

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA GEOLÓGICA, MINERA Y
METALURGICA



ADECUACIÓN LOGÍSTICA PARA EL INCREMENTO DE
PRODUCCIÓN EN LA REFINERIA DE ZINC DE
CAJAMARQUILLA

INFORME DE SUFICIENCIA
PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE
INGENIERO DE MINAS

PRESENTADO POR:
VIRGILIO JUSTINO FLORES CABANILLAS

LIMA – PERÚ
2009

DEDICATORIA

Al finalizar esta etapa de mi vida no puedo dejar de agradecer a las personas que colaboraron de una u otra forma con este logro.

Cuantas cosas son necesarias decir para expresar todo lo agradecido que estoy de mis padres, Ernesto Flores (Q.E.P.D) y Fidela Cabanillas, quienes me inculcaron la observancia de los mejores valores, me apoyaron con su consejo cariñoso y bueno, quienes supieron decir no cuando era justo y sí cuando fue conveniente y quienes supieron orientar y exigir, pero al mismo tiempo supieron amar; a ellos les debo todo y serán siempre mi orgullo.

Asimismo mi agradecimiento eterno a mi querida esposa Mercedes y a mis entrañables hijos Jaime y Evelyn, por su constante aliento y por su comprensión cuando por razones de trabajo tuve que estar ausente.

A mis profesores, quienes me dieron las herramientas profesionales indispensables en esta etapa, y por su aporte en la formación profesional.

Y así, no por eso menos agradecido a Compañía Minera Raura S.A. por haber trabajado en la mina Raura, durante los primeros años de mi ejercicio profesional y a Votorantim Metais S.A. por darme la oportunidad de participar como responsable del área de Planeamiento y Control de Producción en la Refinería de Zinc de Cajamarquilla.

A TODOS, MUCHAS GRACIAS

AGRADECIMIENTO

Por este medio, expreso mis sinceros agradecimientos a mis Tutores y Asesores Ing. Carmen R. Matos Avalos e Ing. Juan Zuta Rubio, quienes se dignaron en revisar el presente trabajo, haciendo las observaciones y recomendaciones pertinentes.

RESUMEN

El presente trabajo aborda el problema de la adecuación logística en la Refinería de Zinc de Cajamarquilla, para cubrir los requerimientos logísticos con el incremento de producción al 100% de su capacidad instalada.

El estudio comprende evaluar diferentes escenarios para capacidades de producción de:

- 135 kta, (Miles de toneladas por año) para la primera etapa,
- 160 kta, para la segunda etapa; y
- 320 kta, para la tercera etapa.

En cada etapa se revisan aspectos principales relacionados con la logística de entrada, la logística interna y la logística de salida, a fin de evitar cuellos de botella en el flujo del proceso.

Asimismo, se analizan las capacidades de los diferentes equipos como la Balanza de Camiones y Trenes, Cargador frontal, Retroexcavadora, Bombas para carguío de Acido Sulfúrico y Montacargas; así como también la capacidad de almacenamiento de concentrados, productos terminados tanto en la Refinería de Cajamarquilla como también en los almacenes externos

ubicados en el Callao. Neptunia para el caso de metales y Depósitos Químicos Mineros - DQM para el caso de Acido Sulfúrico.

Al evaluar los resultados se determinan los riesgos de cada configuración modelada a través de un análisis de escenarios; permitiendo optimizar el uso de los recursos.

INDICE

	Pág.
Dedicatoria	i
Agradecimiento	ii
Resumen	iii
Indice	v
Gráficos	ix
INTRODUCCION.....	1
0.1 Objetivos	2
0.2 Alcance	3
0.3 Metodología	6
0.4 Reseña histórica	9
0.5 Ubicación y acceso	11
CAPITULO I: FUNDAMENTOS PRELIMINARES	12
1.1 Visión sistémica	12
1.2 Metas productivas	13
1.3 Mapa de cadena de valor:	15
1.3.1 Estado actual	16
1.3.2 Estado futuro	17
1.4 Mapa Estratégico del negocio de Zinc	18
1.5 Mapa conceptual de procesos	19
1.6 Diagrama de flujo del Proceso de Refinería de Zinc.....	20

CAPITULO II: LOGÍSTICA DE ENTRADA	21
2.1 Ferrovías Central Andina – FCA	22
2.2 Estación de Santa Clara	23
2.3 Extracción de Zinc en el Perú	24
2.4 Mapa cadena de valor: Recepción de Concentrado	28
2.5 Medidas de desempeño	30
2.6 Recepción de concentrado de Zinc	34
2.7 Frecuencias en la recepción de Concentrado	36
2.8 Entrada de Vehículos con Concentrado.....	39
CAPITULO III: LOGÍSTICA INTERNA	40
3.1 Mapa de cadena de valor: Preparación de mezcla	41
3.2 Medidas de desempeño	42
3.3 Preparación de mezcla	43
3.4 Mapa de cadena de valor de producción de Zinc	45
3.5 Producción de Zinc y otros productos	46
CAPITULO IV: LOGÍSTICA DE SALIDA	48
4.1 Mapa de cadena de valor: Logística de Acido Sulfúrico.....	49
4.2 Mapa de cadena de valor: Logística de Zinc SHG	49
4.3 Medidas de desempeño	50
4.4 Situación de la producción de Zinc	56
4.5 Stock de productos en Planta	57
4.6 Stock de Zinc en Cajamarquilla	59
4.7 Situación en despacho de Zinc	60

4.8	Stock de productos en Neptunia	61
CAPÍTULO V: RESULTADOS		62
5.1	Producción de 135 Kt/año	64
5.1.1	Situación actual	64
5.1.2	Nivel de utilización de recursos	66
5.1.3	Realización de procesos	67
5.1.4	Nivel de Stock	68
5.1.5	Productividad	70
5.2	Producción de 160 Kt/año	74
5.2.1	Escenarios para producción	74
5.2.2	Resultado del escenario 01-a	76
5.2.3	Resultado del escenario 01-b	78
5.3	Producción de 320 Kt/año	79
5.3.1	Escenario 02-a	79
5.3.2	Escenario 02-b	84
5.3.2.1	Escenario 02-b-iii	89
5.3.2.2	Escenarios 02-b-iv y 02-b-v.....	90
5.3.3	Nuevos esquemas de despacho	92
5.3.3.1	Dos viajes con la mitad de vagones	92
5.3.3.2	Escenarios 02-c	94
5.3.3.3	Esquema de despacho en dos grupos.....	97
5.3.3.4	Escenario 02-d	98
5.3.3.5	Escenarios 02-e, Stock en DQM	101

CONCLUSIONES	103
RECOMENDACIONES	105
BIBLIOGRAFIA	107
ANEXOS	108

GRAFICOS

- Gráfico 0.1 Logística de ingreso, almacenamiento y despacho
- Gráfico 0.2 Patio Central de FCA y DQM
- Gráfico 0.3 Ubicación del almacén de Neptunia en el Callao
- Gráfico 0.4 Metodología utilizada
- Gráfico 0.5 Vista panorámica de la Refinería de Zinc
- Gráfico 0.6 Ubicación y acceso
- Gráfico 1.1 Proceso de entrada y salida de productos
- Gráfico 1.2 Metas de consumo de concentrado y producción
- Gráfico 1.3 Metas de producción - subproductos
- Gráfico 1.4 Mercado interno y externo de Zinc
- Gráfico 1.5 Mercado interno y externo de Acido Sulfúrico
- Gráfico 1.6 Mapa de cadena de valor – estado actual
- Gráfico 1.7 Mapa de cadena de valor – estado futuro
- Gráfico 2.1 Logística de entrada
- Gráfico 2.2 Cobertura de la línea férrea de FCA
- Gráfico 2.3 Altitud de vía férrea según recorrido
- Gráfico 2.4 Estación de Santa Clara
- Gráfico 2.5 Producción de Zinc en el Perú
- Gráfico 2.6 Producción por minas
- Gráfico 2.7 Producción de Zinc y ampliaciones
- Gráfico 2.8 Ubicación de Minas de Zinc
- Gráfico 2.9 Principales productores de Concentrado de Zinc en el Perú
- Gráfico 2.10 Mapa de Cadena de Valor: Recepción de Concentrado
- Gráfico 2.11 Zona de estacionamiento de vehículos
- Gráfico 2.12 Balanza de portería
- Gráfico 2.13 Estación para obtener muestras
- Gráfico 2.14 Excavadora hidráulica
- Gráfico 2.15 Cargador Frontal
- Gráfico 2.16 Recepción de Concentrados en vagones
- Gráfico 2.17 Recepción de Concentrados en camiones
- Gráfico 2.18 Recepción porcentual de Concentrados
- Gráfico 2.19 Recepción de Concentrados según Proveedores

