces de reaccionar con el mineral lateríticos y obtener los extractables deseados se necesita una alta disponibilidad de cámaras y que estén distribuidas uniformemente alrededor del horno.

La baja disponibilidad de cámaras en los últimos años ha traído consigo afectaciones a la producción de la planta, además eleva los costos por avería de las cámaras de combustión, su trabajo de recuperación es muy peligroso.

Debido a cambios bruscos de temperatura, mala calidad en algunos refractarios que se utilizan en la reparación, como consecuencia de esto aparecen las averías en las cámaras como son: desprendimiento de ladrillos, garganta llena y el más frecuente punto rojo en las tapas. Todos los factores expuestos anteriormente provocan la salida de las cámaras por diferentes afectaciones esto ha provocado el estudio de este tema, por su importancia para la planta de hornos de reducción.

Durante los últimos meses del 2008, todo el 2009 y hasta abril del 2010 la planta operó con bajas disponibilidades de cámaras lo que provocó el incumplimiento de sus planes de producción, debido al desconocimiento de la situación real de las cámaras y la importancia de las misma para mantener un volumen productivo al cual se le pueda reducir y obtener los extractables de níquel y cobalto superiores a un 82%.

**Problema:** Desconocimiento del efecto real de la baja disponibilidad de cámaras de combustión en la producción de la planta Hornos de Reducción de la empresa Ernesto Che Guevara.



**Objeto de investigación:** cámaras de combustión con tecnología PRIOR en los hornos de reducción de la ECG.

**Hipótesis:** Una vez realizado los análisis de causa y efecto de las bajas disponibilidades de cámaras permitirá realizar estrategias productivas más eficientes y un mejor tratamiento a las cámaras que salen de operación.

**Objetivo general:** Evaluar la influencia de la disponibilidad de cámaras sobre la productividad y el extractable en la planta hornos de reducción.

**Objetivos específicos:**

1. Determinar el coeficiente de correlación entre la disponibilidad de cámaras y la productividad de la planta.
2. Determinar cuales son las causas más frecuentes por las que las cámaras salen de operación y qué las provoca.
3. Proponer medidas que permitan elevar la disponibilidad de cámaras.

**Aporte de la investigación**

**Social:** El aporte de este trabajo en lo social esta relacionado con la posibilidad de proponer planes cumplibles que se adecuen a las realidades lo que garantizaría una mayor motivación de los trabajadores.

**Económico:** Un aumento de la disponibilidad de cámaras que se traduce en más níquel envasado y con ello mayores ingresos económicos para la empresa .

**Ecológico:** Disminución de la generación de desechos sólidos a consecuencia de la reparación de las cámaras.



## **CAPITULO 1. MARCO TEÓRICO.**

### **1.1 Introducción**

A continuación se realizará el análisis de los distintos aspectos relacionados con el tema expuesto en la bibliografía consultada, con la finalidad de disponer de los elementos básicos y de las tendencias actuales que resulten esenciales para el correcto desarrollo del trabajo.

### **1.2 Revisión Bibliográfica**

En el trabajo realizado por Chang (1997) se relacionan los principales procesos que ocurren en los hornos de reducción en cada zona de trabajo. Se basa específicamente en las reacciones químicas que ocurren en cada zona, trata las particularidades de la combustión incompleta combustión en las cámaras y los fenómenos de transferencia de calor. El trabajo no abarca el tema del tiempo de vida útil de las cámaras de combustión. Pero en el mismo se explica como realizar los diferentes cálculos y balances de energía y de masa para los hornos, como determinar la transferencia de calor y demás ecuaciones para determinar los parámetros operacionales de lo distintos tipo de hornos.

**CARDONA C A.1986** .En el libro escrito el autor presenta los diseños de los diferentes tipos de hornos tablas con sus características generales, trata ligeramente el diseño de los accesorios y presenta gráficos al respecto. A los hornos de soleras múltiples no se le dedica muchos diseños, omitiendo así los diseños de cámaras de combustión con tecnología PRIOR.

**CARDONA C A.1986** .Refiere su proceso de estudio a la parte teórica de los hornos metalúrgicos en el hace una referencia a los procesos de los hornos, sobre todo a los hornos eléctricos, martín, cama flurizada de ellos describe su principio y funcionamiento, los efectos de las temperatura, también su estructura constructiva, así como la características de los materiales refractario mas utilizados , la materia prima coma se alimentan a los hornos su composición química , muestra también las reacciones mas frecuentes y su interacción con la materia prima , sobre la influencia



de la disponibilidad de cámaras en los hornos de múltiples hogares no realiza ningún estudio solamente escribe superficialmente sobre el tema .

**GRUPO DE TECNOLOGÍA PLANTA HORNOS DE REDUCCIÓN.** El estudio realizado aborda el tema de las instrucciones de los puestos de trabajo , donde explica claramente como se debe operar en cada puesto de trabajo de la planta y sus riegos , también describe el flujo tecnológico de la planta en ninguno de los casos hace referencia a la disponibilidad de cámaras en la planta lo que si se muestra como se debe operar al igual que el horno , aunque no lo comenta en su estudio si quiero decir que la buena operación de las cámaras de combustión influye en su tiempo de duración operacional .

**GORDON, C, M. Y PERSAJOV, I, L. 1981.** Refiere directamente sobre la captación de polvos y purificación de gases, es decir describe el sistema de limpieza de gases en los hornos, la descripción de su equipamiento como son ventiladores de aspiración y diferentes tipos de electro filtros , para mejorar este aspecto en los hornos , la composición química de los gases y las características de los polvos y como recuperarlos , también su tratamiento para combatir su impacto medio ambiental , pero no muestra en el estudio como afecta la disponibilidad de cámaras de combustión , ya que la misma son las encargadas de suministrar un gran volumen de gases reductores a los hornos de múltiples hogares .

**SÁNCHEZ RODRÍGUEZ; CUENCA ALFONSO.1987.** En el estudio se plantea todo lo relacionado con el montaje y desmontaje de una planta metalúrgica, en las plantas para realizar este tipo de trabajo se necesitan grandes cantidades de recursos, además son trabajos de muy alto riesgos ya que hay que mover grandes piezas, también se trata la complejidad del trabajo ,de las piezas , las estructuras , los proyecto de ingeniería y el trabajo de los topógrafos, en este estudio no se comenta sobre el efecto que podría provocar un mal montaje de una cámara de combustión la cual afectaría su tiempo operacional .

**FERNÁNDEZ ESTRADA, 1972.** Su estudio se refirió sobre la metalurgia extractiva de los minerales oxidados, expresando en el mismo la característica de este proceso como también la composición físico química de los minerales, trabajo que no se



relaciono con los hornos donde ocurre la reducción de minerales oxidados en el cual influye la disponibilidad de cámaras de combustión.

**BEREGOSKI, V.1987.** Estudia los procesos de obtención del cobre y el níquel a si como los diferentes equipos que se utilizan en cada caso. Específicamente en el caso del níquel se refiere a la vía húmeda de cómo alternativa mas eficiente y trata la parte pirometalúrgicas muy superficialmente sin hacer referencia a las especificidades del equipamiento ni a las cámaras de combustión.

**MIJEEV.M.A.I.M .MIJEEVA. 1979.** En este trabajo se desglosan los fenómenos de transferencia de calor aunque la combustión incompleta no se toca como fenómeno particular. Por otra parte este trabajo es bastante claro con respecto a los diferentes tipos de transferencia de calor, se exponen cálculos referentes al tema pero ninguno referente a los hornos de reducción y no trata el tema de la disponibilidad de cámaras de combustión.

**DIOMIDOVSKI, D.A. 1970.** En este trabajo se hace una descripción de cada tipo de horno metalúrgico y los métodos para los cálculos de balance de masa y energía. En el caso de los hornos de soleras múltiples se detalla la construcción y las formas de operarlo, se realiza comparaciones entre las ventajas y desventajas de los diferentes tipos de hornos metalúrgicos, se caracterizan los materiales refractarios, su distribución por las diferentes zonas del horno, la característica de la materia prima con que se alimenta cada hornos, los portadores energéticos y los combustibles que necesitan para trabajar, pero no hace énfasis en la influencia de la disponibilidad de cámaras de combustión para los hornos de múltiples hogares.

**J. ASTIGARRAGA .**Refieren en el estudio de los hornos industriales de resistencia sobre todo para la obtención de aceros, se describe las características de los hornos eléctricos, arco eléctrico y de fusión, el sistema de trabajo, la característica de la materia prima que se alimenta y del producto que se obtiene, en el trabajo no se realizan especificaciones sobre los hornos de múltiples hogares.

**H. ARIAS, J.M.LASHERAS.** El trabajo realizado contempla la parte mecánica de la tecnología, especificando los trabajos que se realizan en cualquier tecnología para obtener los resultados deseados, ya que las mismas dependen de la mecánica y el



buen estado del equipamiento sin hacer referencia a los hornos de múltiples hogares ni a las cámaras de combustión.

**GARCÍA ARIAS, GUSTAVO** .El trabajo investigativo no se detiene en la influencia de las cámaras de combustión para los hornos de la ECG, aunque en el se muestran las causas que afectan contra el extractable de la planta, la combustión y las reacciones principales que ocurren en el interior de los hornos, descomposición de la materia prima y su intercambio con los gases, también especifica sobre la temperatura y la relación de gases reductores, determinando como influyen estos parámetros en el estudio para mejorar el extractable , que es la calidad del producto que se obtiene en la planta de hornos.

**ALEPUZ, HÉCTOR**. Refiere el estudio para el mejoramiento de los índices técnico-económicos del procesamiento de mineral en los hornos con tecnología PRIOR de la ECG. Especificándose datos sobre la tecnología para adaptarlo al nuevo sistema de trabajo y buscar mejoras técnicas - económicas que se adapten a la planta de hornos, en el trabajo realiza algunas reseñas sobre la influencia de los quemadores PRIOR para más bien a la parte operacional y de mantenimiento.

**BUSTAMANTE GONZÁLEZ, CÉSAR**. El trabajo trata ha profundidad el tema de la combustión en los hornos de reducción, ya que es factor del cual depende los resultados del extractable ya que se encuentran vinculados unos con los otros, en el estudio se especifica en la pots combustión de los hornos en los hogares H4 y H6 que es donde se le inyecta aire precalentado para quemar los gases que suben y no afecten el sistema de limpieza de gases , también se refiere a las combustión de las cámaras que debe ser incompleta en este sistema , pero no llega a la profundidad de la influencia de la disponibilidad de cámaras de combustión para los hornos de múltiples hogares .

