

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**

**Facultad de Ciencias e Ingeniería**



**REINGENIERÍA PARA LA REPARACIÓN DE LOS CARROS  
SINTER DE UNA PLANTA DE AGLOMERACIÓN DE UNA  
FUNDICIÓN DE PLOMO**

**Tesis para optar al título de Ingeniero Mecánico**

**Presentado por:**

**ELOY TITO, LEÓN AMARO**

**Abril 2007**

**Lima - Perú**

## 1.1 Resumen

El complejo Metalúrgico de La Oroya procesa concentrados poli metálicos, nacionales e importados, que por su naturaleza compleja contempla dos procesos: procesos piro-metalúrgicos de los hornos, reverberos y procesos hidro-metalúrgicos en el cual se encuentra las refinerías.

Los procesos piro-metalúrgicos requieren de temperaturas entre 600 °C y 1200 °C los materiales usados en los equipos deber ser preparados para soportar estas temperaturas. La planta de aglomeración inicia el proceso de la producción de plomo convirtiendo el concentrado en sinter, sin éste proceso de sinterizado no podrían darse los siguientes y ahí radica la importancia del proceso y del equipo que trabaja para este proceso, ese equipo es el carro sinter.

En los últimos años se produjo un problema a raíz de que los carros sinter se deformaban por perder espesor de sus paredes y por la alta temperatura de trabajo, temperaturas que oscilaban entre 950 °C y 1000 °C. Afectó a los procesos siguientes y de hecho a la producción estimada de metales y metales preciosos de la empresa.

Se buscó alternativas de reparación en talleres externos, con resultados desalentadores, debido a que los carros se fisuraban más y la estructura no podía reforzarse por la baja soldabilidad del material del carro sinter. También se optó por adquirir nuevos carros sinter, sin embargo la inversión para cambiar los carros sinter era muy elevada para el presupuesto.

Se planteó la reingeniería de la reparación del carro sinter, basándose en que se debería realizar una excelente reparación con menos recursos, es decir con los recursos que hasta ese momento se contaba. Se atacó el punto crítico, y se realizó cambios importantes en el diseño, en los materiales, en la operación. Para lograr el resultado positivo hicimos la reingeniería trabajando para nuestro cliente que es el área de operaciones.

Nuestros costos de reparación comparado con la adquisición es significativo, la calidad de la reparación se aproxima al estado de un carro nuevo, por tanto, en ambos casos logramos un alto valor agregado.

Los 142 carros sinter que han sido reparados aplicando la reingeniería, están operando satisfactoriamente, el know how de la reparación están siendo asimilados por otras industrias similares en otros países.

**ÍNDICE REINGENIERÍA DE LOS CARROS SINTERIZADORES**

	Página
<b>1 Presentación</b>	
1.1 Resumen	1
1.2 Tema de tesis aprobado por el Decano	
1.3 Índice	2
<b>2 Importancia y ubicación de los carros sinter</b>	3
2.1 Flujo de procesos de fundición y refineras	3
2.2 Planta de aglomeración.	8
2.3 Planta de fundición de plomo	10
2.4 Refinería de plomo	11
2.5 El Proceso de sinterización	12
2.6 La máquina sinterizadora en aglomeración.	14
2.7 Importancia de los carros sinter	15
<b>3 Formulación del problema</b>	16
3.1 Producción del plomo y su análisis	16
3.2 Producción del sinter y su análisis	17
3.3 Deformación de los carros sinter	19
3.4 Espesores de los carros sinter	21
3.5 Análisis estructural de los carros sinter	22
<b>4 Planteamiento de soluciones</b>	24
4.1 Reparaciones en talleres externos	24
4.2 Reparaciones de mantenimiento de planta	28
4.3 Eficiencia de la reparación	30
4.4 Resultados de análisis de mantenimiento planta.	31
4.5 Adquisición de carros sinter	32
4.6 Reingeniería de los carros sinter	33
<b>5 Marco teórico para la reingeniería</b>	35
5.1 Composición química de la estructura del carro sinter	35
5.2 Análisis de la soldabilidad de la estructura del carro sinter	36
5.3 Reingeniería estructural del carro sinter	37
5.4 Análisis del trabajo en caliente, de los carros sinter	38
5.5 Selección de aceros	38
5.6 Rediseño de los carros sinter y los planos	39
<b>6 Ejecución de la reingeniería</b>	42
6.1 Estimado de materiales para la reingeniería	42
6.2 Estimado de mano de obra para la reingeniería	43
6.3 Selección del proceso de soldadura	44
6.4 Programación de las diferentes secciones de los talleres ejecutores	44
6.5 Secuencia de la reparación de los carros sinter	45
6.6 Costo real total de la reingeniería de los carros sinter	45
6.7 Monitoreo de condiciones en la planta	46
<b>7 Resultados</b>	
7.1 Operación de los carros sinter reparados en planta	47
7.2 Comparación de costos	48
7.3 Disponibilidad de la planta	48
<b>8 Recomendaciones y conclusiones</b>	49
<b>9 Bibliografía</b>	50

## AGRADECIMIENTOS

### **A mis amigos y colegas**

Al Dr. Ing. Eduardo Ismodes, porque siempre inculcó la responsabilidad, perseverancia, dedicación y aplicación de los conocimientos, por su gestión como Decano y por ser un gran amigo.

Al Dr. Ing. Quino Valverde, por su desinteresado apoyo, por su experiencia en la asesoría, por su invaluable aporte a la universidad, y por brindarme su confianza.

Al Dr. Ing. Dante Elías, al Dr. Ing. Paúl Lean, por sus aportes a la tesis y sus aportes invaluable a la Pontificia Universidad Católica del Perú.

Al Dr. Ing. Juan Carlos Huyhua, Ing. Carlos Habich, Ing. Fernando Bustamante, Ing. Antonio Antayhua, de cada uno de ellos recibí su apoyo, y demostraron su amplia experiencia en la reingeniería para la reparación de los carros sinter.

### **A mi familia**

A mi madre Isabel, aunque no está en vida, gracias a su esfuerzo y haberme brindado su invaluable apoyo.

A mi hermano Jorge, porque siempre esperaste lo mejor.

A mis hijas Kimberly y Kiara, por que somos y seremos un equipo.

A mi esposa Yola, por su apoyo incondicional.

### **A mis trabajadores**

A los 280 trabajadores de talleres estructural, maestranza, fundición de cobre y plomo, aglomeración, tostadores, preparación, short rotary, gestión de equipos, teleférico industrial, por sus aportes y su afecto hacia mi persona.

### **A la universidad**

A la Pontificia Universidad Católica de Perú, por su servicio a la Nación.

## 2 Importancia y ubicación de los carros sinter

La planta de sinterización, es el proceso inicial para obtener los productos principales y subproductos. En la planta existen 3 circuitos principales: circuito de plomo, circuito de zinc, y circuito de cobre, entre ellos hay un nexo importante y son los productos paralelos que resultan del proceso principal, para entender la importancia de los carros sinter y su ubicación en el proceso, es necesario conocer en forma macro los procesos de los circuitos totales de la planta.

### 2.1 Flujo de procesos de fundición y refinación

Se tiene 2 procesos de fundición y un proceso de refinación, Los procesos de fundición son para plomo y cobre, y el proceso de refinación es para zinc.

#### 2.1.1 Circuito de plomo

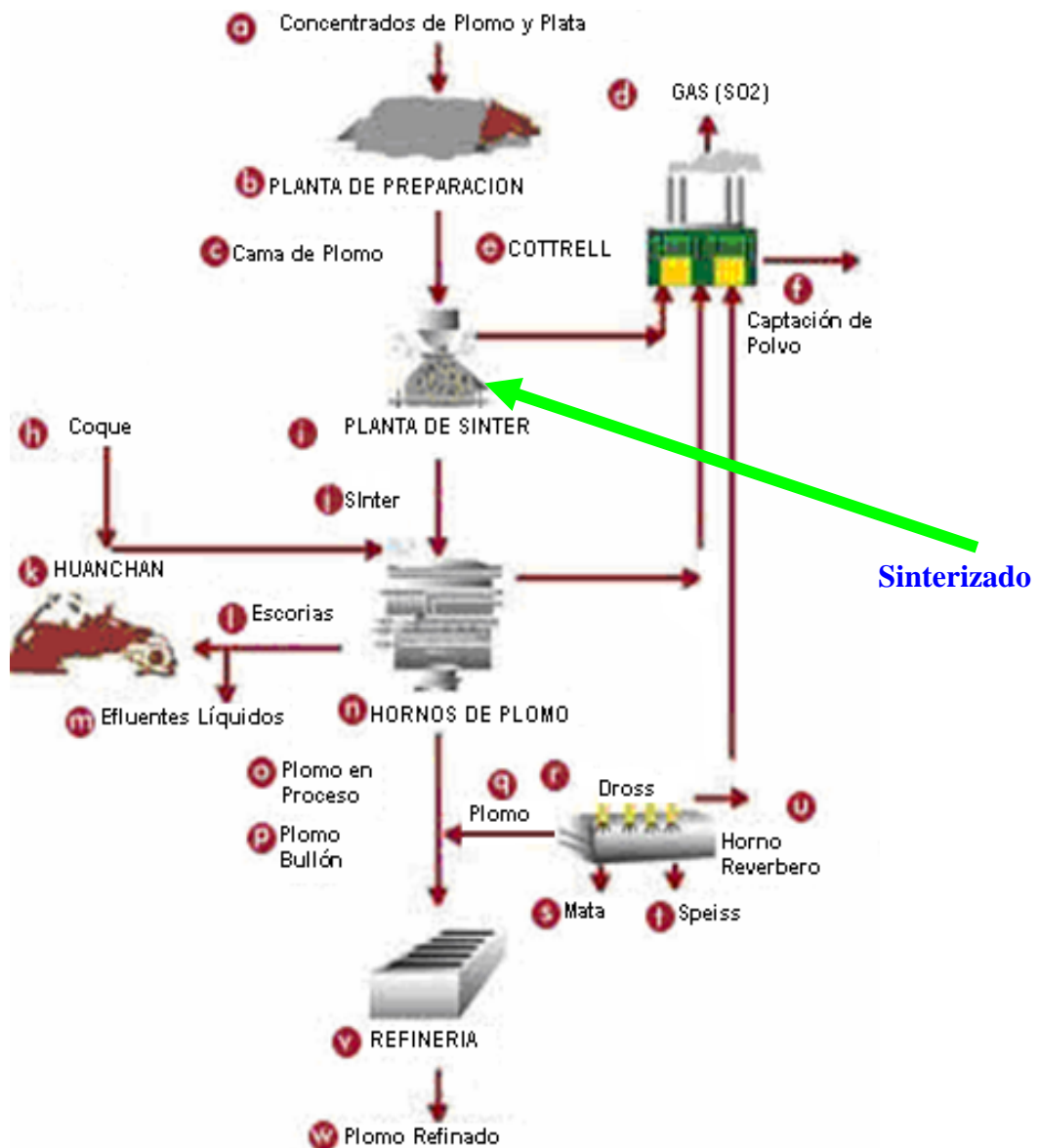


Figura 2.1.1: Flujo de procesos del circuito de plomo

- a) Los concentrados llegan de diferentes minas de la región, y del extranjero. Su condición es que debe ser plomo plata, uno de los principales negocios es producir plata como un subproducto sin generar mayores costos de proceso.

- b) Mediante las reclamadoras: se procede a mezclar los diferentes componentes como sílice, reciclados y finos de sinter, una cama puede tratar hasta 3500 toneladas de concentrado.
- c) Luego se hace el proceso de sinterizado, previamente se realiza el peletizado en un tambor con inyección de agua, hasta que forme un aglomerado en bolas, para después llegar a las tolvas de ignición soportados por los carros sinterizadores.
- d) El sinter producido ingresa a los hornos de manga, adicionándole coque para formar el plomo de obra, y después de quitarle el dross, pasan al moldeo, el producto final de los hornos es el plomo bullon
- e) El plomo bullon se convierte en plomo refinado mediante un proceso químico, el residuo de este proceso se llama lodo anódico que contiene plata y oro.

2.1.2 Circuito de zinc

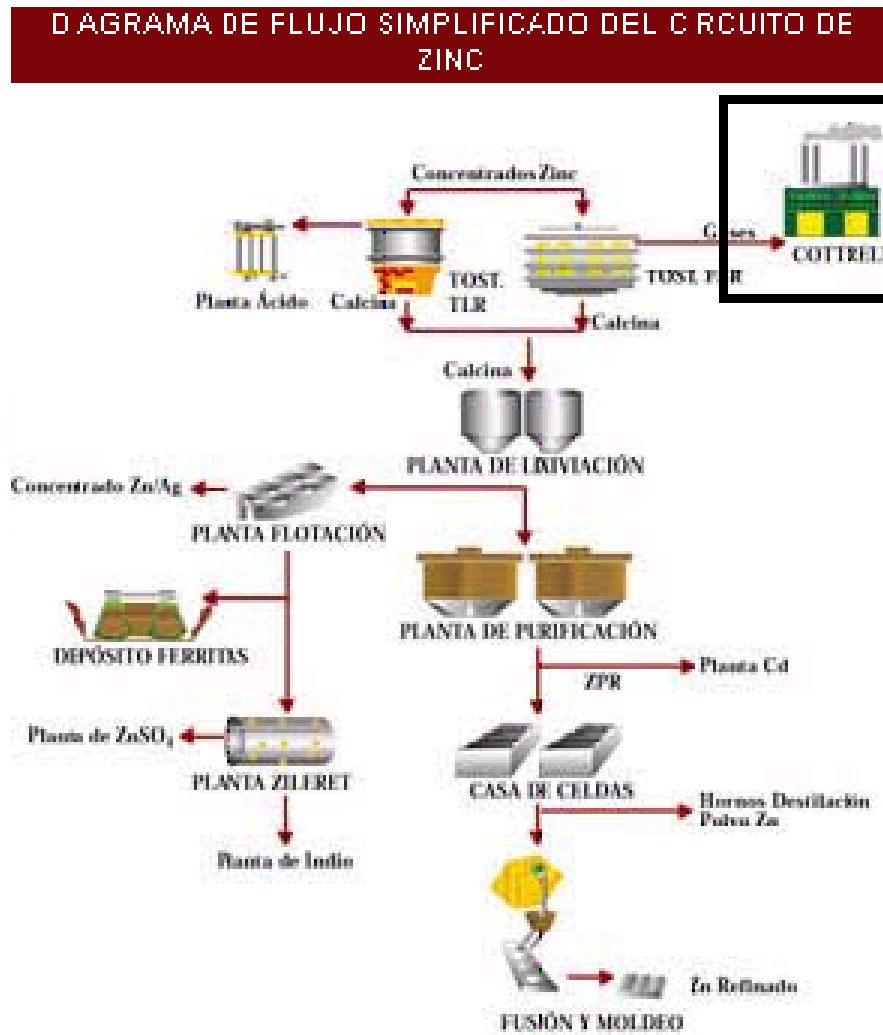


Figura 2.1.2: Flujo de procesos del circuito de zinc

Los concentrados de zinc son llevados hacia los tostadores TLR y FBR, para producir calcina de zinc, siguiendo el proceso pasan por lixiviarse, en la planta de purificación se extrae en mayor parte el cadmio, luego en la casa de celdas se obtiene el zinc refinado, después de calentarlo pasan por los moldes para su transporte final.