- Gráfico 2.20 Recepción de Concentrados según calidad
- Gráfico 2.21 Recepción de Concentrados por meses
- Gráfico 2.22 Recepción de Concentrados por semanas
- Gráfico 2.23 Recepción de Concentrados por días
- Gráfico 2.24 Recepción de Concentrados por horas
- Gráfico 2.25 Horario de entrada de Vehículos en Cajamarquilla
- Gráfico 3.1 Logística interna
- Gráfico 3.2 Mapa de cadena de valor: Preparación de mezcla
- Gráfico 3.3 Concentrado disponible para mezcla
- Gráfico 3.4 Consumo de Concentrado para mezcla
- Gráfico 3.5 Stock de Concentrados
- Gráfico 3.6 Mapa de cadena de valor: Producción de Zinc
- Gráfico 3.7 Producción mensual de láminas y refinado 2005-2006
- Gráfico 3.8 Producción subproductos 2005-2006
- Gráfico 4.1 Logística de salida
- Gráfico 4.2 Mapa de cadena de valor: Logística de Zinc SHG
- Gráfico 4.3 Mapa de cadena de valor: Logística de Acido Sulfúrico
- Gráfico 4.4 Carguío de Zinc en plataforma
- Gráfico 4.5 Carguío de Zinc en Camión
- Gráfico 4.6 Carguío de Acido Sulfúrico en vagón-cisterna
- Gráfico 4.7 Carguío de Acido Sulfúrico en camión-cisterna
- Gráfico 4.8 Recepción de Acido sulfúrico en DQM
- Gráfico 4.9 Recepción de Zinc en Neptunia
- Gráfico 4.10 Locomotora de Ferrovías
- Gráfico 4.11 Almacenamiento de Zinc en patio de Cajamarquilla
- Gráfico 4.12 Almacenamiento de Acido Sulfúrico en Cajamarquilla
- Gráfico 4.13 Almacenamiento de Zinc en Neptunia
- Gráfico 4.14 Almacenamiento de Acido Sulfúrico en DQM
- Gráfico 4.15 Producción años 2005-2006
- Gráfico 4.16 Producción semanal [%]
- Gráfico 4.17 Producción mensual [%]
- Gráfico 4.18 Almacenamiento de láminas de Zinc
- Gráfico 4.19 Stock mensual de lámina y refinado 2005-2006
- Gráfico 4.20 Stock mensual de subproductos 2005-2006

- Gráfico 4.21 Stock mensual de Zinc en Cajamarquilla 2005-2006
- Gráfico 4.22 Stock promedio de Zinc por día
- Gráfico 4.23 Despacho promedio de Zinc 2005-2006
- Gráfico 4.24 Despacho diario de Zinc [%]
- Gráfico 4.25 Despacho mensual de Zinc [%]
- Gráfico 4.26 Stock de Zinc en Neptunia
- Gráfico 5.1 Modelo computacional
- Gráfico 5.2 Meta de producción 2007-2011
- Gráfico 5.3 Producción 135 kta - situación actual
- Gráfico 5.4 Utilización de recursos 135 kta
- Gráfico 5.5 Realización de procesos 135 kta
- Gráfico 5.6 Nivel de stock 135 kta
- Gráfico 5.7 Productividad 135 kta
- Gráfico 5.8 Contadores de despacho en naves
- Gráfico 5.9 Número de camiones en planta
- Gráfico 5.10 Producción 160 kta.
- Gráfico 5.11 Resultados de situación actual
- Gráfico 5.12 Resultados de stock de situación actual
- Gráfico 5.13 Resultados 160 kta.
- Gráfico 5.14 Producción 320 kta - Parámetros de escenario 02-a
- Gráfico 5.15 Producción 320 kta - Resultados de escenario 02-a
- Gráfico 5.16 Resultados de stock 320 kta - escenario 02-a
- Gráfico 5.17 Resultados de recursos 320 kta - escenario 02-a
- Gráfico 5.18 Resultado de estación de carguío 320 kta, escenario 02-a
- Gráfico 5.19 Producción 320 kta, escenario 02-b
- Gráfico 5.20 Resultados 320 kta, escenario 01-b
- Gráfico 5.21 Capacidad de recursos, 320 kta, escenario 02-b-iii
- Gráfico 5.22 Situación de despacho, 320 kta, escenario 02-b-iii
- Gráfico 5.23 Despacho fin de semana, 320 kta, escenario 02-b-iv y 02-b-v
- Gráfico 5.24 Esquema actual de despacho y recepción
- Gráfico 5.25 Nuevo esquema de despacho
- Gráfico 5.26 Nuevo esquema de despacho, escenario 02-c-iii
- Gráfico 5.27 Resultados 320 kta, escenario 02-c-iii
- Gráfico 5.28 Nuevo esquema fin de semana, escenario 02-c-iv

- Gráfico 5.29 Tercer esquema de despacho
- Gráfico 5.30 Producción 320 kta, escenario 02-d
- Gráfico 5.31 Esquema de despacho, escenario 02-d
- Gráfico 5.32 Resultados 320 kta, escenario 02-d
- Gráfico 5.33 Resultados de tanques en DQM, escenario 02-e

INTRODUCCION

Dentro de la estrategia de inversiones de la empresa Votorantim Metais, hay planes para duplicar la capacidad de producción de la Refinería de Zinc de Cajamarquilla, llegando a producir 320,000 toneladas de Zinc Refinado por año.

La logística interna de materiales, formada por procesos no productivos, puede restringir el alcance de las capacidades esperadas, tornándose un cuello de botella para la producción.

Se ha considerado realizar un análisis previo para determinar los puntos críticos en el manejo, movimiento y almacenamiento de materiales, considerando desde la llegada de concentrados hasta el despacho de productos terminados.

La logística externa comprende el análisis del transporte de concentrados de zinc desde las unidades de producción hasta la Refinería y de productos terminados hasta las diversas localidades.

El análisis de la logística de ingreso de concentrados y la salida de productos terminados se basan en los lineamientos del Plan Estratégico elaborado para

los años 2007-2011 y alineados a la visión corporativa de la empresa Votorantim Metais S.A.

0.1 OBJETIVOS

Se considera el objetivo general y los objetivos específicos:

- El **objetivo general** de este trabajo es determinar las restricciones en el sistema logístico que pueden afectar el alcance de las metas estratégicas de producción establecidas.
- Los **objetivos específicos** son:
 - ✓ Analizar la capacidad de los diversos recursos conformados por maquinarias y equipos que se utilizan, tales como: balanza de camiones y trenes, excavadora hidráulica, palas, montacargas y bombas para carguío de ácido sulfúrico.
 - ✓ Analizar las operaciones de la logística externa, tanto de ingreso como de salida.
 - ✓ Analizar las áreas de almacenamiento de concentrados de zinc, y productos terminados; así como también el proceso de manipulación interna y el transporte.
 - ✓ Analizar el flujo interno entre las diversas áreas productivas.

- ✓ Determinar el riesgo de cada configuración modelada, a través de un análisis de escenarios.
- ✓ Integrar los análisis realizados para definir la necesidad de equipos adicionales requeridos, para considerarlos en el plan de inversión.

0.2 ALCANCE

Este trabajo involucra la logística de transformación de concentrado de zinc en productos terminados, teniendo como alcance los siguientes aspectos:

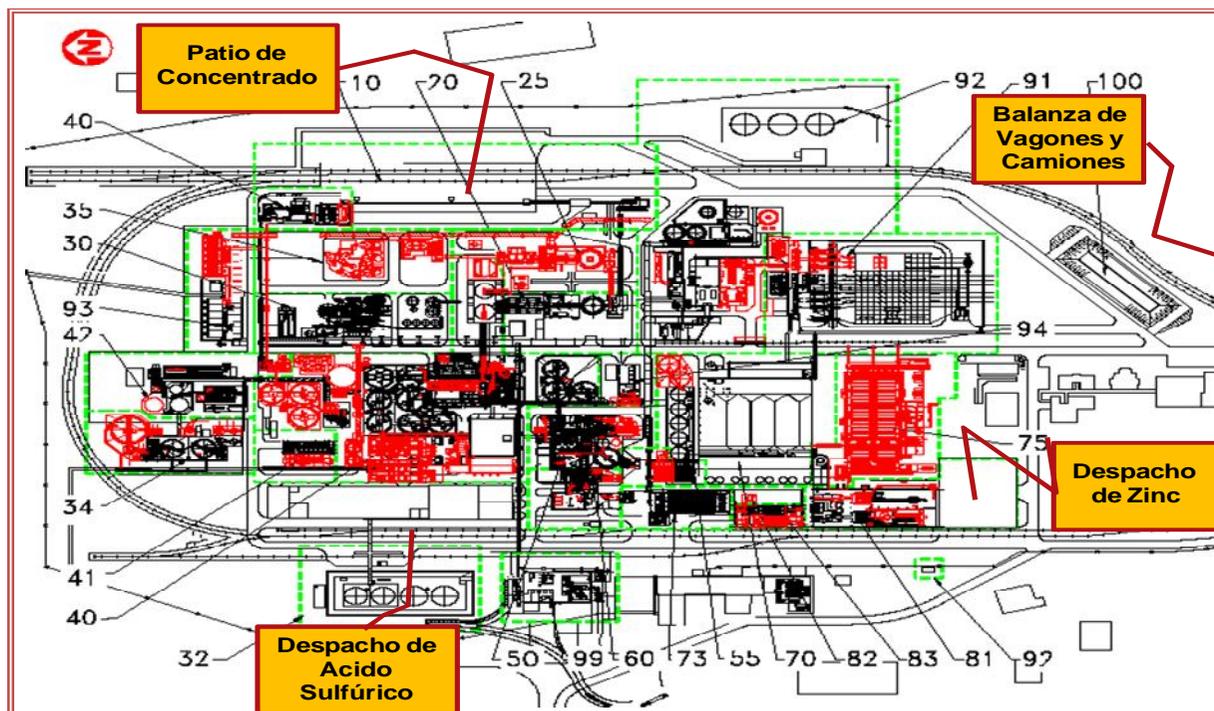
- Logística de ingreso.
- Logística interna.
- Logística de salida.