**MARIÑO, P.A., 1994**. En este trabajo podemos encontrar una serie de equipos empleados en el tratamiento de la metalurgia no ferrosa con gran nivel de detalle se recogen en este material las partes constructivas, principio de funcionamiento y sobre que principios se basan los diseños de los equipos. En el trabajo no se trata el tema de la vida útil de los equipos, refractarios y demás componentes, también su



estructura y composición. Tampoco enfatiza como su trabajo influye en la disponibilidad de cámaras de combustión en los hornos de múltiples hogares.

### 1.3 Parte Teórica

Luego de una minuciosa búsqueda bibliográfica nos damos a la tarea de estudiar la disponibilidad de cámaras de combustión y su influencia sobre la productividad de la planta hornos de reducción por la importancia que esto reviste para la industria y la planeación de la producción. Como base para desarrollar el trabajo contamos con una base de datos de varios años con datos referentes al tema, con las principales afectaciones que sufren las cámaras. Teóricamente los hornos de están compuesta por 10 cámaras de combustión con tecnología PRIOR, deben estar distribuida de la siguiente forma en el hogar 6 (H6) tiene dos uno en la parte norte y otro en la parte sur, así continua en los hogares siguientes (H8, H10, H12,) Además poseen una en H14 y otra en H15, se le inyecta aire precalentado en los hogares (H4 Y H6) para quemar los gases que no reaccionan y así no afecten el sistema de limpieza de gases. En la planta de hornos de reducción se realizado diferentes trabajos con aras de perfeccionar cada día mas y obtener buenos resultados, pero ninguno a sido específicamente sobre las cámaras de combustión un problema que arrastra la planta de sus inicios.

En 1992 se comienza a implementar una tecnología de punta en la planta de hornos de reducción para mejorar los resultados y buscar mejoras en las operaciones. A la tecnología PRIOR

después de varios estudios por el investigador ALEPUZ, HÉCTOR y el grupo técnico de la ECG , se le realizaron modificaciones al sistema . La planta también esta en la búsqueda constante de de materiales refractarios para la recuperación de la cámaras de combustión sobre el tampoco se a realizado ningún trabajo investigativo , para definir que tipo de materiales tienen mas calidad y generalizar su utilización.

Lo que si se puede afirmar es que a partir del año 2007 la planta de hornos de reducción entro en una situación de crisis la cual repercutió en los rendimientos productivos de la planta , debido a los cambios bruscos de temperatura ,los constante fallos eléctricos y mala calidad en los materiales refractarios utilizados en



su reparación , la disponibilidad de cámaras de combustión llego a decender hasta un 70% , si no hubiese sido por el desconocimiento de este factor tan impórtate que afecta directamente los demás indicadores de la planta como es el extractable y la productividad, si hubiera podido potenciar la planta de hornos de reducción para obtener resultados mejores . Debido a todas esta situaciones se efectúo este estudio que abarca el tema general especificándote en los materiales refractarios, valores productivos, eficiencia y calidad en los resultados de la planta y saber con veracidad que potencialidades productiva puede manejar la planta para cada situación que pueda presentar la misma teniendo en cuenta que una cámara de combustión con tecnología PRIOR equivale a 1.7t de mineral, entonces pudimos realizar los cálculos económicos.

El impacto medio ambiental de la planta de hornos de reducción ha sido bien estudiado y la parte que tiene que ver con este estudio también merece estudiarse por los contaminantes que influyen en la recuperación de las cámaras de combustión, aunque en el mismo se hace referencia sobre el tema antes planteado.

#### **1.4 Conclusiones Parciales**

1-El desarrollo de las reseñas bibliografía de la investigación permitió establecer los fundamentos técnicos necesarios para la comprensión del estudio experimental del proceso, a partir de la clasificación del sólido objeto del trabajo realizado que permite predecir el comportamiento de la influencia de la disponibilidad de cámaras de combustión en correspondencia con la necesidad de su conocimiento para trabajo posteriores.

2- La influencia de la disponibilidad de cámaras de combustión, es un proceso poco estudiado desde el punto de vista teórico y experimental, en la empresa se destacan algunos trabajos para las condiciones objetivas de la región de Moa, estos abordan los aspectos tecnológicos del proceso considerando los fenómenos de intercambio de calor presentes en el mismo.



## **CAPITULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS.**

### **2.1 Introducción.**

Los conocimientos sobre la disponibilidad de cámaras de combustión en los hornos de reducción en la empresa Ernesto Che Guevara, contribuyen a la selección de métodos adecuados de evaluación y toma de decisiones en la solución de problemas asociados con la eficiencia operativa de las cámaras de combustión de combustión con tecnología Prior instalada en la planta desde 1992.

Para el desarrollo de toda investigación se necesita de herramientas para poder arribar a buenos resultados. La correcta selección de los métodos y materiales empleados validan los resultados obtenidos, y es por eso que resulta indispensable una correcta toma de muestra, así como la aplicación de los métodos adecuados en aras del cumplimiento del objetivo propuesto, para la solución del problema planteado es necesario la implementación del análisis y la evaluación de la disponibilidad de cámaras de combustión en la planta de hornos de reducción, así como el tratamiento de los resultados experimentales.

En tal sentido el objetivo del capítulo es:

Establecer los métodos y procedimientos experimentales para la obtención de las principales causas y afectaciones que conllevan a la baja disponibilidad de cámaras de combustión, por la salida de operación de las mismas, por lo tanto se realizó el estudio que nos permita su caracterización.

### **2.2 Origen de las muestras en las cámaras de combustión.**

En la planta de hornos de reducción de la empresa Ernesto Guevara los resultados productivos dependen de la eficiente operación de los hornos, para lograr este objetivo es necesario mantener una alta disponibilidad de cámaras de combustión en los mismos, superior al 85 %, para mantener los perfiles térmicos gaseosos prefijados, un extractable de un 82 % con una productividad superior a las 400 toneladas por hora. En las condiciones actuales existe una disponibilidad de cámaras de combustión de un 74,76 % y la productividad en 350 toneladas, lo que no satisface la necesidad productiva de la planta ni de la empresa.



## 2.3 Procedimiento Experimental

En el análisis experimental se tuvieron en cuenta, la calidad de los materiales refractarios en la reparación de cámaras de combustión, tiempo de vida operacional de las mismas, causas que provocan la salida de operación, averías mas frecuentes.

Se tomaron por el método histórico, de la base de datos de la planta los resultados productivos, la disponibilidad de cámaras de combustión, los extractables obtenidos, de los años 2006 hasta mayo del 2010 y se compararon, esto dio a conocer que los resultados antes expuestos tienen un alto coeficiente de correlación entre ellos, para hallar dicho coeficiente se utilizó la siguiente ecuación:

$$P(x, y) = \frac{Cov(x, y)}{O(x) * O(x)}$$

Cov: correlación

O. constante

Donde(x), (y) son las medias de muestra promedio (matriz 1) y promedio (matriz 2)

Los datos obtenidos demostraron que los resultados de los indicadores tienen un gran coeficiente de correlación entre si, quiere decir que si se afecta o beneficia algunos de indicadores los demás reaccionaran igualmente.

Se tomaron 65 cámaras de combustión de muestra reparadas con distintos tipos de materiales refractarios (hormigón), de ellas 19 con hormigón ERECOS (cambc 80), 19 con hormigón de alta alúmina a (95 %) y 27 de hormigón de alta alúmina a (84 %) de ellas se determinó:

1. Tiempo operacional.
2. Averías más frecuente.
3. Calidad de los hormigones.

La prueba se realizó en un periodo de 9 meses donde se obtuvieron resultados para determinar que material es el más adecuado para realizar las reparaciones a las cámaras de combustión, también se tuvieron en cuenta las característica del hormigón de alta alúmina y no el del hormigón ERECOS (cambc 80) porque al mismo



ya se le realizaron estudios por ser un material de la tecnología Prior, la cual trajo un informe al respecto de dicho material, además el Centro de Investigaciones del Níquel realizó un informe titulado “Modificaciones del sistema Prior en los hornos de la ECG” dirigido por el investigador HÉCTOR ALEPUZ.

## 2.4 Características hormigón alta alúmina

### Hormigón Bloque del Quemador

|  |        |
|--|--------|
| Temperatura de servicio máxima recomendada (°C)              | 1800   |
| Cantidad de material por metros cúbicos (kg/m <sup>3</sup> ) | 2850   |
| Adición de agua (L/100 kg)                                   | 7 a 10 |

### Propiedades físicas

|                               | 105 °C    | 1000 °C   | 1400 °C  | 1600 °C |
|-------------------------------|-----------|-----------|----------|---------|
| Densidad (g/cm <sup>3</sup> ) | 2,8 a 3,1 | 2,8 a 2,9 |          |         |
| Módulo de ruptura (MPa)       | 12 a 42   | 8 a 19    | 13 a 16  | 8 a 10  |
| Resistencia al                | 70 a 110  | 70 a 86   | 70 a 100 | 40 a 63 |
| Aplastamiento en frío (MPa)   |           |           |          |         |
| Cambio lineal permanente (%)  |           | 0 a 10    | -4 a 8   | +1 a 5  |

### Composición química

|                 |                                |           |
|-----------------|--------------------------------|-----------|
| Sílice          | Si O <sub>2</sub>              | 0,1 a 0,3 |
| Alúmina         | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 95 a 96   |
| Oxido de hierro | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,1 a 0,3 |
| Oxido de calcio | Ca O                           | 4,0 a 4,5 |

### Conductividad térmica (W/mK)

| 200 C° | 400 °C | 800 °C | 1000 °C | 1200 °C | 1400 °C |
|--------|--------|--------|---------|---------|---------|
| 1,2    | 1,3    | 1,4    | 1,4     | 1,3     | 1,25    |



## Hormigón aislante.

### Propiedades físicas

|                                   |            |                     |  |
|-----------------------------------|------------|---------------------|--|
| Cona pirométrico equivalente (°C) | 15         |                     |  |
| Temperatura equivalente (°C)      | 1430       |                     |  |
| Temperatura Máx. de servicio (°C) | 1260       |                     |  |
| Densidad (g/cm <sup>3</sup> )     | 0,9 a 1,05 |                     |  |
| Módulo de ruptura (MPa)           | 110        | 4,0 a 6,0 (40 a 60) |  |
|                                   | 1000       | 3,0 a 5,0 (30 a 50) |  |
|                                   | 1260       | 3,0 a 5,0 (30 a 50) |  |
| Cambio lineal permanente (°C -%)  | 815        | 0,0 a 0,5           |  |
|                                   | 1260       | 1.5                 |  |

### Composición química (%)

|                   |                                |      |
|-------------------|--------------------------------|------|
| Sílice            | Si O <sub>2</sub>              | 31.6 |
| Alúmina           | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 43.5 |
| Oxido de hierro   | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 2.1  |
| Oxido de calcio   | Ca O                           | 16.0 |
| Oxido de magnesio | MgO                            | 2.6  |
| Oxido de titanio  | TiO                            | 1.8  |
| Álcalis           |                                |      |



## 2.5 Parámetros a controlar

En el análisis también se tuvieron en cuenta los parámetros a controlar durante la operación, los cuales deben estar en los siguientes valores.

