

GESTIÓN ENERGÉTICA EN HORNO DE FUNDICIÓN DE COBRE

**RODRIGO JOSÉ BARRIOS OSPINO
ALONSO FAUSTINO MENDOZA MENDOZA**



**FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA Y MECATRÓNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
CARTAGENA DE INDIAS**

2011

GESTIÓN ENERGÉTICA EN HORNO DE FUNDICIÓN DE COBRE

**RODRIGO JOSÉ BARRIOS OSPINO
ALONSO FAUSTINO MENDOZA MENDOZA**

**TRABAJO FINAL INTEGRADOR PARA OPTAR EL TÍTULO DE ESPECIALISTA
EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO**

**PhD, MSc, Bienvenido Sarria López
DIRECTOR DEL TRABAJO FINAL INTEGRADOR**



**FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA Y MECATRÓNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
CARTAGENA DE INDIAS**

2011

Nota de Aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Cartagena de Indias, D.T. y C., Abril 25 de 2011

Cartagena de Indias D. T. y C., Abril 25 de 2011

Señores:
Comité evaluador
Especialización en Gerencia de Mantenimiento
Universidad Tecnológica de Bolívar
Ciudad.

Apreciados señores:

Por medio de la presente nos permitimos someter para su estudio, consideración y aprobación el trabajo final integrador titulado "**GESTIÓN ENERGÉTICA EN HORNO DE FUNDICIÓN DE COBRE**" realizado por los estudiantes Rodrigo José Barrios Ospino y Alonso Faustino Mendoza Mendoza para optar al título de Especialistas en Gerencia de Mantenimiento.

Cordialmente,



RODRIGO JOSÉ BARRIOS OSPINO
C.C. 72.269.119



ALONSO FAUSTINO MENDOZA MENDOZA
C.C. 17.953.009 de Fonseca

CESIÓN DE DERECHOS PATRIMONIALES

Cartagena de Indias D. T. y C., 25 de Abril de 2011

Yo, **Rodrigo José barrios Ospino**, manifiesto en este documento mi voluntad de ceder a la Universidad Tecnológica de Bolívar los derechos patrimoniales, consagrados en el artículo 72 de la Ley 23 de 1982 sobre Derechos de Autor, del trabajo final denominado “**GESTIÓN ENERGÉTICA EN HORNO DE FUNDICIÓN DE COBRE**” producto de mi actividad académica para optar el título de **Especialista en Gerencia de Mantenimiento** de la Universidad Tecnológica de Bolívar.

La Universidad Tecnológica de Bolívar, entidad académica sin ánimo de lucro, queda por lo tanto facultada para ejercer plenamente los derechos anteriormente cedidos en su actividad ordinaria de investigación, docencia y extensión. La cesión otorgada se ajusta a lo que establece la Ley 23 de 1982. Con todo, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada con arreglo al artículo 30 de la Ley 23 de 1982. En concordancia suscribo este documento que hace parte integral del trabajo antes mencionado y entrego al Sistema de Bibliotecas de la Universidad Tecnológica de Bolívar.



RODRIGO JOSÉ BARRIOS OSPINO
C.C. 72.269.119

CESIÓN DE DERECHOS PATRIMONIALES

Cartagena de Indias D. T. y C., 25 de Abril de 2011

Yo, **Alonso Faustino Mendoza Mendoza**, manifiesto en este documento mi voluntad de ceder a la Universidad Tecnológica de Bolívar los derechos patrimoniales, consagrados en el artículo 72 de la Ley 23 de 1982 sobre Derechos de Autor, del trabajo final denominado “**GESTIÓN ENERGÉTICA EN HORNO DE FUNDICIÓN DE COBRE**” producto de mi actividad académica para optar al título de **Especialista en Gerencia de Mantenimiento** de la Universidad Tecnológica de Bolívar.

. La Universidad Tecnológica de Bolívar, entidad académica sin ánimo de lucro, queda por lo tanto facultada para ejercer plenamente los derechos anteriormente cedidos en su actividad ordinaria de investigación, docencia y extensión. La cesión otorgada se ajusta a lo que establece la Ley 23 de 1982. Con todo, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada con arreglo al artículo 30 de la Ley 23 de 1982. En concordancia suscribo este documento que hace parte integral del trabajo antes mencionado y entrego al Sistema de Bibliotecas de la Universidad Tecnológica de Bolívar.



ALONSO FAUSTINO MENDOZA MENDOZA
C.C. 17.953.009 de Fonseca

Cartagena de Indias D. T. y C., 25 de Abril de 2011

Señores:
Comité Evaluador
Especialización en Gerencia de Mantenimiento
Universidad Tecnológica De Bolívar
Ciudad.

Apreciados señores:

Por medio de la presente me permito informarles que el Trabajo Final Integrador titulado "**GESTIÓN ENERGÉTICA EN HORNO DE FUNDICIÓN DE COBRE**" ha sido desarrollado de acuerdo a los objetivos establecidos por la Especialización de Gerencia en Mantenimiento.

Como director del proyecto considero que el trabajo es satisfactorio y amerita ser presentado para su evaluación.

Atentamente,



PhD, MSc, Bienvenido Sarria López
Director Trabajo Final Integrador

DEDICATORIA

A mis padres Fredys Barrios y Delia Ospino,

A mis hermanos Jesús, Eduardo, Carlos y Beatriz

A mis Sobrinos Daniela y Nicolás

A mis cuñadas Stefany y Karen.

Gracias a todos por estar siempre a mi lado apoyándome, brindándome su Amor, cariño, consejos y por estar apoyándome en el momento más difícil de Mi vida.

Rodrigo José Barrios Ospino.

DEDICATORIA

Dedico este triunfo Principalmente a Dios por ser mi permanente guía, por darme la sabiduría y discernimiento necesario para poderme capacitar profesionalmente.

Dedico este logro a mis cuatro reinas:

- Mi reina grande, mi querida madre Herminia Mendoza por su apoyo incondicional en todo momento.*
- Mi reina de la vida, mi querida, amada y siempre respetada esposa Maricela Arregocés por comprenderme y ayudarme a salir adelante.*
- Mis dos reinas lindas, mis hijas Lauren y Laura Mendoza Arregocés por el tiempo que me concedieron para dedicarme a desarrollar esta especialización.*

Gracias a mi padre Faustino Mendoza, Gracias a todos mis hermanos y sobrinos.

Alonso Faustino Mendoza Mendoza.

AGRADECIMIENTOS

Expresamos nuestras infinitas gracias a Dios, nuestro Señor, por la oportunidad que nos ha brindado de seguir cosechando éxitos y creciendo profesionalmente. Sólo Tú santo Dios sabes el esfuerzo, empeño y dedicación que hemos realizado para hacer estos sueños realidad.

Esta es una muestra más que para Ti no hay imposibles porque sin tu ayuda no habríamos podido sacar este propósito adelante.

Hoy orgullosamente podemos decir: **“GRACIAS A DIOS SOMOS ESPECIALISTAS EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO”**.

Le damos gracias a la empresa PROCABLES S.A., por todo su apoyo en la recopilación y suministro de la información necesaria para el desarrollo de este trabajo.

Gracias a los ingenieros Aida Jure, Ricardo Vásquez y Mario Acuña por colaborarnos en nuestras ausencias laborales.

Gracias a Manuel Manrique por facilitarnos toda la información necesaria en el desarrollo del proyecto.

Gracias al cuerpo de docentes de la Especialización en Gerencia de Mantenimiento:

- *MSc, FPS, MMS, ME Miguel Ángel Romero Romero.*
- *PhD ©, MS, IE, BA Rodrigo Trujillo de Castro.*
- *PhD, MSc, ME Luís A. Mora Gutiérrez.*
- *PhD ©, MSc, ME Alfredo M. Abuché*

- *QMS, PMP, CMRP, ME Gerardo Vargas Castellanos.*
- *PhD ©, MSc, ME Justo R. Ramos Madrid.*
- *PhD, MSc, BA Rafael Gómez Cubillos.*
- *QMS, PMP, CMRP. ME Alfonso Núñez Nieto.*
- *FS, HRMS, IE Armando Mendoza Díaz.*
- *LCS, ChE Jairo Ortiz Ramírez.*
- *MSc, ME Franklin Howard Rojas.*
- *MSc, CMRP ME Royman López.*
- *MSc, Holguer Velandia J.*
- *MSc, Jairo Pérez Pacheco.*
- *PhD, Carlos Arciniegas.*
- *PhD, MSc, Bch, Esp Bienvenido Sarria López*
- *PhD ©, MSC, ME Juan Fajardo Cuadro*

Gracias a todos ellos por los conocimientos transmitidos y por sus valiosos consejos.

Agradecemos de manera muy especial al Ing. Bienvenido Sarria López quien a través de su conocimiento y espíritu colaborador nos impulsó para hacer de este proyecto una realidad palpable.

Agradecimiento a todos los compañeros de la Especialización, por permitirnos crecer como personas y compartir sus conocimientos y experiencias.

TABLA ONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	17
IDENTIFICACION DEL PROBLEMA	20
OBJETIVOS	21
JUSTIFICACIÓN	22
1. MARCO ORGANIZACIONAL	23
1.1. MARCO TEÓRICO	23
2. GESTIÓN ENERGÉTICA	34
2.1. INTRODUCCIÓN	34
2.1.1. Gráfica de Pareto	34
2.1.2. Estratificación	37
2.1.3. Gráficos de Control	38
2.1.4. Gráfico de consumo y producción en el tiempo	40
2.1.5. Gráfico de consumo – producción (E vs. P)	42
2.1.6. Gráfico de consumo específico	44
2.1.7. Gráfico de tendencia o sumas acumulativas	45
3. EFICIENCIA TERMICA Y PERDIDAS DE CALOR	47
3.1. CÁLCULO DE LAS PÉRDIDAS	53
3.1.1. Cálculo de pérdida de calor por radiación en el horno de fundición	53
3.1.2. Cálculo de pérdida de calor por convección en el horno de fundición	54
3.1.3. Cálculo de pérdida de calor por radiación en el horno de sostenimiento	55

3.1.4. Cálculo de pérdida de calor por convección en el I horno de sostenimiento	55
3.2. EFICIENCIA TÉRMICA	57
3.2.1. Eficiencia térmica en el horno de fundición	57
3.2.2. Eficiencia térmica en el horno de mantenimiento	57
3.3. IMPACTO ECONÓMICO REPRESENTADO POR LAS PÉRDIDAS	58
3.3.1. Impacto económico en el horno de fundición	58
3.3.2. Impacto económico en el horno de sostenimiento	58
4. RESULTADO Y ANALISIS DE LOS RESULTADOS	59
4.1. CONSUMO ENERGÉTICO	59
4.2. ENERGÍA NO ASOCIADA A LA PRODUCCIÓN	59
4.3. IMPACTO ECONÓMICO DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA	60
4.4. PERDIDAS DE CALOR	61
4.5. FACTOR DE POTENCIA	61
4.5.1. Análisis del factor de potencia de la máquina	62
4.5.2. Cálculo de pérdidas	62
4.5.3. cálculos de energía ahorrada	63
5. CONCLUSIONES	64
6. RECOMENDACIONES	66
BIBLIOGRAFÍA	67

LISTA I BLAS

	pág.
Tabla 1. Insumos generales en el año 2010	36
Tabla 2. Potencia nominal por equipos	37
Tabla 3. Datos de control para gráficas	39
Tabla 4. Variación relativa de la producción y el consumo en el tiempo	40
Tabla 5. Perfil de temperatura con producción normal 14 líneas	47
Tabla 6. Consumo de energía para cada inductor	52

LISTA D URAS

	pág.
Figura 1. Gráfico rollo de alambón de cobre ($\varnothing 9.52\text{mm}$)	23
Figura 2. Gráfico sistema enrollador	24
Figura 3. Gráfico cátodos de cobre (materia prima)	24
Figura 4. Grafico características de la materia prima	25
Figura 5. Gráfico inductor	26
Figura 6. Gráfico horno de inducción	26
Figura 7. Gráfico horno de sostenimiento	27
Figura 8. Gráfico proceso de colada continua	28
Figura 9. Gráfico sistema de carga	32
Figura 10. Gráfico máquina de colada	33
Figura 11. Gráfico de Pareto consumo de la máquina	36
Figura 12. Gráfico de estratificación de la potencia nominal por equipos	38
Figura 13. Gráfico control del consumo de energía	39
Figura 14. Gráfico de consumo y producción en el tiempo	41
Figura 15. Gráfico de consumo y producción (E vs P)	43
Figura 16. Gráfico de consumo específico	45
Figura 17. Gráfico de tendencia del consumo de energía	46
Figura 18. Gráfico del perfil de temperatura en el inductor 1	48
Figura 19. Gráfico de consumo de energía eléctrica en el inductor 1	49
Figura 20. Gráfico del perfil de temperatura en el inductor 2	49
Figura 21. Gráfico de consumo de energía eléctrica en el inductor 2	50

Figura 22. Gráfico del perfil de temperatura en el inductor 3	50
Figura 23. Gráfico de consumo de energía eléctrica en el inductor 3	51
Figura 24. Gráfico producción promedio últimos años	60

INTRODUCCIÓN

La gestión energética está cada vez más presente en las empresas o las instalaciones públicas. La figura del gestor energético se convierte en la pieza clave para que una organización, independientemente de su naturaleza o tamaño, pueda alcanzar unos objetivos deseables de eficiencia y ahorro de energía; de compromiso con el medioambiente y con la sociedad; así como de mejora de la competitividad en sus procesos productivos.