Para un análisis más adecuado de las necesidades de la planta, este trabajo considera los aspectos más importantes de los proveedores de servicios logísticos.

Para estos fines se considera a las siguientes empresas :

- Ferrovías Central Andina S.A. (FCA), por el transporte ferroviario.
- Depósitos Químicos Mineros S.A. (DQM), por el almacenamiento externo de ácido sulfúrico.
- Neptunia S.A por el almacenamiento externo de zinc.

GRAFICO 0.1 LOGISTICA DE INGRESO, ALMACENAMIENTO Y DESPACHO



Fuente : Archivos de Refinería de Cajamarquilla.

AREA	DESCRIPCION
01	Área general
10	Manejo de concentrado
20	Tostador
25	Tostador
30	Planta de Acido Sulfúrico
32	Almacenamiento y distribución de Acido Sulfúrico
34	Planta de tratamiento de Efluentes
35	Planta de Acido Sulfúrico
40	Lixiviación
41	Flotación de Plomo y Plata
42	Planta de indio
50	Purificación de soluciones
55	Enfriamiento de solución neutra
60	Planta de Cadmio
70	Electrolisis – Casa de celdas
73	Electrolisis – Casa de celdas 160K
75	Electrolisis – Casa de Celdas 320K
81	Fundición y moldeo de Zinc
82	Tratamiento de Cross
83	Tratamiento de Polvo de Zinc
91	Sub-Estación principal
92	Agua, Vapor y Combustible
93	Agua de enfriamiento
94	Aire comprimido
99	Planta de Oxígeno
100	Piscina de Emergencia

En el gráfico 0.2 se muestra las instalaciones de la empresa DQM, en cuyos tanques se almacenan el Acido Sulfúrico para la exportación.

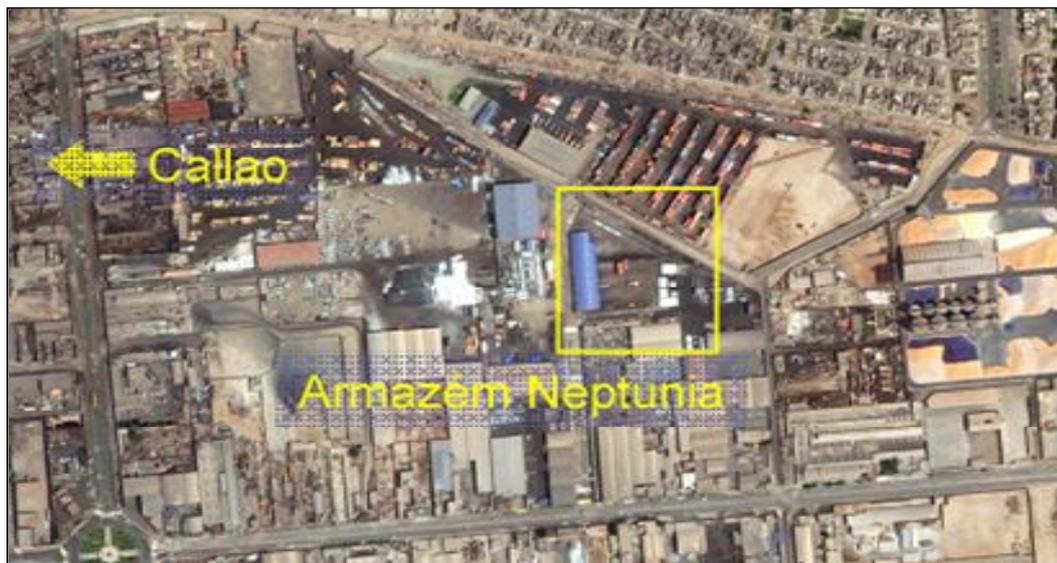
Asimismo, se muestra la zona de estacionamiento de Ferrocarril Central Andina – FCA ubicada en el Callao. Aquí permanecen las plataformas para traslado de barras de Zinc y de Jumbos y los vagones para transporte Acido Sulfúrico.

GRAFICO 0.2 PATIO CENTRAL DE FCA Y DQM



Fuente : Archivos de Refinería de Cajamarquilla.

En el gráfico 0.3, se muestra el área de almacenamiento de Neptunia ubicado en el Callao. Aquí se almacenan los productos terminados principalmente para exportación y ocasionalmente para ventas locales, (principalmente Barras y Jumbos de Zinc, Cadmio, etc.).

GRAFICO 0.3 UBICACIÓN ALMACEN DE NEPTUNIA EN EL CALLAO

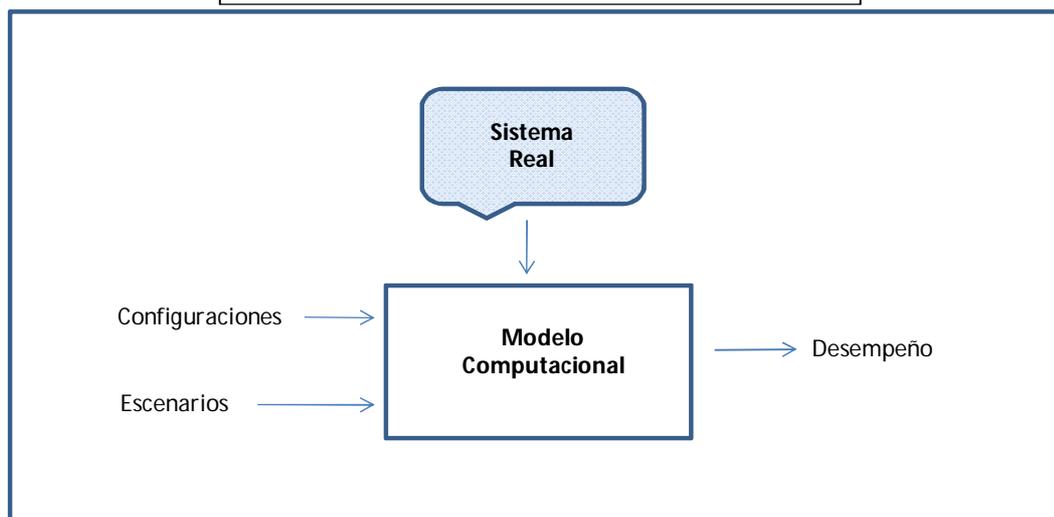
Fuente : Archivos de Refinería de Cajamarquilla.

Además se revisan algunos aspectos de las principales empresas mineras productoras de zinc, analizando su volumen de producción y las entregas de concentrado de zinc ya sea en vagones o en camiones.

0.3 METODOLOGIA

Este trabajo parte del desarrollo de un modelo computacional con simulación de acontecimientos discretos basado en las operaciones logísticas de Refinería de Zinc de Cajamarquilla.

La empresa Franco Arbeit con sede en Brasil participó como asesor en el diseño del modelo, en el proceso y en la interpretación de resultados, en base a su experiencia en el tema.

GRAFICO 0.4 METODOLOGÍA UTILIZADA

Fuente : Informe Franco Arbeit, Brasil, Agosto,2007. Elaboración: V. Flores C.

Además de los modelos computacionales, el flujo de información y materiales para la transformación de materia prima en diversos productos, se representa mediante el Mapa de Cadena de Valor.

Esta herramienta se utiliza como un método de modelamiento de empresas simples, ayudando en la visualización de su estado actual y apoyando de forma adecuada en los cambios que requieran para el estado futuro.

En cada fase se analizan diversos escenarios, y en cada uno de ellos se explora el sistema logístico de Refinería de Zinc de Cajamarquilla mediante una situación específica.