1. Temperatura de petróleo en el quemador (100 a 130 °C).
2. Presión de entrada en la unidad calentadora (700 kPa) y en la salida (350 kPa).
3. Temperatura de entrada en la unidad calentadora (70 °C) y en la salida (125 °C).
4. Temperatura de los gases en las cámaras de combustión (1380 a 1420 °C).
5. Presión de petróleo en el quemador (105 a 115 kPa)
6. Temperatura de petróleo en el quemador (100 a 120 °C)
7. Presión de aire de combustión en las cámaras de combustión (14 kPa)
8. Temperatura de aire de combustión en las cámaras de combustión (85 a 120 °C)
9. La temperatura máxima que puede alcanzar un quemador es de (136 °C) con volumen máximo del aire de pleno 35 %.
10. El ángulo de la llama es inferior al ángulo del cono refractario.
11. El orificio de entrada de la cámara es de (diámetro 150 mm).

## 2.6 Sistema operacional del quemador de tecnología Prior.

También el régimen operacional del sistema Prior fue analizado, para determinar si este provocaba afectaciones sobre los materiales refractarios de alta alúmina. Este sistema opera de la siguiente forma:

En operación del quemador el combustible que circula por la tubería y el aire de combustión que se alimenta por otra tubería, mezclándose en una zona y penetrando por el orificio donde se logra la ignición que genera la llama (boquilla). La válvula de aire regula el volumen de aire secundario que se alimenta por la tubería y circula hasta la zona de menor altura donde se logra una presión que describe el manómetro. El aire secundario precalentado sale por la zona más reducida donde aumenta la presión que incide directamente sobre la ignición conduciéndola hacia dentro del recinto evitando que se afecte el refractario

manteniendo una temperatura normal en la estructura del quemador B, mostrándose de forma permanente en el termómetro. La incidencia del aire secundario sobre la ignición permite utilizar un menor volumen de este en todos los niveles de productividad del horno reduciendo el consumo de combustible y logrando mejores resultados en la relación de combustión incompleta.

A continuación se le muestra una representación en la figura 1 donde se muestra un quemador de tecnología Prior, donde se observa que la llama del mismo no influye sobre los materiales refractarios, el punto de encuentro del aire de combustión y el combustible donde se inicia la llama, este proceso ocurre en la boquilla del quemador Prior siguiendo los parámetros mencionados anteriormente para realizar una operación eficiente en el mismo.

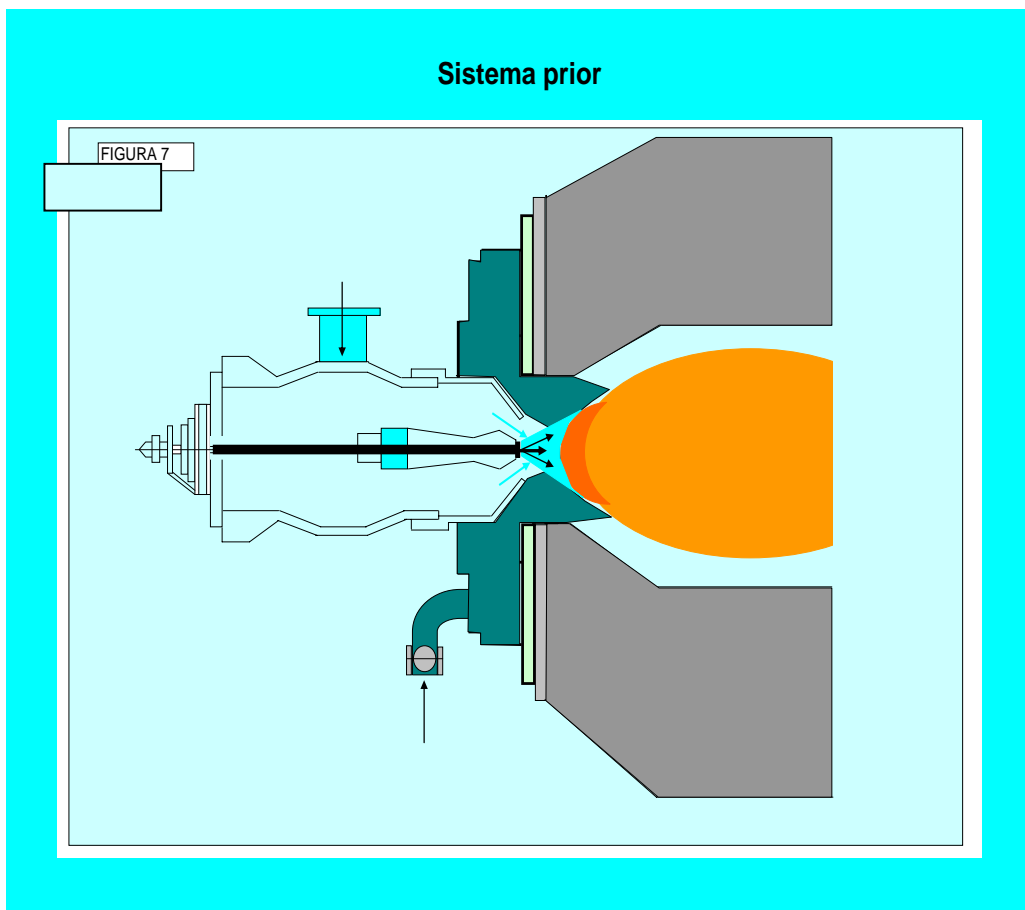


Figura 1: Esquema de la llama en el interior del quemador.



## 2.7 Método para obtener el consumo de material refractario en una cámara

Se realizó un estudio para determinar la cantidad real de materiales refractarios que se consume la reparación de una cámara, ya que la misma esta compuesta por cuatro capas

|  |       |
|--|-------|
| 1-hormigón aislante (t)                        | 2     |
| 2-hormigón de 42 % $\text{Al}_2\text{O}_3$ (t) | 4,650 |
| 3-hormigón de alta alúmina (t)                 | 1,6   |
| 4-ladrillos de cromo magnesita (t)             | 6,075 |

Todo esto para un total de 14.325 toneladas material refractario en el capítulo 3 se encuentran los precios de los materiales utilizados, en la figura 2 se puede observar la distribución de los materiales refractarios utilizados en una reparación. Están distribuido de la siguiente manera, la primera capa se consume dos toneladas de hormigón aislante, en la segunda capa se utiliza (4,650 t) de hormigón al 42% de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , la tercera capa es de hormigón de alta alúmina el cual se lleva 1.6 toneladas, y para la cuarta capa se utiliza (6.075) toneladas de ladrillos de cromo magnesita, esta información se obtuvo del trabajo investigativo realizado para dichos materiales, del cual nos auxiliamos para elaborar el esquema que se expone a continuación.



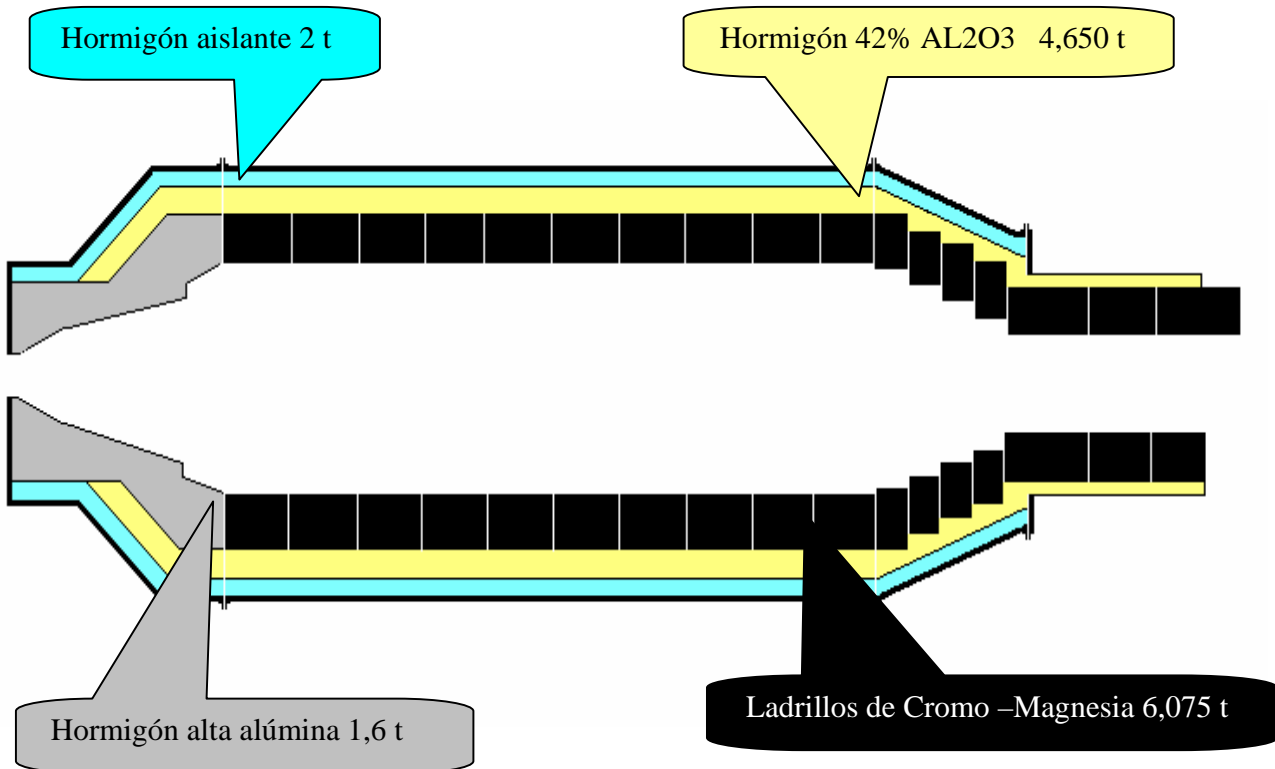


FIGURA 2 Esquema de una cámara y las diferentes capas de hormigón

## 2.8 Métodos para obtener el aporte económico

El último análisis fue una valoración económica realizada en el trabajo que informa cuanto aporta la recuperación de cámaras de combustión para la planta de hornos de reducción en los años 2009 y hasta mayo del 2010, se utilizaron para el mismo las ecuaciones siguientes las cuales demuestran el aporte económico de la recuperación de cámaras de combustión este trabajo fue realizado el programa de computación (Excel) al igual que los distintos gráficos.