En concreto, las tareas relacionadas con el suministro y consumo de energía, y en particular con la necesidad de realizar un uso eficiente de la energía para fomentar el ahorro de la misma, consumen recursos valiosos para una organización, debido a su creciente complejidad.

Con el fin de promover el ahorro de energía, a raíz de las crisis energéticas mundiales que han ocurrido, se está produciendo un hecho destacable donde las industrias fabrican sus productos empleando menos energía.

En los países en desarrollo, aunque el consumo de energía por persona es mucho menor que en los países desarrollados, la eficiencia en el uso de energía no mejora, en parte porque las tecnologías usadas son anticuadas.

La eficiencia energética se puede optimizar implantando una serie de medidas e inversiones, tales como:

- Aprender a obtener energía, de forma económica y respetuosa con el ambiente, de las fuentes alternativas teniendo como objetivo reducir la dependencia del petróleo y los combustibles fósiles.

- Desarrollar tecnologías y sistemas de vida y trabajo que ahorren energía para lograr un auténtico desarrollo, que se pueda llamar sostenible, es decir, aprender a usar eficientemente la energía.

La industria es uno de los sectores de la sociedad más necesitados del ahorro de energía, ya que su logro supone una mayor competitividad.

Son grandes consumidoras de electricidad, por ejemplo las cementeras, metalúrgicas, cerámicas, etc. y aplican en sus procesos diversas estrategias de producción y tecnologías para reducir al máximo el consumo de electricidad.

Algunos ejemplos de gestión de carga que pueden considerarse en un escenario industrial son los siguientes:

- Eficiencia energética: Introducir medidas de eficiencia energética específicamente enfocadas en el momento de consumo pico y así reducir los KVA.
- Corrección del factor de potencia: Si no se actúa sobre el factor de potencia es muy probable que el transformador trabaje un 10 % por encima de la demanda real en kW.

Estas medidas requieren inversión, dicha inversión se recuperará en un corto espacio de tiempo. Lo más adecuado es utilizar varias combinaciones de medidas de gestión y combinación de carga eléctrica. El cliente tendrá que cubrir los costos de cada medida pero conseguirá un ahorro significativo en la compra de la energía.

La planta de cobre es un proceso productivo en el que alrededor del 83% de los gastos por consumo están relacionados con la energía eléctrica.

La capacidad de fusión es en muchos casos el cuello de botella de la producción final. Esto puede ser observado como una escasez de la tasa efectiva de fusión. La idea central es no tener potencia disponible en exceso ya que actúa negativamente sobre la productividad y dificulta la parte operativa debido al incremento del calor.

IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

El proceso de fundición a través del cual se produce alambro de cobre registra un alto consumo de energía eléctrica debido a la naturaleza del horno (inducción), este consumo de energía representa cerca del 83% de los gastos. La planta cuenta con tres (3) inductores encargados de proporcionar el calor suficiente para fundir los cátodos de cobre.

En la planta de **Procables** se ha detectado que independientemente del alto consumo debido a las exigencias del proceso, existen procedimientos que incrementan de manera notoria el consumo energético, afectando el costo unitario del producto.

Entre los aspectos que inciden en el incremento del costo del producto, se destacan:

- El factor de potencia bajo el cual trabaja cada inductor.
- El flujo de corriente hacia los inductores no está automatizado esto conlleva a un uso ineficiente de la energía.
- Paradas continuas debido a la ausencia de materia prima.
- Trabajar la máquina fuera del punto de máxima eficiencia.
- No se han ejecutado mejoras en la planta de acuerdo a los avances del proceso a nivel mundial.

Los factores antes expuestos, paulatinamente han afectado de manera negativa a la empresa desde el punto de vista de la productividad. Han afectado también el uso razonable de la energía el cual exige la menor cantidad posible por razones económicas pero sobre todo por usar la energía estrictamente necesaria para cada caso ya que esto favorece a la conservación de nuestro principal hábitat el universo. No obstante, hasta el presente no se han realizado estudios profundos alrededor de la eficiencia energética de estos hornos, y constituye el problema que se trata en el presente trabajo.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Calcular la eficiencia, las pérdidas, e identificar medidas para mejorar la eficiencia.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la energía no asociada a la producción.
- Determinar las pérdidas a través de las paredes de los hornos (fundición y mantenimiento).
- Calcular la eficiencia térmica.
- Presentar propuesta de medidas para mejorar la eficiencia.

JUSTIFICACIÓN

En la planta de fundición de cobre correspondiente a la empresa productora de cables conductores eléctricos **Procables S.A**, actualmente se tiene una oportunidad de gestionar el uso razonable de la energía debido a los niveles altos de consumo registrados y a la necesidad de darle un manejo adecuado a los recursos. Lo anterior hace bastante atractiva la idea de desarrollar la investigación y el análisis de estos temas, mirándolos como una oportunidad de innovación empresarial que permita ahorros económicos significativos e implementar un sistema laboral donde se tenga siempre presente el uso **RAZONABLE DE LA ENERGÍA**.

1. MARCO ORGANIZACIONAL

1.1. MARCO TEÓRICO

Las siguientes definiciones y/o aclaraciones, están ajustadas a este proceso en particular.

ALAMBRÓN: Producto que se obtiene a través del proceso de laminación o colada continua. Pueden ser de sección maciza redonda, elíptica o poligonal, de diámetro nominal no inferior a 5 mm, presentado en rollos.

Figura 1. Gráfico rollo de alambón de cobre ($\varnothing 9.52\text{mm}$)



EMBOBINADOR (COILER): Parte de la máquina en la que se recoge el alambρόn a una velocidad de 3m/min aproximadamente.

Figura 2. Gráfico sistema enrollador



CATODO: Es la materia prima en forma de láminas las cuales deben cumplir unas exigencias mínimas de acuerdo a las normativas relacionadas con los cables conductores.

Figura 3. Gráfico cátodos de cobre (materia prima)



Los cátodos deben cumplir las siguientes características para ser usados como materia prima en la fabricación de conductores eléctricos:

Figura 4. Gráfico características de la materia prima

 PAGINA 1 DE 2	FICHA TÉCNICA CÁTODO DE COBRE ELECTROLITICO	CODIGO	11-114102-00-10
		REVISIÓN	0.0
		FECHA DE TIMA	2010-03-05
TITULO: FICHA TECNICA, CATODO DE COBRE ELECTROLITICO			

1. PROPIEDADES CATODO DE COBRE ELECTROLÍTICO

1.1. PROPIEDADES QUIMICAS

Contenido de Cobre: 99.95% mínimo (incluido la Plata / Ag)

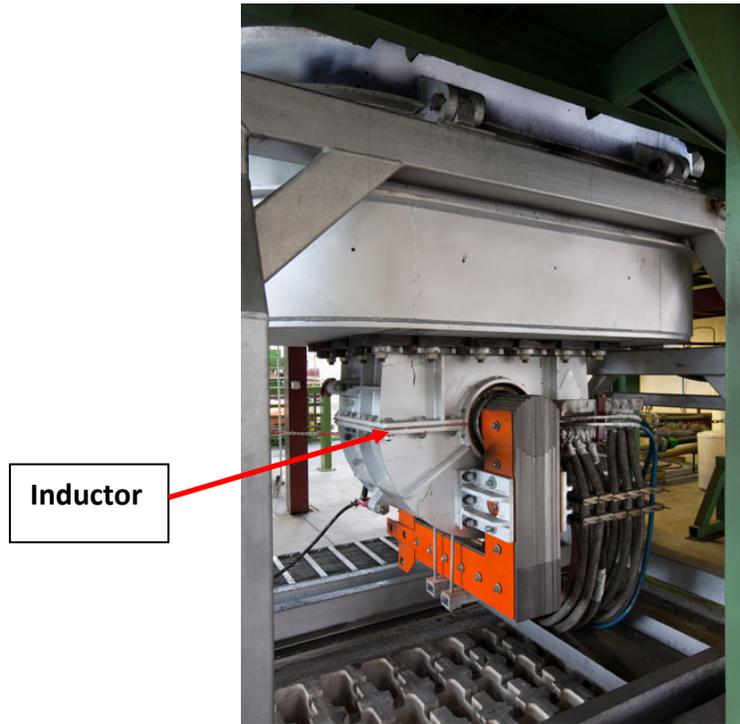
El contenido de impurezas en los cátodos de cobre electrolítico, no debe exceder a los máximos especificados a continuación.

Grupo	Elemento	Símbolo	%	Partes por millón, ppm
1	Selenio	Se	0.0002	2
	Telurio	Te	0.0002	2
	Bismuto	Bi	0.0001	1
	Total máximo grupo 1	-	0.0003	3
2	Cromo	Cr	*	*
	Manganeso	Mn	*	*
	Antimonio	Sb	0.0004	4
	Cadmio	Cd	*	*
	Arsénico	As	0.0005	5
	Fósforo	P	*	*
	Total máximo grupo 2	-	0.0015	15
3	Pomo	Pb	0.0005	5
4	Azufre	S	0.0015	15
5	Hierro	Fe	0.0010	10
	Níquel	Ni	0.0010	10
	Estaño	Sn	0.0005	5
	Silicio	Si	*	*
	Cinc	Zn	*	*
	Cobalto	Co	*	*
		Total máximo grupo 5	-	0.0020
6	Plata	Ag	0.0025	25
7	Oxígeno	O	0.0070	70
*	Total máximo permitido, de todas las impurezas de la tabla, excluyendo el Oxígeno	-	0.0065	65

REVISADO POR: INGENIERIA DE PRODUCTO	APROBADO POR: COORDINADOR CONTROL DE CALIDAD
FIRMA: 	FIRMA: 

INDUCTOR: Elemento alimentado eléctricamente. Es el encargado de suministrar la energía calorífica para fundir los cátodos.

Figura 5. Gráfico inductor



HORNO DE INDUCCIÓN: Es el horno principal donde se realiza el proceso de fusión, la fuente de calor proviene de dos inductores. Trabaja a una temperatura interna de 1170°C.

Figura 6. Gráfico horno de inducción



HORNO DE MANTENIMIENTO O SOSTENIMIENTO: El horno de mantenimiento es el encargado de proporcionar el calor necesario para sostener la temperatura del cobre fundido en el rango permitido por el proceso (entre 1135 y 1170).

Figura 7. Gráfico horno de sostenimiento



PROCESO DE COLADA CONTINUA: La figura 7 nos muestra una línea de colada A la izquierda, la máquina de carga que alimenta con cátodos de cobre al horno de fundición, un horno de inducción del tipo canal. Una porción del metal fundido es transferida cada cierto tiempo, a través de un canal de transferencia, a un horno de mantenimiento, también de inducción del tipo canal. La máquina de colada propiamente dicha se encuentra sobre el horno de mantenimiento. La colada de alambra se inicia con la inmersión del arreglo matriz-enfriador en el metal fundido hasta una profundidad de aproximadamente 10cm. Esto crea una presión metalostática que fuerza al cobre fundido a fluir al interior de la matriz de grafito. El cobre entonces se solidifica contra la superficie interna de dicha matriz.

En un movimiento continuo de tipo “para y sigue”, el alambroón es alado hacia arriba, fuera de la máquina de colada, por medio de ejes de tracción accionados por servomotores, y es guiado hasta los bobinadores.

Figura 8. Gráfico proceso de colada continua



FUNDICIÓN POR INDUCCIÓN: La energía requerida para el calentamiento y fundición de los cátodos y para el mantenimiento del metal fundido se obtiene a partir de inductores de canal. Un inductor es la manera más eficiente de transformar energía eléctrica en calor para fundir el cobre. Un inductor consiste en:

- Una carcasa refrigerada por aire o agua, que puede ser desconectada del cuerpo del horno.
- Un canal dentro del cual fluye el cobre fundido y actúa como una bobina secundaria.

- Cobertura refractaria del área del canal. Este material refractario está hecho usualmente a base de silicio. Una bobina primaria y su núcleo magnético, que al ser alimentada eléctricamente induce elevadas corrientes en el canal.

Un inductor de canal calienta directamente el cobre fundido del horno, sin barreras intermedias, siendo por lo tanto la manera más eficiente desde el punto de vista energético de fundir eléctricamente metales. Una regulación precisa de la temperatura es lograda de la misma manera. Ya que la fluctuación en la temperatura del baño (metal fundido) puede afectar la solidificación, el control de temperatura es muy importante, no solo por economía de la energía, sino también con respecto a la calidad del alambión.

Muchas zonas industriales, particularmente en Asia y América del Sur, sufren fluctuaciones de voltaje en las líneas de acometida. Una característica especial de las nuevas líneas UPCAST® es que son equipadas con una herramienta de optimización de la potencia, la cual elimina el efecto de las fluctuaciones de voltaje de la acometida. El productor puede fijar los parámetros necesarios en el cuarto de control; el control de proceso de la línea UPCAST® ajustará automáticamente las tomas de los transformadores de manera que la potencia para la fundición permanezca al nivel requerido, permitiendo capacidad plena de producción en todo momento. Esto también asegura una temperatura constante del baño.