También se analizan diferentes conjuntos de parámetros de entrada que definen el funcionamiento del modelo, siendo esos conjuntos de parámetros llamado “Configuraciones”.

Cada configuración es sometida a diferentes “escenarios”, analizando su desempeño en cada caso.

Para cada combinación de configuración y escenario se realiza un experimento.

Los experimentos realizados en este proyecto se dividen en tres fases distintas:

- 135 kta – Escenario para representar el caso actual
- 160 kta – Escenario para la expansión de la segunda etapa
- 320 kta – Escenario para la expansión de la tercera etapa

Diversas medidas de desempeño son obtenidas en cada experimento realizado, midiendo el impacto de sus parámetros de entrada mediante una situación específica.

Una comparación en los resultados de las medidas de desempeño obtenidas en el experimento de cada configuración indican las más viables para cada escenario.

Entre las medidas de desempeño utilizadas en este trabajo, están:

- **Nivel de utilización de los recursos:** Que permite analizar como los diversos recursos del sistema son utilizados a lo largo del día; cuanto más próximo de 100% x N (número de recursos), más saturado está el recurso en aquel momento.

- **La productividad:** Monitoreo a lo largo del tiempo que puede marcar momentos críticos que, vistos en conjunto con los demás gráficos, indican problemas logísticos.
- **Realización de procesos:** Permite analizar como los diversos procesos son realizados a lo largo del día, indicando cómo los atrasos en algunos procesos pueden influenciar los procesos dependientes.
- **Nivel de stock:** Acompañamiento de capacidad de los tanques y depósitos, del tal modo que las disminuciones o aumentos elevados pueden indicar una falta de balance entre recursos de recepción y de despacho.

0.4 RESEÑA HISTÓRICA

La Refinería de Zinc de Cajamarquilla fue construida por la Empresa Minera del Perú – “MINERO PERU”, en representación del Gobierno Peruano.

La construcción se inició en 1977, con una inversión de US \$ 309 millones de dólares americanos, obteniéndose la primera barra de Zinc en marzo de 1981, nueve años después de haberse terminado el estudio de factibilidad.

Fue diseñada para producir 101,500 toneladas de Zinc refinado de alta pureza (Special High Grade) y como subproductos 176,000 toneladas de ácido sulfúrico, 800 toneladas de concentrado de plata, 1,700 toneladas de cemento de cobre y 330 toneladas de cadmio.

Con la participación de varias empresas especializadas fue construída por la empresa SYBETRA de Bélgica, mediante un contrato de “llave en mano”.

Se empleó la tecnología Unicore (Unión Minière), Lurgi y Asturiana de Zinc.

En febrero de 1995 fue adquirida por el consorcio Cominco LTD (Después Teck-Cominco) con 82% de acciones, Marubeni con 17% y los Trabajadores con 1%. El valor pagado por la compra de Cajamarquilla fue el equivalente a US \$ 108 millones de dólares americanos.

En Junio de 1998 se completó la ampliación de la capacidad de producción instalada a 120 kta a un costo de US \$ 37.6 millones de dólares americanos.

GRAFICO 0.5 VISTA PANORAMICA DE LA REFINERIA DE ZINC



Fuente : Archivos de Refinería de Cajamarquilla.

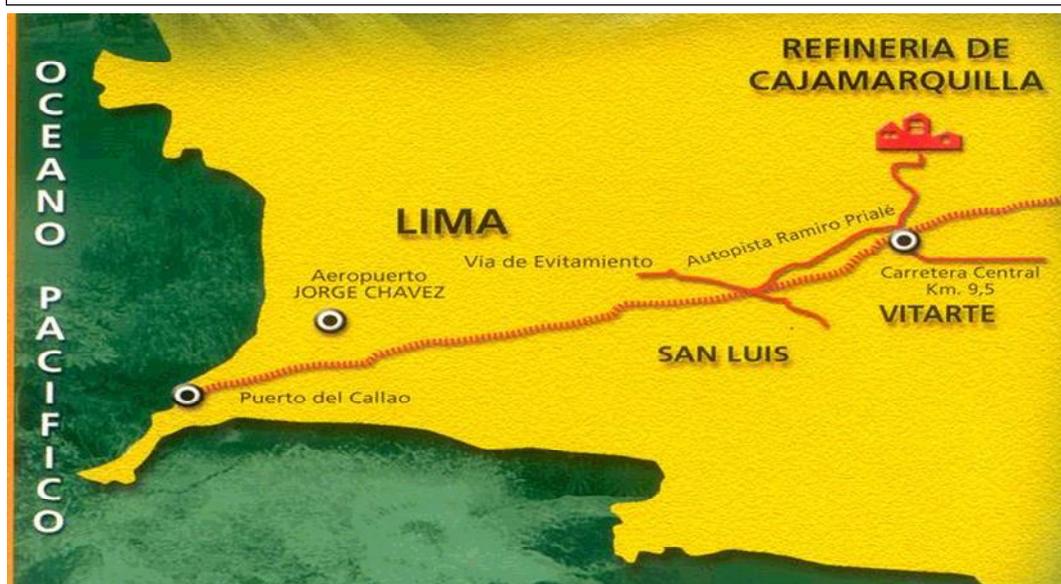
En el año 2004 la Refinería de Cajamarquilla fue adquirida por la empresa Votorantim Metais S.A, de Brasil. A partir de esa fecha se efectúa la ampliación a 135 kta, para luego desarrollar los proyectos de crecimiento a 160 y 320 kta.

0.5 UBICACIÓN Y ACCESO

La Refinería de Zinc está ubicada en la Quebrada de Cajamarquilla, en el Distrito de Lurigancho-Chosica, Provincia y Departamento de Lima, a la altura del Km 9.5 de la Carretera Central en el desvío al Puente Huachipa. Se encuentra a 37 Km al Este del Puerto del Callao y a 22 Km del centro de Lima en dirección NE, y a una altitud de 450 m.s.n.m.

Un ramal de la vía férrea de 6.5 km. la conecta con el Ferrocarril Central y una carretera asfaltada de 7.5 km. con la carretera central.

GRAFICO 0.6 UBICACIÓN Y ACCESO



Fuente : Archivos de Refinería de Cajamarquilla.

CAPITULO I

FUNDAMENTOS PRELIMINARES

1.1 VISION SISTEMICA

Desde una visión sistémica, la Refinería de Zinc de Cajamarquilla es un sistema que consume concentrado de zinc y produce diferentes entidades intermedias y finales.

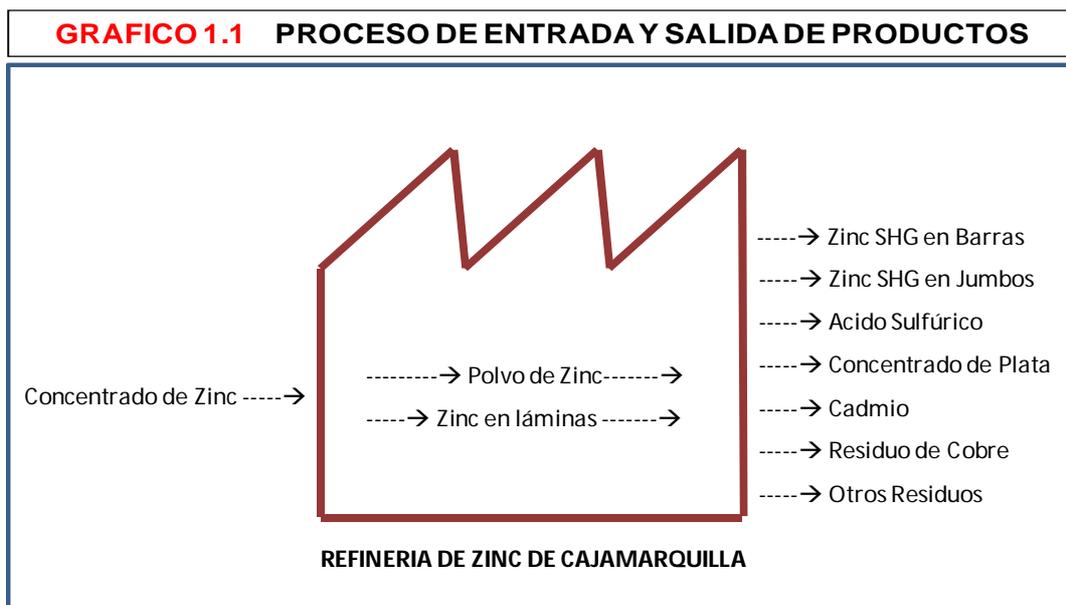
En ese sistema son generados Zinc SHG en barras y jumbos como producto principal.

Algunos subproductos son ácido sulfúrico, concentrado de plata y cadmio.

Para ello, hay una producción y un consumo de polvo de zinc y zinc en láminas.