### Ecuaciones Empleadas.

$$\text{MP (t/día)} = \text{No de cámaras de combustión} * 1,7 \text{ t /h} * 24 \text{ horas.}$$

$$\text{MP (t/ mes)} = \text{MP (t/Día)} * \text{total días del mes.}$$

$$\text{Ni (t)} = \text{MP (t/mes)} * \text{Ley Ni (\%)} * \text{Ext. Ni (\%)} * \text{Eficiencia metalúrgica (Lix-Cal) (\%)}$$

$$\text{Co (t)} = \text{MP (t/mes)} * \text{Ley Co (\%)} * \text{Ext. Co (\%)} * \text{Eficiencia metalúrgica (Lix-Cal) (\%)}$$



$$t / (\text{Ni} + \text{Co}) = \text{Ni} (t) + \text{Co} (t)$$

$$\text{Aporte (CUC)} = t / (\text{Ni} + \text{Co}) * 2200 * \text{precio de venta.}$$

$$\text{Aporte (CUP)} = \text{Aporte (CUC)} * 25$$

### Leyenda

**Ni** – níquel

**Co** - cobalto

**MP** – mineral procesado

**(Lix – Cal)** – de lixiviación hasta calcinación

**t** - toneladas

**Ext.** - extractable

**CUC** – peso libremente convertible

**CUP** – moneda nacional

Donde se describe el método para su utilización de la siguiente manera, la toneladas de (MP) (t/día) mineral procesado en un día es igual al numero de cámaras de combustión recuperadas por 1,7 que es el equivalente productivo de una cámaras de combustión por diseño y este resultado se multiplica por 24 horas de trabajo, este resultado se vuelve a multiplicar por 30 días y obtenemos la productividad de un mes. En las próximas ecuación para encontrar las toneladas de níquel (Ni) se dice que es igual a las toneladas de mineral procesado en un mes por el por ciento de la ley de níquel por el por ciento del a eficiencia metalúrgica que exista en el momento del calculo desde la planta de lixiviación hasta la planta de calcinación, lo mismo se realizara para obtenerlos resultados del cobalto, luego para saber el aporte en dólares o moneda libremente convertible se multiplica las toneladas de níquel mas cobalto por 2200 para llevarlo de toneladas a libras y luego por el precio de venta que tenga en el mercado y el aporte en moneda nacional el resultado de la ecuación anterior por 25.



## **2.9 Métodos para evaluar el impacto medio ambiental**

Mediante el trabajo investigativo nos pudimos dar cuenta que la reparación de las cámaras de combustión deja grandes cantidades de materiales sólidos desechables, derrame de agua contaminada con los residuos de los materiales refractarios, emanación de polvo y gases, grasas y desechos de lana de vidrio, ya que todos estos materiales intervienen en la reparación de una cámara, además se expresa en otros trabajos que la planta es la más contaminadora del medio ambiente en gran parte de nuestro país en los resultados se confirma dicho planteamiento .

## **2.10 Conclusiones parciales**

- 1.** Los métodos y técnicas experimentales utilizadas para el análisis están fundamentadas a partir de la necesidad de la descripción y caracterización de las condiciones de operación de las cámaras de combustión y su comportamiento en la planta de hornos de reducción
- 2.** Los métodos experimentales de investigación utilizados se complementan con el empleo de una base actualizada en la base experimental y equipamiento modernos para el desarrollo de las pruebas realizadas.
- 3.** A través de los métodos y materiales empleados en el trabajo se obtuvieron los resultados expuestos en el capítulo 3.



## **CAPITULO 3. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.**

### **3.1 Introducción**

A partir del estudio realizado a la influencia de la disponibilidad de cámaras de combustión en los hornos de reducción de la empresa Ernesto Guevara, así como a los materiales refractarios que se utilizan en las reparaciones de las cámaras, donde se evalúan las mismas. Se obtuvieron los resultados que analizaremos en este capítulo. A partir de este planteamiento el objetivo de este capítulo es evaluar los resultados experimentales de las pruebas realizadas en las cámaras de combustión de tecnología Prior en los hornos de reducción, considerando el impacto medioambiental asociado a las mismas.

### **3.2. Defectos del quemador Prior.**

Durante el análisis se pudo conocer algunos de los defectos del quemador con tecnología Prior que es utilizado en la cámara de combustión.

Uno de los grandes defectos del quemador Prior es que su capacidad mínima de aire para la combustión es muy alta, pues al aire de atomización hay que sumar el aire del pleno e introducir el petróleo necesario para consumir ambos aires. El diseño de los hornos Prior contemplaba un tonelaje de 17,65 t/h por horno de múltiples hogares y 10 cámaras de combustión en operación, 50kg de petróleo por tonelada de mineral, lo que representa una productividad de los quemadores de 89 kg/h y un tonelaje de 1,8 t/cámara. No es raro que en este momento se produzcan 3 t/cámara, por lo que el consumo de petróleo debe ser del rango de 1,5 veces mayor en algunos hornos. El promedio es un valor entre 115 y 120 kg/h por quemador, cerca de 30 % superior. Estas razones justifican que el flujo de calor Kcal/h haya aumentado notablemente. Hay quemadores que operan a 180 kg/h, casi dos veces superior al diseño del fabricante.

### **3.3 Evaluación de la situación de las cámaras.**

En el mes de diciembre de 2009, había 10 hornos con las 10 cámaras, 5 con 9, 4 con 8, 2 con 7 y 2 con 6. Con cámaras en H14 y en H15 había 22 hornos operando. Las cámaras faltantes fueron en los hornos que se estaban reparando. Se obtuvo la

información de la planta de hornos, de las cámaras recuperadas, en la que se recogen por meses del año 2009, los tipos de cámaras, duración, costos de recuperación y causa por la que salieron de operación. Esta información se consolidó y procesó, obteniéndose que se averiaron 200 cámaras en el año, de ellas 7 solamente en el mes de enero del 2009, y el máximo en junio con 32 y en los meses de enero a mayo del 2010 han salido de operación por distintas afectaciones 46 cámaras. La cantidad de cámaras que salieron de operación por cada causa durante todo el 2009 se presentan en las siguientes tablas:

**Tabla 1: Causas por la que salieron las cámaras de operación 2009 y 2010.**

| Causas | 2009 |    |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    | 2010  |   |   |    |   |    |       |
|--------|------|----|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-------|---|---|----|---|----|-------|
|        | E    | F  | M | A  | M  | J  | J  | A  | S  | O  | N  | D  | Total | E | F | M  | A | M  | Total |
| PRT    | 5    | 11 | 7 | 9  | 8  | 24 | 13 | 12 | 14 | 7  | 14 | 14 | 138   | 3 | 3 | 11 | 4 | 7  | 28    |
| GLL    | 1    | 5  | 2 | 1  | 5  | 8  | 8  | 4  | 5  | 6  | 2  | 3  | 50    | 0 | 0 | 7  | 0 | 1  | 8     |
| DL     | 0    | 0  | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0     | 1 | 0 | 0  | 1 | 0  | 2     |
| CP     | 1    | 0  | 0 | 1  | 0  | 0  | 0  | 5  | 2  | 3  | 0  | 0  | 12    | 2 | 2 | 1  | 1 | 2  | 8     |
| total  | 7    | 16 | 9 | 11 | 13 | 32 | 21 | 21 | 21 | 16 | 16 | 17 | 200   | 6 | 5 | 19 | 6 | 10 | 46    |

**NOTA:** PRT- punto rojo en la tapa. GLL- garganta llena. DL- desprendimiento de ladrillos. CP- camisa perforada

En la tabla 1 se muestra que la mayoría de las afectaciones fueron por punto rojo en la tapa, en el 2009 represento el 69 % del total, las gargantas llenas el 25 %, derrumbe de ladrillos no tubo afectación y camisa perforada el 6 %. En el 2010 con un total de 28 por punto rojo en la tapa de 46 cámaras averiadas esto promedia el 60 %, por camisa perforada el 17,39 %, garganta llena el 17,39 %, y derrumbe de ladrillos el 4,34% , se han recuperado 44 cámaras que representa un 95,7 % comparado con el año 2009 estamos por encima en un 1,7 % aunque seguimos presentando problemas con la calidad de los materiales refractarios para la recuperación de las cámaras. El estudio sobre esta situación se continuó para ver realmente el comportamiento de las afectaciones y analizar la calidad de los materiales refractario ha utilizar posteriormente.



### **3.4 Causas que atentan contra el tiempo de operación de las cámaras de combustión**

A partir de un estudio investigativo en la planta se pudo saber que estas son causas que afectan la durabilidad de las cámaras.

1. Mala calidad del refractario.
2. Mala calidad durante el proceso de fundición.
3. Deficiente calidad del secado antes de poner en operación la cámara.
4. Mal montaje de la cámara en el horno.
5. Mala alineación del quemador.
6. Variaciones bruscas de temperatura.
7. Exposición a temperaturas superiores a los 1420 °C
8. Llenado de las gargantas.
9. Falta de seguimiento en la limpieza de los quemadores.
10. Mal filtrado del aire de combustión.

### **3.5 Afectaciones que conllevan a sacar de operación una cámara**

- Caída de ladrillos y material refractario.
- Perforaciones de las camisas de enfriamiento de las cámaras.
- Punto rojo en la tapa de cámara.
- Punto rojo en el puente.
- Garganta sellada

Las medidas encaminadas a aumentar la disponibilidad de cámaras están divididas en dos grandes grupos, por un lado las preventivas y por el otro las correctivas. Las primeras son las más importantes pues evitan los costos de desmontaje y montaje de nuevas tapas de cámaras, dependiendo de la causa así será el tratamiento que se le debe dar como se relaciona a continuación.



### **3.6 Medidas para prevenir afectaciones.**

#### **Caída de ladrillos y material refractario.**

Para evitar la caída de ladrillos es necesario revisar el trabajo realizado por los reverberistas durante la realización del trabajo para que no se queden ladrillos flojos o espacio sin rellenar de hormigón, que el material utilizado tenga la calidad requerida para realizar el mismo (ladrillos de cromo - magnesita) y el grado de inclinación sea el correcto, no exponer la cámara a cambios brusco de temperatura ni tampoco a trabajos excesivos por encima de 1420 °C por tiempo prolongado.