## 2.1.3 Circuito de cobre

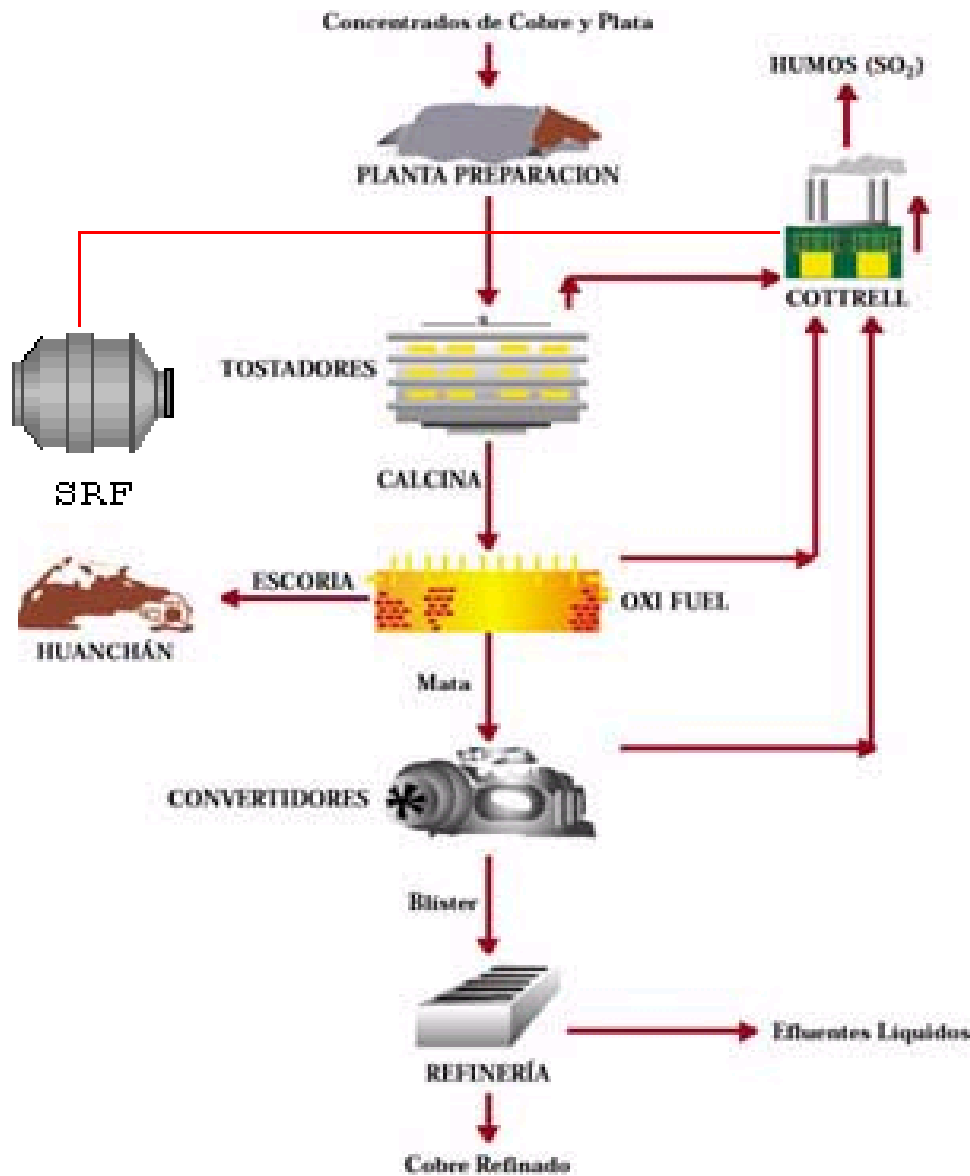
**DIAGRAMA DE FLUJO SIMPLIFICADO DEL CIRCUITO DE COBRE**


Figura 2.1.3: Flujo de procesos del circuito de cobre

La planta de preparación, mezcla los concentrados de cobre con sílice y algunos recirculantes más, las camas tienen una capacidad de 3500 toneladas, después de ser mezcladas con los reclaimers son llevados a los tostadores de cobre, son hornos giratorios con una altura de 7 pisos, el concentrado de cobre se convierte en calcina.

Mediante carros calcineros provistos de trolley, la calcina es depositada en el reverbero de oxifuel y tratada a 1100 °C produciendo la mata de cobre, el mismo que es llevado a cualquiera de los 6 convertidores de cobre, después de eliminar impurezas en los convertidores pasan a los hornos de retención para luego ser moldeados obteniendo el cobre blister.

El cobre blister es llevado mediante vagones de tren hacia la refinería, pasa por un proceso químico y se convierte en cobre refinado.



### 2.1.4 Producción general de fundición y refinерías

Las producciones principales de la fundición y refinерía son: 11 metales, 9 subproductos y 4 aleaciones:

PRODUCTOS	SUBPRODUCTOS	ALEACIONES
Plomo	Polvo de zinc	Plomo/Antimonio
Cobre	Acido sulfúrico	Plomo/Calcio
Zinc	Oleum	Zamac
Plata	Trióxido de arsénico	
Oro	Sulfato de cobre	
Bismuto	Sulfato de Zinc	
Cadmio	Concentrado Zn-Ag	
Indio	Oxido de Zinc	
Telurio	Bisulfito de Sodio	
Selenio		
Antimonio		

Tabla 2.1.4: Lista de productos totales.

La tabla 2.1.4 muestra todos los productos, subproductos y aleaciones, sin embargo, los concentrados que se adquiere, solamente son: concentrado de plomo, concentrado de zinc, y concentrado de cobre



Foto 2.1.4: Productos principales



La producción diaria, mensual y anual de los productos, así mismo el precio unitario de los metales más significativos para los resultados económicos.

Metales	Unidades	Año	Precio \$ / Unid
Cobre refinado	Tonelada métrica	37,800	4000
Plomo refinado	Tonelada métrica	124,481	2300
Zinc refinado	Tonelada métrica	61,776	1800
Plata refinada	Tonelada métrica	1,386	446254
Oro bullon	Kilogramo	2,160.0	21766
Bismuto	Tonelada métrica	36.0	No hay dato
Selenio	Tonelada métrica	72.0	No hay dato
Telurio	Tonelada métrica	28.8	No hay dato
Indio	Kilogramo	108.0	No hay dato
Ácido sulfúrico	Tonelada métrica	53,180.3	No hay dato

Tabla 2.1.4 A: Producción anual, venta anual. La parada de cualquier circuito afecta a los ingresos anuales de la empresa



Foto 2.1.4 B: Moldeo de plata, proporciona los mayores ingresos, producción anual promedio de 1300 toneladas de plata.

## 2.2 Planta de aglomeración

Recibe el concentrado de plomo mezclado con sinter fino, la mezcla es llevada al tambor peletizador, después de inyectarle agua se obtienen pellets, estos pellets ingresan a la tolva de ignición, para que finalmente pueda obtenerse sinter. La zaranda mecánica divide el sinter fino del grueso, el sinter fino va como reciclaje hacia las camas de preparación y el sinter grueso es el material del proceso que va hacia los hornos de plomo.

Esta planta opera las 24 horas del día, y todos los días del año, hay una programación de las paradas de planta mensuales, el tiempo de parada de planta por mantenimiento mensual esta planificado para 24 horas de mantenimiento por mes.



Foto 2.2: Planta de aglomeración, La máquina principal de la planta es la 2051, provista en toda su longitud de 142 carros sinter.

STOCK CONCENTRADO TM		PLOMO EN LAS CAMAS TM		
Pb/Ag Casapalca	61	Reclamado	2A	<b>1,184</b>
Bulk Ayssa Yauliyacu	0	Remanente	2A	0
Pb/Ag Uchuchacua	296		3	2,733
Otros	243		3A	628
Total	600		2	0
Callao	0	Total CAMA		3,361
En tránsito	0			

Tabla 2.2: Concentrados que llegan de diferentes proveedores mineros / cantidad de cama reclamada por día

De un total de 3500 toneladas de concentrado en las camas, se pueden reclamar o mezclar con fundentes y sinter fino, un promedio de 1184 toneladas por día.

Al concentrado reclamado se denomina lecho de fusión, el cual pasa a la planta de aglomeración para paletizarse y luego pasa a la máquina principal para convertirse en sinter.

A continuación se aprecia las camas de mezclado con los equipos reclaimers, la operación de estos equipos son 24 horas al día y todos los días del año.



Foto 2.2A: Camas de concentrado de plomo que alimenta a la planta de aglomeración mediante reclamadoras.

<b>PLANTA DE SINTER</b>			
Parada promedio de equipo en 24 horas		1hr15min	
Parado 20:15pm a 21:00pm inspección de linealidad de 52 carros sinter			
Parado 2:45am/3.15am Cambio de parrillas del carro sinter(30min)			
Quemado sinter fino más coque fino (4hrs30min) 7.30am/9.30am - 5.00am/7.30am			
<b>PARAMETROS PRINCIPALES DE OPERACIÓN</b>		<b>Actual</b>	<b>Promedio</b>
Razón de cama		3.0	3.0
Cama ton/hora		50	50
Altura de keke en carro sinter cm.		36	36
<b>Maquina 2051, velocidad de carros sinter, m/min</b>		<b>1.2</b>	<b>1.1</b>
<b>Mufla, temp. °C de la parte superior del carro sinter</b>		<b>980</b>	<b>945</b>
Ventana 7, temp. °C		591	600
Ventana 8, temp. °C		564	557
Ventana 13, temp. °C		222	171
Ventiladora 2112. amperaje		598	593
Abertura de los rollos		2.5	2.6
<b>Nivel de Sulfuro, en sinter y parte superior del carro sinter</b>		<b>1.8</b>	<b>1.6</b>
<b>PRODUCCION DE SINTER</b>			
producción en un día TM		sinterizado	
952		1,532	Fino
		(+10)	(=)
		610	

Tabla 2.2 A: Parámetros de operación y producción de la planta de aglomeración



Después de tratar 1184 toneladas de cama reciclada, se obtiene aproximadamente 952 toneladas de sinter a la salida de la planta de aglomeración. El punto importante es que esta eficiencia se mantiene solo si se cuida el proceso de sinterizado en la maquina 2051, y el desempeño eficiente de los carros sinter.



Foto 2.2 B: Estructuras que soportan a todos los equipos de la maquina principal 2051

### 2.3 Planta de fundición de plomo

El sinter producido en la planta de aglomeración, es el insumo de los hornos de plomo, se agrega el coque para que reaccione dentro del horno se insufla aire a presión, y luego se obtiene el plomo de obra que debe pasar por el drossado para quitarle el pequeño porcentaje de cobre, y luego el plomo es moldeado y enviado hacia refinерías.

FUNDICION DE PLOMO									
	HORNO 1			HORNO 2			HORNO 3		Total
Tonelada métrica		408			0			471	879
Apertura de tuyeres		28			0			32	
Tanque recepción		bien			0			Regular	
Coke, (kg/carga)		800			0			700	
Plomo en las tazas	10	12	11	0	0	0	15	15	14
Total tazas por horno		33			0			44	77
	Operó normal			Fuera de operación			Operó normal		

PLANTA DE DROSS Y MOLDEO							
Horno de Dross				Plomo en ollas		stock de	
Carga	día	Acum.	Stock	Dross	moldeo	ánodos	Stock of blocks
Dross frío	30	278	1482	1/4	1/2	0	0
Reciclado	70	206	194	Carros despachados		5	4
Total carga	100	484				5	14

PRODUCCION DE PLOMO BULLON TON				
En un día	Acumulado	residuo 1	residuo 2	para enviar
<b>358.850</b>	2332.080	0.000	0.000	2332.080
Análisis químico del plomo bullon (salida del horno)				
Cu:	0.004	Sb:	1.52	Bi: 1.61
				As: 0.03
				Tl: 1.00

Tabla 2.3: Cantidad de sinter alimentado a los hornos, producción de los hornos de manga, producción total de plomo bullon en la fundición de plomo



Foto 2.3: Plomo bullon apilando en los vagones, para su envío a refinera de plomo

## 2.4 Refinería de plomo

En un promedio de 350 toneladas, llegan a refinera de plomo desde la fundición de plomo. El proceso químico electrolítico separa en lodo anódico y plomo refinado. El plomo va para la venta, mientras que el lodo anódico con alto contenido de plata y oro es enviado a residuos anódicos para procesarlo.



PLOMO REFINADO		
Producción diaria	Producción mensual	Producción anual
345	10350	124200
Numero de blocks		14
Amperaje		8500
Voltaje		255
% Eficiencia de corriente		82.7

Tabla 2.4: Producción del plomo refinado.



Foto 2.4: Celdas de refinación de plomo.

## 2.5 El proceso de sinterización



Foto 2.5: El producto sinter en stock, diámetro de bola  $\geq 2$  pulgadas



### 2.5.1 Generalidades

De los procesos para la aglomeración de minerales de hierro, la sinterización es una operación metalúrgica simple, que se origina de una semi-fusión producida por el calor generado de la combustión de un combustible sólido agregado a la mezcla de finos de mineral, dando lugar a una masa porosa llamada "sinter"; que por sus características de; tamaño, análisis químico, dureza y reducibilidad es cargado a los altos hornos.

### 2.5.2 Breve descripción del proceso

La preparación de la carga a sinterizar consiste en efectuar la dosificación adecuada de los diferentes constituyentes del sinter como son: mineral de fierro, combustible sólido, fundentes y subproductos de recirculación de las propias plantas siderúrgicas (escorias, polvo y lodos), estos materiales pasan a las pilas de homogeneizado para disminuir su variación y de ahí a la planta para su humectación y nodulizado, hasta obtener una mezcla de micronódulos permeables, que permita el flujo de aire a través del lecho durante el sinterizado.

Preparada la mezcla micronodulizada con la humedad definida, se deposita en una gruesa capa ó "cama" de un espesor que varía de 30 a 60 cm sobre la parrilla o cadena de sinterización, donde realiza por la parte superior el encendido del combustible sólido contenido en la mezcla mediante una campana de encendido provisto de quemadores a gas.

La combustión se propaga de la parte superior a las capas de la parte inferior, por la aspiración (succión) de aire realizado mediante un abanico que origina una depresión por debajo de la capa (siguiendo el principio de fumar un cigarro). Cuando la combustión del coque alcanza la parte inferior de la parrilla la operación se considera finalizada.

Durante el proceso de sinterizado la capa principal presenta varias zonas de diferente textura y aspecto que son:

- Zona de sinter frío.
- Zona de sinter caliente.
- Zona de combustión o frente de flama.
- Zona de precalentamiento o descarbonatación.
- Zona fría o húmeda.