Entre los residuos actualmente generados, está el residuo de cobre, siendo que en el futuro será transformado en cobre electrolítico.

Otra novedad será la producción de Indio, producto de elevado valor de mercado.



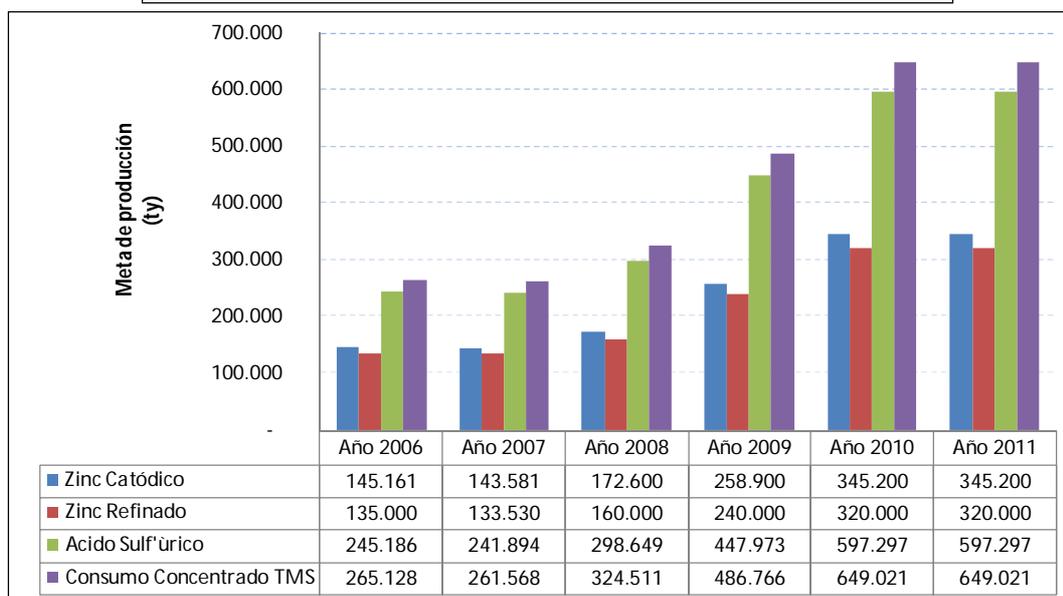
Fuente : Informe Franco Arbeit, Brasil, Agosto,2007. Elaboración: V. Flores C.

1.2 METAS PRODUCTIVAS

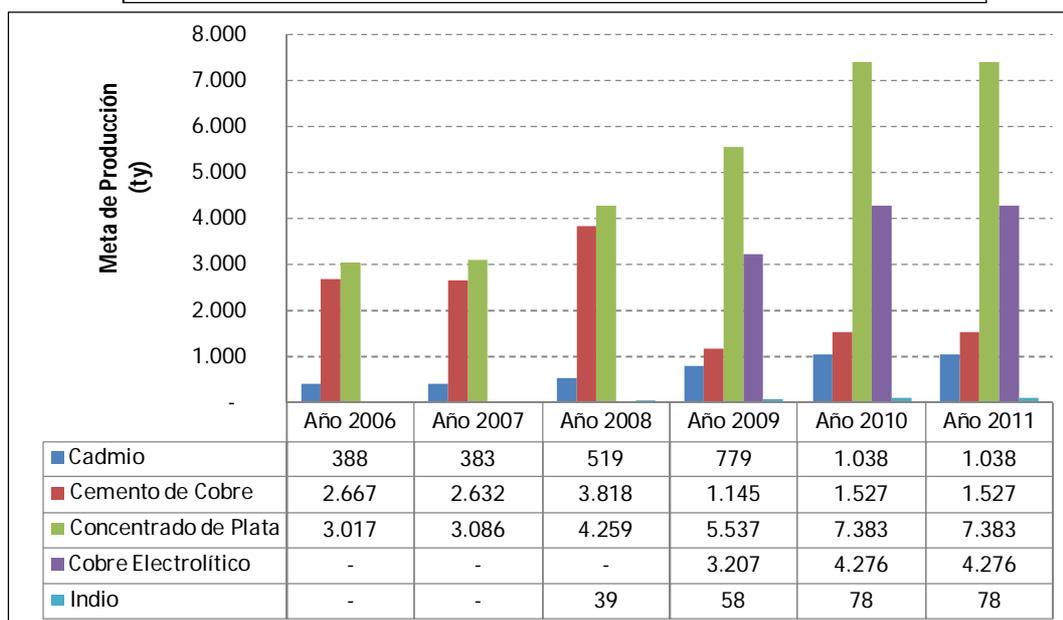
De acuerdo con el planeamiento estratégico de Votorantim Metais, la producción de Zinc Refinado pasará de los actuales 135,000 toneladas por año, para:

- 160,000 toneladas en una segunda etapa
- 320,000 toneladas para una tercera etapa

Estas metas están consideradas dentro del Planeamiento Estratégico de la empresa formulada para los años 2007 al 2011, alineándose de este modo los objetivos estratégicos de la empresa con la visión formulada.

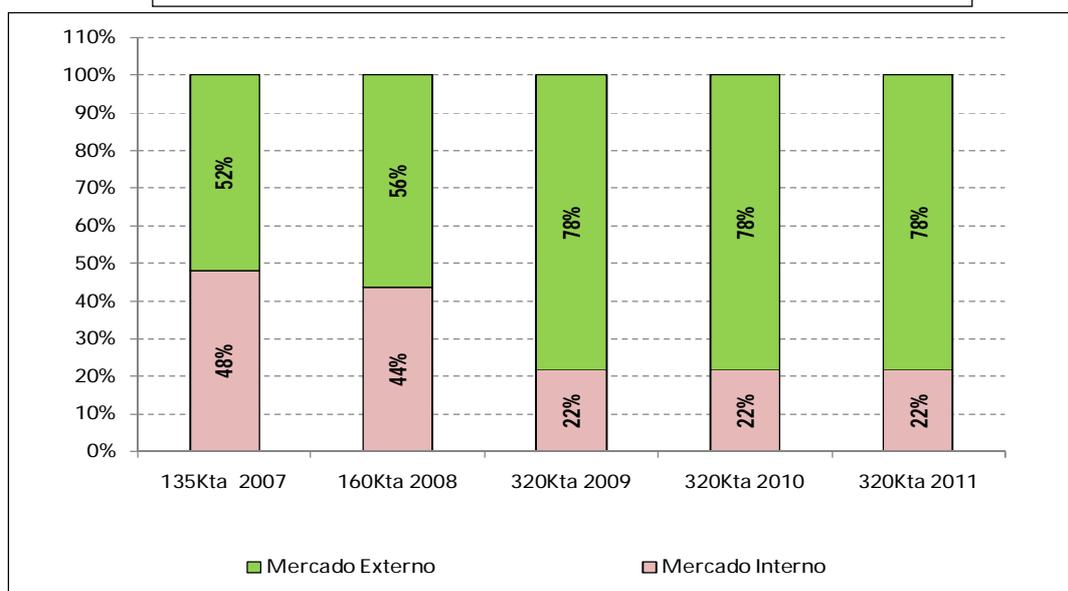
GRAFICO 1.2 METAS DE CONSUMO DE CONCENTRADO Y PRODUCCION

Fuente : Archivos de Refinería de Cajamarquilla.

GRAFICO 1.3 METAS DE PRODUCCION - SUBPRODUCTOS

Fuente : Archivos de Refinería de Cajamarquilla.

Como el crecimiento del mercado interno es vegetativo, su participación deberá disminuir significativamente

GRAFICO 1.4 MERCADO INTERNO Y EXTERNO DE ZINC

Fuente : Archivos de Refinería de Cajamarquilla.