#### **Perforaciones de las camisas de enfriamiento de las cámaras.**

Los ventiladores de aire de combustión tengan sus telas filtrantes en buen estado, para que no pase polvos o partículas gruesas de minerales la cuales se puedan calcinar en la camisa. No soldar barandas escaleras o cualquier otro metal del exterior de la cámara la cual debilite la plancha de acero por la cual esta revestida exteriormente.

#### **Punto rojo por la tapa.**

Comprobar que el quemador este alineado, que se cumpla la curva de secado establecida para el hormigón con que este compuesta la tapa, el aire de pleno y de combustión requeridos, la fundición realizada sea la correcta y con buena calidad en el hormigón, y buena limpieza por parte del operador cada vez que se ensucie el quemador.

#### **Punto rojo por el puente.**

Supervisar que el trabajo de Inter conexión horno cámaras tenga la calidad requerida, que los materiales refractarios sean de optima calidad, evitar soldadura por el exterior en esa área, evitar derrame de agua del sello de H0 por la paredes del horno donde esta la conexión cámara – horno.

#### **Garganta sellada.**

Evitar que el horno trabaje con más de 20 t/h para que no ocurra pase de mineral al interior de la misma, se calcine y se obstruya, realizar la limpieza preventiva a la



garganta, y evitar que la presión del horno no sea mayor que la del quemador, garantizar que se cumpla el ciclo de mantenimiento a los hornos.

**Tabla 2: Alteraciones en la operación de las cámaras, causas y soluciones.**

|   | Tipos de alteraciones.                                       | Posibles causas   | Acciones para solucionar el problema.   |
|---|--|---|---|
| 1 | Disminución o elevación de la temperatura en las cámaras.    | Descontrol de la regulación del suministro del petróleo o aire.<br>Tupición del quemador.<br>Deficiencia mecánica del quemador.<br>Escoriamiento del quemador.                    | Regular el suministro del petróleo y aire en cámara.<br>Limpieza del quemador o cambio del mismo.   |
| 2 | Disminución o elevación de la temperatura en el horno.       | Descontrol de la alimentación de la mezcla de minerales al horno.<br>Disminución o aumento de las temperaturas en las cámaras.<br>Deficiencia en la combustión secundaria H4 y H6 | Regular la dosificación de la mezcla de minerales al horno.<br>Controlar la temperatura en las cámaras.<br>Chequeo de las válvulas de aire (satélite) H4 y H6   |
| 3 | Aumento de la presión en las cámaras y llamas retrocediendo. | Tupición de la garganta de las cámaras.<br><br>Insuficiente aire de pleno.  | Bajar la presión al horno.<br>Quitar el quemador y el plato.<br>Proceder a la limpieza de la garganta.<br>Después de limpiar, montar el plato y el quemador.<br>Dar presión y poner en operación, normalizar el aire de pleno |
| 4 | Disminución de la presión en las cámaras.                    | Fallo del aire primario y secundario.   | Regular aire primario y secundario  |

La Tabla 2 muestra las alteraciones mas frecuentes en la operación de las cámaras de combustión así como el modo de solucionarlo, esto se debe hacer en el menor tiempo posible para evitar enfriamientos bruscos o por lo contrario un sobrecalentamiento lo que afectaría la estructura de forma general en la cámara, deformando el plato , dañando el material refractario o la bogailla cualquiera de estas provocaría mal funcionamiento del quemador y en el peor de los casos la salida de operación de la cámaras .



### 3.7 Evaluación de la calidad de los materiales refractario en la recuperación.

El análisis realizado a los materiales refractario en la recuperación de cámaras arribó los resultados siguientes a tener en cuenta, todo lo que tiene que ver con la calidad de los refractarios, su costo, su tiempo de vida útil y su relación con la disponibilidad, extractable y productividad .

En el estudio se compararon el material refractario de Guinness el posee un alto por ciento de alúmina donde encontramos el de (95 %) y (84 %) de dicho material, también encontramos el material refractario cambec 80 (ERECOS) que es el material de la tecnología PRIOR.

Los estudios de tiempo de duración de los materiales los empezamos a revisar desde septiembre del 2009 hasta la fecha actual, de la cual obtenemos los siguientes resultados que le mostramos en la tabla 3.

**Tabla 3: Tiempo de duración de los materiales.**

| hormigón       | No cámaras encendidas | No cámaras F/O | % de averiadas | Causas                    |
|----------------|-----------------------|----------------|----------------|---------------------------|
| Guinness 84%   | 27                    | 14             | 51,85          | (2-CP), (1-GLL), (11-PRT) |
| Guinness (95%) | 19                    | 4              | 21,05          | PRT                       |
| CANBC 80       | 19                    | 2              | 10,53          | PRT                       |
| Total          | 65                    | 20             | 30,77          |                           |

**F/O** –fuera de operación

Donde se muestra el número de cámaras encendidas, el tipo de hormigón utilizado, luego el por ciento de averías tomando, el total de cámaras averiadas contra el de cámaras encendidas, y las causas que provocaron su salida de operación.

Otras especificaciones de costo y cantidad de material utilizado en las cámaras las presentamos en la tabla 4 donde se observan los distintos materiales, la cantidad que se consume una cámara por capa y su precio dándonos la posibilidad de que con lo expuesto antes podamos comprar y utilizar los mejores materiales para el proceso de recuperación de tapas de cámaras.

**Tabla 4 precio de materiales para la recuperación de una tapa de cámaras**

| Capa | material     | Cantidad (t) | precio (cuc/t) |
|------|--------------|--------------|----------------|
| 1    | coral 65     | 0,5          | 1944           |
| 2    | concrat 1500 | 0,5          | 671,3          |
| 3    | cambc80      | 1,5          | 2062           |
| 4    | aicast 1800  | 1,5          | 2756           |

Para la tercera capa se utiliza el cambc 80 pero cuando falta, se utiliza el aicast 1800.

**TABLA 5: Comparación de precios de los materiales.**

| No | Hormigón  | Precio inicial USD | Precio actual USD/t |
|----|---|--------------------|---------------------|
| 1  | Aircast 1800  | 1570,56            | 2960,00             |
| 2  | CAMBC 80 ERECOS                                     | 790,00             | 2029,00             |
| 3  | CASTABLE 1800 AlCr-92 , China                       | 960,00             | 2508,00             |
| 4  | Hormigón 95 % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Guines |                    | 1960,70             |
| 5  | Hormigón 84 % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Guines |                    | 1735,12             |

El hormigón AICAST 1800 AR se utiliza cuando no hay existencia del cambc 80 (ERECOS), este material es mucho mas caro pero los resultados obtenidos en estudio realizado en el año 2003 demuestran que las cámaras con este material son más duraderas por esta causa lo hacen mas económicos, las cámaras montadas con este material su vida útil supera los 5 años de trabajo.

Durante el estudio realizado ha 65 cámaras recuperadas con los materiales de Guinness y el ERECOS cambc 80 se obtuvo que como resultados para aumentar la vida útil de operación de las cámaras en un 20 %, es mas rentable utilizar el material refractario cambc 80 es un poco mas costoso como se puede apreciar en la tabla 5 donde están los precios de compra de los materiales refractarios, pero el mismo tiene mas calidad, en la tabla 3 se demuestra que solo se han averiado 2 cámaras por punto rojo por la tapa de dicho material.

**Tabla 6: Comportamiento de las cámaras en estudio con hormigón (cambc 80).**

|                 | días operado | estado          |
|-----------------|--------------|-----------------|
| <b>Cambc 80</b> | 216          | operando        |
|                 | 202,6        | operando        |
|                 | 396,6        | operando        |
|                 | 216          | operando        |
|                 | 183,6        | operando        |
|                 | 216          | operando        |
|                 | 216          | operando        |
|                 | 24,0         | fuera/operación |
|                 | 216          | operando        |
|                 | 216          | operando        |
|                 | 185,6        | operando        |
|                 | 185,6        | operando        |
|                 | 183,6        | operando        |
|                 | 183,6        | operando        |
|                 | 183,6        | operando        |
|                 | 254,0        | fuera/operación |
|                 | 185,6        | operando        |
|                 | 183,6        | operando        |
|                 | 307,6        | operando        |

Se tiene que en la tabla 3 se han averiado 4 cámaras por punto rojo por la tapa del hormigón Guinness (95 %), durante la prueba realizada a 19 cámaras de combustión esto nos dice que este material puede servirnos como segunda opción, para trabajar en la recuperación de cámaras de combustión, siendo el mismo un poco mas barato

que el material (cambc 80) aunque hay que tener en cuenta que en mismo periodo de tiempo, las cámaras de combustión trabajadas con el material de Guinness (95 %) se afectaron en el doble de la cantidad de cambc 80 esto traería consigo el gasto doble de material , elevaría los costos por este concepto, afectaría la productividad de la planta y la empresa en general .

**Tabla 7 Comportamiento de las cámaras con hormigón Guinness (95 %).**

|                              | <b>días operado</b> | <b>estado</b>   |
|------------------------------|---------------------|-----------------|
| <b>hormigón Guinness 95%</b> | 267,6               | operando        |
|                              | 267,6               | operando        |
|                              | 264,6               | operando        |
|                              | 264,6               | operando        |
|                              | 71,0                | fuera/operación |
|                              | 258,6               | operando        |
|                              | 71,0                | fuera/operación |
|                              | 258,6               | operando        |
|                              | 250,6               | operando        |
|                              | 245,6               | operando        |
|                              | 195,6               | operando        |
|                              | 242,6               | operando        |
|                              | 242,6               | operando        |
|                              | 19,0                | fuera/operación |
|                              | 239,6               | operando        |
|                              | 235,6               | operando        |
|                              | 231,6               | operando        |
|                              | 231,6               | operando        |
| 28,0                         | fuera/operación     |                 |



Los resultados obtenidos en el estudio realizado al material de Guinness (84%)

Se pueden apreciar en la tabla 8 que 14 cámaras han sido averiadas de ellas 11 por punto rojo en la tapa. De 27 muestra 11 afectaciones por lo expuesto antes nos demuestran la baja calidad de este material refractario para la recuperación de las cámaras de combustión ya que su eficiencia es de un 40 %, por esto resultados desechamos dicho material y proponemos a la planta eliminar dicho material para sus trabajos de recuperación de cámaras.