SISTEMAS DE DOS HORNOS PARA CAPACIDADES MAYORES: El sistema de dos hornos para capacidades mayores (>6000 Ton hasta 30000Ton) consta de un horno de fundición y un horno de mantenimiento. Ambos hornos están equipados con inductores para proveer la energía para fundir el cobre y mantenerlo fundido respectivamente.

Un canal de transferencia sellado, que no permite la entrada de aire, conecta los dos hornos. Un gas de protección (N₂ o CO) previene la oxidación atmosférica. La

máquina de colada es operada por un sistema servomotor controlado por computadora, que dirige los movimientos del eje de tracción. Esto esencialmente le da al alambón el movimiento requerido para una solidificación adecuada contra la superficie de la matriz de grafito.

ASPECTOS METALÚRGICOS DEL UPGAST: Los cátodos cargados como materia prima en el horno de fundición (de los sistemas de dos hornos) o en la cámara de fundición del horno combinado de fundición/colada (en los sistemas de un solo horno) contienen una concentración de oxígeno en el rango de 10 a 50 ppm. Este oxígeno es reducido en el horno por una cobertura de carbón vegetal que se encuentra sobre el baño. Se requiere un tiempo largo de residencia del metal, ya que la remoción de oxígeno del baño por parte del carbón o escamas de grafito es un proceso químicamente complejo que involucra la transferencia de masa, la cual requiere tiempo. Una gran masa de cobre también minimiza las variaciones de temperatura durante la carga de cátodos y asegura un baño más homogéneo. El tamaño de los hornos de fundición de los sistemas de dos hornos varía entre 7 y 24 toneladas de cobre fundido.

Los hornos están recubiertos con ladrillos de alta alúmina y duran varios años. La vida del recubrimiento del inductor en el horno de fundición es típicamente un año, y más larga en el horno de mantenimiento. Esta longevidad se debe a las reacciones químicas que ocurren en el recubrimiento del refractario durante el proceso de arranque. El metal fundido penetra el material base por capilaridad y difusión de estado sólido. Esto puede ocurrir sólo en un recubrimiento fresco, y por tanto poroso, y sucede durante el arranque del horno.

El sistema UPGAST® provee un baño de la más alta pureza, haciendo de su alambón una materia prima muy adecuada para la manufactura de los productos más exigentes. Alambres que se originan a partir de este material han sido trefilados de manera continua hasta 0.015-0.020 mm (15 – 20 μ m) en la

producción de por ejemplo alambres esmaltados ultra finos; y hasta 0.001 mm (1 μ m) en la manufactura de superconductores de baja temperatura.

INDUCTORES DE CANAL: La fundición de los cátodos de cobre se lleva a cabo en el horno combinado (líneas de un horno) o en el horno de fundición (líneas de dos hornos). Los hornos combinados son de cielo abierto y están divididos en dos cámaras por una pared longitudinal, una de fundición y otra de espera. Esta pared está abierta en el fondo, de manera de permitir el flujo libre de metal entre las dos cámaras. La colada se lleva a cabo desde la cámara de espera sumergiendo enfriadores con sus respectivos moldes dentro del baño de metal que se encuentra recubierto de grafito en escamas, de manera de quemar el oxígeno proveniente de los cátodos y proteger el baño de los gases atmosféricos.

Los hornos de fundición son de tipo cerrado y típicamente de forma cilíndrica. El baño de metal está cubierto por una capa de carbón vegetal, de manera de quemar el oxígeno proveniente de los cátodos y protegerlo de los gases atmosféricos. Los cátodos son alimentados a través de una puerta deslizante, y una vez estabilizado el baño, el metal es transferido al horno de espera a través de un canal sellado.

Los hornos de retención utilizados en las líneas de dos hornos son de cielo abierto, y están divididos transversalmente por una pared creándose dos cámaras: la de transferencia, donde se recibe el metal fundido desde el horno de fundición, y la de retención, mayor en tamaño. La colada se lleva a cabo desde esta última cámara sumergiendo enfriadores con sus respectivos moldes dentro del baño de metal, el cual se encuentra recubierto de grafito en escamas, de manera de quemar el oxígeno proveniente de los cátodos y proteger el baño de los gases atmosféricos.

CARGA DE CÁTODOS EN UNIDADES DE DOS HORNOS: Este tipo de carga se conoce con el nombre de Jib consta de un brazo rotatorio con un plato de succión en un extremo. Después de tomar un cátodo del atado, el brazo rota para colocarlo en una mesa de carga basculante. Es posible colocar más de un cátodo a la vez en la mesa de manera de cargarlos simultáneamente al horno de fundición.

Figura 9. Gráfico sistema de carga



TRANSFERENCIA DE METAL FUNDIDO: Costos de producción inferiores y un mayor nivel de calidad en los productos colados pueden ser logrados utilizando el sistema de transferencia automático.

En esta línea el horno de fundición y espera están conectados por un canal sellado corto, a través del cual se transfiere metal fundido por lotes mediante la basculación hidráulica del horno de fundición. Esta operación es llevada a cabo automáticamente por el sistema de control de proceso.

Asociando la carga de cátodos automática con la transferencia automática, el flujo de entrada y salida de masa al horno de fundición puede ser optimizado y acompasado de manera regular, ahorrando de esta manera en costos de producción y mejorando la calidad del metal colado

MÁQUINA DE COLADA: Las máquinas de colada son sistemas multi-línea que tienen enfriadores individuales para cada una de ellas. Mientras más alta sea la capacidad de producción, mayor será el número de líneas a utilizar. Los enfriadores son fijados a la máquina de tracción localizada encima del horno.

Figura10. Gráfico máquina de colada



COLANDO DIFERENTES TAMAÑOS DE ALAMBRÓN: Es posible colar diferentes tamaños de alambón/tubo simultáneamente. Cambiar de un producto a otro requiere tan sólo del cambio de enfriadores y la escogencia del programa de colada adecuado en el ordenador que controla al sistema servomotor. Naturalmente, puede haber más de un servomecanismo en una máquina de tracción, lo que permite colar simultáneamente diferentes tamaños de alambón.

AJUSTANDO FÁCILMENTE LA PAUTA DE PRODUCCIÓN: Aunque cada sistema servo maneja varias líneas, éstas son independientes unas de otras. La remoción o adición de enfriadores no interfiere la colada de las otras líneas, lo que otorga alta disponibilidad de proceso. Los ajustes diarios en la pauta de producción pueden realizarse fácilmente variando el número de líneas en operación.

FACTOR DE POTENCIA: El factor de potencia se define como el cociente de la relación de la potencia activa entre la potencia aparente.

La energía total (Aparente) tomada de la red está compuesta por una porción de energía que es realmente consumida (Activa) y otra porción que no es consumida (Reactiva). Las proporciones de energía Activa y Reactiva que se utilizan, determinan la condición del usuario frente a las empresas de suministro. Para evaluar estas proporciones de energía con respecto a la total o Aparente, se utiliza un coeficiente denominado Factor de Potencia (también muy conocido como Coseno Phi). El valor ideal del factor de potencia es uno, esto indica que toda la energía consumida por los equipos se ha transformado en trabajo.

$$\text{FACTOR DE POTENCIA} = \text{POTENCIA ACTIVA} / \text{POTENCIA APARENTE}$$

POTENCIA APARENTE: De la expresión anterior se obtiene un factor que indica qué proporción de la energía Aparente está formada por energía Activa (es decir qué proporción de energía total es realmente consumida). Si no se absorbe energía Reactiva, la energía total absorbida es igual a la consumida, es decir: Energía Aparente = Energía Activa, lo que implica un Factor de Potencia = 1.

POTENCIA ACTIVA: La potencia efectiva o real es la que en el proceso de transformación de la energía eléctrica se aprovecha como trabajo.

2. GESTION ENERGETICA

2.1. INTRODUCCIÓN

Una economía abierta y globalizada, requiere de acciones encaminadas a reducir costos y aumentar la competitividad.

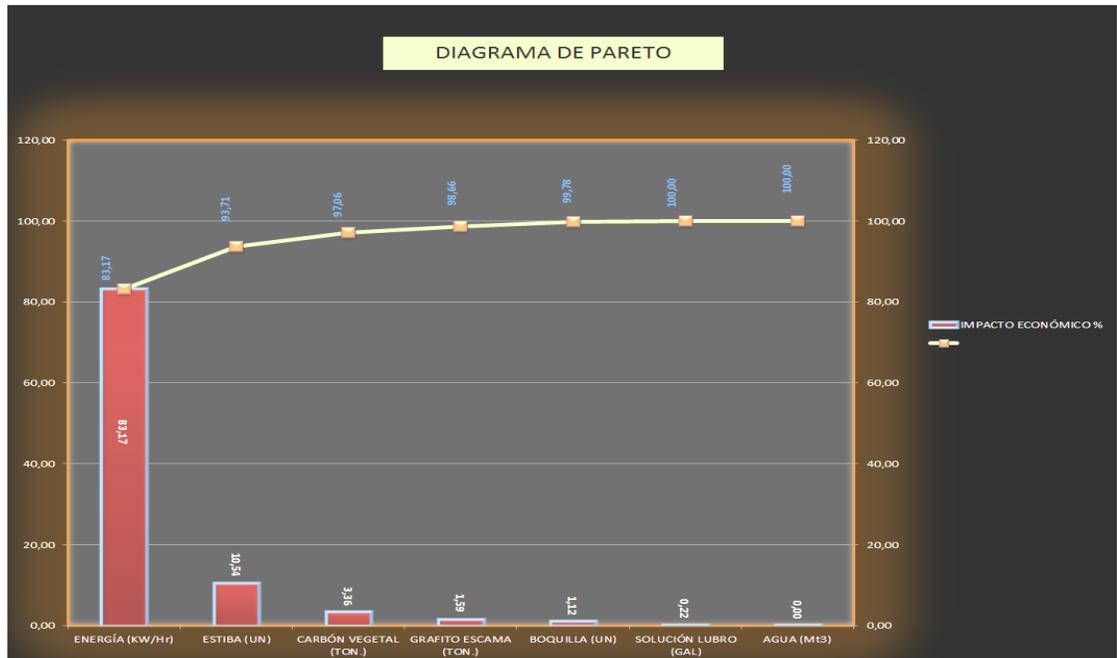
La necesidad de lograr un mayor equilibrio entre economía y medio ambiente, obliga a realizar análisis para identificar los problemas mediante la realización de diagnósticos energéticos tendientes a detectar las fuentes y niveles de pérdidas, y posteriormente definir medidas o proyectos de ahorro o conservación energética.

2.1.1. Gráfica de Pareto. En las gráficas de Pareto se representan barras que informan en orden descendente, desde la categoría mayor a la menor en unidades y en porcentaje. Los porcentajes agregados de cada barra se conectan por una línea para mostrar la suma incremental de cada categoría respecto al total. El diagrama de Pareto es muy útil para aplicar la Ley de Pareto o Ley 80 – 20, que identifica el 20% de las causas que provoca el 80%. Adicionalmente por medio de estos diagramas se logra identificar y concentrar los esfuerzos en los puntos clave de un problema o fenómeno como puede ser: los mayores consumidores de energía de la fábrica, las mayores pérdidas energéticas de la fábrica o los mayores costos energéticos de la fábrica, también se logra predecir la efectividad de una mejora al conocer la influencia de la disminución de un efecto al reducir la barra de la causa principal que lo produce y por último se puede determinar la efectividad de una mejora comparando Pareto anterior y posterior a la mejora.

Tabla 1. Insumos generales en el año 2010.

PRODUCCIÓN TOTAL DE COBRE AÑO 2010: 4565 TON.					
CONSUMO	ACUMULADO-2010	CONSUMO ENTRE UNIDAD PRODUCIDA	COSTO UNITARIO CONSUMO (PESOS)	COSTO TOTAL CONSUMO (PESOS)	IMPACTO ECONÓMICO %
ENERGÍA (KW)	2.538.740,00	556,094	297,77	755.960.609,80	83,17
ESTIBA (UN)	1.651,00	0,362	58.000,00	95.758.000,00	10,54
CARBÓN VEGETAL (TON.)	69,00	0,015	442.190,00	30.511.110,00	3,36
GRAFITO ESCAMA (TON.)	3,00	0,001	4.828.000,00	14.484.000,00	1,59
BOQUILLA (UN)	670,00	0,147	15.209,00	10.190.030,00	1,12
SOLUCIÓN LUBRO (GAL)	68,00	0,015	29.832,00	2.028.576,00	0,22
AGUA (Mt3)	2.453,00	0,001	2.485,60	3.387,32	0,00
CONSUMO TOTAL				\$ 908.932.326	100,00

Figura 11. Gráfico de Pareto consumo de la máquina.



Por medio de la figura 11 y la tabla 1, se determina el tipo de consumo que más impacta dentro del proceso de producción, por lo tanto se convierten en las áreas de interés para la realización de este proyecto y serán analizadas más detalladamente a continuación.