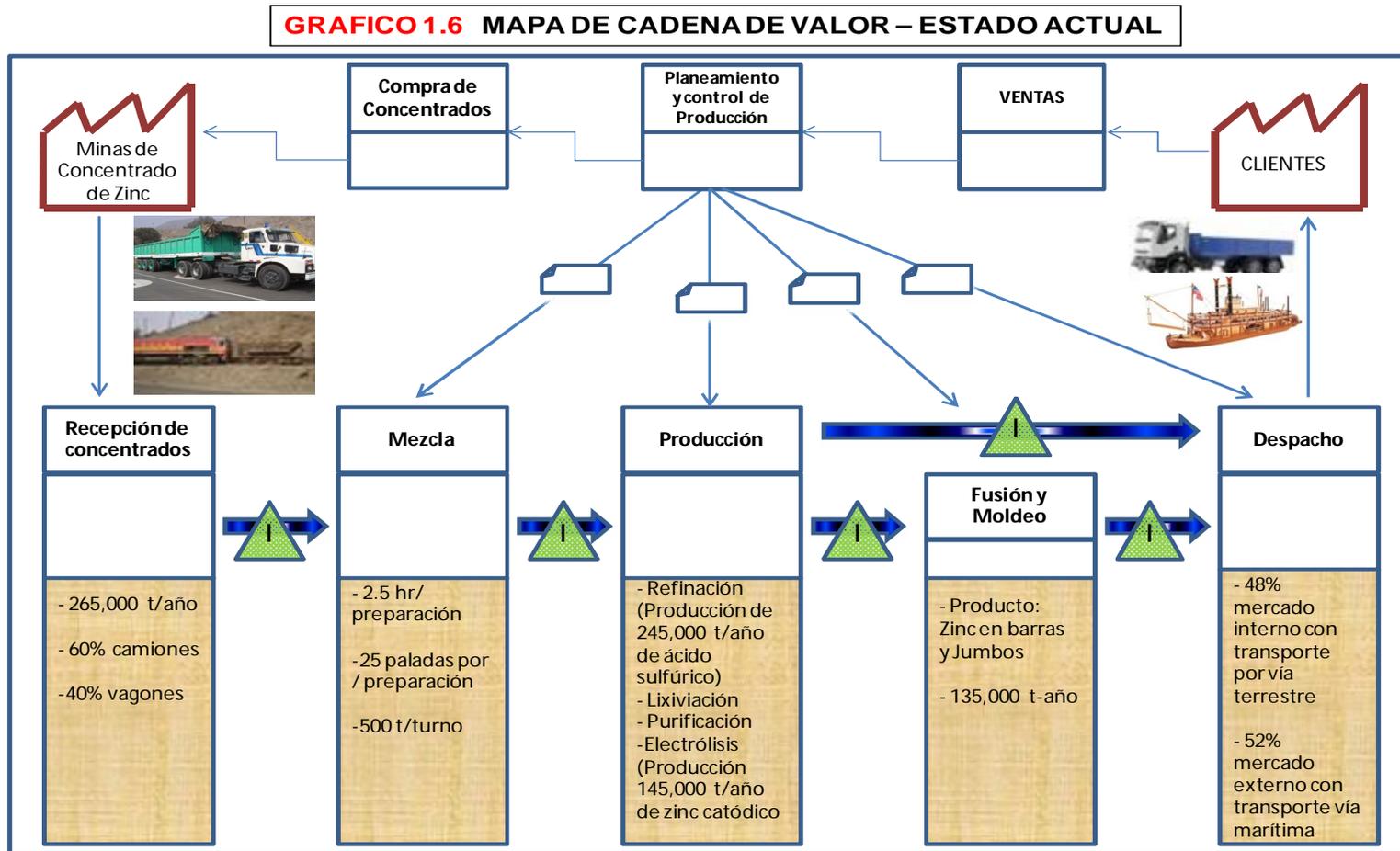
GRAFICO 1.5 MERCADO INTERNO Y EXTERNO DE ACIDO SULFURICO

Fuente : Archivos de Refinería de Cajamarquilla.

1.3 MAPA DE CADENA DE VALOR

En los gráficos 1.6 y 1.7 se muestran los mapas de estado actual y futuro.

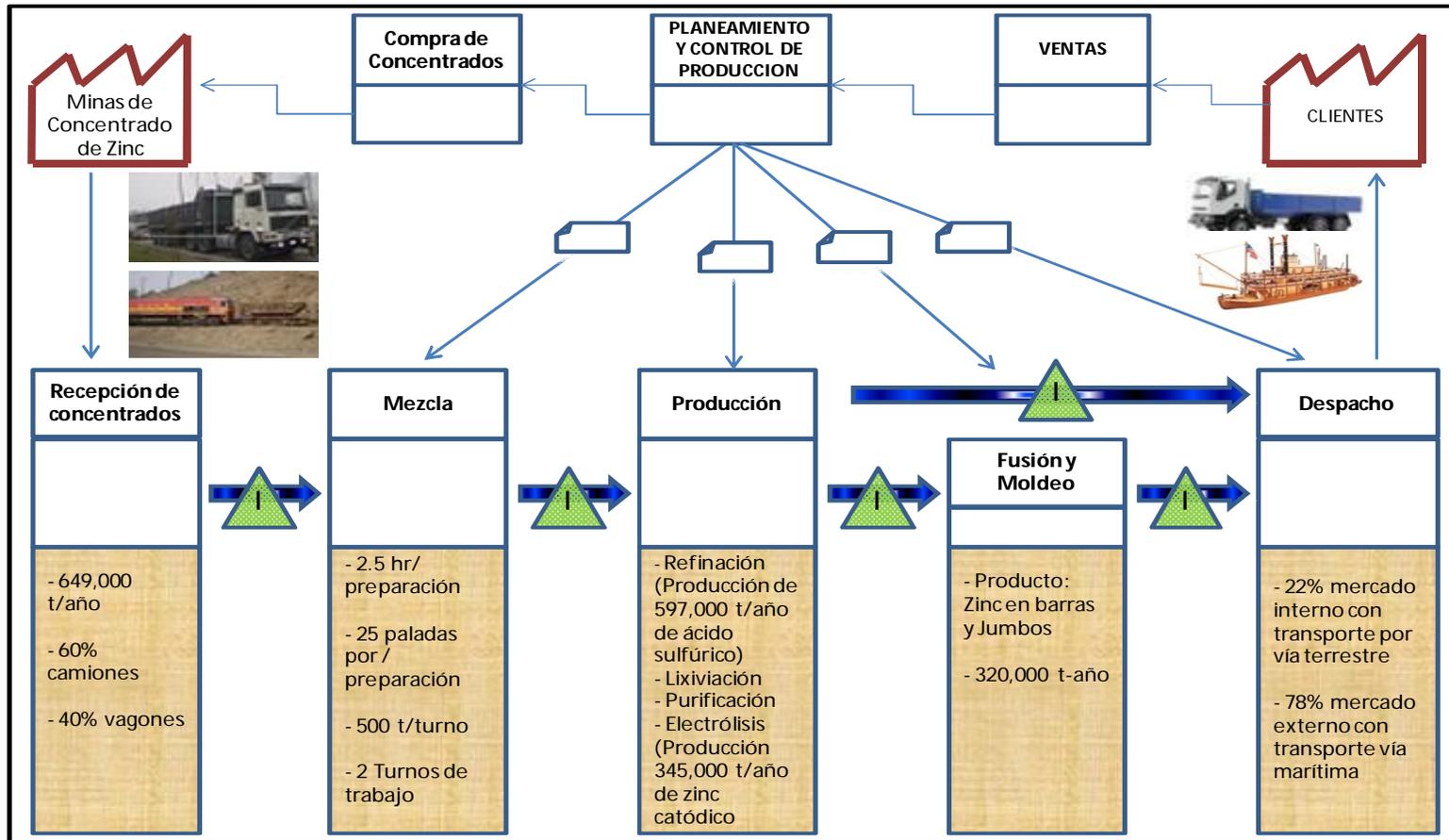
1.3.1 Mapa de Cadena de Valor: estado actual.



Fuente : Informe Franco Arbeit, Brasil, Agosto,2007. Elaboración: V. Flores C.

1.3.2 Mapa de Cadena de Valor: estado futuro

GRAFICO 1.7 MAPA DE CADENA DE VALOR – ESTADO FUTURO



Fuente : Informe Franco Arbeit, Brasil, Agosto,2007. Elaboración: V. Flores C.

1.4 MAPA ESTRATÉGICO DEL NEGOCIO DE ZINC

Desde el punto de vista estratégico, Refinería de Cajamarquilla se ha alineado a la visión de la Corporación Votorantim Metais y ha estructurado su mapa estratégico, la misma que comprende dos vectores:

- Vector de la estrategia de crecimiento.
- Vector de la estrategia de competitividad.

A continuación las perspectivas consideradas para el Mapa Estratégico:

- **Perspectiva financiera**, definida con los objetivos estratégicos: de mayor productor, de generador de valor y de menores costos.
- **Perspectiva de clientes y mercado**, con tres objetivos estratégicos que generen agenda de valor para los actuales clientes y potenciales.
- **Perspectiva de procesos**, con catorce objetivos estratégicos, a fin de lograr lo siguiente :
 - ✓ Crecer por medio de expansiones y adquisiciones.
 - ✓ Ser reconocida como mejor opción de aprovisionamiento por los clientes.
 - ✓ Alcanzar estándares de excelencia operacional y en costos.
 - ✓ Garantizar la gestión sustentable del negocio.

- **Perspectiva de crecimiento**, conformada por seis objetivos estratégicos, con miras al desarrollo de personas y la creación de un ambiente propicio para convertirse en una empresa global.

Existe una relación de causa-efecto entre los objetivos estratégicos de las cuatro perspectivas desde la base inferior hasta la superior, a fin de lograr con la visión planteada.