**Tabla 8: Comportamiento de las cámaras en estudio con hormigón Guinness (84 %)**

| <b>hormigón Guinness 84 %</b> | días operado | estado          |
|-------------------------------|--------------|-----------------|
|                               | 230,6        | operando        |
|                               | 230,6        | operando        |
|                               | 6,0          | fuera/operación |
|                               | 229,6        | operando        |
|                               | 25,0         | fuera/operación |
|                               | 216          | operando        |
|                               | 208,6        | operando        |
|                               | 216          | operando        |
|                               | 8            | fuera/operación |
|                               | 207,6        | operando        |
|                               | 12,0         | fuera/operación |
|                               | 10,0         | fuera/operación |
|                               | 9,0          | fuera/operación |
|                               | 12,0         | fuera/operación |
|                               | 4,0          | fuera/operación |



|  |       |                 |
|--|-------|-----------------|
|  | 5,0   | fuera/operación |
|  | 5,0   | fuera/operación |
|  | 12,0  | fuera/operación |
|  | 39,0  | fuera/operación |
|  | 11,0  | fuera/operación |
|  | 185,6 | operando        |
|  | 185,6 | operando        |
|  | 249,6 | operando        |
|  | 185,6 | operando        |
|  | 12,0  | fuera/operación |
|  | 183,6 | operando        |
|  | 183,6 | operando        |

En la tabla 9 se aprecia los resultados de los diferentes hormigones estudiados, donde el cambc 80 es el de mejor promedio de meses operado 7 meses en el tiempo se realizo la prueba que el mismo es de septiembre del 2009 hasta mayo del 2010 y 10,52 % de cámaras de combustión fuera de operación que es el mas bajo . El material refractario Guinness (95 %) es el que le continua en calidad con un promedio de 6,8 meses y un por ciento de cámaras fuera de operación 21,05 %.El otro materia refractario lo desechamos por la baja calidad del mismo, bajo promedio de trabajo (3.6 meses) lo que eleva el por ciento de cámaras fuera de operación hasta un 51,85 % con 14 cámaras averiadas de ellas 11 por punto rojo en la tapa.

**Tabla 9: Comportamiento general de los materiales refractarios utilizado en el estudio.**

| hormigón | promedio meses operado | % cámaras fuera/operación |
|----------|------------------------|---------------------------|
| 84 %     | 3,6                    | 51,85                     |
| 95 %     | 6,8                    | 21,05                     |
| CANBC 80 | 7                      | 10,52                     |

### 3.8 Análisis de la disponibilidad de cámaras.

Los resultados obtenidos mediante el análisis a la disponibilidad de cámaras de combustión se gráfico contra extractable y contra productividad en los años 2009 y el 2010, además se realizo el estudio del coeficiente de correlación entre los parámetros que influyen con la disponibilidad.

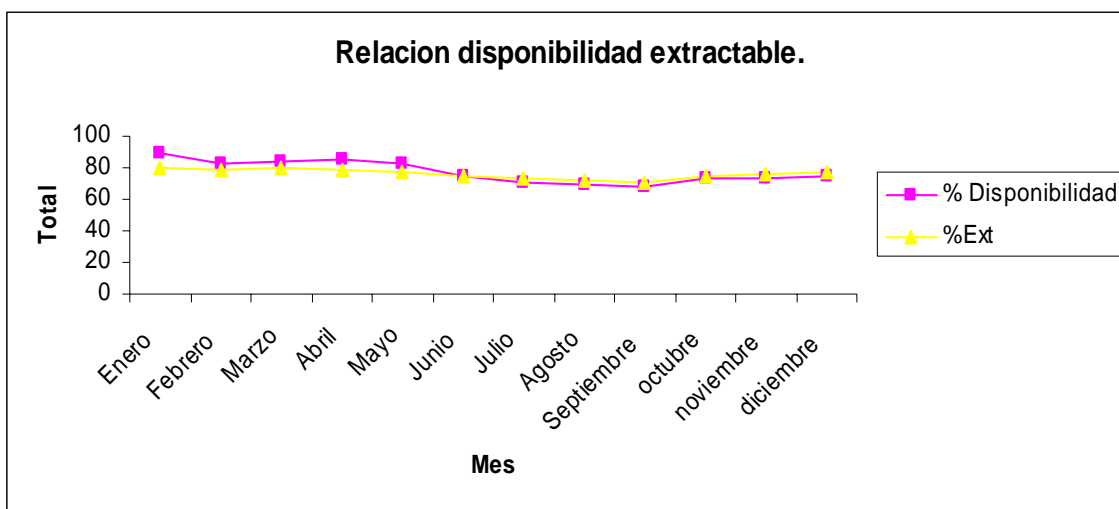
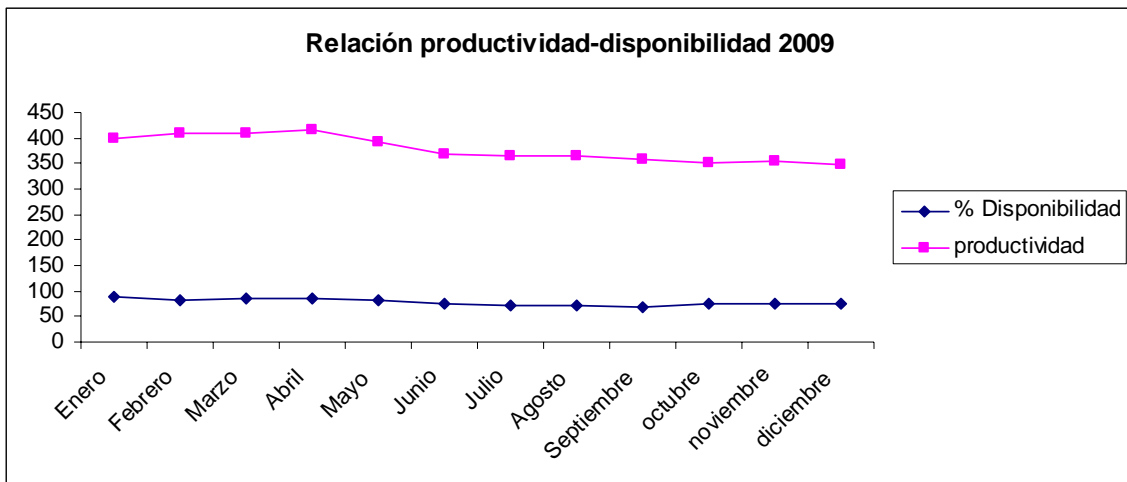


Figura 3 Relación disponibilidad extractable 2009

En la figura 3 se obtiene la relación entre la disponibilidad de cámaras de combustión y el extractable en el año 2009, el estudio realizado sobre esa base nos proporciona la estrategia de trabajo del 2010, ya que se demuestra un alto coeficiente de correlación (**0,919313848**). Una buena disponibilidad trae consigo buenos resultados en la reducción de los minerales dentro del horno, se obtiene un perfil térmico con la característica deseada y la atmosfera gaseosa con la

concentración requerida de carbono y dióxido de carbono, incluyendo otros gases que se desprenden durante la combustión incompleta que es la operación que realizan los quemadores Prior que poseen las cámaras de la planta.

En análisis se grafico la relación entre los indicadores que influyen directamente en los resultados de la planta, durante el periodo del año 2009 y hasta abril del 2010 para ver su comportamiento y se aprecia que los dos indicadores tienen relación.

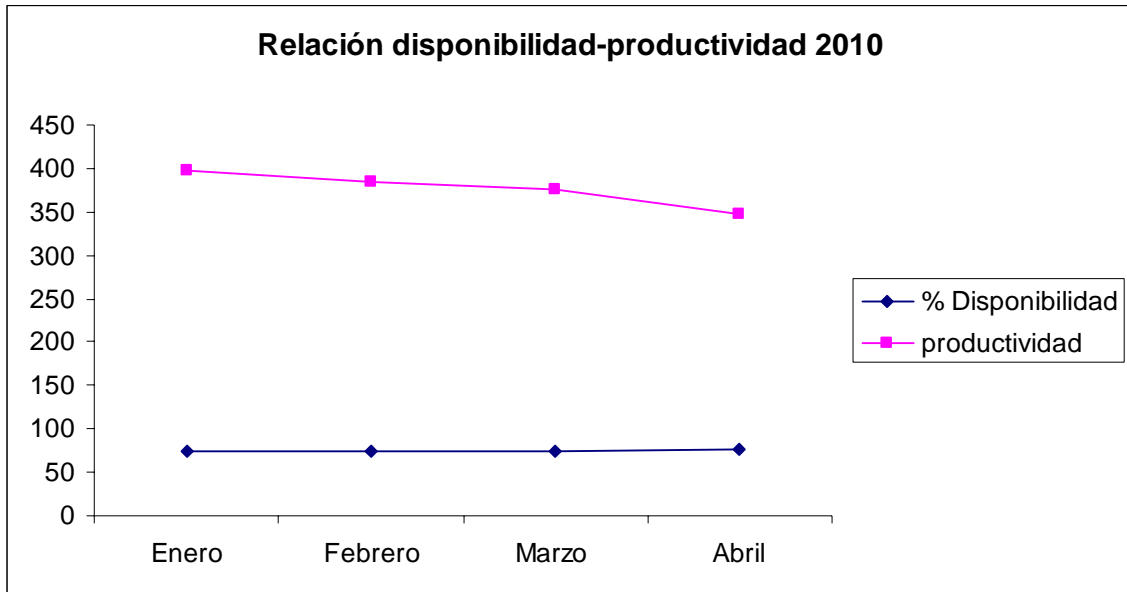


**Figura 4 Relación productividad –disponibilidad 2009**

Como se muestra en las figuras 3 y 4 desde principio del año 2009 la tendencia de la productividad de la planta ha ido en descenso y esto esta influenciado por la disponibilidad de cámaras aunque existen otros factores que influyen en el incremento productivo de la planta la correlación entre estos dos indicadores es de 0,86 fuerte y positiva, también se determinaron los coeficientes de correlación entre todos los indicadores sobre la que influyen la disponibilidad de cámaras de combustión , teniendo encuentra el resultado que debe ser para que sea eficiente mayor de 0,85 hasta 1 ,los resultados se muestran en la tabla 10.