- Zona de sinter frío  
Zona de sinter terminado enfriada bruscamente por aire frío aspirado, que en la parte superior presenta un espesor entre 10 y 15 cm, con propiedades físicas muy débiles (shatter +3/8" menor a 60%), ésta zona presenta una alta permeabilidad (flujo de aire).
- Zona de sinter caliente  
Capa de sinter con alta temperatura donde se efectúan reacciones de reoxidación y recristalización de hematita, existe el calentamiento de aire que beneficia a la temperatura de combustión o de flama.
- Zona de combustión o frente a flama  
Zona angosta donde se combustiona instantáneamente el combustible sólido, generando una franja de máxima temperatura que también es llamada "temperatura de frente de flama".
- Zona de *precalentamiento*  
Se llevan a cabo algunas disociaciones de gran importancia para el proceso de sinterización, como son: la descarbonatación de los fundentes, deshidratación de óxidos de hierro, volatilización de sulfuros y secado de la mezcla húmeda.
- Zona fría o húmeda  
Presenta casi las mismas características de la mezcla original, con una cantidad de humedad ligeramente superior (+2%).
- Control de calidad del sinter

En cada una de las etapas se realiza un control de calidad de materias primas y productos el cual comprende lo siguiente:

Granulometría (materias primas, sinter).

Ensayos Shatter y Tumbler.

Composición química y humedad.

Reducibilidad a 900 °C

Degradación a baja temperatura a 600 °C

Temperatura de reblandecimiento y fusión (1050-1200 °C)

## 2.6 La máquina sinterizadora en la planta de aglomeración

La máquina sinterizadora es de procedencia alemana, tiene una longitud 152 metros por 12 de ancho y una altura de 20 metros, un sproket de transmisión de los carros de 2.8 metros de diámetro, la velocidad lineal de la máquina es 1.2 m/min, posee 142 carros sinterizadores, posee 4 ventiladores que insuflan aire al sistema y un ventilador que retira los gases de toda la máquina, entre las potencias de los motores el de mayor caballaje es de 900 HP. La reparación de los motores e impulsores se realiza completamente en los talleres de la empresa.

La eficiencia de la planta de aglomeración o la disponibilidad depende en mayor porcentaje de la disponibilidad de los carros sinter, como se aprecia en el cuadro siguiente:

PARADAS DE AGLOMERACION (HORAS)					
CAUSAS	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
Mantto Programado	470	480	175	215	225
Control Ambiental	220	240	230	240	235
Reparaciones y cambio de carros sinter	480	490	91	73	75
Falta de Concentrados	25	40	48	20	19
Desperfectos Eléctricos/electronicos	41	35	52	48	20
Desperfectos mecánicos	120	140	130	52	55
Desperfectos electrónicos	46	55	20	15	14
Corrección índices lechos de fusión	50	65	15	5	5
Acondic.Gases SM 2051 Proyectos	43	40	53	48	62
Desperfectos en Cottrell Central	68	65	63	52	45
Inspección autoridades	16	12	15	17	18
<b>TOTAL HORAS DE PARADA</b>	<b>1531</b>	<b>1541</b>	<b>949</b>	<b>714</b>	<b>640</b>
<b>DIAS PARADA</b>	<b>64</b>	<b>64</b>	<b>40</b>	<b>30</b>	<b>27</b>
<b>% PARADA</b>	<b>17</b>	<b>18</b>	<b>11</b>	<b>8</b>	<b>7</b>

Tabla 2.6: Las fallas de los carros sinter afectaron las producciones de los años 1 y 2

## 2.7 Importancia de los carros sinter



Foto 2.7: Verificación de la linealidad de los carros sinter, para su óptima operación.

Los carros sinter son la parte principal de la máquina 2051, y por ende del proceso de sinterizado, el mal funcionamiento del carro sinter específicamente por deformación térmica, influye en obtener un sinter de baja calidad y cantidad, la disponibilidad del equipo disminuye, los materiales de la mufla no soportan continuos enfriamientos y calentamientos por paradas intempestivas y llegan a fisurarse.

En cuanto a la calidad y cantidad del sinter influye en obtener difícilmente el plomo, pues el sinter contiene menos de 37% de plomo, cuando lo normal debe encontrarse por encima de los 39%.

Así mismo influye en el aspecto ambiental, debido al mal proceso, el dióxido de azufre no puede controlarse convenientemente y hay más contaminación al medio ambiente, esto conlleva a observaciones de la sociedad civil, lo cual nos obliga a parar constantemente en forma inmediata las operaciones hasta que se normalice los niveles de  $\text{SO}_2$  en el ambiente.



### 3 Formulación del problema

El problema se identifica, cuando los productos no se están obteniendo en la calidad deseada, o en la cantidad estimada. Se realiza un análisis a nivel de todas las plantas para ver el origen de la falta de calidad del producto, cada planta reporta la calidad del producto haciendo un seguimiento en todo el proceso.

#### 3.1 Producción de plomo y su análisis

La producción de plomo de obra después del proceso en los hornos de manga, normalmente debe mantener la siguiente composición y calidad química:

ANÁLISIS QUÍMICO PLOMO BULLON – SINTER NORMAL			
No	Símbolo	Descripción	Contenido %
1	Pb	Plomo	96
2	Cu	Cobre	0.004
3	Sb	Antimonio	1.52
4	As	Arsénico	0.03
5	Bi	Bismuto	1.61
6	Ti	Titanio	1.0

Tabla 3.1: Valores de la composición química del producto bullon cuando la calidad del sinter y su producción es normal



Foto 3.1 La baja calidad del producto produce encostramientos innecesarios

Tabla 3.1: Valores de la composición química del producto bullon cuando la calidad del sinter y su producción es normal

En condiciones normales de operación la producción de plomo es aproximadamente 10000 toneladas por mes.

En un lapso de dos años la producción se vio afectada por el proceso mismo y también por la falta de disponibilidad de los equipos importantes del circuito, se obtenía hasta 6% menos de la producción normal, y las emisiones fugitivas incrementaron en 2.5% en las campanas de la máquina.

ANÁLISIS QUÍMICO PLOMO BULLON – SINTER NO PROPIADO			
No	Símbolo	Descripción	Contenido %
1	Pb	Plomo	94
2	Cu	Cobre	0.006
3	Sb	Antimonio	1.60
4	As	Arsénico	0.03
5	Bi	Bismuto	1.61
6	Tl	Talio	3.0

Tabla 3.1A: Composición química del plomo bullon, cuando hay deficiencias en la producción del sinter a causa de la falla de los carros sinter

El Cobre: dificulta el proceso de recuperación de metales preciosos en los lodos anódicos.

El antimonio: endurece el lodo anódico y dificulta el proceso de obtenerlo en las lavadoras de refineras.

El resultado del análisis químico anterior, dice claramente del proceso inadecuado de la máquina sinterizadora, esto nos lleva a realizar un análisis minucioso del sinter que se produce en aglomeración, tanto de la calidad física como de la calidad química.

### 3.2 Producción del sinter y su análisis



Foto 3.2: La faja Número 34 envía el sinter producido en aglomeración, hacia los hornos de manga.

El sinter es una composición de concentrado de plomo 50 toneladas/hora, sinter fino 150 toneladas/hora, y coke 2 toneladas; el sinter fino es obtenido del reciclaje del proceso. La producción de sinter pasa por varios procesos mencionados abajo

Reclamado: 1184 toneladas/día de concentrado de plomo,  
 Peletizado: formación de bolas o pellets para el ingreso a la máquina sinterizadora.

Sinterizado: a 900 °C de temperatura.

Cantidad de sinter producido: De 1820 toneladas de concentrado reclamado se obtiene aproximadamente entre 950 y 1020 toneladas diarias de sinter.

La calidad química física normal de sinter en la planta de aglomeración es:

<b>SINTER NORMAL - DESCRIPCIÓN QUIMICA</b>			
No	Símbolo	Descripción	Contenido %
1	Pb	Plomo	41.74
2	Cu	Cobre	3
3	Sb	Antimonio	0.9
6	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	Magnetita	3.2
7	S	Azufre	2

<b>SINTER NORMAL - DESCRIPCIÓN FÍSICA</b>			
8	Ag	Contenido Plata g/ton	2420
9	∅	Tamaño de sinter	≥2"
10	Cantidad	Toneladas sinter diario	1040

Tabla 3.2: Características físicas del sinter en producción normal.

La magnetita no debe pasar el 3.5%, por encima de ese nivel se lleva a metales preciosos por las escorias.

El azufre no debe pasar el 2.5 %, 1ro por cuestiones ambientales, y 2do por que formaría sulfuro de plomo, disminuyendo la producción de plomo de obra.

El cobre, no debe pasar el 3% para facilitar el decoperizado en las ollas.

Los análisis realizado en las diferentes plantas como residuos anódicos, refinería de plomo, hornos de plomo, formulan que la calidad de la producción de los diferentes metales y la cantidad de la misma, están siendo afectadas desde su inicio, por la calidad del sinter producido en aglomeración, por ello, se realiza un análisis químico al sinter y toma de las medidas del diámetro. El resultado del sinter no apropiado es el siguiente:

<b>SINTER NO APROPIADO - DESCRIPCIÓN QUIMICA</b>			
No	Símbolo	Descripción	Contenido %
1	Pb	Plomo	38.5
2	Cu	Cobre	3.4
3	Sb	Antimonio	0.71
6	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	Magnetita	3.6
7	S	Azufre	2.5

<b>SINTER NO APROPIADO - DESCRIPCIÓN FÍSICA</b>			
8	Ag	Contenido plata g/ton	2200
9	∅	Tamaño de sinter	≥1.5"
10	Cantidad	Toneladas sinter diario	950

Tabla 3.2 A: Características físicas del sinter, cuando fallan los carros sinter



Se llegó a la conclusión que el sinter no apropiado, era producido por el proceso deficiente de la máquina de sinterización, éste a su vez dependían de la performance de los carros sinter.

Problemas identificados:

1. Baja temperatura de operación, no subía a los 850°C
2. Pérdida de material por caída y falta de hermeticidad.
3. Deficiente proceso de sinterizado, el tamaño disminuyó en ½ pulgada
4. El azufre estaba con altos niveles, perjudicando la calidad de aire
5. El contenido de plata en el sinter había disminuido en 8%, facilitando su salida por la escoria conjuntamente con la magnetita.
6. El decoperizado en las ollas de plomo tardaba más debido a su alto contenido de cobre en el sinter.

El Área de mantenimiento mecánico procedió a chequear los equipos, entre ellos el reductor principal, quemadores de la mufla pistas de deslizamiento de los carros, en el cual se intuía que habría falta de sellado y sería la zona de fuga de algunos materiales.

La presencia de material aglomerado, en la faja inferior a la transmisión de los carros sinter indicó que faltaba hermeticidad entre carros, o que las parrillas fabricadas en fundiciones nacionales estaban fallando. Así es que se destapó la máquina para ver la continuidad de las parrillas y se notó claramente que la deformación de los carros por efectos de temperatura y abrasión, realmente dificultaba y mermaba el proceso de sinterización.

La reparación se centraba en los carros sinter, y ello consistía básicamente en enderezar las estructuras laterales longitudinales, también reforzar todas las platinas del carro.

### 3.3 Deformación de los carros sinter



Foto 3.3: Los largueros de los carros se deforman, por la temperatura de trabajo 900 °C, y por perder espesor a causa de la abrasión

El carro sinter tiene 2 cabezales a los lados, cada uno provisto de 2 ruedas. Estas ruedas sirven para la traslación general de los carros y son empujados por un sprocket de 2.8 m de diámetro.

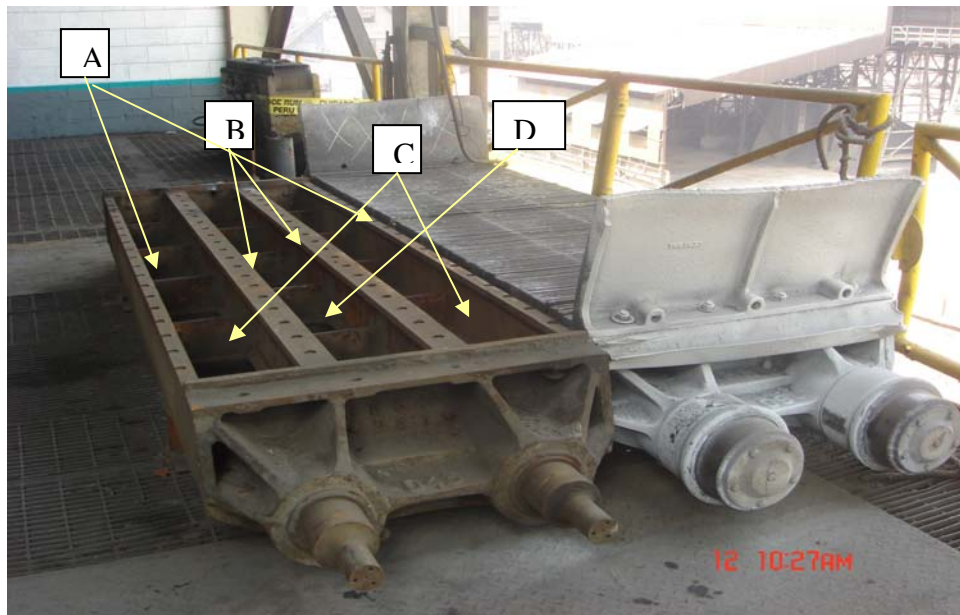


Foto 3.3A: Desmontaje del carro sinter para inspección de su linealidad.

Deformación de los carros sinter:

Los carros sinter de acero fundido y difícil soldabilidad comenzaron a tener problemas continuos, e incidentes de rotura en los alerones centrales.

Se tomaron 2 carros para muestra, el carro N° 124, y el carro N° 7, el cuadro siguiente:

Carro N° 124 – DEFORMACION TERMICA				
	Planchas Laterales A	Planchas Centrales B	Refuerzo Lateral C	Refuerzo Central D
Desviación Longitudinal	Hasta 2-1/2"	Hasta 1/2"	Rotura y 1/4"	Rotura y 1/4"

Carro N° 007 – DEFORMACION TERMICA				
	Planchas Laterales A	Planchas Centrales B	Refuerzo Lateral C	Refuerzo Central D
Desviación Longitudinal	Hasta 2-1/2"	Hasta 1/2"	Rotura y 1/4"	Rotura y 1/4"

Tabla 3.3: Medidas de desviaciones Carros 7 y 124, por efectos de temperatura y desgaste

Las roturas de las cartelas centrales y laterales se debieron a la deformación o desviación longitudinal de las plancha laterales y centrales.

### 3.4 Espesores de los carros sinter.



Foto 3.4: Verificación de espesores, de la estructura del carro sinter, en el Taller Estructural

A la simple observación, el espesor de la estructura no tenía problemas, pues, los cantos de las planchas mantenían el espesor o habían sufrido pequeño desgaste, sin embargo, la deformación estructural solamente debía ser el resultado por falta de rigidez estructural es decir falta de espesor a causa de la abrasión y efectos de temperatura. Además algunas roturas examinadas tenían espesores muy delgados, así es que para determinar los espesores en cada punto seleccionado, se procedió a perforar 25 agujeros por cada carro, obteniéndose los siguientes resultados.