En el **Anexo 1** se muestra las interrelaciones entre los diferentes objetivos estratégicos.

1.5 MAPA CONCEPTUAL DE PROCESOS.

Refinería de Cajamarquilla, como parte del mejoramiento de sus operaciones elaboró un mapa conceptual de sus procesos, con la finalidad de determinar las necesidades de información de la Compañía.

Esta actividad está orientado al logro de objetivos estratégicos del negocio, tales como:

- Incrementar la productividad del personal.
- Determinar de manera precisa los costos.
- Realizar un mejor control de gastos.
- Convertir la data disponible en información para la toma de decisiones.

El mapa conceptual (ver Anexo 2) describe los procesos de la Refinería de Zinc de Cajamarquilla y comprende los siguientes:

- **Procesos de Dirección:** Son los que determinan el rumbo de la organización.
- **Procesos críticos:** Son los procesos clave del negocio de Cajamarquilla. (Logística de entrada y Despacho de Productos).
- **Procesos de soporte:** Conformado por los procesos que prestan servicios a los procesos críticos y de dirección.
- **Procesos de apoyo:** Son los procesos que se encuentran dentro de la línea del negocio, pero que no son críticos.

1.6 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE REFINERÍA DE ZINC

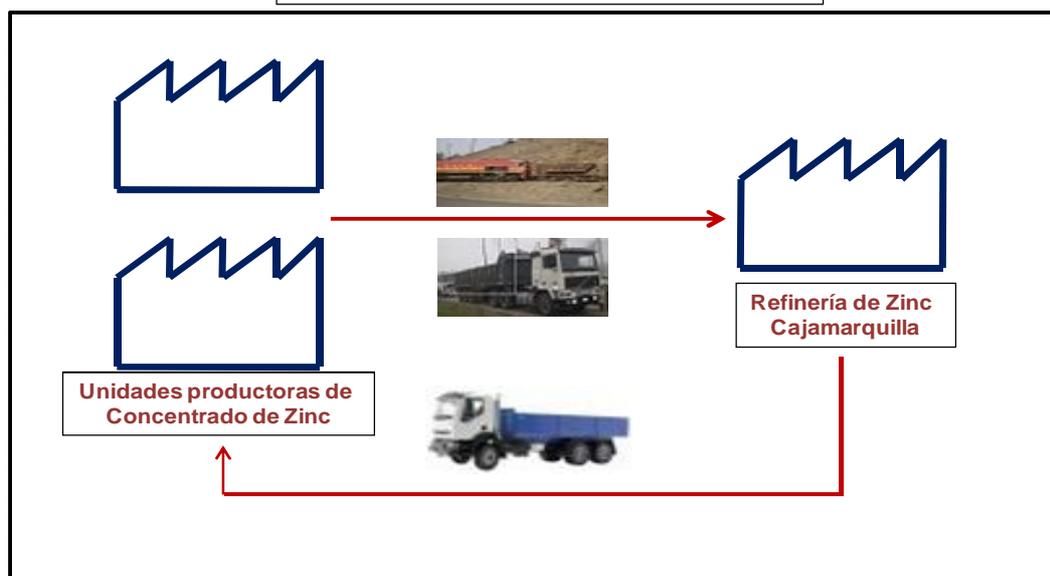
En el anexo 3, se muestra el proceso de refinación de zinc, desde la recepción de concentrados hasta la obtención de productos terminados (Barras de Zinc y Jumbos) y de subproductos (Acido sulfúrico, Cadmio, concentrado de plata, cemento de cobre, etc.).

CAPITULO II

LOGISTICA DE ENTRADA

La logística de entrada representa el ingreso de materia prima, siendo de este modo la fuente de alimentación del proceso productivo.

GRAFICO 2.1 LOGISTICA DE ENTRADA



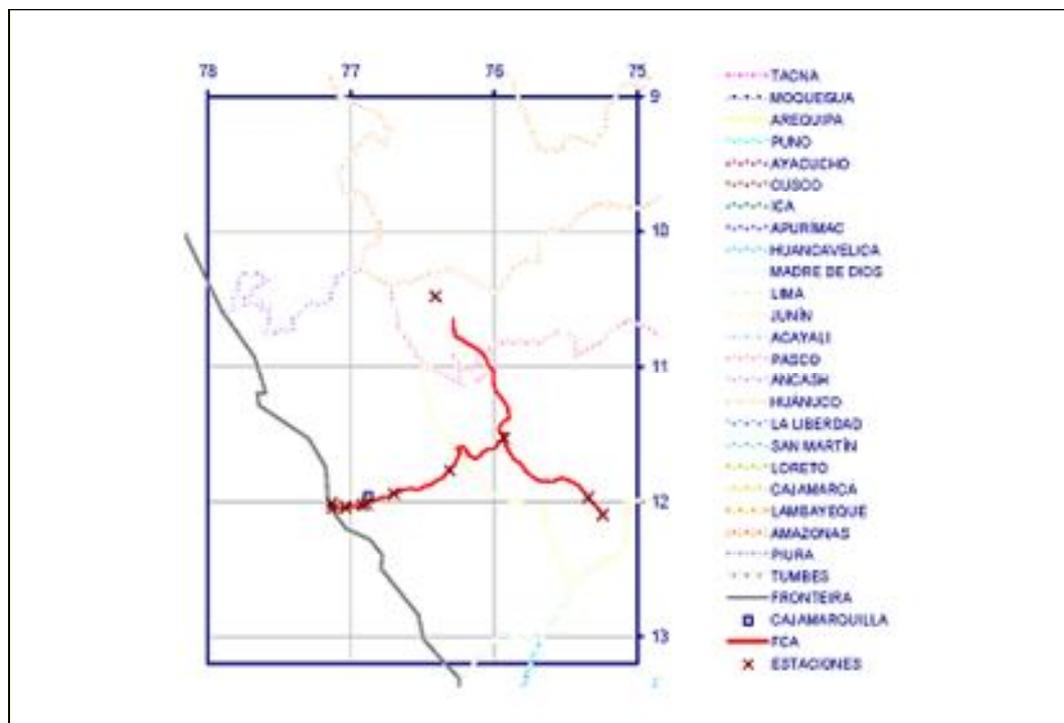
Fuente : Informe Franco Arbeit , Ago.2007; Elaboración: V. Flores C.

Se trata del transporte de Concentrado de Zinc desde la unidades de producción hasta la Refinería de Cajamarquilla, utilizando Camiones y Vagones remolcados por Locomotoras.

2.1 FERROVIAS CENTRAL ANDINA – FCA

Ferrovías Central Andina S.A. obtiene una concesión del Estado Peruano para administrar la línea ferroviaria localizada en la zona central del país por un periodo de 30 años.

GRAFICO 2.2 COBERTURA DE LA LINEA FERREA DE FCA

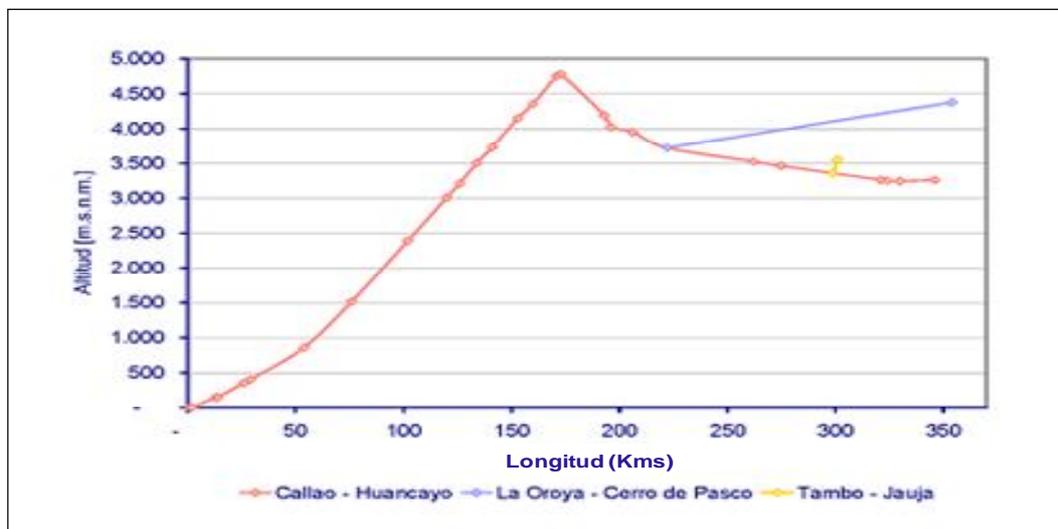


Fuente : Informe Ferrocarril Central Andino - FCA

Ferrovías inicia sus operaciones el 20 de setiembre de 1999, con cobertura en la sierra central, extendiéndose desde la estación de Guadalupe en el Callao y pasando por Cerro de Pasco, Jauja y de la Oroya hasta Huancayo.