**Figura 5: Relación disponibilidad – productividad 2010**



**Tabla 10: Resultado del coeficiente de correlación**

| <b>Relación entre los principales indicadores.</b>                    |                    |
|---|--------------------|
| coeficiente de correlación entre disponibilidad y productividad       | <b>0,863823622</b> |
| coeficiente de correlación entre disponibilidad y extractable         | <b>0,919313848</b> |
| coeficiente de correlación entre productividad y extractable          | <b>0,737047677</b> |
| coeficiente de correlación entre total de cámaras y productividad     | <b>0,917755762</b> |
| coeficiente de correlación entre total de cámaras y extractable       | <b>0,839852907</b> |
| coeficiente de correlación entre total de cámaras y de disponibilidad | <b>0,945854125</b> |



En la tabla # 11 que se muestra a continuación se dan a conocer los resultados de la disponibilidad de cámaras de combustión desde el año 2006 hasta mayo del 2010 detalladamente desde enero hasta diciembre de los años mencionados anteriormente, se puede apreciar que desde el 2006 hasta mayo 2009 la disponibilidad promedio fue de 87.63 % , debido a las averías producidas y los cambios brusco de temperatura en las cámaras de combustión a partir de junio 2009 comenzó a decender la disponibilidad hasta alcanzar valores muy bajos como 70 % en agosto del 2009 y estar promediando 77.07 % en mayo del 2010 , por incidir directamente en la productividad y la eficiencia ,se vienen tomando estrategias de trabajo para solucionar esta situación la cual no se han visto resultados positivos pues se recuperan solamente el 71.35 % de las cámaras afectadas el otro 38.65 % queda para cuando los hornos se saquen de operación para reparación capital por lo tanto son cámaras de combustión no recuperable , esta son mayormente la que se averían por el puente , ya que el material refractario que se viene utilizando todavía esta en prueba ,este trabajo se han presentado datos importantes para escoger el material de mayor calidad para la recuperación de cámaras de combustión .

**Tabla 11 Comportamiento por año de la disponibilidad de cámaras (%)**

| Meses/Años | 2006  | 2007  | 2008  | 2009  | 2010  |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Enero      | 85,70 | 90,43 | 87,83 | 89,13 | 77,39 |
| Febrero    | 85,20 | 90,87 | 87,83 | 83,04 | 77,39 |
| Marzo      | 85,22 | 88,26 | 87,91 | 83,75 | 74,55 |
| Abril      | 86,80 | 92,08 | 87,50 | 85,00 | 76,19 |
| Mayo       | 87,39 | 90,00 | 86,25 | 83,91 |       |
| Junio      | 88,70 | 88,70 | 86,52 | 74,35 |       |
| Julio      | 87,39 | 88,75 | 86,09 | 70,43 |       |
| Agosto     | 85,65 | 89,13 | 84,78 | 70,00 |       |
| Septiembre | 85,22 | 89,57 | 86,36 | 71,36 |       |
| Octubre    | 93,04 | 88,70 | 84,55 | 73,64 |       |
| Noviembre  | 88,70 | 87,92 | 85,60 | 73,80 |       |
| Diciembre  | 87,50 | 87,63 | 85,08 | 74,78 |       |



### 3.9 Análisis económicos sobre la recuperación de cámaras.

Entre los meses de junio, julio y agosto la planta hornos de reducción perdió 88 cámaras de combustión, como consecuencias de continuos fallos eléctricos que provocaron paradas del proceso productivo, lo que trajo consigo que la eficiencia y productividad de la fabrica cayeran a niveles muy bajos, fue en ese momento que se tomo la decisión de estimular a las brigadas que intervienen directamente en la recuperación de cámaras lo que contribuyo con que se implantaran record de cámaras de combustión recuperadas para un mes, 23 en julio y septiembre, en el mes de diciembre se encendieron en la planta 52 cámaras de combustión contando las 10 del horno 23 doble por problemas de calidad con el hormigón de Guinness, 10 del horno 6 que entro de su reparación capital, 10 del horno 3, 10 del horno 8 y 2 cámaras en el horno 7. Todos estos trabajos tuvieron un efecto económico notable si tenemos en cuenta que en los primeros meses del año se promediaban 10 cámaras de combustión recuperadas por mes, con el sistema de pago esto se incremento permitiendo que a partir del mes de septiembre con la igualada entre las cámaras de combustión que salen de operación y las recuperadas la disponibilidad de cámaras de combustión ha ido en ascenso aunque sin llegar a los valores deseados cosa que estuvo marcada por la mala calidad de los materiales refractarios ( hormigones) de las tapas. Si consideramos que cada cámara de combustión representa aproximadamente 1,7 t/h mas de mineral que podemos procesar en hornos, el aporte económico por concepto de aumento de producción en este periodo fue de **17323370,58 CUC** y de **433084264,4 CUP**, a parte de haber creado las bases para poder enfrentar un año 2010 mas fortalecidos con vista al cumplimiento del plan de producción.



**Tabla 12. Aporte económico por concepto de recuperación de cámaras julio diciembre 2009.**

|                                       | <b>Jul.</b> | <b>Ago</b> | <b>Sep</b> | <b>Oct.</b> | <b>Nov.</b> | <b>Dic.</b> | <b>Total</b> |
|---------------------------------------|-------------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
| <b>Cámaras</b>                        | 13          | 12         | 13         | 12          | 9           | 37          | 96           |
| <b>Mineral procesado (t min./día)</b> | 491,097     | 452,341    | 479,958    | 437,921     | 346,453     | 1436,294    | 3587,820     |
| <b>Mineral procesado (t min./mes)</b> | 15224,018   | 14022,585  | 14398,769  | 13575,58    | 10393,596   | 44525,124   | 110389,56    |
| <b>Ni(t)</b>                          | 126,42      | 112,88     | 119,50     | 111,97      | 85,77       | 384,54      | 930,48       |
| <b>Co(t)</b>                          | 6,96        | 7,17       | 7,42       | 6,33        | 4,59        | 19,75       | 51,35        |
| <b>t de Ni+Co</b>                     | 133,38      | 120,06     | 126,92     | 118,30      | 90,37       | 404,29      | 981,83       |
| <b>Aporte(CUC)</b>                    | 2121621     | 2342778,7  | 2208634,6  | 2183541     | 1538746,4   | 6928706,9   | 17323370,58  |
| <b>Aporte(CUP)</b>                    | 53040524    | 58569468   | 55215864   | 54588525    | 38468661    | 173217673   | 433084264,4  |

En la tabla 12 se muestran los datos económicos por recuperación de cámara de combustión en los meses de julio a diciembre del 2009 pues en ellos es donde mas se agravó la situación de la disponibilidad de cámaras de combustión , también están su aporte económico en (CUC) peso convertible y (CUP) peso cubano mes a mes y el total general que aporto a la empresa por este concepto de recuperación, anterior a la tabla se encuentran las formulas aplicadas para realizar los distintos cálculos , se tiene que recuperar cámaras, pero lo mas importante es buscar la estrategia operativa para lograr aumentar su tiempo de vida útil de operación , y escoger el material refractario de mas calidad para la recuperación de cámaras de combustión , estos mismos cálculos son efectuados para obtener los resultados de los primeros



meses del año 2010 y sacar el pronóstico de la planta para tiempos futuros que alguien desee realizar el cálculo utilizando estos métodos antes expuestos.

### **3.10 Análisis del impacto medio ambiental.**

La planta de Punta Gorda, con un proceso piro-hidrometalúrgico, se caracteriza por generar residuales en cantidades apreciables, en forma de emisiones gaseosas, efluentes líquidos y residuales sólidos:

- a) Gases y polvo
- b) Líquidos con sólidos en suspensión
- c) Residuos sólidos

Los primeros (a) son los gases expulsados a la atmósfera conteniendo polvos minerales con partículas de níquel y otros metales en suspensión y otros gases contaminantes como: ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{NH}_4$ , etc.) que salen a la atmósfera a través de las diferentes chimeneas (6 en total); así como el polvo generado en el proceso de extracción, transporte y preparación del mineral.

Los segundos (b) son residuales líquidos con sólidos en suspensión, conteniendo compuestos y metales contaminantes, los cuales son evacuados por canalizaciones y/o alcantarillado que los recogen y conducen hasta su lugar de vertimiento y/o de depuración. Incluyen las aguas albañales.

Por último, los residuos sólidos (c) son las basuras industriales, escombros, residuos de limpieza de ductos, sedimentados, chimeneas, envases, chatarra, etc.

#### **Emisiones de gases y polvo**

La planta de Hornos de Reducción emite a la atmósfera a través de una chimenea de 120 m de altura y 5,0 m de diámetro, residuales en forma de polvo y gases producto de la combustión (completa e incompleta) del petróleo y de la gasificación del petróleo aditivo en el seno del mineral. Después de pasar por el sistema de limpieza de gases, parte de ellos son conducidos a través de un ducto colector hacia la Planta de Secaderos para aprovechar su calor residual y sensible. Los contaminantes



expulsados a la atmósfera son: polvo mineral crudo y reducido muy fino,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$ , agua en forma de vapor, trazas de metano y  $\text{N}_2$ .

La limpieza del polvo de los pisos de esta planta, se realiza mediante el soplado con aire comprimido, lo que hace que este polvo pase a la atmósfera. Además, la emisión de polvo por las mirillas, cámaras, sellos y puntos de transferencia de mineral, también constituyen fuentes de vertimiento a la atmósfera.

### **Aguas residuales**

La industria cuenta con una red para la recolección y disposición de las aguas sanitarias, así como también con una red interna para el drenaje pluvial y general de diferentes áreas productivas y de servicios fabriles:

La planta vierte a través de un emisario denominado E-1 a través del cual son evacuadas las aguas residuales producto del lavado de los pisos de Planta baja y de los sellos del hogar 16 de los hornos.

### **Residuos sólidos**

Los principales residuos sólidos generados en la planta son:

- materiales refractarios.
- Chatarra.
- Papel de desecho.

Se han tomado medidas con el vertido de basuras y residuos industriales en la periferia de la planta, las chatarras, han sido recogidas y vendidas a la Empresa de Recuperación de Materias Primas, y se ha creado un patio de chatarra, al este de la planta. Algunos residuales sólidos se envían al vertedero municipal, otros se disponen en áreas habilitadas al efecto, que deben ser evaluadas para éstos fines desde el punto de vista ambiental.

### **Principales fuentes contaminantes de la planta (identificación de impactos).**

- En el área donde se ubican los silos se producen emanaciones de polvo principalmente en las bombas (por los sellos de las bombas). Esta contaminación afecta el área de trabajo. También existen salideros por

rajaduras en la parte superior de los silos cuando éstos son llenados a máxima capacidad. La limpieza de esta área es manual.