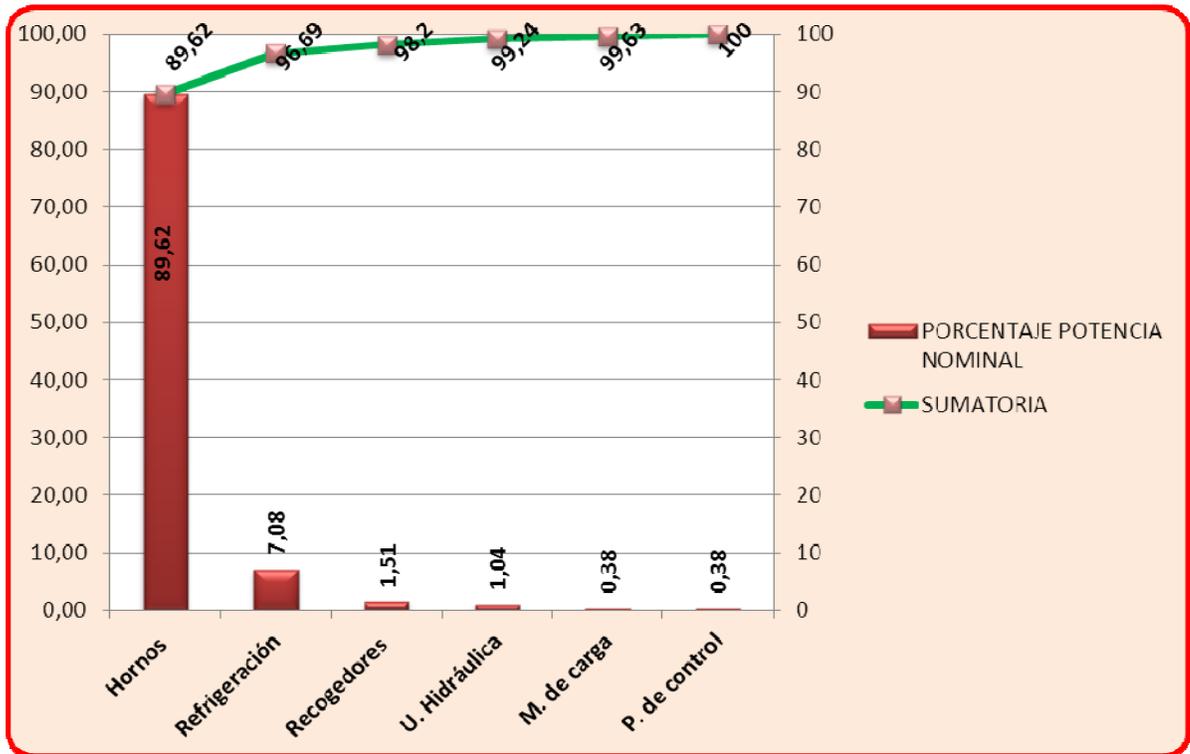
2.1.2. Estratificación. Por medios de la estratificación se logra identificar el número mínimo de equipos que provocan la mayor parte de los consumos totales equivalentes de energía en la empresa.

En este proyecto se identifican la potencia nominal:

Tabla 2. Potencia nominal por equipos

EQUIPO	POTENCIA NOMINAL (KW)
Hornos	950
Sist. refrigeración	75
Recogedores dobles	16
Unidad Hidráulica	11
Máquina de carga	4
Panel de control	4

Gráfico 12. Estratificación de la potencia nominal por equipos.



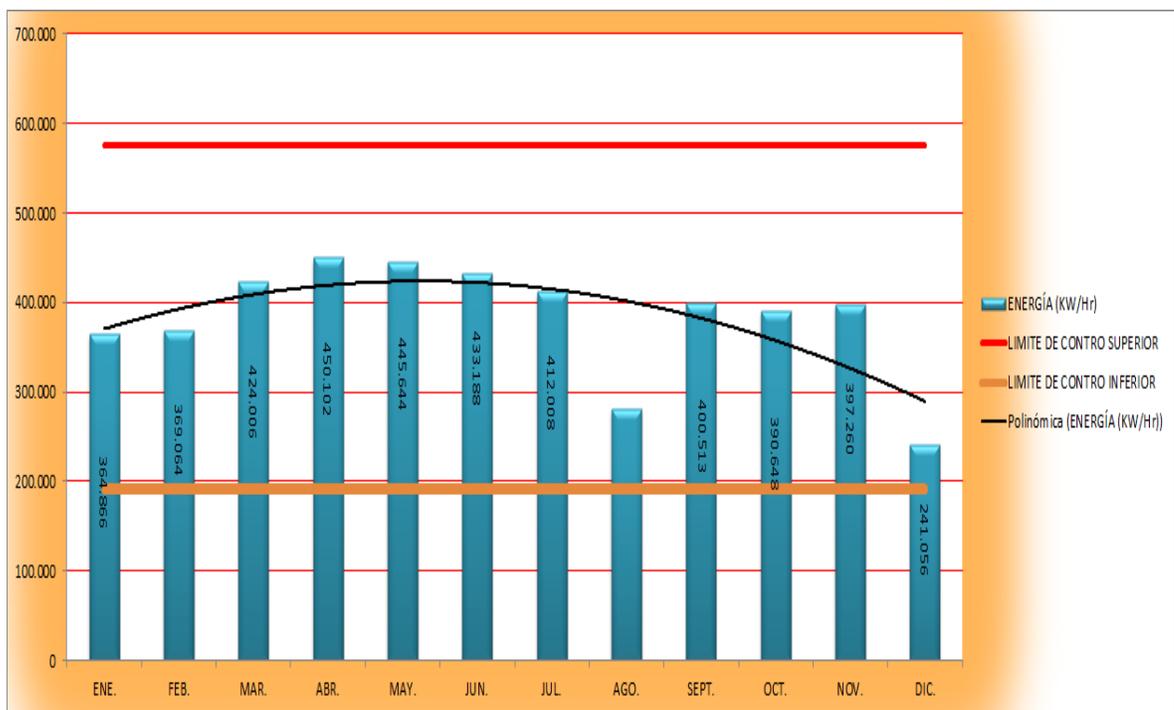
Como se ve en la figura 12 y la tabla 2, el equipo de mayor consumo son los Hornos, por lo tanto estos equipos son los de mayor interés y se les estará prestando una atención especial de acuerdo a las características relacionadas con la gestión energética.

2.1.3. Gráficos de Control. Los gráficos de control son diagramas lineales que permiten observar el comportamiento de una variable en función de ciertos límites establecidos. Este es nuestro instrumento de autocontrol y resultan muy útiles como complemento a los diagramas causa y efecto “Pareto”, para detectar en cuales fases del proceso analizado se producen las alteraciones.

Tabla 3. Datos de control para gráficas

Mes	Consumo KW	Desviación Estándar	Consumo Promedio	Límite de control superior	Límite de control inferior
Enero	364.866	64.086	384.081	576338,7	191822,7
Febrero	369.064	64.086	384.081	576338,7	191822,7
Marzo	424.006	64.086	384.081	576338,7	191822,7
Abril	450.102	64.086	384.081	576338,7	191822,7
Mayo	445.644	64.086	384.081	576338,7	191822,7
Junio	433.188	64.086	384.081	576338,7	191822,7
Julio	412.008	64.086	384.081	576338,7	191822,7
Agosto	280.613	64.086	384.081	576338,7	191822,7
Septiembre	400.513	64.086	384.081	576338,7	191822,7
Octubre	390.648	64.086	384.081	576338,7	191822,7
Noviembre	397.260	64.086	384.081	576338,7	191822,7
Diciembre	241.056	64.086	384.081	576338,7	191822,7

Figura 13. Gráfico control del consumo de energía



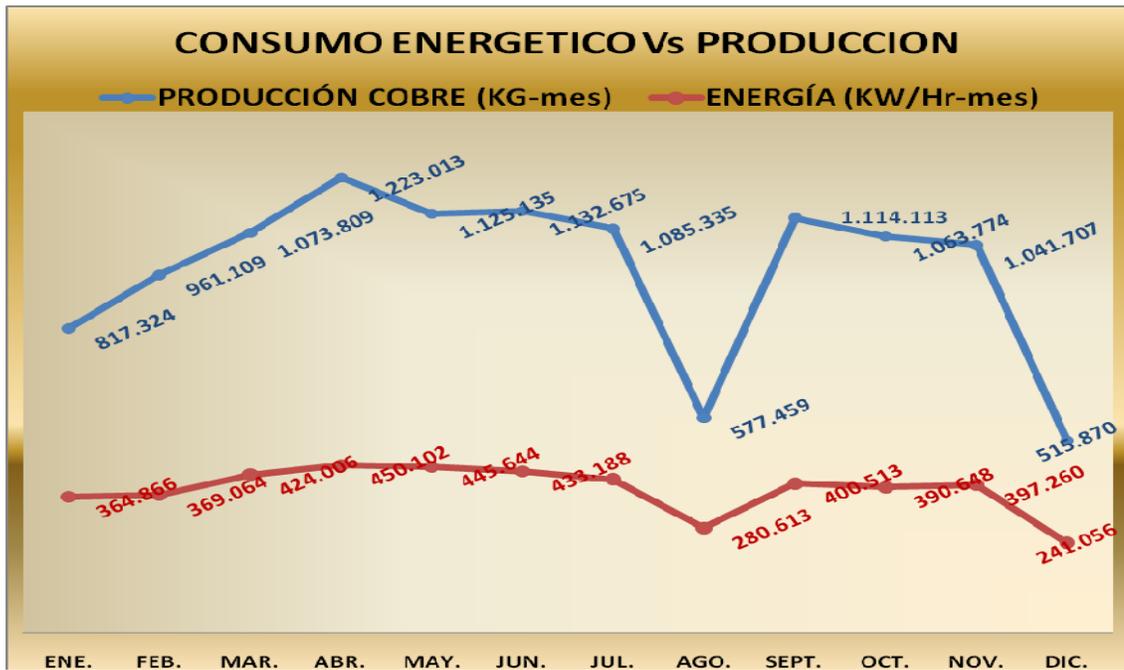
En la figura 13 se observa que la variable consumo se encuentra dentro de los límites de control. No existen comportamientos de esta variable que indiquen está fuera de control. Si alguno de los puntos estuviera fuera de los límites establecidos, deberá analizarse para ese mes en particular.

2.1.4. Gráfico de consumo y producción en el tiempo. (E – P vs. T). El presente gráfico muestra la variación simultánea del consumo energético con la producción realizada en el tiempo.

Tabla 4. Variación relativa de la producción y el consumo en el tiempo

MES	CONSUMO KW	% VARIACION	PRODUCCION DE COBRE	% VARIACION	OBSERVACION
Enero	364.866		817.324		REVISAR
Febrero	369.064	1,15	961.109	17,59	OK
Marzo	424.006	14,89	1.073.809,00	11,73	OK
Abril	450.102	6,15	1.223.013,00	13,89	OK
Mayo	445.644	-0,99	1.125.135,00	-8,00	OK
Junio	433.188	-2,80	1.132.675,00	0,67	OK
Julio	412.008	-4,89	1.085.335,00	-4,18	OK
Agosto	280.613	-31,89	577.459,00	-46,79	REVISAR
Septiembre	400.513	42,73	1.114.113,00	92,93	OK
Octubre	390.648	-2,46	1.063.774,00	-4,52	OK
Noviembre	397.260	1,69	1.041.707,00	-2,07	OK
Diciembre	241.056	-39,32	515.870,00	-50,48	OK

Figura 14. Gráfico de consumo y producción en el tiempo



La utilidad de los gráficos E-P vs. T, radica en la muestra de períodos en que se producen comportamientos anormales de la variación del consumo energético con respecto a la variación de la producción. Permiten identificar causas o factores que producen variaciones significativas de los consumos.