CARRO N° 124 – MEDIDAS DE ESPESORES		
	Espesor Original	Espesor Medido
Planchas Centrales A	1 pulgada	0.375 pulgada
Planchas Laterales B	1 pulgada	0.375 pulgada
Cartelas Refuerzo centrales C	0.750 pulgada	0.250 pulgada
Cartelas refuerzo laterales D	0.750 pulgada	0.250 pulgada

CARRO N° 007 – MEDIDAS DE ESPESORES		
	Espesor Original	Espesor Medido
Planchas Centrales A	1 pulgada	0.312 pulgada
Planchas Laterales B	1 pulgada	0.312 pulgada
Cartelas Refuerzo centrales C	0.750 pulgada	0.232 pulgada
Cartelas refuerzo laterales D	0.750 pulgada	0.232 pulgada

Tabla 3.4: Medidas de los espesores tomados a los carros en reparación, Carros números 7 y 24.

### 3.5 Análisis estructural de los carros sinter

Las planchas laterales y planchas centrales del carro están sometidos a esfuerzo cortantes, con dos tipos de fuerzas;  $F_1$  el peso de los largueros y  $F_2$  el peso de la carga aglomerada.

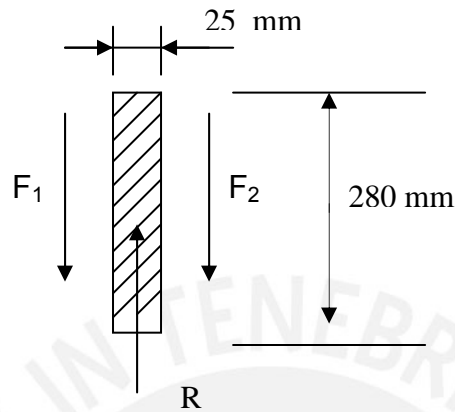


Figura 3.5: Diagrama de esfuerzos en la sección de un larguero del carro sinter

El esfuerzo cortante para una área de  $70 \text{ cm}^2$  cuyo peso aplicado de  $1000 \text{ kg}$  es  $\tau_1 = 1.8 \text{ kg./cm}^2$ . El esfuerzo cortante sube a 4 veces por la disminución del área en la misma cantidad, pasando el esfuerzo cortante permisible, muchas de las uniones se encontraron fisurados y algunos en separación.

Soldar las zonas fisuradas sería tomar una acción paliativa, primero por que el material fundido del carro es de baja soldabilidad, y segundo las vibraciones por efectos de la manipulación del carro fisuran más las uniones soldadas, en todo caso sería cambiar la parte estructural total de los carros sinter.

La distribución de las cartelas, sirven para soportar las posibles deformaciones de los largueros, en este caso las cartelas sufrieron demasiado desgaste a tal punto de fisurarse en la junta con los largueros laterales, de tal forma que la linealidad de los largueros se ve afectada hasta en 2-1/2 pulgadas, sobre todo en la parte central.

#### 3.5.1 Cálculo del esfuerzo de tensiones por efecto térmico para la deformación de los largueros.

Se ha considerado cada lateral como un elemento firmemente sujeto entre 2 muros, y el esfuerzo del larguero es cero a  $15$  grados centígrados. Hallaremos el esfuerzo a  $950$  grados centígrados.

$$\sigma_T = \alpha L (\Delta T) = FL / AE = \sigma L / E$$

Así mismo para que haya deformación  $\sigma_T = \sigma$ , entonces

$$\sigma = \alpha (\Delta T) E$$

$$\sigma = 10.6 \mu\text{m}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C}) * 180 \text{ GN}/\text{m}^2 * 935 ^\circ\text{C}$$

$$\sigma = 10.6 * 10^{-6} * 180 * 10^9 * 935$$

$$\sigma = 1800 \text{ MPa}$$



Puede observarse que la longitud no interviene, el esfuerzo es independiente de las características geométricas, sólo depende de las características físicas y del cambio de la temperatura. Así mismo el esfuerzo es tan grande que produce roturas en el carro



Foto 3.5: Verificación de las deformaciones del carro sinter con ayuda de una gata.

El trabajo de los carros sinter se encuentra en un ambiente a  $950^{\circ}\text{C}$  de temperatura, motivo por el cual, los largueros laterales, después de trabajar 25 años seguidos, también tiene fatiga térmica, además las zonas fisuradas están contaminadas con los materiales de proceso, entre ellos el azufre, lo que dificulta primeramente la soldadura y segundo imposibilita el enderezado de los largueros, a no ser que se produzca la deformación plástica de las planchas laterales.

Para que tenga efecto la soldadura, es necesario quemar la zona a soldarse, luego llegar al alma de la plancha, para proceder con un baño de recubrimiento de soldadura inoxidable, posteriormente hacer la junta entre el material inoxidable de los cabezales y el material inoxidable de los laterales.

#### 4 Planteamiento de soluciones

El problema es crítico, la baja calidad del sinter y la cantidad inadecuada, hace que la producción del plomo disminuya en aproximadamente 6%, la producción de plata ha decrecido ligeramente, la magnetita es difícil limpiar en el proceso y fijarlo para que salga por las escorias.

En la planta existen 10 carros adicionales a los 142 que trabajan en la máquina sinterizadora. El plan inmediato es reparar los diez disponibles para cambiarlos en cada parada de planta.

Dentro del proceso de reparación se ha previsto lo siguiente:

- a) Retiro de las 4 ruedas, para posteriormente engrasarlo.
- b) Determinar las zonas fisuradas.
- c) Enderezar las planchas laterales, utilizando una bomba hidráulica de 50 toneladas, mantener la presión de doblado por el lapso de un día para lograr linealidad de los largueros.
- d) Verificar las fisuras que posiblemente se incrementaron.
- e) Soldar las fisuras, con las técnicas de aporte de soldadura para aceros disímiles en ambos lados de la unión.
- f) Medición e informe de las cotas más significativas del carro sinter.

##### 4.1 Reparaciones en talleres externos

Las reparaciones que debían efectuarse en los talleres de terceros teniendo en cuenta los pasos descritos anteriormente.

Cotizaron 4 talleres externos:

TALLER 1 - COTIZACION					
Item	Cantidad	Unidad	Descripción	Precio Unitario U.S. \$	Precio Total U.S. \$
1	141	St	1. Determinar las zonas fisuradas  2. Enderezar las planchas laterales, utilizando una bomba hidráulica de 50 Toneladas, mantener la presión de doblado por el lapso de un día para lograr linealidad de los largueros.  3. Verificar las fisuras que posiblemente se incrementaron  4. Soldar las fisuras, con las técnicas de aporte de soldadura para aceros disímiles en ambos lados de la unión.	2100	296100
<b>TOTAL (SIN IGV)</b>					<b>296100</b>



TERMINOS Y CONDICIONES DEL TALLER 1		
No	Descripción	Términos
1	Precio	Dólares Americanos sin IGV
2	Condición de pago	A 30 días por carros entregados
3	Plazo de entrega	4 carros por mes
4	Lugar de entrega	En los almacenes de Callao
5	Validez de la oferta	30 días emitida la cotización
6	Prueba de soldadura	Tintes penetrantes y visual
7	Garantía del trabajo	1 mes, dependiendo del trabajo
8	Recepción de carros sinter	5 por mes
9	Observaciones	Necesitamos la presencia de un ingeniero de su planta para la observación continua de la reparación.

Tabla 4.1A: Cotización de un taller tercero para la reparación de enderezado del carro sinter

El taller 1, concretamente no garantiza el trabajo, debido a que las reparaciones no consideran cambio de material, el carro trabajaría con la fatiga térmica inicial. La velocidad de reparación no es de las mejores pues la reparación de todos los carros se terminaría en aproximadamente 3 años, así mismo solicitan un personal casi a tiempo completo para dar indicaciones de reparación.

El taller 2, tienen instalaciones de grandes dimensiones que permiten hacer reparaciones a gran escala, ellos emiten la siguiente oferta para la reparación de los carros sinter

TALLER 2 - COTIZACION					
Item	Cantidad	Unidad	Descripción	Precio Unitario U.S. \$	Precio Total U.S. \$
1	141	St	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Determinar las zonas fisuradas</li> <li>2. Enderezar las planchas laterales, utilizando una bomba hidráulica de 50 Toneladas, mantener la presión de doblado por el lapso de un día para lograr linealidad de los largueros.</li> <li>3. Verificar las fisuras que posiblemente se incrementaron</li> <li>4. Soldar las fisuras, con las técnicas de aporte de soldadura para aceros disímiles en ambos lados de la unión.</li> </ol>	5800	817000
<b>TOTAL (SIN IGV)</b>					<b>817000</b>

TERMINOS Y CONDICIONES DEL TALLER 2		
No	Descripción	Términos
1	Precio	Dólares Americanos sin IGV
2	Condición de pago	50% adelantado
3	Plazo de entrega	15 carros por mes
4	Lugar de entrega	Debe recogerlos en el taller
5	Validez de la oferta	15 días emitida la cotización
6	Prueba de soldadura	Ultrasonido
7	Garantía del trabajo	6 meses
8	Recepción de carros sinter	15 por mes
9	Observaciones	El transporte de los carros es un costo adicional que debe asumir el usuario.

Tabla 4.1B: Cotización del taller 2 para la reparación de enderezado del carro sinter

El taller 2, tiene condiciones financieras bastante exigentes, difícilmente se adecuan a las empresas mineras que requieren el servicio, el tiempo de reparación es aceptable, la garantía también es aceptable.

Por último hay una alternativa de un taller de gran envergadura, dedicado inclusive a la fabricación de naves marítimas.

TALLER 3 - COTIZACION					
Item	Cantidad	Unidad	Descripción	Precio Unitario U.S. \$	Precio Total U.S. \$
1	141	St	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Determinar las zonas fisuradas</li> <li>2. Enderezar las planchas laterales, utilizando una bomba hidráulica de 50 Toneladas, mantener la presión de doblado por el lapso de un día para lograr linealidad de los largueros.</li> <li>3. Verificar las fisuras que posiblemente se incrementaron</li> <li>4. Soldar las fisuras, con las técnicas de aporte de soldadura para aceros disímiles en ambos lados de la unión.</li> </ol>	3100	437100
<b>TOTAL (SIN IGV)</b>					<b>437100</b>

TERMINOS Y CONDICIONES DEL TALLER 3		
No	Descripción	Términos
1	Precio	Dólares Americanos sin IGTV
2	Condición de Pago	A 30 días por carros entregados
3	Plazo de Entrega	10 carros por mes
4	Lugar de entrega	En los almacenes del Callao
5	Validez de la Oferta	45 días emitida la cotización
6	Prueba de soldadura	Tintes penetrantes y visual
7	Garantía del trabajo	6 meses
8	Recepción de carros sinter	10 por mes
9	Observaciones	El usuario debe reportar inmediatamente las anomalías por reparación, para considerar la nueva reparación por garantía.

Tabla 4.1 C: Cotización del taller 3 para la reparación de enderezado del carro sinter

La infraestructura del tercer taller es grande y adecuado para este tipo de trabajos, el tiempo de entrega de 10 carros mensuales aunque aparentemente buena, no cubre nuestras expectativas de reparar los carros en menos de un año fiscal, también hay que reportar en forma inmediata las anomalías producto de la reparación, si aparece otra fisura que es supuestamente por trabajo, el proveedor no lo considera.

Se tomó la determinación de reparar los carros en el taller 3, se programó con operaciones para el envío de 10 carros mensuales, y coincidía con el Stand by de carros sinterizadores, Se hizo una nueva coordinación con el taller 3, para bajar los tiempos de entrega, al término de las conversaciones se quedó en 10 carros cada 25 días, el planning para terminar la reparación del total de carros se proyectaba a 1 año exactamente con un desembolso de 437100 dólares que servían para enderezar y reforzar con soldadura las partes fisuradas.

Hay que tener en cuenta que aunque se realice la reparación total de carros, nuestros cálculos proyectaban que en ese lapso nuevamente debía haber deformación térmica de material fatigado y desgastado, con lo cual entraríamos en un círculo vicioso sin mayores frutos, cada año tendría que renovarse el contrato para la reparación superficial de estos carros.

Después de 1 mes y medio de reparaciones del taller 3, empezaron a verse anomalías en la reparación, se enviaron notificaciones al taller 3, la descripción de errores continuos con la siguiente descripción:

- a) Desviaciones de los largueros del carro desde  $\frac{3}{4}$  a 1 pulgada,
- b) Fisuras de uniones entre cartelas y planchas laterales
- c) Fisuras de uniones entre cartelas y planchas centrales
- d) Fisuras de uniones entre planchas laterales y cabezal
- e) Fisuras de uniones entre planchas centrales y cabezal.

Las devoluciones del carro sinter empezaron a ser frecuentes, sin embargo, no había otra forma de enderezar el carro, el enderezado recurría a una deformación plástica, en algunos casos se incrementaba las roturas al querer enderezar los largueros.

En algunos casos por la necesidad de contar con carros de stand by, se tuvo que soldar las zonas fisuradas en los talleres propios de la empresa, para ello

tuvimos que elaborar el procedimiento de soldar un material casi disímil y prácticamente quemado por la temperatura de trabajo.

#### 4.2 Reparaciones de Mantenimiento de Planta

La reparación de los carros sinter por los mecánicos de aglomeración es posible solamente si se tiene los recursos de mano de obra, materiales y equipos, para ello se revisó el tipo de trabajo, el back log de la planta de mantenimiento mecánico aglomeración, el know how del personal.

##### 4.2.1 Establecer la orden de trabajo

Se realiza el estimado de horas hombres necesarios para reparar los carros sinter, así mismo se verifica con bodega la existencia de los repuestos y equipos.

##### 4.2.2 Recurso humano

$RH = (\text{horas/hombre de reparación})/\text{horas reparación}$

$RH = 432 / 36 = 12$  hombres

12 hombres trabajando 12 horas cada día.

$432 * (\$6.5/\text{hora hombre}) = \$2808$  dólares, mano de obra por cada carro.

##### 4.2.3 Repuestos

Materiales considerados: soldadura, discos de esmeril, suples, energía eléctrica, y costos de equipo considerados en la hora hombre del taller.

El costo de los materiales es aproximadamente \$ 850 dólares por carro, muchos de los materiales como la soldadura llegarían en 15 días.

##### 4.2.4 Equipos

Los talleres de mantenimiento cuentan con equipos hidráulicos de 100 toneladas, sin embargo había que preparar una rampa de 3 m de profundidad a un costo de \$ 2500 dólares americanos.

##### 4.2.5 Criticidad del equipo

Para que el planeamiento de la reparación, sea efectiva se debe tener en cuenta la criticidad y prioridad de la reparación, para ello se vieron los parámetros que indica la necesidad de repararlos.