- En la planta de hornos, la contaminación es provocada por salideros de mineral, en romanas, alimentadores, sinfines de polvo, etc. El derrame de mineral cae a los pisos inferiores y éste es eliminado mediante el soplado con aire lo que provoca contaminación en el área y en el exterior de la planta.
- El derrame y salidero de mineral, por los sellos de los transportadores, cae a la planta baja. Este mineral se somete a limpieza con agua y es trasladado por canales hacia 3 pozos (uno para cada ocho hornos). Mediante bombas la pulpa se envía hacia la canalización oeste de la fábrica, que los descarga al río Moa sin tratamiento previo a pesar de que contienen gran cantidad de sólidos y grasas.
- El agua de la piscina de los enfriadores de mineral se contamina con polvo y grasa y requiere de tratamiento.
- Otro foco de contaminación es provocado por los salideros de gases en escotillas, mirillas, cámaras y sello de los transportadores, estos gases contienen  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$  y  $\text{H}_2$  y son expulsados a la atmósfera y al área de trabajo por las variaciones de presión dentro del horno. Se requiere hacer un monitoreo sistemático de monóxido de carbono en el área de trabajo.
- Los gases de la planta son emitidos hacia Secaderos y la porción Oeste de la planta, en dirección al río Moa, constituyendo fuentes de contaminación en el área de trabajo de la industria.

### **Modificaciones tecnológicas introducidas en el proceso que han influido en la calidad ambiental.**

En la Empresa se han adoptado toda una serie de soluciones y mejoras tecnológicas, que además de lograr sus objetivos principales, dirigidos fundamentalmente al incremento de los niveles de producción y la productividad del proceso, han influido significativamente en el logro de una producción más limpia, con la consecuente disminución de la contaminación ambiental:



- Instalación de un ducto transportador de gases calientes residuales de los Hornos de Reducción hacia los secaderos, con el objetivo de aprovechar su energía, disminuyendo el volumen de gases conteniendo monóxido de carbono que se vierten a la atmósfera
- Montaje del sistema de combustión en Hornos de Reducción (cámaras PRIOR, 10 para cada horno), lo que permitió el aumento de vida de las cámaras y mejoró las condiciones ambientales en el área de trabajo.
- Nuevo software para el control desde el Panel de Operación de los parámetros del proceso en puntos críticos, lazos de control automáticos, y uso de un sistema parcial de expertos, que permite variar parámetros y flujos directamente en el panel o a través del operador. El sistema computarizado, posee alarmas en puntos críticos del proceso. La estabilidad de la operación y pronóstico de situaciones de operación crítica, han disminuido los vertimientos de pulpa y colas y consecuentemente, los impactos sobre el medio ambiente. Todas las plantas operan bajo estas condiciones, observándose una mejora sustancial en el control automático y semiautomático.
- Utilización de petróleo aditivo como agente reductor. Anteriormente se utilizaba gas reductor obtenido a partir de la combustión incompleta del carbón antracita en los productores de gas, lo cual originaba vertimiento de gases con contenido de CO al medio de trabajo y al ambiente a través de la chimenea.
- Reparación de las cámaras de combustión en caliente con máxima seguridad en el trabajo y elevar con ello el número de cámaras disponibles por encima de 85% y una mejora en la estabilidad de la operación y en la disminución de las emisiones de polvo por concepto de una mejor distribución del tonelaje en los hornos, sin necesidad de sobrecargar determinados hornos, con un tonelaje mayor, lo cual provocaba contaminación ambiental.





### 3.11 Conclusiones parciales

Se puede arribara las siguientes conclusiones:

- El material refractario Guinness (84 %) es de muy mala calidad para la recuperación de cámaras
- El Punto Rojo en la tapa es la avería mas frecuente en las cámaras.
- Baja productividad promedios de los hornos por baja disponibilidad de cámaras de combustión.
- Agravamiento de la disponibilidad a partir de junio 2009 por cambios brusco de temperatura debido a los constates fallos eléctricos.
- La planta de hornos de reducción es alta contaminadora del medio ambiente por la cantidad de residuos, chatarra y polvo que emite al medio.



## **Conclusiones.**

Después de los estudios realizados se puede arribar la siguiente conclusión:

1. La disponibilidad de cámaras de combustión influye directamente sobre los indicadores productivos de la planta de hornos de reducción de la empresa Ernesto Guevara, debido fundamentalmente a la pérdida de cámaras de combustión en el proceso, provocado esto por los puntos rojos, tupiciones de garganta, camisas perforadas y desprendimiento de ladrillos.
2. En el trabajo se precisan cuales son las principales medidas a tomar para contrarrestar las bajas productividades motivadas por las pérdidas de cámaras de combustión,
3. Quedó demostrado que el material refractario (ERECOS) cambc 80 es el de más calidad y potencialidad para su uso en el interior de las cámaras de combustión.



## **Recomendaciones**

Después del trabajo realizado y los resultados obtenidos del estudio se recomienda:

1. Profundizar en el estudio de los refractarios a emplear en las reparaciones y continuar con la búsqueda de suministradores.
2. Estudiar al detalle las variaciones del mineral de entrada y sus requerimientos energéticos.
3. Garantizar una correcta alineación de los quemadores y cumplimiento de los demás parámetros según tabla de puntos de inspección.



#### 4. BIBLIOGRAFÍA

1. CHANG CARDONA Antonio. 1997. Cálculos de los principales procesos en los hornos metalúrgicos. La habana editorial “Félix Valera” .
2. CHANG CARDONA A.1986. Figuras y Tablas. 86p. La habana editorial “Félix Valera”
3. CHANG CARDONA, Antonio R. 1986 Hornos Metalúrgicos. La habana editorial “Félix Valera”.
4. GRUPO DE TECNOLOGÍA .ECG. Manual de Operaciones de la planta, Hornos de Reducción.
5. GORDON, C, M. Y PERSAJOV, I, L. 1981. Captación de polvos y purificación de gases en la metalurgia de los Metales no Ferrosos. Editorial .Mir.
6. PAULOV, K, F: Problemas y ejemplos en el curso de operaciones básicas y aparatos en la tecnología Química .Moscú .Editorial Mir.
7. SÁNCHEZ RODRÍGUEZ, Luis; Cuenca Alfonso, Ariel. 1987. Tecnología de montaje y mantenimiento de plantas metalúrgicas. [s. n. l. n],
8. FERNÁNDEZ ESTRADA, Sergio.1972. Metalurgia extractiva de los minerales oxidados de Ni.La Habana.
9. BEREGOSKI, V.1987. Metalurgia del Cobre y el Ni .La Habana Editorial “Pueblo y Educación .tomo 2.
10. MIJEEV.M.A.I.M .MIJEEVA. 1979. Fundamentos de Termo transferencia. Editorial MIR Moscú
11. COMPAÑÍA PRIOR INDUSTRIES 1992 (N. S. W) P.T.Y, L.T.D Inc. in .n.s.w .DISEÑOS DE LA TECNOLOGÍA PRIOR .BRISBANE SIDNEY 3/26 Birubi street, Cooperoo. Brisbane. Q 4151. Australia.
12. DIOMIDOVSKI, D.A. 1970. Hornos Metalúrgicos. Editorial Metalurgia
13. J. ASTIGARRAGA .Hornos Industriales de Resistencia. Editorial MC GRAW HILL.
14. H. ARIAS, J.M.LASHERAS. Tecnología Mecánica. Editorial DONOSTIARRA
15. MULAR BHAPPU, Diseño de planta y de proceso de minerales, Segunda edición.



16. AZAHARES NOA, ISRAEL. 1997. Evaluación del horno de múltiple soleras del CIL para la reducción de minerales. INFORME TÉCNICO DEL CEINNIQ.
17. GARCÍA ARIAS, GUSTAVO. 2002. Problemas del extractable en la Planta de Hornos de Reducción. INFORME TÉCNICO DEL CEINNIQ.
18. ALEPUZ, HÉCTOR. Estudio de la cinética de reducción en una línea industrial experimental de la planta de hornos de la ECG. INFORME TÉCNICO DEL CEINNIQ.
19. ALEPUZ, HÉCTOR. 1993 Mejoramiento de los índices técnico- económicos del procesamiento de mineral en los hornos con tecnología PRIOR. INFORME TÉCNICO DEL CEINNIQ.
20. BUSTAMANTE GONZÁLEZ, CÉSAR. Evaluación de la eficiencia de la Combustión en los hornos de reducción .INFORME. TÉCNICO DEL CEINNIQ
21. ALEPÚZ, HÉCTOR .1991. Proyecto Prior Etapa 01: Recopilación y análisis de la información estadística acumulada de la planta Hornos de Reducción. INFORME TÉCNICO DEL CEINNIQ.
22. ALEPÚZ, HÉCTOR. 1993. Proyecto Prior Etapa 05: Revisión de los Hornos en Construcción. Recomendaciones para su construcción. INFORME TÉCNICO DEL CEINNIQ.
23. ALEPÚZ, HÉCTOR. 1995. Informe Final Proyecto Prior. INFORME TÉCNICO DEL CEINNIQ.
24. ALEPUZ, HÉCTOR. 1995 . Identificación de un horno industrial de la ECG INFORME TÉCNICO DEL CEINNIQ.
- 25 .HENY, K.E; FRED, H.W; STEPHEN, R.L. Mineralogía. Edición revolucionaria. La Habana. 1959.
- 26 .MARIÑO, P.A. Equipos de la metalurgia no ferrosa. Editorial Félix Varela, La Habana, 1994.
27. CERPA, A.; GARCELL. L .R Propiedades superficiales y reológicas de suspensiones minerales lateríticas. La Habana: Informe al evento Metalurgia 98, 1998.
28. RODRÍGUEZ, VLADIMIR .1999. Prueba de adición de petróleo al horno.



INFORME TÉCNICO DEL CEINNIQ.

29. MAGAÑA, MARÍA ELENA .1997. Procesar 3 muestras de mineral alimentado a los hornos de reducción de la ECG en el horno de banco. INFORME TÉCNICO DEL CEINNIQ.

30. GARCÍA ARIAS, GUSTAVO Problemas del extractable en la Planta de Hornos de Reducción. INFORME TÉCNICO DEL CEINNIQ

31 .SÁNCHEZ RODRIGUE, LUIS; 1987 Cuenca Alfonso, Ariel.Tecnología de montaje y mantenimiento de plantas metalúrgicas. [ s. n. l. n,

32. FERNÁNDEZ ESTRADA, 1972 Sergio. Metalurgia extractiva de los minerales oxidados de Ni.La Habana.

33. PERRY CHILON, K (1967): perry's chemical engineers handbook Editoril chemical engineering and chemical week. Tomo I 13-15 P

34. NIEVES, JORGE y PANTOJA, 2007 Henry. Cálculo de hornos de tambor rotatorio para la tostación reductora de menas oxidadas de níquel previa a la fusión en hornos de arco .eléctricos. ISMM,

35. MULAR BHAPPU, Diseño de planta y de proceso de minerales, Segunda edición.

36. CHRISTIE J. GEANCOPLIS 1986. Proceso de Transporte y Operaciones Unitarias. México por compañía editorial continental, s.a de c.u