- En el mes de Enero del año 2006 se detectó un comportamiento anómalo de ahorro de energía eléctrica eficiente ya que decreció la producción un 17,59 % con respecto al mes de febrero y el consumo de energía eléctrica sólo se redujo un 1.15 % por lo tanto en este periodo se revisará detalladamente para implementar medidas que permitan generar ahorro de energía.
- En el mes de Agosto del año 2006 se detectó el más significativo comportamiento anómalo de ahorro de energía eléctrica eficiente ya que decreció la producción un 46,79 % con respecto al mes anterior y el consumo

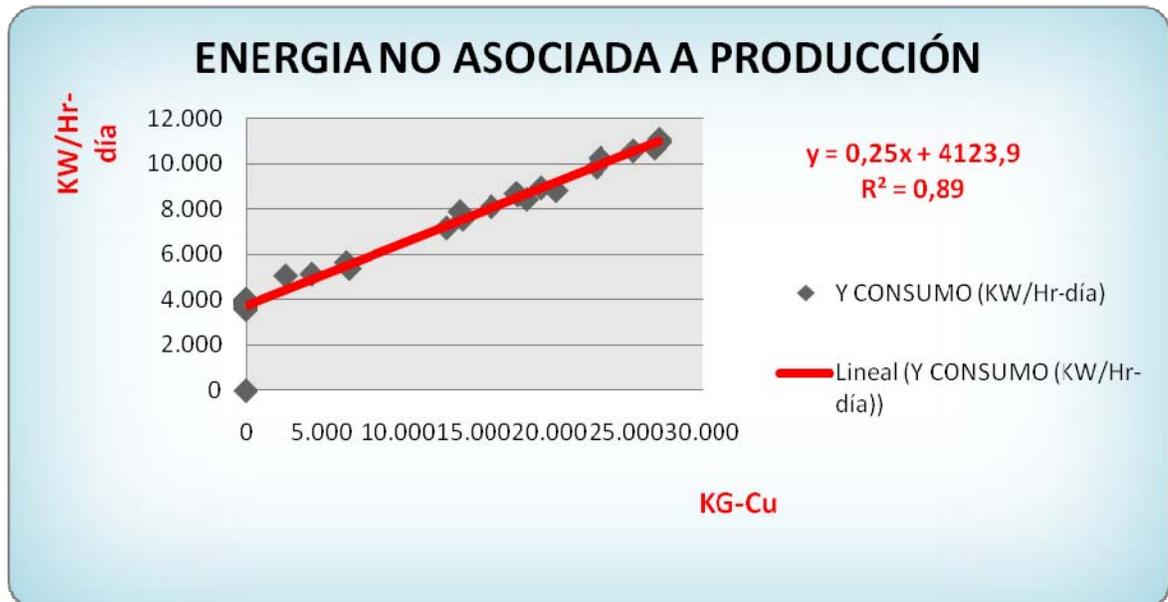
de energía eléctrica solamente un 31.89 % este resultado también será revisado con el propósito de implementar medidas que permitan generar ahorro de energía.

- En el mes de septiembre del año 2006 se detectó un comportamiento excelente de ahorro de energía eléctrica ya que la producción se incrementó un 92.93 % con respecto al mes anterior, por su parte el consumo de energía eléctrica registró un incremento de 42.73 % por lo tanto en este periodo realizaron actividades que beneficiaron el aumento de ahorro energético y que hay que tener en cuenta para implementar posteriormente.

2.1.5 Gráfico de consumo – producción (E vs. P). Por medio de este diagrama se determina en qué medida la variación de los consumos energéticos se debe a variaciones de la producción. También se determina cuantitativamente el valor de la energía no asociada a la producción e identifica el modelo de variación promedio de los consumos respecto a la producción.

Este gráfico de E vs. P puede realizarse por tipo de portador energético, y por áreas, considerando en cada caso la producción asociada al portador en cuestión.

Figura 15. Gráfico de consumo y producción (E vs P)



De la figura 15 se obtiene la ecuación de la línea de tendencia la cual relaciona producción y consumos. Por medio de la ecuación se puede predecir, el comportamiento del consumo de energía eléctrica para una producción determinada.

El índice de correlación es 0,89 lo que indica que hay una buena relación entre estos parámetros, por lo tanto la ecuación se tiene en cuenta para observar el comportamiento del consumo respecto a la producción.

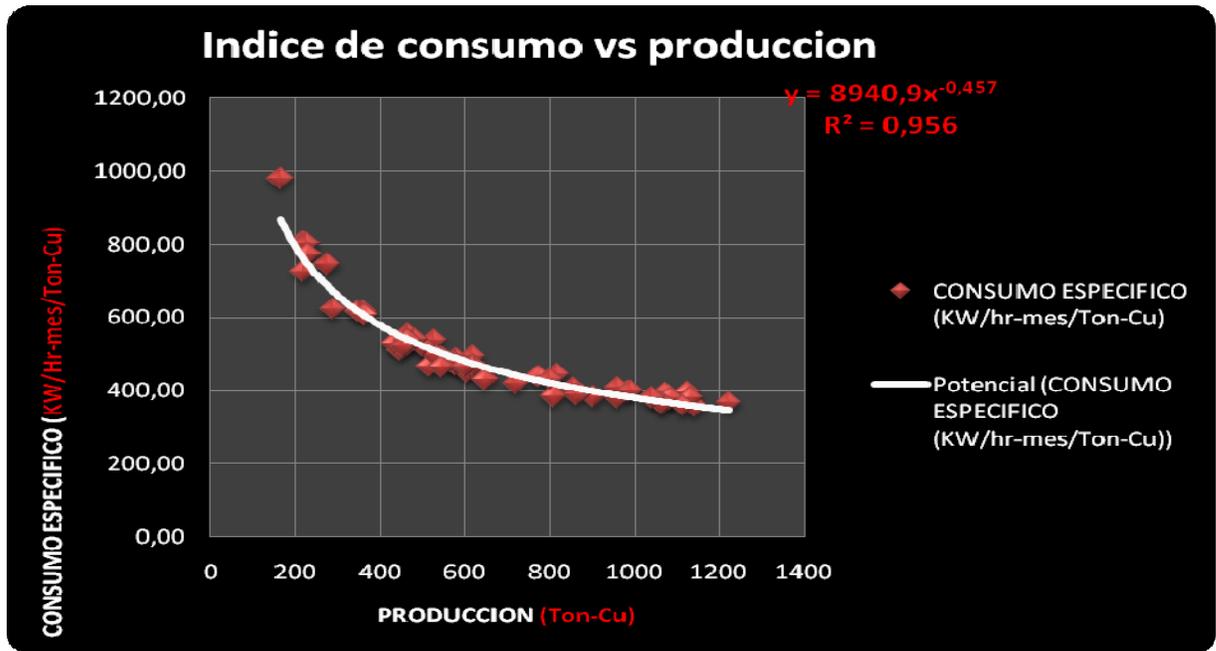
La energía no asociada a la producción es de 4,123.9 KW/hr-día lo cual es muy significativo e indica que se están presentando pérdidas en un alto porcentaje, lo anterior obliga a tomar medidas para lograr reducir esta energía no asociada.

A continuación se presentan las causas de la energía no asociada al proceso productivo de la máquina, como principal consumidor de energía no asociada están los hornos de fundición y de sostenimiento.

- Los hornos de fundición y sostenimiento son los principales consumidores de energía, debido al diseño de los mismos la máquina en cero producción requiere de un alto consumo de energía para mantener el metal fundido y evitar daños en los inductores.
- Energía usada en el sistema de refrigeración. Las bombas para enfriamiento de los inductores deben permanecer prendidas las 24 horas del día aun sin producción. De esta manera las bombas generan un consumo eléctrico que no está asociado a la producción.
- Energía perdida en escapes de aire comprimido y sistema de refrigeración: Por deficiencia en los sistemas de distribución se presentan pérdidas significativas que se suman a la energía no asociada a la producción, en este caso se puede sugerir varias acciones correctivas.
- Iluminación de planta: La planta física en general requiere permanecer iluminada en horas de producción y en horas de no producción por lo tanto esto se convierte en un consumo adicional que no está relacionado con la producción.

2.1.6. Gráfico Índice de consumo – producción (IC vs P). El siguiente gráfico se utiliza para establecer sistemas de gestión energética y estandarizar procesos productivos. Se puede identificar el punto crítico donde el consumo no varía significativamente respecto a la producción. Valores de IC por debajo de la curva teórica indican un incremento de eficiencia del proceso. También permite establecer las metas de reducción del índice, proyectándolas para el próximo periodo y a su vez poder realizar un seguimiento y controlar su cumplimiento.

Figura 16. Gráfico de consumo específico

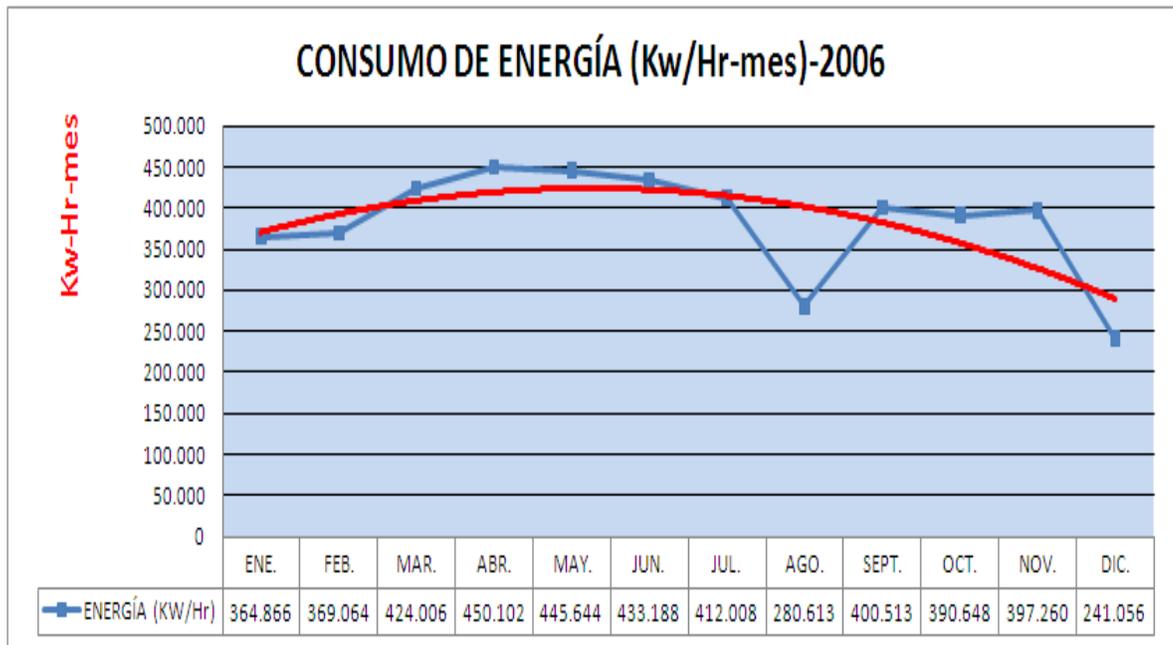


En la figura 16 se observa que el índice de consumo varía entre 358 y 980 Kw-hr-mes/Ton-Cu, además muestra que la empresa tiene niveles de producción por debajo del punto crítico. Este punto crítico está cerca a las 808 toneladas de Cu, la de producción por debajo del punto crítico hace el proceso ineficiente, la productividad disminuye significativamente ya que se incrementa el índice de consumo y la energía no asociada a la producción.

2.1.7 Gráfico de tendencia o de sumas acumulativas (CUSUM). Este gráfico se utiliza para monitorear la tendencia de la máquina en cuanto a la variación de sus consumos energéticos, con respecto a un período base. A partir de este gráfico también puede determinarse cuantitativamente la magnitud de la energía que se ha dejado de consumir o se ha consumido en exceso con relación al comportamiento del periodo base hasta el momento de su actualización. La utilidad de este tipo de gráfico radica en conocer la tendencia real de la empresa en cuanto a variación de los consumos energéticos, compara la eficiencia

energética de períodos con diferentes niveles de producción, y evalúa la efectividad de las medidas de ahorro de energía.

Figura 17. Gráfico de tendencia del consumo de energía



En la figura 17 se observa un incremento de energía eléctrica entre los meses de Febrero a Abril, de Abril a Junio permanece estable y a partir de entonces comienza un descenso significativo del consumo con fluctuaciones significativas.

3. EFICIENCIA TERMICA Y PERDIDAS DE CALOR

La tabla 5 Registra los datos recolectados del tiempo, temperatura y el consumo en Kw/hr. Estos valores serán útiles para realizar los gráficos de perfil de temperatura y producción.

Los datos fueron tomados trabajando la planta con 14 líneas a una velocidad promedio de 3mt/min.