		Prioridad		
		1	2	3
Criticidad	Alta		X	
	Media			
	Baja			

Tabla 4.2: El cuadro indica la prioridad de reparación, y la criticidad que representa la máquina 2051 con sus carros sinter a las operaciones de plomo.

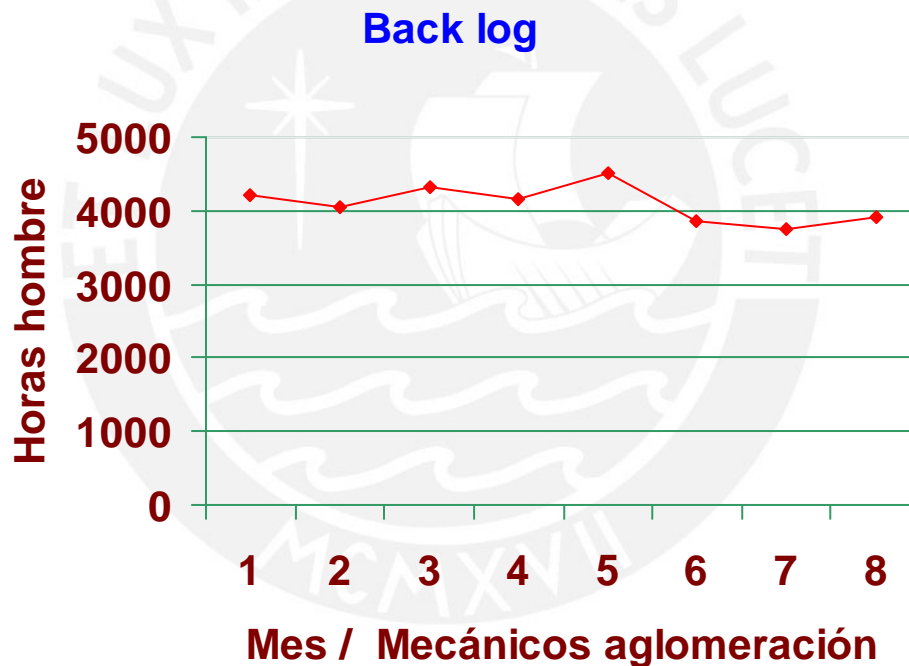
La criticidad en este caso es resultado de cómo afecta a la producción de los metales y metales preciosos, las demás áreas de producción dependen de la producción del sinter y esto involucra la performance del funcionamiento del carro sinter, la calificación es **alta**.

La prioridad si bien es cierto que de todas maneras tiene que realizarse la reparación, pero, no es el único equipo que mantiene la operación en las 24 horas de producción, y en este caso, los carros sinter trabajan aunque no eficientemente, la calificación es 2.

#### 4.2.6 Revisión de back log

Define si la cantidad de trabajadores que se tiene en el área de mantenimiento mecánico aglomeración pueden realizar la reparación sin afectar los otros mantenimientos, en todo caso si afecta en términos de tiempo, se puede recuperar los demás mantenimientos.

El Back log indica la cantidad de horas hombre que trabajarían los mecánicos si solamente se dedican a terminar los trabajos pendientes.



Cuadro 4.2.6: El Back log indica que los mecánicos de planta tienen bastante carga de trabajo, y dedicarse a la reparación del carro sinter, incrementaría aun más su carga

De acuerdo al cuadro elaborado, los mecánicos de mantenimiento aglomeración, tienen un back log de 4000 horas hombre en promedio mensual, considerando que el área mecánica tienen 22 trabajadores, 12 de ellos reparan exclusivamente los carros sinter, la fuerza laboral sería de 10 trabajadores para las tres guardias de trabajo, lo que indica que el back log empezaría a crecer en forma lineal con pendiente pronunciada.



El cuadro nos permite concluir que si se realiza la reparación, se tiene que combinar la fuerza laboral, es decir, un promedio de 5 trabajadores serían del área de mantenimiento mecánico aglomeración y los otros 7 de igual capacidad deben contratarse.

El back log para 22 trabajadores de mantenimiento mecánico aglomeración es de 28 días aproximadamente. Como gestión de mantenimiento debe mantenerse o bajarse la cantidad de días del back log, lo recomendable a nivel mundial está entre 3 a 4 semanas.

#### 4.2.7 Planeamiento de la reparación

- ❖ Coordinar prioridades de reparación de equipos críticos, por ejemplo los ventiladores 2121, 2114, 2113, 2112, 210
- ❖ Los recursos de materiales y mano de obra pueden estar listos en 2 semanas, para trabajar en una sola guardia de 12 horas.
- ❖ Los programas de mantenimientos preventivos han sido desplazados convenientemente para que no afecte sobre todo a la producción.
- ❖ El back log, indica que no debe realizarse la reparación, para no afectar los mantenimientos preventivos e incrementar los mantenimientos correctivos.

#### 4.3 La eficiencia de la reparación

Es uno de los indicadores más importantes de la gestión de mantenimiento, inclusive para evaluar costos de la reparación total, si usamos convenientemente los procesos de reparación y evitamos los tiempos muertos nuestra eficiencia aumenta, es necesario hacerle seguimiento a este ratio.

Cuando se hizo una prueba de reparación de los carros sinter se obtuvo lo siguiente:

**Eficiencia** = Hora-Hombre reales por tarea / Horas-Hombre estimadas por tarea

$$= 432 / 456 = 94\% \text{ eficiencia de reparación.}$$

##### 4.3.1 Mecánicos de aglomeración y el benchmarck

Por último se estableció un benchmarck para lanzarse al proyecto con personal de mantenimiento de planta. Estos indicadores nos ayudan cuando queremos establecer comparativos a nivel nacional.



Categoría	Benchmark
<b>Costo anual de mantenimiento:</b>	
Costo total de mantenimiento / Costo total del producto	< 10-15%
Costo mantenimiento / Costo de reemplazo del activo	< 3%
Mano de obra en mantenimiento como porcentaje del total	15%
<b>Planeación de mantenimiento</b>	
Mantenimiento planeado / mantenimiento total	> 85%
Manto planeado y programado como un % del total en h-hombre	85 – 95%
Tiempo de parada de equipo no programada	3%
Mantenimiento reactivo	< 15%
Emergencias	<10%

Tabla 4.3: Comparaciones del trabajo de mantenimiento de la empresa, con niveles de mantenimiento mundial

#### 4.4 Resultados del análisis de mantenimiento de planta para la reparación de los carros sinter.

Los siguientes puntos, resultados del análisis, concluyeron que era difícil en el tiempo, no por el know how del personal

Si se realiza la reparación en mantenimiento de planta, sucede lo siguiente:

- ❖ El back log crece, de tal modo que en 2 meses triplicaría las horas hombre de mantenimiento en espera.
- ❖ Bajaría las horas de mantenimiento preventivo, incrementándose el mantenimiento correctivo.
- ❖ Costo de reparación de cada carro \$ 3650 dólares, el ritmo de trabajo estaría supeditado a los carros sinter disponibles.
- ❖ Monto estimado de reparación \$ 510000 dólares, solamente se lograría reparar las deformaciones térmicas pero no reforzar la estructura en forma general. En conclusión nuevamente caeríamos en un círculo vicioso de reparar cada año los carros sinter, y conforme avanza el tiempo en forma lenta los carros se harían inservibles.
- ❖ La experiencia de reparar en los talleres de terceros no resultó, y el estudio o análisis de realizar la reparación en el área de mantenimiento de la planta aglomeración tampoco dan resultados positivos.

4.5 Adquisición de carros sinter

PROVEEDOR 1 - ALEMAN					
Item	Cantidad	Unidad	Descripción	Precio Unitario U.S. \$	Precio Total U.S. \$
1	141	EA	Carro Sinter de Parrilla, para la maquina de Sinterización por insuflación 3m	59600	8 403 600
<b>TOTAL (SIN IGV)</b>					<b>8 403 600</b>
TERMINOS Y CONDICIONES DEL PROVEEDOR 1					
No	Descripción		Términos		
1	Precio (ya convertidos de Euros)		Dólares Americanos sin IGV		
2	Condición de Pago		Contado contra entrega		
3	Plazo de Entrega		30 carros mensuales		
4	Lugar de entrega		En puerto del Peru		
5	Validez de la Oferta		Indefinido.		
7	Garantía del trabajo		5 años de garantía		
8	Observaciones		La entrega esta condicionado al pago de los mismos. Se exige contraentrega.		

PROVEEDOR 2 - EEUU					
Item	Cantidad	Unidad	Descripción	Precio Unitario U.S. \$	Precio Total U.S. \$
1	141	EA	Carro Sinter de Parrilla, para la maquina de Sinterización por insuflación 3m	21000	2961000
<b>TOTAL (SIN IGV)</b>					<b>2961000</b>
TERMINOS Y CONDICIONES DEL PROVEEDOR 1					
No	Descripción		Términos		
1	Precio		Dólares Americanos sin IGV		
2	Condición de Pago		Contado contra entrega		
3	Plazo de Entrega		20 carros mensuales		
4	Lugar de entrega		En puerto del Peru.		
5	Validez de la Oferta		6 meses		
6	Preparación del modelo		3 meses.		
7	Garantía del trabajo		6 meses de garantía		
8	Observaciones		Requiere los cabezales para volver a fundir.		

Tablas 4.5: Cotizaciones, del proveedor 1 fabricantes de procedencia Alemana, y proveedor 2 procedencia EE.UU.

La alternativa es comprar los carros sinter primero en el fabricante de la máquina 2051 LURGI CHEMIE de Alemania – proveedor 1, y como segunda opción un fabricante de Estados Unidos – Proveedor 2.

Las propuestas son las siguientes:

El desembolso mensual con el proveedor 1 es aproximadamente \$ 1 788 800 dólares, difícil cuando el presupuesto anual se ha fijado en un menor monto.

El desembolso mensual con el proveedor 2 es aproximadamente 420000 dólares, un monto manejable.

La firma de los EEUU no es experta en la fabricación de estos carros sinter, y hacer el prototipo le lleva más de 3 meses, su garantía es baja, considerando que la falla del carro sinter puede paralizar las operaciones y la producción en general.

El proveedor de Alemania tiene costos muy altos, y las entregas de cada envío tienen un tiempo muerto estimado de 15 a 20 días.

En conclusión: Ninguna de las 2 propuestas resulta aceptable.

El área de talleres estructural y maestranza cuya jefatura recae en quien suscribe, presenta un planteamiento de reparación, a la jefatura general de talleres y a la superintendencia para establecer una reingeniería del carro sinter. La propuesta es analizada a nivel de la alta dirección

#### **4.6 Reingeniería de los carros sinter**

Generalidades:

Para entender el proyecto de la reingeniería de los carros sinter, nos basamos en la premisa, que reingeniería significa volver a empezar cambiando todo convenientemente. Reingeniería no es hacer más con menos, es con menos dar más al cliente. El objetivo es hacer lo que ya estamos haciendo, pero hacerlo mejor, trabajar más inteligentemente.

Hacer una revisión profunda y el rediseño de procesos de fabricación de los carros sinter para alcanzar mejoras en costos, calidad, servicio y rapidez.

El área de operaciones:

Para el área de mantenimiento, el área de operaciones son nuestros clientes, hacemos que intervengan en la reparación y también hacemos que ellos asuman el reto, aprovechamos sus inquietudes. La visión que tienen los operadores respecto a la reparación es muy importante aun cuando no sepan de mecánica, pero los resultados que desean tener de la reparación nos alinean a ser más eficientes en los procesos que se va a tener para la reparación.

En base a la reingeniería, aceptamos a operaciones para hacer el diseño como a ellos les gusta y no como nos parecería mejor. Por supuesto todos los requerimientos con un sustento técnico.

#### **Rediseño del carro sinter**

Recordemos que son los procesos y no las organizaciones son sujetas a reingeniería.

Fue una de las partes más difíciles lograr que aceptaran nuestro proyecto, nuestra propuesta fue expuesto hasta en 2 oportunidades, los montos a invertirse eran justificados, la contratación de personal preocupaba tanto a

operaciones como a mantenimiento, específicamente por que teníamos que encontrar la mano de obra calificada, evento que era muy difícil en esas fechas.

Los puntos importantes de planteamiento de reingeniería:

- a. Rediseño del material del carro sinter, es posible que en este mercado de globalización se consiga materiales resistentes a la temperatura a importarse en el breve plazo.
- b. Rediseño de la geometría; es posible, por que mantenimiento sabe como funciona el carro en la maquina 2051, y sabe los requerimiento geométricos mínimos.
- c. Rediseño de las parrillas, mejorar la geometría de las parrillas de acuerdo al requerimiento del personal de operaciones.
- d. Rediseño de la mantenibilidad; en muchos casos los equipos no fueron manufacturados pensando en como se va hacer el mantenimiento, sino solamente pensando en como va a operar.

Aportes de talleres para lograr la reingeniería de la reparación.

- a. Se cambia el proceso de reparación en vez de corregirlo
- b. Hacemos caso de las intervenciones de los obreros involucrados en la reparación, también de los operadores y supervisores.
- c. Hubieron resultados pequeños que no lo celebramos por que siempre estuvimos esperando, el funcionamiento de nuestro primer prototipo.
- d. Hicimos que la reingeniería empiece arriba y se contagie hacia abajo, des este modo todos lo entendían y estaban netamente involucrados.
- e. La reingeniería de la reparación de los carros sinter estuvo liderado por el supervisor que creía en el cambio, y que de todas maneras funcionaria.
- f. Conceptuamos la reparación de los carros sinter, como un aspecto de mejora, mas no como un mantenimiento y reparación rutinaria.
- g. No dimos marcha atrás cuando encontramos resistencia en el desarrollo del proceso de reparación de los carros sinter.
- h. En cada etapa de la reparación, estuvimos con la mente abierta para aceptar mas de una vez una nueva reingeniería.

Los procesos de reparación del carro sinter y la reingeniería

- a. Mantener las dimensiones principales de los carros sinter, aunque varíe significativamente otras medidas.
- b. Buscar otro material que pueda soldarse y que responda la temperatura de trabajo el cual es 900 °C.
- c. Rediseñar el anclaje entre los elementos cambiados y el soporte principal del carro sinter.
- d. Mejorar la mantenibilidad del carro sinter.
- e. Mejorar la resistencia a la flexión en ambientes calientes.

## 5 Marco teórico para la reingeniería

En el capítulo anterior se vió la posibilidad de tener a tiempo los recursos humanos, materiales y equipos, en este capítulo se podrá saber la factibilidad técnica, basados en la ingeniería mecánica: rediseño de materiales, rediseño de los planos de despiece, rediseño del montaje.

### 5.1 Composición química de la estructura del carro sinter

Inicialmente se trató de hacer cortes con oxiacetileno, sin resultado alguno, así mismo se trató de aportar soldadura estructural tampoco hubo fijación del metal de aporte. Para realizar cualquier modificación fue necesario tener el análisis cualitativo y cuantitativo del carro sinterizador, así es que se sacó las virutas del material y se envió para su análisis al laboratorio, dando los siguientes resultados.