Tabla 5. Perfil de temperatura con producción normal 14 líneas

PERFIL DE TEMPERATURA INDUCTORES 1 Y 2 (PRODUCCIÓN NORMAL 14 LÍNEAS)			PERFIL DE TEMPERATURA INDUCTORE 3 (PRODUCCIÓN NORMAL 14 LÍNEAS)		
HORA	TEMPERATURA °c	KW	HORA	TEMPERATURA °c	KW -
12:00	1167		12:00	1142	
12:20	1156	72	12:20	1143	24
12:40	1169	156	12:40	1142	24
13:00	1145	180	13:00	1141	30
13:20	1151	132	13:20	1143	24
13:40	1154	192	13:40	1140	36
14:00	1168	72	14:00	1143	30
14:20	1130	120	14:20	1141	24
14:40	1173	108	14:40	1143	30
15:00	1155	192	15:00	1142	60
15:20	1154	48	15:20	1141	30
15:40	1167	180	15:40	1141	6
16:00	1154	108	16:00	1144	24
16:20	1162	108	16:20	1142	30
16:40	1144	144	16:40	1142	24
17:00	1174	84	17:00	1141	30
17:20	1150	144	17:20	1142	30
17:40	1164	120	17:40	1143	30
18:00	1172	144	18:00	1142	30
18:20	1158	96	18:20	1143	12

PERFIL DE TEMPERATURA INDUCTORES 1 Y 2 (PRODUCCIÓN NORMAL 14 LÍNEAS)			PERFIL DE TEMPERATURA INDUCTORE 3 (PRODUCCIÓN NORMAL 14 LÍNEAS)		
HORA	TEMPERATURA °c	KW	HORA	TEMPERATURA °c	KW
18:40	1172	132	18:40	1145	66
19:00	1163	168	19:00	1142	30
19:20	1160	96	19:20	1142	18
19:40	1170	36	19:40	1141	30
20:00	1142	132	20:00	1143	30
20:20	1178	180	20:20	1140	24
20:40	1157	120	20:40	1141	30
21:00	1137	120	21:00	1144	30
21:20	1175	120	21:20	1140	24
21:40	1147	120	21:40	1142	30
22:00	1177	144	22:00	1142	30
22:20	1157	144	22:20	1140	24
22:40	1170	168	22:40	1142	30
23:00	1158	180	23:00	1142	30