COMPOSICION QUIMICA DEL CARRO SINTER			
1	Fe	Hierro	91.9 %
2	Al	Aluminio	0.13 %
3	Cu	Cobre	0.04 %
4	Mn	Manganeso	0.24 %
5	Si	Silicio	2.7 %
6	Sn	Estaño	0.01 %
7	Cd	Cadmio	0.01 %
8	Cr	Cromo	0.05 %
9	C	Carbono	3.47 %
10	S	Azufre	0.0507 %
11	P	Fósforo	0.0159 %
12	Ni	Níquel	0.495 %

Tabla 5.1: Composición química del Carro sinter para estudiar su soldabilidad

PROPIEDADES FISICO QUIMICAS DE LOS COMPONTES				
		Densidad a 20°C	Punto de fusión °C	Punto de ebullición°C
Al	Aluminio	2,70 g/cm <sup>3</sup>	660,5 °C	2467 °C
C	Carbono	3,51 g/cm <sup>3</sup>	3550 °C	4827 °C
Cd	Cadmio	8,64 g/cm <sup>3</sup>	321 °C	765 °C
Cr	Cromo	7,14 g/cm <sup>3</sup>	1857 °C	2482 °C
Cu	Cobre	8,92 g/cm <sup>3</sup>	1083,5 °C	2595 °C
Fe	Hierro	7,87 g/cm <sup>3</sup>	1535 °C	2750 °C
Mn	Manganeso	7,44 g/cm <sup>3</sup>	1244 °C	2097 °C
Pb	Plomo	11,34 g/cm <sup>3</sup>	327,5 °C	1740 °C
Si	Silicio	2,33 g/cm <sup>3</sup>	1410 °C	2355 °C
Sn	Estaño	7,29 g/cm <sup>3</sup>	232 °C	2270 °C

Tabla 5.1 A: Propiedades de los componentes de los carros sinter.

En la tabla se puede apreciar que el azufre tiene un contenido mayor al normal, pues, los hierros fundidos para altas temperaturas tienen azufre entre 0.012% y 0.035%, la explicación es, que el concentrado de plomo aporta sus componentes al medio donde se queman, para comprobar esta teoría se sacó una plancha soporte del shut superior al carro sinter y también se hizo el análisis cualitativo y cuantitativo. Es importante notar que esta vez se usó el acero estructural limpiando la superficie convenientemente con un disco de esmeril muy fino.



COMP. QUIMICA- PLANCHA ESTRUCTURAL SHUT			
1	C	Carbono	0.09 a 0.29%
2	Mn	Manganeso	1.2 %
3	P	Fósforo	0.04 %
4	S	Azufre	0.095 %
5	Si	Silicio	0.4 %

Tabla 5.1 B: Composición química de la plancha estructural de la tolva que circunda al carro sinter, se puede apreciar que está contaminada con azufre.

Los niveles de azufre para el acero estructural está en promedio entre 0.03% y 0.05%, sin embargo como se puede apreciar el nivel de azufre está elevado en la plancha soporte del shut que trabaja en el mismo ambiente que el carro sinter, inclusive esta alejado comparado con el carro sinter.

Tiene su explicación, puesto que en el proceso mismo el azufre esta suelto en el ambiente y es insuflado por la ventiladora, produce el dióxido de Azufre a 900 °C y por la concentración misma llena las porosidades de los materiales fatigados térmicamente, en este caso todo el ambiente interno de trabajo del carro sinter está impregnado con partes del azufre. El ambiente de la cámara de ignición tiene 6.5% de azufre.

## 5.2 Análisis de la soldabilidad de la estructura del carro sinter

Los hierros fundidos son aleaciones de hierro, carbono y silicio en las que generalmente están presentes elementos como el fósforo, azufre, manganeso, Su contenido de carbono normalmente es mayor al 2%, estando comprendido entre 2.5 a 4.5 %. Se caracterizan por adquirir su forma directamente colada no pudiéndose someter estas aleaciones a procesos de deformación plástica en frío ni caliente.

El azufre aparece en las fundiciones como sulfuro de hierro o de manganeso, el primero es perjudicial porque obstaculiza la grafitización, hace la fundición dura y frágil. En la práctica se mantiene el azufre como máximo 0.035%. El sulfuro de manganeso solidifica antes de que lo haga el hierro fundido y lo hace asumiendo diferentes formas geométricas en los límites de los granos por lo que resulta inofensivo para el metal. Todo hierro producido comercialmente contiene alguna cantidad de azufre. El azufre no es totalmente indeseado, algunos tipos de hierro fundido tienen un contenido mínimo para producir la micro estructura y las propiedades deseadas.

### Soldabilidad

De todas las clases de hierro fundido que se indican, se calculan que el 90% de las piezas fabricadas de hierro fundido en el mundo son de fundición gris, la nodular va ganando cada día un mayor terreno en el campo de las fabricaciones por fundición.

Desde el punto de vista de la soldabilidad podemos indicar lo siguiente:

La fundición gris es soldable con los métodos apropiados para soldar hierro fundido. Se tomó de prueba la soldadura de los largueros del carro sinter con una plancha estructural. Con el siguiente procedimiento

- Quemar la zona a soldarse, para eliminar la grasa y la polución de contaminantes por efectos del trabajo, esto se realiza usando el equipo oxiacetileno en modo de calentamiento.
- Limpieza usando disco abrasivo fino de 7 pulgadas por 1-1/4 pulgada
- Preparación de la superficie, calentando hasta 200 °C

- d) Aporte de material, comúnmente llamado mantequillado con soldadura inoxidable.
- e) Verificar si es que hay fisuras, socavado o porosidad
- f) Apuntalar la zona mantequillada con la plancha estructural
- g) Luego pusimos a prueba simulando trabajar en obra, después de 5 horas de prueba empezaron a fisurarse.
- h) Repetimos la prueba durante una quincena, teniendo en cuenta los aspectos de limpieza y precalentamiento, sin embargo los esfuerzos eran en vanos pues nuevamente se fisuraba, la unión se mantenía pero la presencia de fisuraciones era un mal síntoma, pues al aplicarle una fuerza de 3.5 toneladas se quebró.

Conclusión de la soldabilidad:

- ❖ La velocidad de deposición para soldaduras de fundición de hierro debe ser menor a 0.35 kg/h, velocidades mayores crea fisuras y socavación, inadecuado para nuestros propósitos
- ❖ El precalentamiento de la pieza a soldar crea un proceso adicional que en el mejor de los casos demora entre 15 a 20 minutos, en el supuesto caso de una reparación en serie, el precalentamiento sería un cuello de botella.
- ❖ Debido a que el carro sinter se desliza por unos patines llenos de grasa, la temperatura crea vapores de aceite que se van depositando a lo largo del carro, esto también crea contaminación del material, por más que se queme la zona de soldadura hay pequeñas y diminutas porosidades que están impregnadas con aceite o residuos de grasa.
- ❖ El carro sinter tiene 0.015% más de azufre, respectos a las condiciones normales de 0.035%, también los compuestos y vapores de los lubricantes están inmersos en la superficie de los carros sinter, en consecuencia dificulta el proceso de soldadura.
- ❖ La soldadura no acepta la combinación, trabajo en alta temperatura con vibración por deslizamiento del carro.
- ❖ Es necesario que la reingeniería de reparar los carros analice este aspecto y proponga que debe evitarse en lo posible el aporte de soldadura en la masa original de hierro fundido del carro sinter.
- ❖ Si la conclusión es que no toque nada de soldadura en la masa original, también, la reingeniería nos dice que debemos llegar al fondo del problema y replantear un sistema de sujeción que no sea soldadura y que soporte vibración.

### 5.3 Reingeniería estructural del carro sinter

Estaba definido que la parte más gastada de los carros sinter tenía que ser cambiado, también quedaba definido que la soldadura no intervendría directamente a la masa del carro sinter. Por tanto se toma las siguientes consideraciones:

- a. Separar los cabezales laterales, aplicando electrodos de corte para hierro fundido, pues el oxiacetileno no funciona en estos casos.
- b. Establecer un sistema de sujeción entre el cabezal y una plancha de soporte al que se unirán los largueros. Al inicio se iba amarrar la plancha con el cabezal a través de pernos de  $\frac{3}{4}$  pulgada, pero el inconveniente era lograr el torque que soporte dilataciones, esfuerzos de movimientos

bruscos, la mejor solución es remachar, el ajuste se obtiene con el enfriamiento del mismo.

- c. El material de la plancha soporte y los largueros, deben ser soldables con electrodos utilizados en material estructural, con el objetivo de darle rapidez al desarrollo de la obra.
- d. Preparar una machina que contemple todas las dimensiones de acuerdo a plano original.
- e. Los largueros y refuerzos, deben ser materiales estándar de bodega para cualquier reparación inmediata.
- f. La platina que soporta las parrillas deben ser intercambiables, a solicitud del personal de operaciones.
- g. El retiro de cualquiera de las planchas no debe afectar en absoluto las dimensiones del carro.
- h. El montaje final debe someterse a prueba de flexión y trabajo en temperatura.

#### 5.4 Análisis del trabajo en caliente, de los carros sinter

Las condiciones de trabajo del carro sinter son severas, la temperatura de trabajo es de 900 °C expuesto por más de 20 minutos cada vez que pasa por la mufla o quemador.

El hierro fundido es una de las mejores elecciones para altas temperaturas pero su difícil soldabilidad y lenta manufactura imposibilita utilizarlo como una opción.

La solución inmediata es escoger una plancha de preferencia estructural, pero que soporte altas temperaturas sin tener que deformarse.

#### 5.5 Selección de aceros

Una elección rápida es basarse en aceros de composición química preparada para soportar temperatura, adicionalmente ver lo que tenemos en el mercado nacional, pues la importación de materiales nos postergaría el plan por lo menos 4 meses más.

El mercado nacional maneja los siguientes materiales industriales:

PLANCHA	% C	% S	% Mn
ASTM A321	0.15	0.02	0.92
ASTM A36	0.2	0.18	0.3
ASTM A285 grado C	0.25	0.032	0.78
ASTM A242	0.09	0.03	0.38

Tabla 5.5: Composición química de las planchas.

Consideraciones para la elección del tipo de Material:

Plancha ASTM A285 - grado C

- a. Elongación 22%, esta característica es mayor en el grado C, que el grado A con 12% elongación o el grado B con 8% de elongación, el cual ayuda a soportar golpes, explosiones sin tener que fisurarse.
- b. Contenido de Manganeso soporta altas temperaturas y golpes, el carro sinter debe soportar altas temperaturas.

- c. El bajo carbono tiene comportamiento estructural indicado en la tabla 5.5, facilita la soldadura entre ellos con aporte de material en tiempos cortos y grandes deposiciones.

### 5.6 Rediseño de los carros sinter y los planos

Para la reparación en serie de los carros sinter, es necesario rediseñar los planos en base a la reingeniería mostrada en los capítulos anteriores.

A continuación mostramos los planos anteriores y los planos rediseñados.

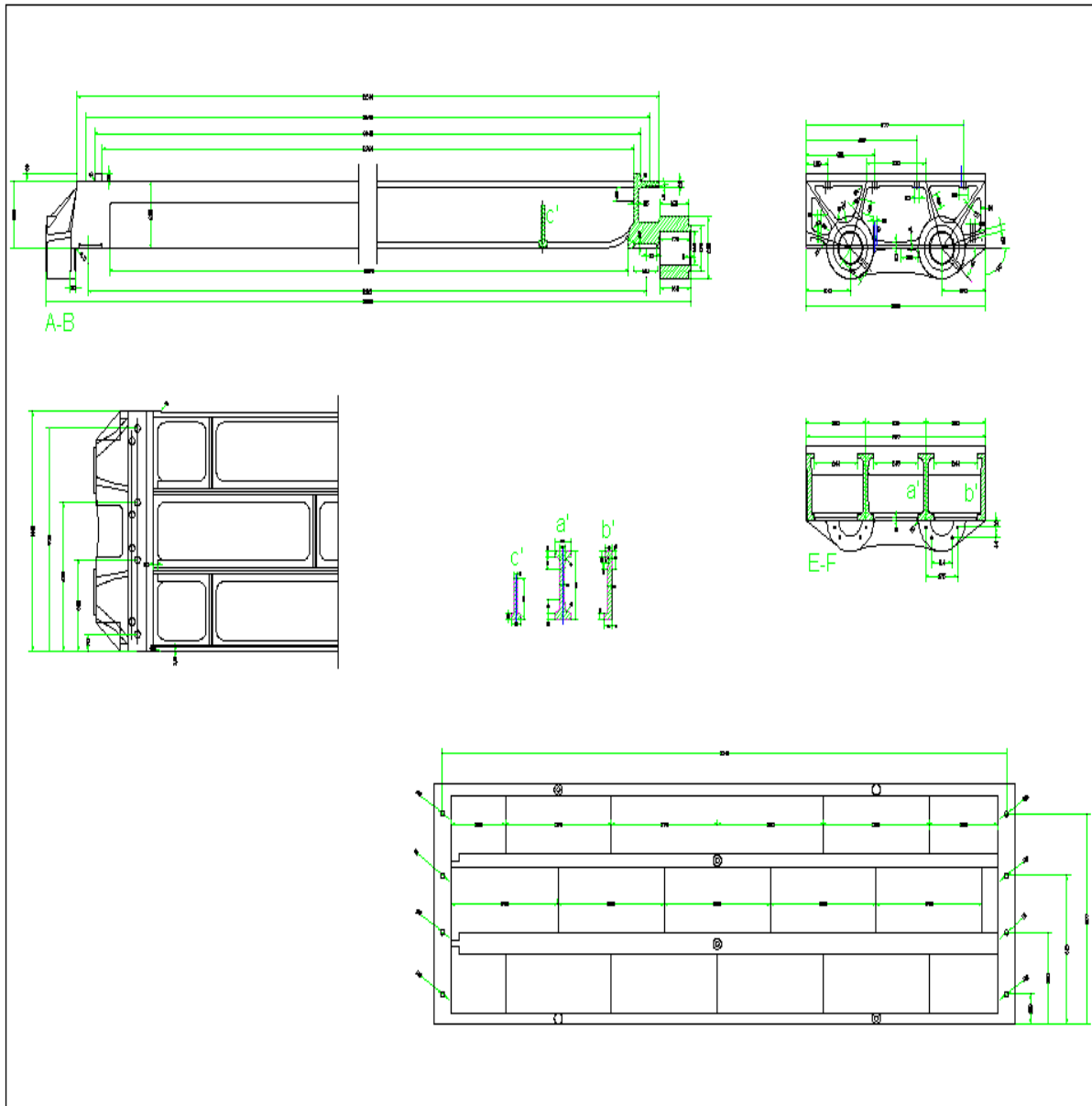


Figura 5.6: El diseño original, establece que la estructura del carro sinter es una sola pieza fundida, es difícil de reparar, y el material fatigado difícilmente acepta soldadura.