Figura 18. Gráfico del perfil de temperatura en el inductor 1

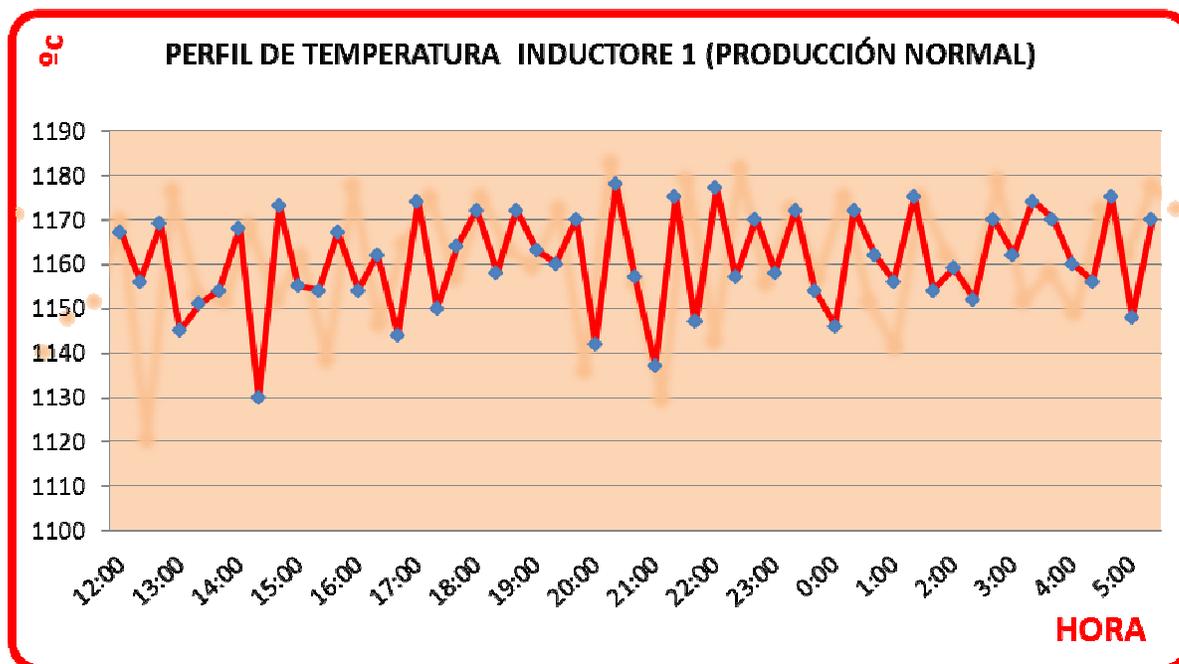


Figura 19. Gráfico de consumo de energía eléctrica en el inductor 1

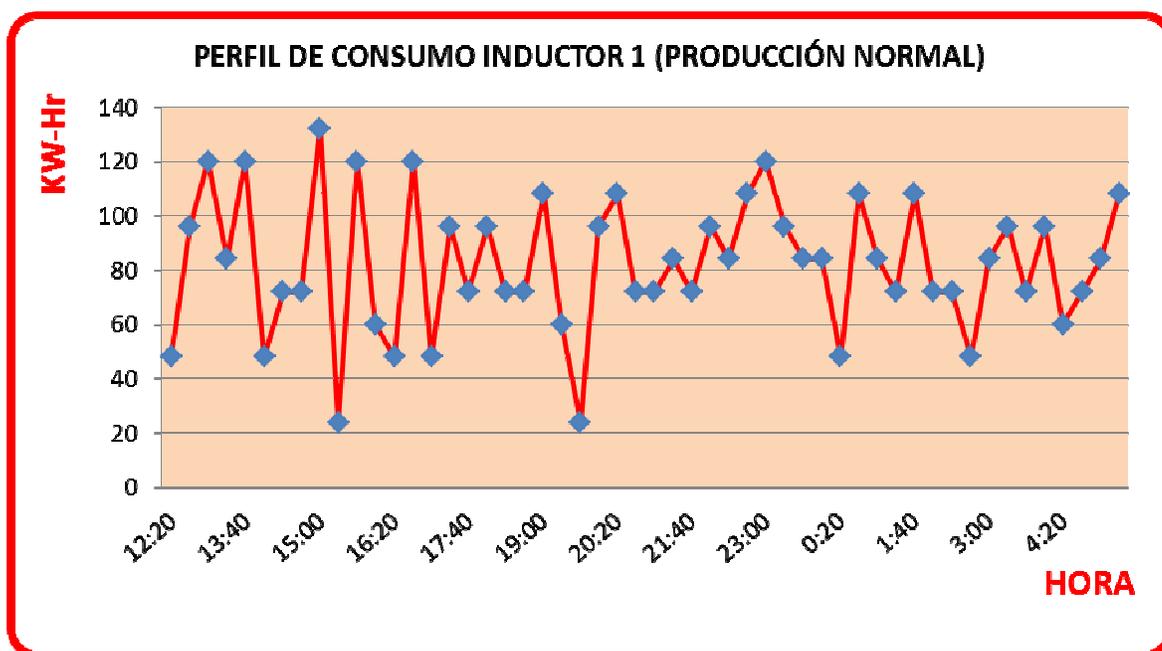


Figura 20. Gráfico del perfil de temperatura en el inductor 2

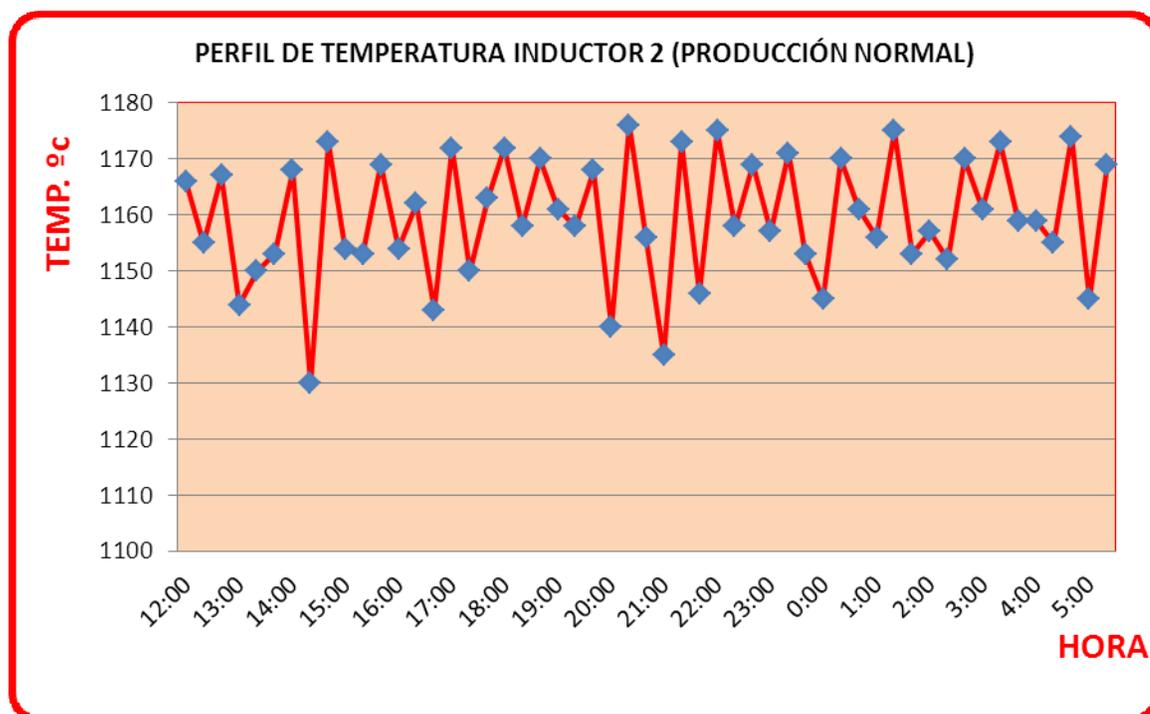


Figura 21. Gráfico de consumo de energía eléctrica en el inductor 2

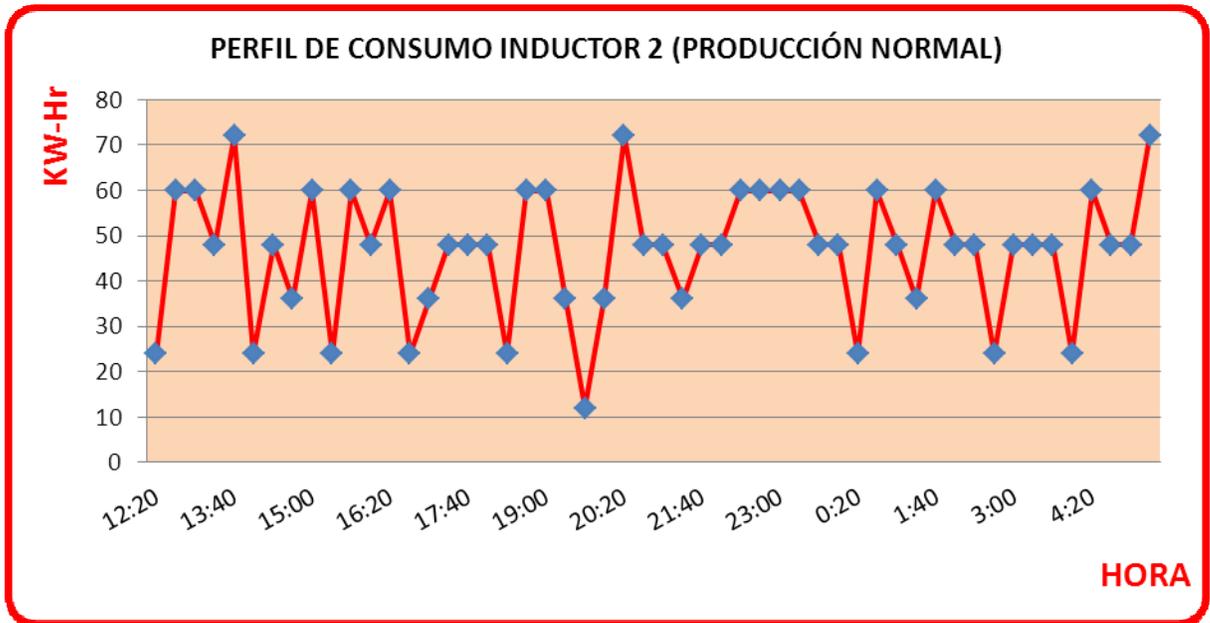


Figura 22. Gráfico del perfil de temperatura en el inductor 3

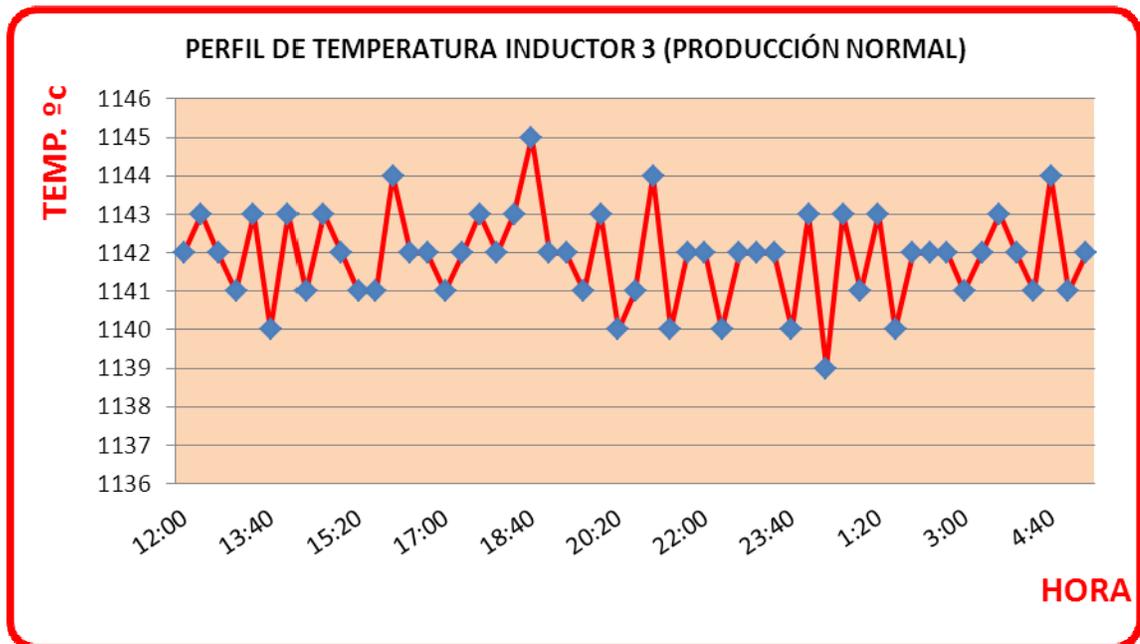
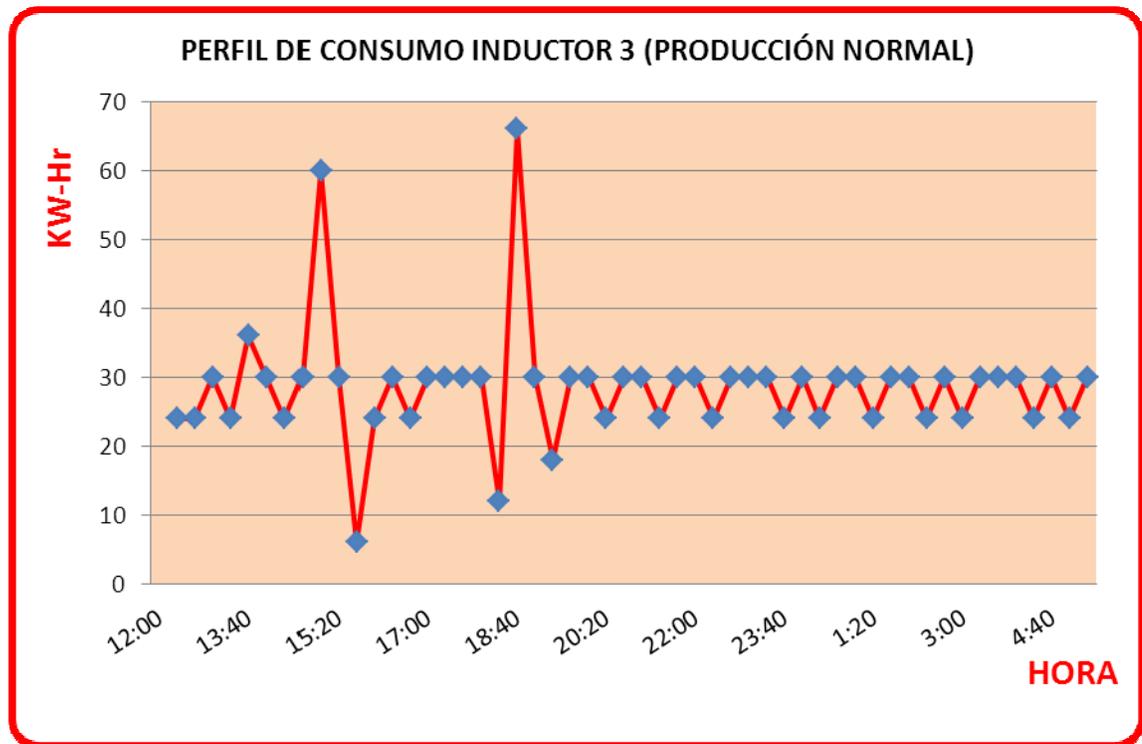


Figura 23. Gráfico de consumo de energía eléctrica en el inductor 3



En todos los gráficos de perfil de temperatura y consumo energético se notan grandes fluctuaciones en el comportamiento de cada variable, estos cambios están mostrando falencias en la parte de control encargada de monitorear el suministro de corriente eléctrica.

El caso será atendido con mayor claridad en el próximo capítulo.

Tabla 6. Consumo de energía para cada inductor

HORA	TEMP. °c	CONSUMO KW/hr (TAP-4)		
		INDUCTOR N°1	INDUCTOR N°2	INDUCTOR N°3
15:00	1169			
16:00	1169	61	60	66
17:00	1170	61	61	67
18:00	1170	61.5	61	67
19:00	1168	61	62	65
20:00	1170	62	62	68
21:00	1173	62.5	62.5	68
22:00	1174	63	63	67
HORA	TEMP. °c	CONSUMO KW/hr(TAP-3)		
		INDUCTOR N°1	INDUCTOR N°2	INDUCTOR N°3
23:00	1173	52	51	64
0:00	1169	51.5	51	65
1:00	1173	53	52	66
2:00	1170	52	52	65
HORA	TEMP. °c	CONSUMO KW/hr (TAP-2)		
		INDUCTOR N°1	INDUCTOR N°2	INDUCTOR N°3
3:00	1168	52	51	66
4:00	1166	51	50	65
5:00	1164	50	49	67
6:00	1162	49	50	65
7:00	1160	49	50	64

En la tabla 6 se encuentran consignado los datos de consumo energético, tiempo y temperatura, tomados directamente del proceso con el fin de usarlo en los cálculos de las pérdidas y la eficiencia térmica.

3.1. CÁLCULO DE LAS PÉRDIDAS

3.1.1. Cálculo de pérdida de calor por radiación en el horno de fundición.

$$Q / A = 0.174 e \left[\left(\frac{460 + T_s}{100} \right)^4 - \left(\frac{460 + T_a}{100} \right)^4 \right] \quad (\text{Ecuación 1})$$

Dónde:

Q/A = Pérdida de calor, BTU / ft² * hr.

e = Emisividad.

T_s = Temperatura de la superficie del horno, ° F.

T_a = Temperatura ambiente, ° F.

A = Área de la superficie a través de la cual se transfiere el calor, ft².

Datos obtenidos:

$T_s = 241^\circ\text{F}$.

$T_a = 98^\circ\text{F}$

$e = 0.79$

$A = 207.65\text{ft}^2$

Remplazando los respectivos valores en la ecuación 1:

$$Q / A = 0.174 * 0.79 \left[\left(\frac{460 + 241}{100} \right)^4 - \left(\frac{460 + 98}{100} \right)^4 \right] = 198.66 \text{ BTU} / \text{ft}^2 - \text{hr}$$

Al multiplicar por el área, $Q = 41,253.3 \text{ BTU/hr}$.

Teniendo en cuenta que $1\text{Kw} = 3412 \text{ BTU/hr}$, entonces

$Q = P1 = 12.1 \text{ Kw/hr}$

P1 = 12,1 Kw/hr (Perdidas por radiación en el horno de fundición)
--

3.1.2. Cálculo de pérdida de calor por convección en el horno de fundición.

$$Q / A = 0.296(\Delta t)^{1.25} \quad (\text{Ecuación 2})$$

Dónde:

Q / A = Pérdida de calor, BTU / ft² * h

Δt = Diferencia de temperatura entre la pared y aire de alrededores, ° F.

$\Delta t = (241 - 98) \text{ °F} = 162 \text{ °F}$.

$A = 207.65 \text{ ft}^2$

Al sustituir en la ecuación 2,

$$Q / A = 0.296(162)^{1.25} = 146.37 \text{ BTU} / \text{ft}^2 - \text{hr}$$

Multiplicando el resultado anterior por el área de la superficie, se obtiene el valor del calor por convección en el horno de fundición.

$Q = P2 = 146.37 \text{ BTU/ft-hr} * 207.65 \text{ ft}^2$

$P2 = 30,393.73 \text{ BTU/hr}$.

$1 \text{ Kw} = 3,412 \text{ BTU/hr}$, con esta equivalencia se hace la conversión respectiva.

$P2 = 8.9 \text{ Kw/hr}$ (Pérdida por convección en el horno de fundición)
--

Q_t , representa las pérdidas de calor.

$Q_t) 1 = P1 + P2$.

$Q_t) 1 = (12.1 + 8.9) \text{ Kw/hr}$

$Q_t)1 = 21 \text{ Kw/hr}$
--

3.1.3. Cálculo de pérdidas de calor por radiación en el horno de sostenimiento.

$$Q / A = 0.174 e \left[\left(\frac{460 + T_s}{100} \right)^4 - \left(\frac{460 + T_a}{100} \right)^4 \right] \quad (\text{Ecuación 1})$$

Datos obtenidos:

$$T_s = 284^\circ\text{F.}$$

$$T_a = 98^\circ\text{F}$$

$$e = 0.79$$

$$A = 131.48\text{ft}^2$$

Remplazando los respectivos valores en la ecuación 1:

$$Q / A = 0.174 * 0.79 \left[\left(\frac{460 + 284}{100} \right)^4 - \left(\frac{460 + 98}{100} \right)^4 \right] = 287.91\text{BTU} / \text{ft}^2 - \text{hr}$$

Al multiplicar por el área, $Q = 37,832.3 \text{ BTU/hr.}$

Teniendo en cuenta que $1\text{Kw} = 3,412 \text{ BTU/hr, entonces}$

$$Q = P_3 = 11.08 \text{ Kw/hr}$$

P3 = 11.08 Kw/hr (Perdidas por radiación en el horno de sostenimiento)

3.1.4. Cálculo de pérdidas de calor por convección en el horno de sostenimiento.

$$Q / A = 0.296(\Delta t)^{1.25} \quad (\text{Ecuación 2})$$

$$\Delta t = (284 - 98)^\circ\text{F} = 186^\circ\text{F.}$$

$$A = 131.48\text{ft}^2$$

Al sustituir en la ecuación 2,

$$Q / A = 0.296(186)^{1.25} = 83.54 \text{ BTU} / \text{ft}^2 - \text{hr}$$

Multiplicando el resultado anterior por el área de la superficie, se obtiene el valor del calor por convección en el horno de fundición.

$$Q = P4 = 83.54 \text{ BTU/ft}^2\text{-hr} * 131.48 \text{ft}^2$$

$$P4 = 10,983.83 \text{ BTU/hr.}$$

1Kw = 3,412BTU/hr, con esta equivalencia se hace la conversión respectiva.

$P4 = 3.22 \text{ Kw/hr}$ (Pérdida por convección en el horno de sostenimiento)

Qt representa las pérdidas de calor.

$$Qt) 2 = P3 + P4.$$

$$Qt) 2 = (11.08 + 3.22) \text{ Kw/hr}$$

$Qt)2 = 14.3 \text{ Kw/hr}$

Qttotal representa la sumatoria general de las perdidas.

$$Qttotal = Qt)1 + Qt)2 = (21 + 14.3) \text{ Kw/hr}$$

$Qttotal = 35.3$

3.2. EFICIENCIA TÉRMICA

3.2.1 Eficiencia térmica en el horno de fundición.

$$\eta = \frac{E.\text{entrada} - \sum \text{Pérdidas}}{E.\text{entrada}} * 100 \quad \boxed{\text{Ecuación 3}}$$

La energía de entrada ha sido tomada de acuerdo al momento en que se registraron los datos para el cálculo de las pérdidas a través de las paredes de los hornos. El valor de la energía de entrada ha sido promediado desde la tabla 6 para los inductores 1 y 2.

E. entrada = 102 Kw/hr

La sumatoria de pérdidas para el horno de inducción es Qt)1.

Qt)1 = 21 Kw/hr

Remplazando los datos adquiridos en la ecuación 3,

$$\eta = \frac{(102 - 21)Kw - hr}{102 Kw / hr} * 100 = 79.4\%$$

La eficiencia térmica en el horno de inducción es de 79.4%.

3.2.2. Eficiencia térmica en el horno de sostenimiento.

La energía de entrada ha sido tomada también en la tabla 6 para el inductor 3

E. entrada = 65 Kw/hr

La sumatoria de pérdidas para el horno de sostenimiento es Qt)2.

Qt)2 = 14.3 Kw/hr

Remplazando los datos adquiridos en la ecuación 3,

$$\eta = \frac{(65 - 14.3)Kw / hr}{65} * 100 = 78\%$$

La eficiencia en el horno de sostenimiento o mantenimiento es de 78%

3.3. IMPACTO ECÓNOMICO REPRESENTADO POR LAS PÉRDIDAS

3.3.1. Impacto económico en el horno de fundición.

En el horno de inducción, las pérdidas totales suman 21 Kw/hr.

El Kw/hr tiene un valor de \$270 (doscientos setenta pesos).

Valor de las pérdidas en el horno de inducción = $21\text{Kw/hr} \times 270 = \$5,670$ (el Kw/hr)

Durante el mes las pérdidas representan \$4, 082,400 (Cuatro millones ochenta y dos mil cuatrocientos pesos)

Al año la cifra es de \$48, 988,800

3.3.2. Impacto económico en el horno de sostenimiento.

En el horno de sostenimiento, las pérdidas totales suman 14.3 Kw/hr.

El Kw/hr tiene un valor de \$270 (doscientos setenta pesos).

Valor de las pérdidas en el horno de sostenimiento = $14.3\text{ Kw/hr} \times 270 = \3.861 (el Kw/hr)

Durante el mes las perdidas representan \$2, 779,920 (dos millones setecientos setenta y nueve mil novecientos veinte y nueve pesos)

Al año la cifra es de \$33, 359,040

Teniendo en cuenta los dos hornos que componen la planta de fundición de cobre, las pérdidas térmicas anuales representan un valor global de \$ 82, 347,840 (Ochenta y dos millones trescientos cuarenta y siete mil ochocientos cuarenta pesos).

4. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

4.1. CONSUMO ENERGÉTICO

La energía eléctrica es de vital importancia en este proceso industrial; la planta de fundición de cobre tiene la característica especial que el consumo de energía varía en porcentajes muy bajos comparados con las variaciones en las cantidades procesadas. En la figura 14, se nota como la curva de producción cambia bruscamente mientras que la curva correspondiente a la energía eléctrica tiende a permanecer constante. La situación observada en el gráfico 14, se evidencia nuevamente en el gráfico 16 en donde se muestra que al disminuir la producción, el consumo energético se torna más representativo y la productividad se ve afectada de manera negativa, **es decir, al producir menos, el consumo de energía por unidad producida es mayor**. Por esta razón, no es conveniente trabajar a niveles productivos inferiores a las 808 ton/mes.

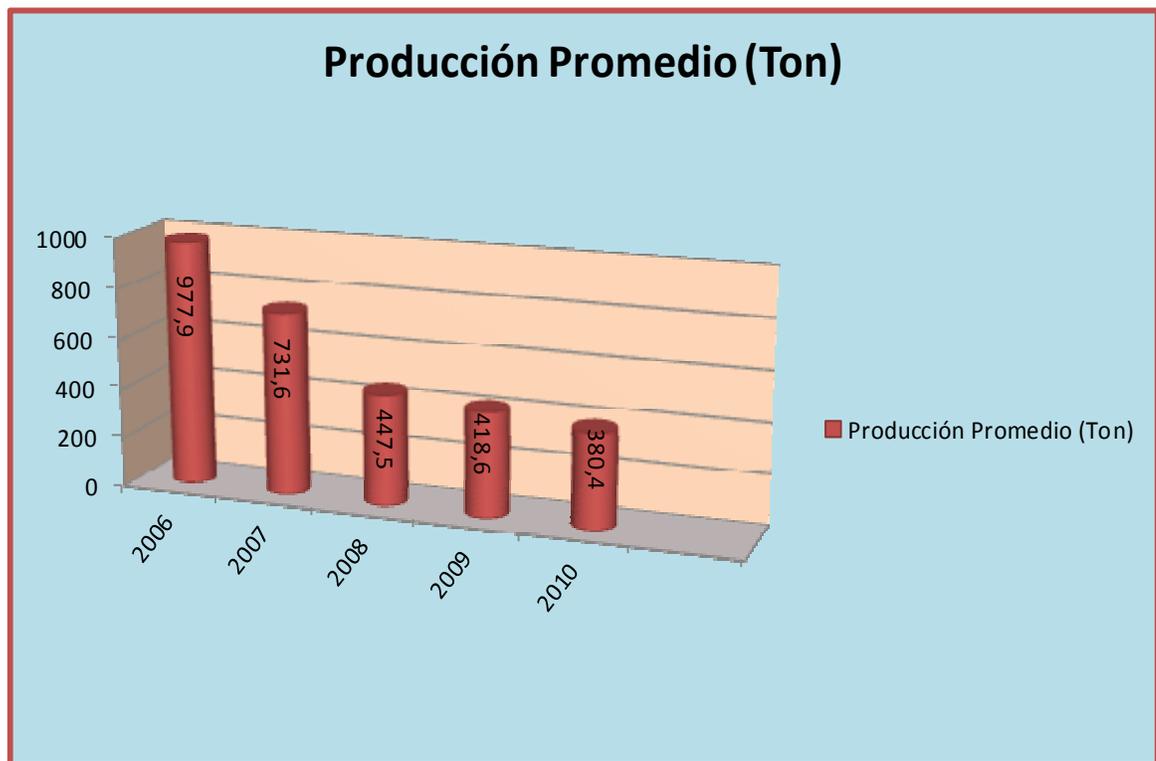
4.2. ENERGÍA NO ASOCIADA A LA PRODUCCIÓN

Cuando la planta no está operativa, (ver figura 15) el consumo de energía eléctrica es de 4123.9 Kw/hr-día dado que los inductores deben permanecer trabajando con el fin de evitar que el cobre remanente se solidifique. De esta manera se registra una energía no asociada a la producción muy significativa sobre todo si se tiene en cuenta que el proceso se interrumpe muy seguidamente por la falta de materia prima.

De acuerdo a los gráficos 14 y 15, el proceso está diseñado para aprovecharlo al máximo trabajando constantemente a una cantidad mínima de 808ton, con paradas de planta periódicas, estas paradas deben ser bien planificadas, programadas y ejecutadas.

En la figura 24, se observa el promedio de producción por año, nótese que sólo en el año 2006, la producción promedio se encuentra por encima del valor crítico.

Gráfico 24. Producción promedio últimos años



4.3. IMPACTO ECONÓMICO DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA

El consumo de energía eléctrica representa el 83% del costo total de los consumos. Dentro de las partes que consumen energía eléctrica la de mayor exigencia es el área de los inductores (en los hornos de fusión y sostenimiento). Su incidencia puede ser observada en la figura 12 con un valor porcentual del 89.62%.

Es importante resaltar que el consumo energético de los hornos presenta un perfil con cambios bruscos (ver figuras 19, 21 y 23), estas variaciones manifiestan la falta de un sistema de control que permita regular el flujo de corriente de acuerdo a las necesidades de trabajo para no tener potencia disponible en exceso y usar la energía de manera eficiente.

4.4. PERDIDAS DE CALOR

Las pérdidas de calor suman un total de 35.3 Kw/hr, económicamente alcanzan un valor de **\$ 82, 347,840**. Teniendo en cuenta que la eficiencia térmica del horno es del 97%, se hace importante mantener el horno en buen estado, conservando su eficiencia a través de buenas prácticas de mantenimiento y mejorar la automatizando el sistema de control para regular el flujo de corriente.

4.5. FACTOR DE POTENCIA

El factor de potencia en los hornos de fundición es muy bajo, un factor entre 0.10 y 0.30, lo que obliga a utilizar banco de condensadores para incrementar dicho factor.

En la actualidad existen sistemas de potencia modernos basados en sistemas IGBT (Transistor bipolar de puerta aislada), presentando avanzados componentes de potencia, barras bus de cobre de gran capacidad, controles digitales sensibles y precisos, funciones de diagnóstico informativos y pueden ser totalmente configurados con una gran variedad de opciones, estos tienen la particularidad de manejar una alta velocidad de fusión desde la carga en frío hasta la temperatura de vaciado, además la fusión de más libras por KW-h reduciendo los costos de la fusión y logrando una gran productividad.

Algunas ventajas que se pueden obtener Con esta nueva tecnología:

- Mínimos costos de mantención
- Factor de potencia cercano al 100%
- Consumo del horno adaptado a su carga
- Optima transferencia de energía
- Menor empalme eléctrico
- No se requiere de un transformador adicional

4.5.1 Análisis del factor de potencia de la máquina. Se tienen los siguientes problemas de orden técnico por bajo factor de potencia:

- Mayor consumo de corriente.
- Aumento de las pérdidas en conductores.
- Sobrecarga de transformadores, generadores y líneas de distribución.
- Incremento de las caídas de voltaje.

4.5.2 Calculo de pérdidas. Se realizan los siguientes cálculos para determinar el factor de potencia actual y luego compararlo con un factor de potencia mejorado de 0.85, el cual será logrado a través de la instalación de un banco de condensadores.

$$I = \frac{P}{V \times \text{COSENO } \phi \times \sqrt{3}}$$

$$I = \frac{272000}{440 \times 0.53 \times \sqrt{3}} = 673 \text{ AMP}$$

(Consumo de corriente con factor de potencia actual)

$$I = \frac{272000}{440 \times 0.85 \times \sqrt{3}} = 419 \text{ AMP}$$

(Consumo de corriente con factor de potencia mejorado)

Dónde:

I = Corriente en amperios

Coseno F1= factor de potencia

V = tensión línea a línea en Voltios

P = potencia Activa Wattios

Resistencia para un conductor 500MCM THW 0.1050 Ohmios.

Rtotal = (0.071 Ohmios/km)/ (1000)= 0.000071 Ohmios/mts

Resistencia 150mts = 0.000071 X 150mts = 0.01065 Ohmios

$$P = 3I^2 \times R_{TOTAL}$$

$$P = 3 \times 673^2 \times 0.01065 = 14471 \text{ W (Cálculo de p con factor de potencia = 0.53)}$$

$$P = 3 \times 419^2 \times 0.01065 = 5609 \text{ W (Cálculo de p con factor de potencia = 0.85)}$$

$$\Delta P = \frac{14471 - 5609}{14471} \times 100 = 61,24\%$$

$$\text{Perdidas} = 14471\text{W} - 5609\text{W} = 8862\text{W}$$

4.5.3 cálculos de energía ahorrada.

Perdidas = 8862W

$$\text{Perdidas Kw/hr} = \frac{8862\text{W}}{1000} = 8.862\text{Kw/hr.}$$

Perdidas Kw/hr-mes = 8.862Kw/hr X 24 X 30dias = 6380Kw/hr-mes

Asumiendo el Kw-h con un precio de: \$270 pesos.

El valor ahorrado al mes seria de:

$$6380\text{Kw-h/mes} \times \$270 \text{ pesos} = \$1.722.772 \text{ pesos}$$

5. CONCLUSIONES

HORNOS DE FUNDICIÓN Y SOSTENIMIENTO.

Los hornos son el centro y corazón de la planta por lo que se debe establecer un mejor control del flujo de corriente eléctrica usada para alimentar a los inductores, En la actualidad los hornos de frecuencia de línea (50 ó 60 Hz) han quedado en desuso, ya que los mismos poseían muy poca eficiencia energética y además cargaban con un alto coste de mantenimiento, dado que contenían una gran cantidad de elementos electromecánicos. En las últimas décadas se han incorporado equipos de estado sólido, conformados en su etapa de potencia con componentes tales como tiristores (diodos SCR) y transistores de potencia tipo IGBT, con lo que el rendimiento y eficiencia de estos equipos ha aumentado considerablemente.

Los perfiles de temperatura y consumo energético registran cambios muy bruscos debido a la falta de automatización, esto incrementa la potencia en exceso y por consiguiente se recalienta el contorno de la máquina hasta alcanzar una temperatura promedio de 130°C incrementando las pérdidas por flujo de calor. Las pérdidas ascienden a un total de 82 millones de peso cada año.

SOSTENIMIENTO DE LA PRODUCTIVIDAD.

La planta de fundición de cobre, es un proceso continuo, La energía es un recurso indispensable en la industria así como un factor de costo que cada vez cobra mayor importancia.

Para lograr una estabilidad en el negocio de la producción de cobre, se hace necesario mantener trabajando continuamente la máquina. Esta sólo debe ser

parada para casos de mantenimiento preventivo (parada de planta), los cuales requieren de buena programación, coordinación y ejecución.

En Figura 15 se presenta un alto consumo de energía no asociado a la producción, son 4,123.9 Kw/hr-día de consumo diario con cero producción. Este consumo tiene un valor de \$1, 113,453 pesos diarios. Relacionando lo anterior con la figura 16, el caso es más crítico porque obliga a producir una cantidad mínima de 27.93 ton/día con el fin de evitar que el índice de consumo específico no se incremente ya que de llegar a suceder la productividad disminuye significativamente.

La energía no asociada a la producción debe ser reducida, hay que buscar la forma técnica apoyándose con los fabricantes para llevar a la planta hasta un índice de consumo energético menor.

6. RECOMENDACIONES

- Los cálculos han sido realizados teniendo en cuenta un costo promedio en la energía eléctrica de 270 \$/Kw/hr. Con estos costos, se obtiene una reducción anual de energía de 8.862 KW/hr, lo cual representa un ahorro de 1.7 millones de pesos al mes. La inversión requerida para corregir el factor de potencia a 0.85 es de 8.8 millones de pesos, y se recupera en 5.2 meses.
- Por todo lo anterior, relacionado con el factor de potencia, el departamento de mantenimiento tiene como propósito general reducir las fallas de los equipos para garantizar la mayor disponibilidad y de esta manera, aumentar el valor de eficiencia en línea, para lograr un uso racional y eficiente de la energía eléctrica, se recomienda hacer un plan de mantenimiento paralelo al actual encaminado a la eficiencia energética y no a la reducción de fallas.
- El suministro de energía eléctrica debe ser automatizado para disminuir la potencia en exceso así como el valor de la energía no asociada a la producción.
- Se debe evitar las paradas continuas por factores externos a la naturaleza de la planta.
- Lograr fijar el nivel de producción mensual lo más cercano a la producción máxima (1.200 ton/mes) o por lo menos que esta producción mensual no sea inferior a las 808 ton. Con el fin de conservar un nivel de productividad conveniente.
- Al momento de hacer parada de planta, deben realizarse todas las tareas tendientes a garantizar la disponibilidad de la máquina en un año como mínimo. El periodo de parada sería acordado de tal manera que coincida con la etapa de menos compromisos.

BIBLIOGRAFÍA

OUTOKUMPU CASTFORM OY. “Cuando se requiere alambrión de la más alta calidad por el producto y por el consumidor” Internet:

www.outokumpu.com/castform

www.upcast.com/ - En caché - Similares

castform.espoo@outokumpu.com

UPCAST OUTOKUMPU FINLANDIA. Instruction manual continuous casting plant, Finland 1995.