Nota: éste plano está adjunta al final de la tesis.

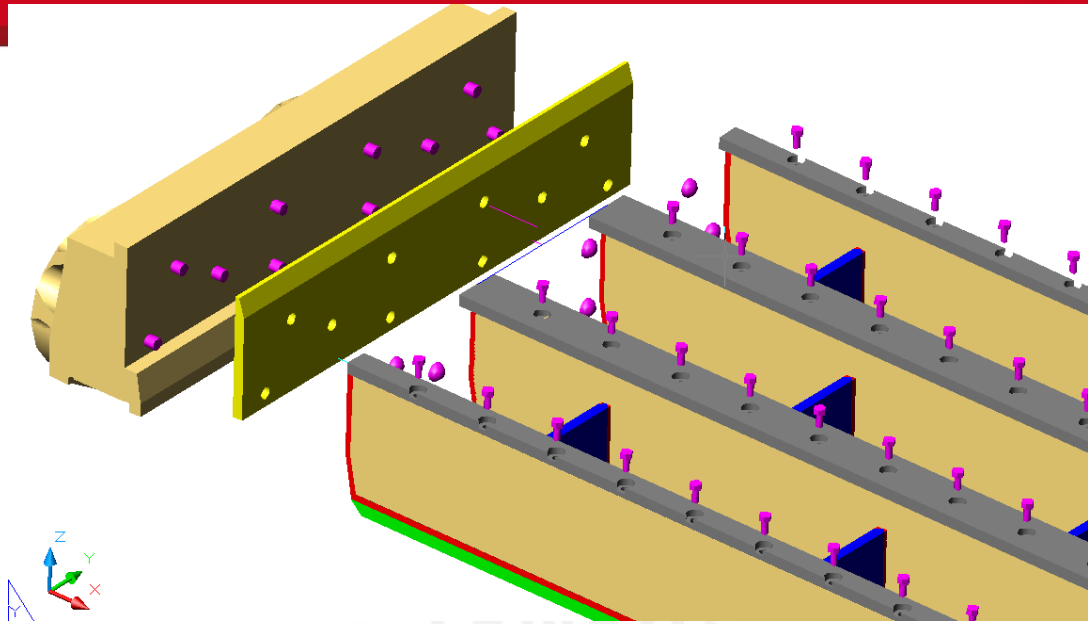


Figura 5.6 A: La reingeniería del carro establece partes intercambiables, utiliza materiales de alta resistencia a la temperatura y abrasión

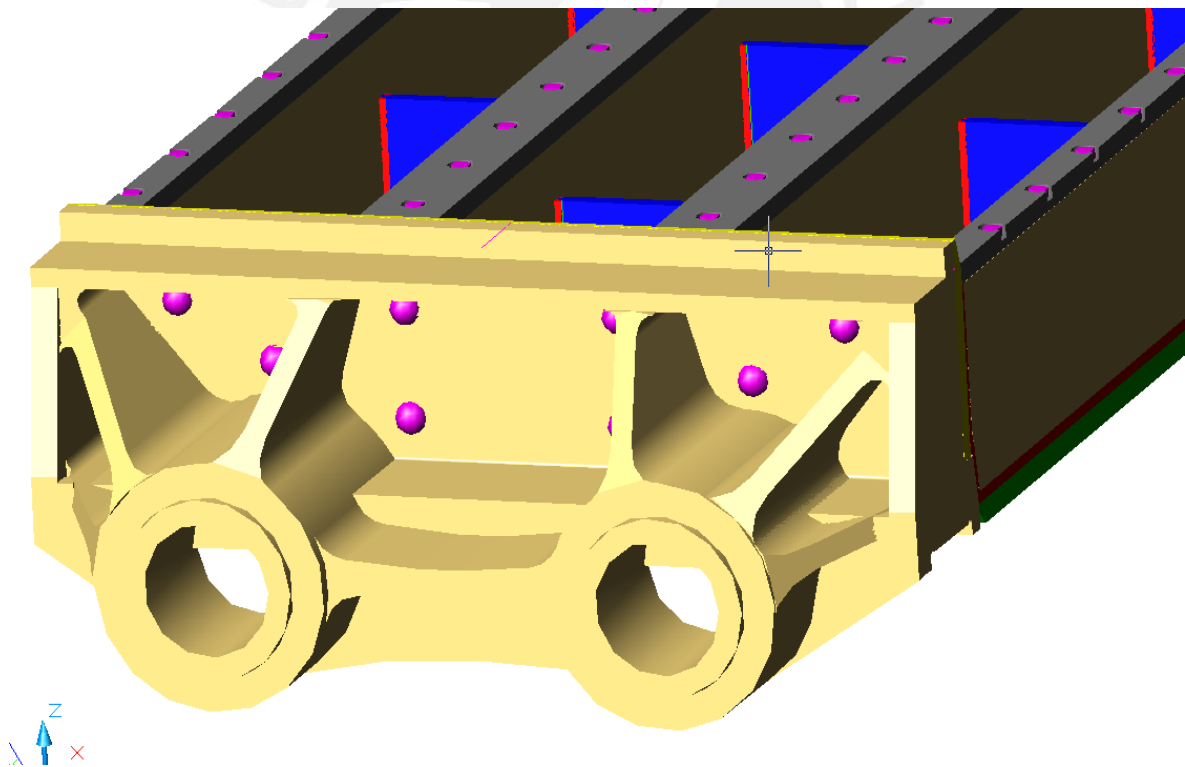


Figura 5.6 B : Se utiliza remaches para soportar la vibración en caliente, estos remaches ajustan la plancha soporte de fijación de los largueros.



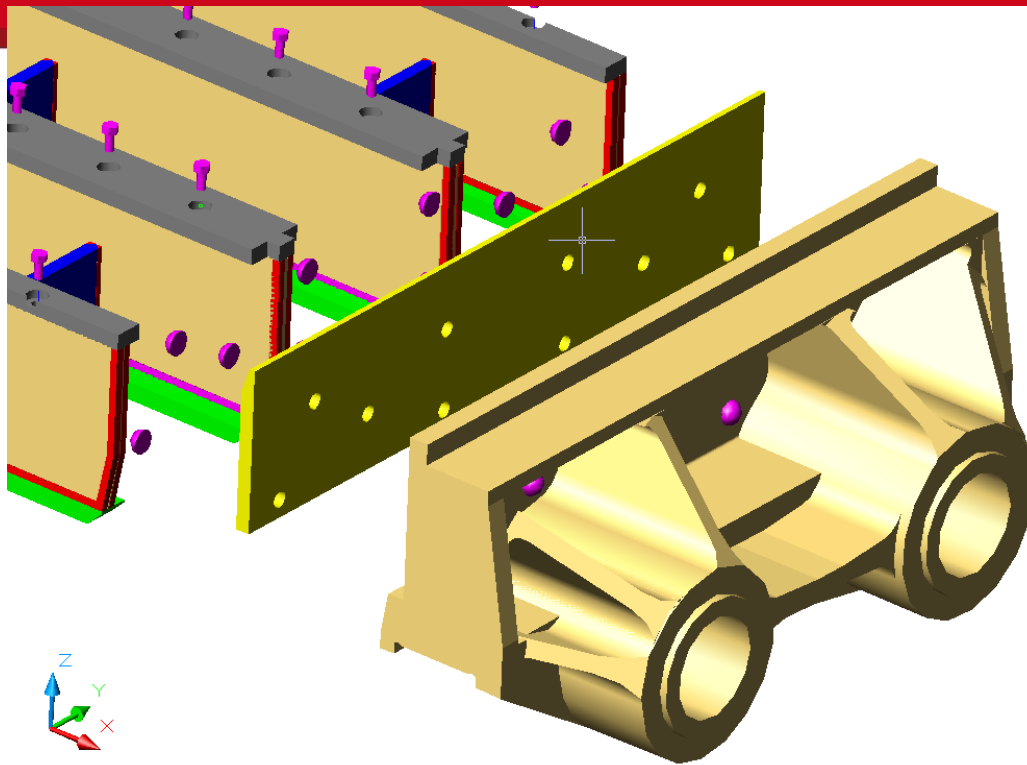


Figura 5.6 C: La plancha de fijación es de material estructural, esto ayuda a la soldabilidad de los largueros.

**NOTAS:**

- 1.- TODAS LAS DIMENSIONES SE HAN TOMADO DE LAS INSTALACIONES EXISTENTES.
- 2.- PARA DETALLES, VER DIB. No. DRP 1-

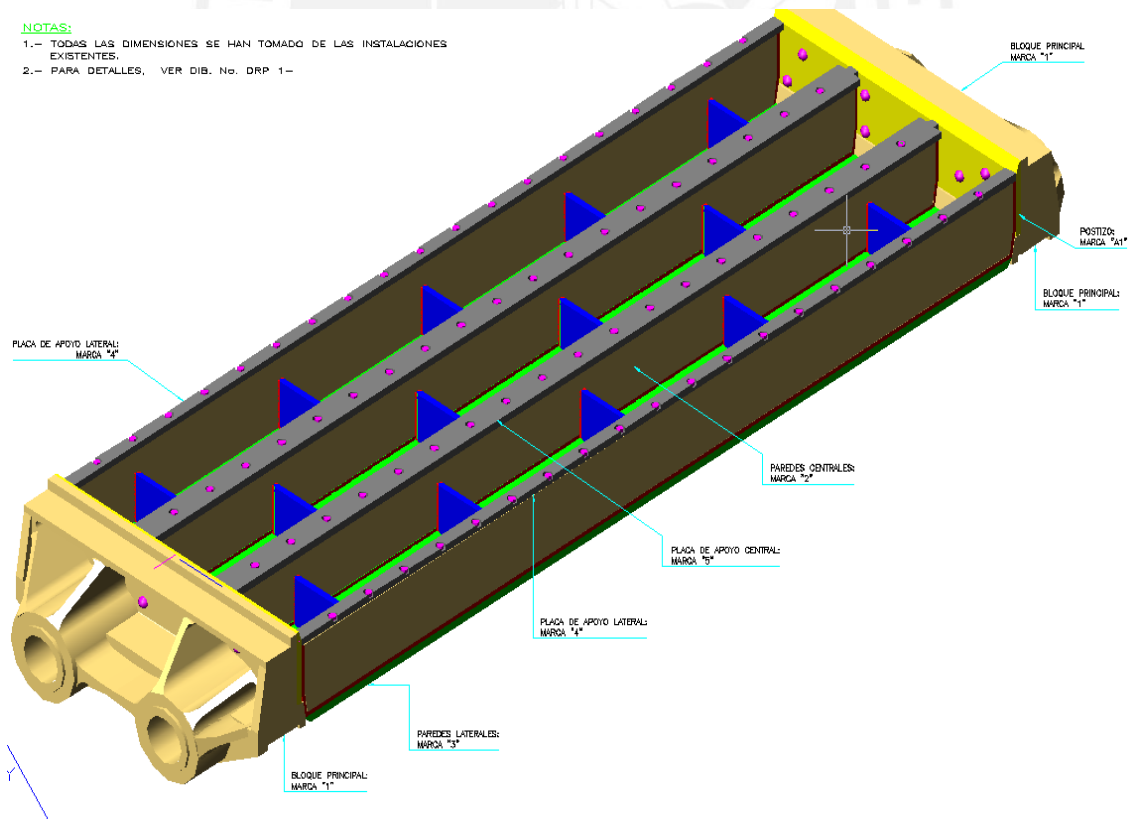


Figura 5.6 D: El carro sinter en su montaje final, posee diferentes materiales, seleccionados convenientemente para las condiciones de operación. Las medidas finales se conservan.

## 6 Ejecución de la reingeniería

La propuesta presentada fue aceptada después de 3 sustentaciones, tuvimos luz verde para los recursos de mano de obra, materiales y equipos, sin embargo, las condiciones eran las siguientes:

- Entrega de un carro reparado por día, tiempo total 5 meses.
- Trabajo de 2 guardias, cada uno de 12 horas
- Programar el trabajo de tal modo que 10 estén listos para el cambio de los que están trabajando, sin interrumpir la producción.
- Contratar personal idóneo para las tareas, con personalidad que pueda soportar trabajo bajo presión.
- Solicitar los materiales en forma inmediata, aceptar condiciones económicas del proveedor de soldaduras y planchas, con la única salvedad que entreguen a la brevedad posible.
- Comprar equipos adecuados y optimizar las tareas del personal.



Foto 6: Lo único que se recupera de los carros sinter son los cabezales lo demás se deshecha, y se suelda largueros nuevos

### 6.1 Estimado de Materiales para la reingeniería

Se hicieron varias corridas sobre el estimado de materiales, hay muchos parámetros que considerar dependiendo cual es la ruta mas corta y efectiva para la reparación de los carros. El estimado es el siguiente:

ESTIMADO DE MATERIALES				
Cantidad	Unidad	Descripción	precio/unit	precio-Tot
23584	kg	ELECTRODO E7018 - 5/32	1.67	39386
10482	kg	ELECTRODO E7018 - 3/16	1.86	19496
7861	kg	ELECTRODO Cr Ni - 5/32	3.2	25157
8735	kg	ELECTRODO E6011 - 5/32	1.6	13976
650	kg	WIRE E 71T11 OPEN ARC	2.3	1495
437	Ea	MACHO 1/2"	4.2	1834
65512	Ea	PERNOS DE 1/2X1-1/4	1.2	78615
21837	Ea	REMACHES 3/4X3-1/2	1.8	39307
218	Ea	MACHO 3/4	8	1747
131	St	PLANCHAS ASTM A 321	650	85166
262	Cy	ACETILENO	40	10482
786	Cy	OXIGENO	12	9434
655	Ea	PIEDRAS ESMERIL 7X1/4X7/8	6.5	4258
152	St	LARGUEROS – ASTM A 285	1640	249280
152	St	SOPORTE, REFUERZO: ASTM A285	1320	200640
<b>Total</b>				<b>780274</b>

Tabla 6.1: Estimado de materiales para la reparación total de los 142 carros sinter

Los mayores costos estimados están en los injertos y el cambio o rediseño del material en ellos se considera lo siguiente:

Plancha ASTM 321: Soporte de las parrillas, sometido a fuerte abrasión, mejora de diseño por ser intercambiable.

Plancha ASTM 285: Largueros, soporte y refuerzos del carro sinter, sometidos a alta temperatura, mejora de diseño por tener características superiores al hierro fundido.

## 6.2 Estimado de mano de obra para la reingeniería de los carros sinter

El costo de la hora hombre de un personal de planilla estable esta alrededor de los 6.5 \$ la hora, el costo de hora/hombre de un personal contratado es aproximadamente 4.5 \$ la hora. En este costo están considerados: los beneficios sociales, vacaciones, el básico, implementos de seguridad, costo de consumibles del taller.

ESTIMADO DE HORAS/HOMBRE POR GUARDIA				
Especialidad	Trabajadores	H-h	\$ / H-h	\$ Total
Trazadores	2	3648	4.6	16780.8
Cortadores	2	3648	4.3	15686.4
Taladradores	1	1824	4.2	7660.8
Armadores	3	5472	4.6	25171.2
soldadores	2	3648	4.6	16780.8
Total por una guardia				82080
Total por las 2 guardias (x2)				<b>164160</b>

Tabla 6.2: Estimado de horas / hombre para los 5 meses de trabajo, y que complete la reparación de los 142 carros sinter.

Nótese que hay una ligera variación entre distintas especialidades, las cantidades responden a la cantidad de horas que necesita cada proceso de reingeniería.

### 6.3 Selección del proceso de soldadura

Los procesos evaluados técnicamente y apropiados para la reparación de los carros sinter son los siguientes:

POSIBLES PROCESOS APLICABLES –REPARACION DE CARRO SINTER		
1	SMAW	Soldadura por arco Eléctrico Manual con Electrodo metálico revestido
2	SAW	Soldadura por Arco Sumergido
3	FCAW	Soldadura por arco con alambre tubular(open arc process)
4	MIG	Metal inert gas
5	TIG	Tungsteno inert gas,

Tabla 6.3: Los diferentes procesos de soldadura, con diferentes electrodos.

Las velocidades de deposición de materiales están en el orden siguiente:

SAW, Arco sumergido	6.5 kg/h
FCAW, u Open arc	4.5 kg/h
MIG, Metal inert gas	3.2 kg/h
SMAW, Arco eléctrico	1.6 kg/h
TIG, Tungsteno inert	0.9 kg/h

Recomendaciones de los fabricantes de las empresas dedicadas a la soldadura:

SMAW: Baja deposición de soldadura, se logra altas penetraciones, específicamente para juntas. Es posible soldar en toda posición.

SAW : La soldadura por arco sumergido es aplicable a rellenos, en planchas de abrasión y ruedas desgastadas. Su deposición es alta, pero no es recomendable a juntas, sino más bien a recubrimientos.

FCAW: Permite soldar juntas, velocidad de deposición es media alta, puede soldarse en toda posición, y muy aplicable para producciones masivas, o en serie.

MIG : El inconveniente de este proceso es el uso del gas, pues en una zona donde la altura sobre el nivel del mar es 3900 msnm, la salida del gas enrarece el medio del arco, formándose porosidades, peor aun cuando fluye el viento.

TIG : Proceso de baja deposición de soldadura, pero de alta calidad de junta, no es recomendable para procesos de reparación de alta velocidad.

Por tanto:

Quedan dos procesos de soldadura a utilizar; la soldadura por arco eléctrico manual con electrodo revestido SMAW, y el proceso open arc con electrodo tubular en rollos.

### 6.4 Programación de las diferentes secciones de los talleres estructural y maestranza para la ejecución del trabajo.

Para no entorpecer el funcionamiento de los talleres estructural y maestranza, en lo que respecta a fabricaciones y reparaciones, se elaboró un plan entre los dos talleres con funcionamiento de guardias de 12 horas cada uno, con los siguientes procesos:



Distribución de actividades en los dos talleres			
		maestranza	estructural
1	trazador	Plancha base para remachar	Carro sinter para separarlos
2	cortador		Corte del carro sinter
3	taladrador	Agujeros para plancha base	
4	armador		Piezas, largueros, laterales
5	soldador		El montaje completo.

Tabla 6.4: Coordinación entre los 2 talleres para continuar una producción en serie.

### 6.5 Secuencia de reparación de los carros sinter

1. Corte de los largueros, según Foto 6, página 42
2. Preparación de 4 largueros, con plancha ASTM 285, plancha 1"
3. Preparación de 12 refuerzos interno con plancha ASTM 285, plancha 3/4".
4. Remachado de la plancha Soporte, en los cabezales con remaches de 3/4", se utilizó mínima soldadura para posicionar la plancha de soporte, según figura 5.6 B, pagina 40
5. Armado de partes según figura 5.6 A, página 40.
6. Soldadura de partes, con Electrodo tubular E71T11, toda posición, proceso de soldadura Open Arc, sin aporte de gas, en la figura 5.6C pagina 41 se puede apreciar los cordones de soldadura aportados.
7. Montaje de platinas de deslizamiento, material ASTM 321, especial para la resistencia a la abrasión.
8. El carro sinter queda montado como la figura 5.6 D.

### 6.6 Costo real total de la reingeniería de los carros sinter

El costo real de la reparación, no estaba desviado en más del 8% respecto al estimado anteriormente.

COSTO REAL DE MATERIALES				
Cantidad	Unidad	Descripción	precio/unit	precio-Tot
24500	kg	ELECTRODO E7018 - 5/32	1.67	40915
11200	kg	ELECTRODO E7018 - 3/16	1.86	20832
8500	kg	ELECTRODO Cr Ni - 5/32	3.2	27200
9300	kg	ELECTRODO E6011 - 5/32	1.6	14880
680	kg	WIRE E 71T11 OPEN ARC	2.3	1564
437	Ea	MACHO 1/2"	4.2	1834
65512	Ea	PERNOS DE 1/2X1-1/4	1.2	78615
21837	Ea	REMACHES 3/4X3-1/2	1.8	39307
218	Ea	MACHO 3/4	8	1747
150	St	PLANCHAS ASTM A 321, 360-444BHN	690	103500
262	Cy	ACETILENO	40	10482
786	Cy	OXIGENO	12	9434
655	Ea	PIEDRAS ESMERIL 7X1/4X7/8	6.5	4258
152	St	LARGUEROS	1750	266000
152	St	SOPORTE CABEZAL, CENTRALES	1450	220400
<b>Total</b>				<b>840968</b>

Tabla 6.6: Después de la reparación de los 142 carros sinter, los costos reales del gasto de materiales.



El costo real de la mano de obra, se diferencia del estimado en un 10%, debido a que se tuvo que comprar implementos de seguridad apropiado para corte y la soldadura, son pantalones de cuero y chaquetas de cuero, y ello levanta la hora hombre del personal contratado.

REAL DE HORAS/HOMBRE POR GUARDIA				
Especialidad	Trabajadores	H-h	\$ / H-h	\$ Total
Trazadores	2	3648	5.2	18969.6
Cortadores	2	3648	4.5	17875.2
Taladradores	1	1824	4.5	8208
Armadores	3	5472	5.2	28454.4
soldadores	2	3648	4.6	16780.8
Total por una guardia				90288
Total por las 2 guardias (x2)				<b>180576</b>

Tabla 6.6 A: después de la reparación de los 142 carros sinter el costo real gastado en mano de obra es el que se muestra en ésta tabla

### 6.7 Monitoreo de condiciones en la planta

El monitoreo en la planta fue constante, se designó dos mecánicos por guardia para que observen el funcionamiento del carro.

Planta de sinter, operando 48 horas		
No hubo paradas de emergencia	15 min	
PARAMETROS PRINCIPALES DE OPERACIÓN		
	Actual	Promedio
<b>Maquina 2051, velocidad de carros sinter, m/min</b>	<b>1.32</b>	<b>1.1</b>
<b>Mufla, temp. °C de la parte superior del carro sinter</b>	<b>930</b>	<b>945</b>
Ventana 7, temp. °C	580	600
Ventana 8, temp. °C	572	557
Ventana 13, temp. °C	205	171
Ventiladora 2112. amperaje	550	593
Abertura de los rollos	2.8	2.6
<b>Nivel de sulfuro, en sinter y parte superior del carro sinter</b>	1.4	
PRODUCCION DE SINTER		
producción en un día TM		
<b>930</b>		

Tabla 6.7 : Después de la reparación de los 142 sinter e instalarlos en la planta de aglomeración, los resultados del monitoreo de condiciones de operación mejoraron notablemente.

Se concluye que la reparación ha sido exitosa, los parámetros de temperatura vuelven a elevarse y llegan a un promedio de 970 °C.

## 7 Resultados

### 7.1 Operación y reparación de los carros sinter en planta

Los resultados obtenidos son los siguientes:

- a. Velocidad de reparación del carro 1 por día
- b. Se concluyó la reparación de los 152 carros sinter
- c. Se logró la sincronización entre los trabajadores de la guardia de la noche con los trabajadores de la guardia del día, para evitar tiempos muertos.
- d. Se cambió las estructuras de los carros sinter, manteniendo solamente los cabezales laterales.
- e. Se mantuvo las dimensiones originales para no crear conflictos de dimensiones en la operatividad del carro.
- f. Se rediseñaron las piezas y los elementos que componen el carro.
- g. Los costos logrados para la reparación fueron menores si se compara el mismo tipo de trabajo hecho en terceros.
- h. La calidad de la reparación se debe al know how del personal obrero, sobre todo en las uniones soldadas.
- i. Las platinas de deslizamiento son intercambiables y aumentan la vida útil del equipo.



Foto 7.1: La linealidad de los carros sinter, después de reparados ya no tiene problemas, hasta el momento no hay deformaciones térmicas, su verificación es mucho más rápida.

### 7.2 Comparación de Costos

Entre otros el logro más importante es la reducción de costos por reparación del carro sinter, comparado con otros talleres externos, aún más comparados con adquisición de carros, si nos remitimos al benchmarking, las reparaciones paliativas de corto plazo llegan a ser más caras que la reparación realizada en los talleres estructural y maestranza.

La comparación de costos se hace entre el carro sinter reparado en el taller estructural y la posible adquisición, debido a que los tiempos de vida útil son semejantes.

COMPARACION DE COSTOS			
	PROVEEDOR A	PROVEEDOR B	REINGENIERIA C
MONTO	8 403 600	2 961 000	1 021 544

La diferencia de costos entre el proveedor A y la reingeniería C, es 7 millones de dólares, el tiempo de entrega del segundo es casi inmediato.

La diferencia de costos entre el proveedor B y la reingeniería C, es 2 millones de dólares, el primero no manifiesta garantía de su producto.

### 7.3 Disponibilidad de la planta

Después del periodo de 5 meses, la disponibilidad de la planta aumentó notoriamente.

INDICADOR	FORMULA	DESCRIPCION
Tiempo promedio entre falla (MTBF)	$MTBF = \frac{\text{N}^\circ \text{ de horas de operación}}{\text{N}^\circ \text{ de paradas correctivas}}$	Permite ver si las diversas actividades de mantenimiento tienen el efecto de ampliar la disponibilidad de la maquinaria y se puede definir la <i>confiabilidad del equipo</i> .
Tiempo promedio para la reparación (MTTR)	$MTTR = \frac{\text{Tiempo de manto correctivo}}{\text{N}^\circ \text{ de reparaciones correctivas}}$	Permite evaluar la probabilidad que un equipo que ha fallado pueda ser reparado en el menor tiempo posible empleando condiciones estándares de trabajo y se puede definir la <i>mantenibilidad del equipo</i> .
Disponibilidad (A)	$A = \frac{(\text{Horas laborables de la empresa} - \text{Paradas programadas} - \text{Paradas correctivas})}{\text{Horas laborables de la empresa}}$	Es el porcentaje de tiempo de buen funcionamiento del equipo calculado sobre la base de un periodo de tiempo largo.

INDICADOR ANTES	FORMULA	RESULTADO ANTES
MTBF	= 8760/785	11.2
MTTR	=785/53	14.8
DISPONIBILIDAD	=(8760-785-105)/8760	89.9%

INDICADOR DESPUES	FORMULA	RESULTADO DESPUES
MTBF	= 8760/240	36.5
MTTR	=240/24	10
DISPONIBILIDAD	=(8760-240-175)/8760	95.9%

Tabla 7.3: La disponibilidad de la planta mejoró después de la reparación de los 142 carros, es un índice importante en lo que respecta a operatividad y mantenimiento.

## 8 Recomendaciones y conclusiones

### Recomendaciones

- 1) Los problemas de planta, se recomienda que deben ser solucionados, pensando en no volver a repetir la reparación, es decir hacer un análisis profundo del tema, y ver la posibilidad de hacer cambios sustanciales en todo el diseño.
- 2) El fabricante debe tender a proveer sus equipos pensando en la mantenibilidad, es decir facilitar la reparación y el mantenimiento del equipo.
- 3) Comprar de importación el equipo no es la mejor solución, la recomendación es que podemos aplicar técnicas aprendidas, para volcarlas en la mejora continua de los procesos.

### Conclusiones

- 1) De acuerdo con los conceptos de reingeniería, los cambios hechos al carro sinter fueron en un 80% referido al total de su estructura.
- 2) Se aplicó reingeniería de materiales: Antes hierro fundido, ahora plancha ASTM 321 y plancha ASTM 285, mejorando el aspecto de soldabilidad, y futuras reparaciones.
- 3) Se aplicó reingeniería del diseño: Antes era una sola pieza, imposible de cambiar las partes desgastadas, ahora esas partes son intercambiables.
- 4) La disponibilidad de la planta aumento de 90 % a 96 %.
- 5) El estudio realizado tuvo un sustento técnico bien elaborado, la dirección de la empresa dar luz verde al proyecto después de evaluar los posibles riesgos.
- 6) Se repararon 152 carros sinter a un costo de 1 millón de dólares
- 7) Si se compara con Alemania se dejó de gastar 7 millones de dólares
- 8) Si se compara con EE.UU. se dejó de gastar 2 millones de dólares
- 9) Un aspecto importante es la satisfacción del cliente, el proyecto fue realizado consultando al cliente, y tratando de saber como mejoraría su proceso.
- 10) Comprar de importación el equipo no es la mejor solución, la recomendación es que podemos aplicar técnicas aprendidas, para volcarlas en la mejora continua de los procesos.
- 11) El fabricante actual debe tender a proveer sus equipos pensando en la mantenibilidad, es decir facilitar la reparación y el mantenimiento del equipo.
- 12) Los problemas de planta, deben ser solucionados, pensando en que no deben volverse a repetir, es decir hacer un análisis profundo del tema, y ver la posibilidad de hacer cambios sustanciales en todo el diseño.



## 9 Bibliografía

- Ingeniería de los Materiales: J.M. Rodríguez Ibabe y J.J. Urcola, Altzairuen diseinurako metalurgia fisikoa, Elhuyar-Elkar 1993
- de José María Rivas Arias - 1996  
Capítulo 2 MODIFICACIONES DE LAS ESTRUCTURAS DE LOS METALES DURANTE SU SOLDADURA
- Metalurgia de la soldadura del acero de Felipe A Calvo Calvo – 1965
- ADLER, MARTÍN y otros "Producción y Operaciones" Macchi Ediciones Buenos Aires, 2004, 789
- Diseño Mecánico. E. Shigley McGraw Hill.
- Diseño Elementos de Máquinas, V. Faires.
- Ingeniería del Diseño, P. Orlov Ed. Mir.
- Machine Elementos II. Gustavo Niemann.
- Resistencia de Materiales de F. Singer y A. Pytel.
- 20 Claves para mejorar la fábrica I. Kobayashi, TGP-HOSHIN, Madrid, 1993
- Manual para la implantación del Just In Time (Vols. 1 y 2) H. Hirano, Productivity Press, Madrid, 1991