Utiliza la Locomotora FCCA de 220 TM para el traslado de vagones con concentrado de Zinc y diez vagones cisterna con ácido sulfúrico.

GRAFICO 2.3 ALTITUD DE VIA FERREA SEGÚN RECORRIDO



Fuente : Informe Franco Arbeit , Ago.2007

2.2 ESTACION SANTA CLARA

La Refinería de Cajamarquilla está ubicada próxima a la estación Santa Clara, en el Km 29 de la ferrovía. La estación Santa Clara se halla a una

altitud de 403 m.s.n.m. Para llegar a la Planta, hay un ramal de 7 Km construida por la misma Refinería.

GRAFICO 2.4 ESTACION DE SANTA CLARA



Fuente : Archivos Refinería de Zinc

2.3 EXTRACCION DE ZINC EN EL PERU

Cerca de la mitad de las divisas generadas por el Perú corresponden al sector minería, siendo ésta una de las actividades económicas significativas en las regiones altoandinas.

El Perú es el cuarto productor mundial de Zinc y el primero de América Latina.

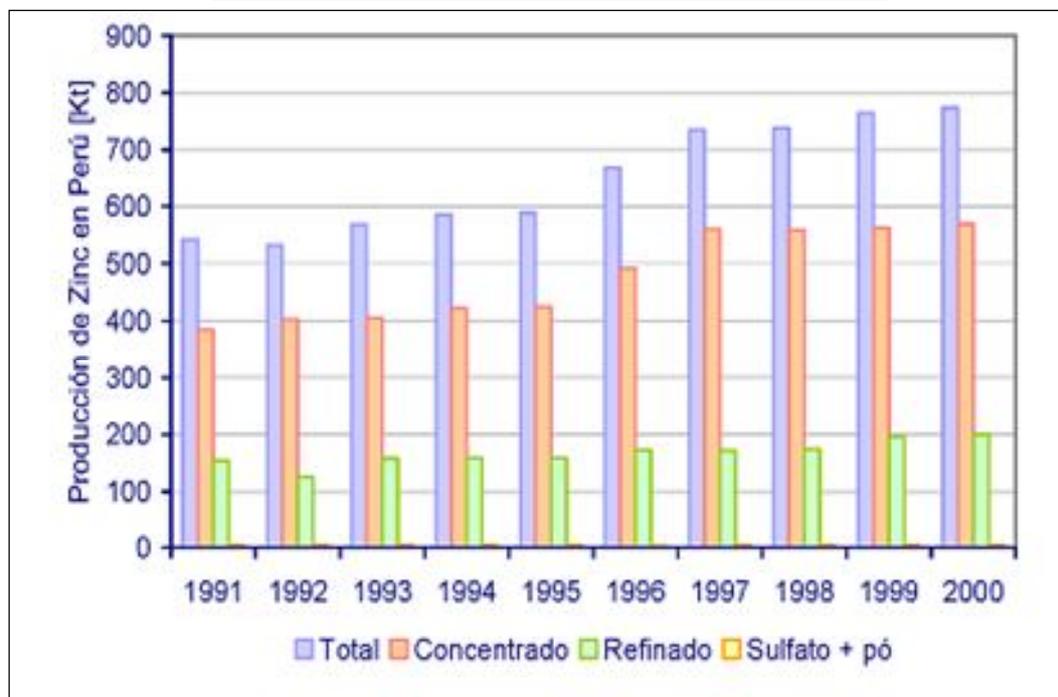
En los siguientes gráficos se muestran lo siguiente:

Gráfico 2.5: Producción de Zinc en el Perú desde el año 1991 hasta el año 2000.

Gráfico 2.6: Producción de Zinc de la principales minas.

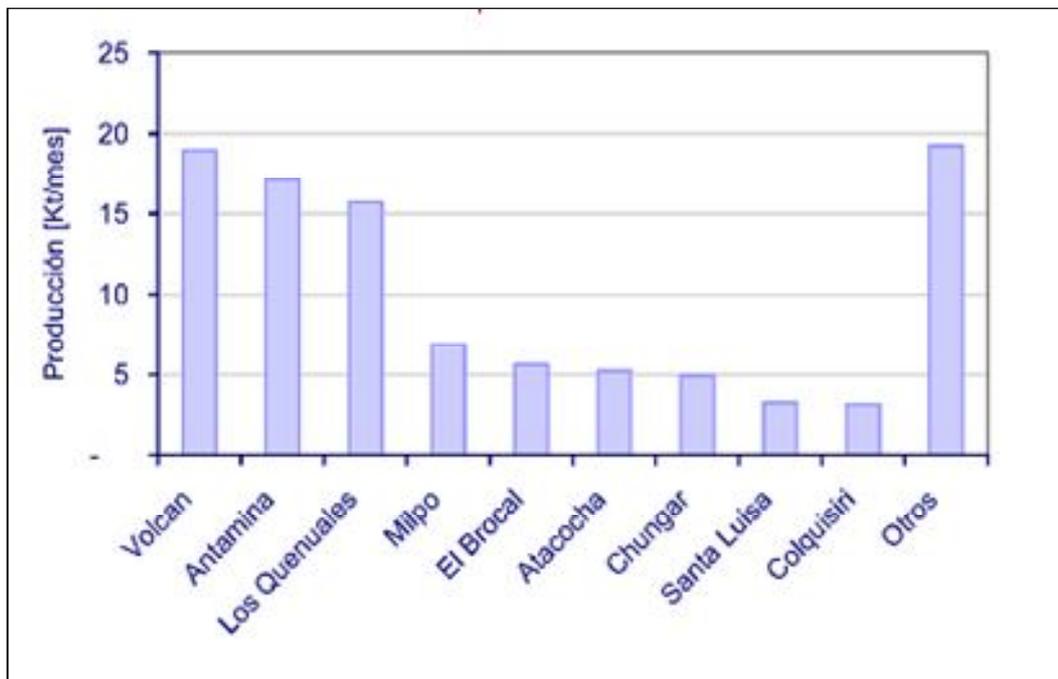
Gráfico 2.7: Producción de Zinc y ampliaciones planeadas desde el 2000 hasta el año 2009.

GRAFICO 2.5 PRODUCCION DE ZINC EN EL PERU



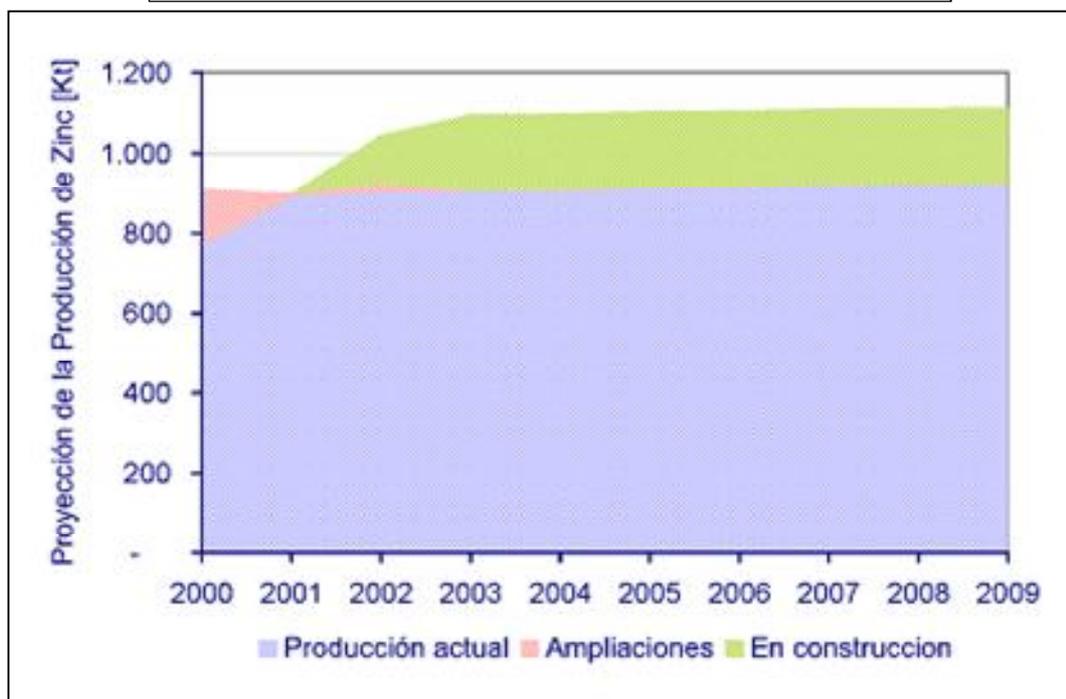
Fuente : Informe Franco Arbeit , Ago.2007

GRAFICO 2.6 PRODUCCION POR MINAS



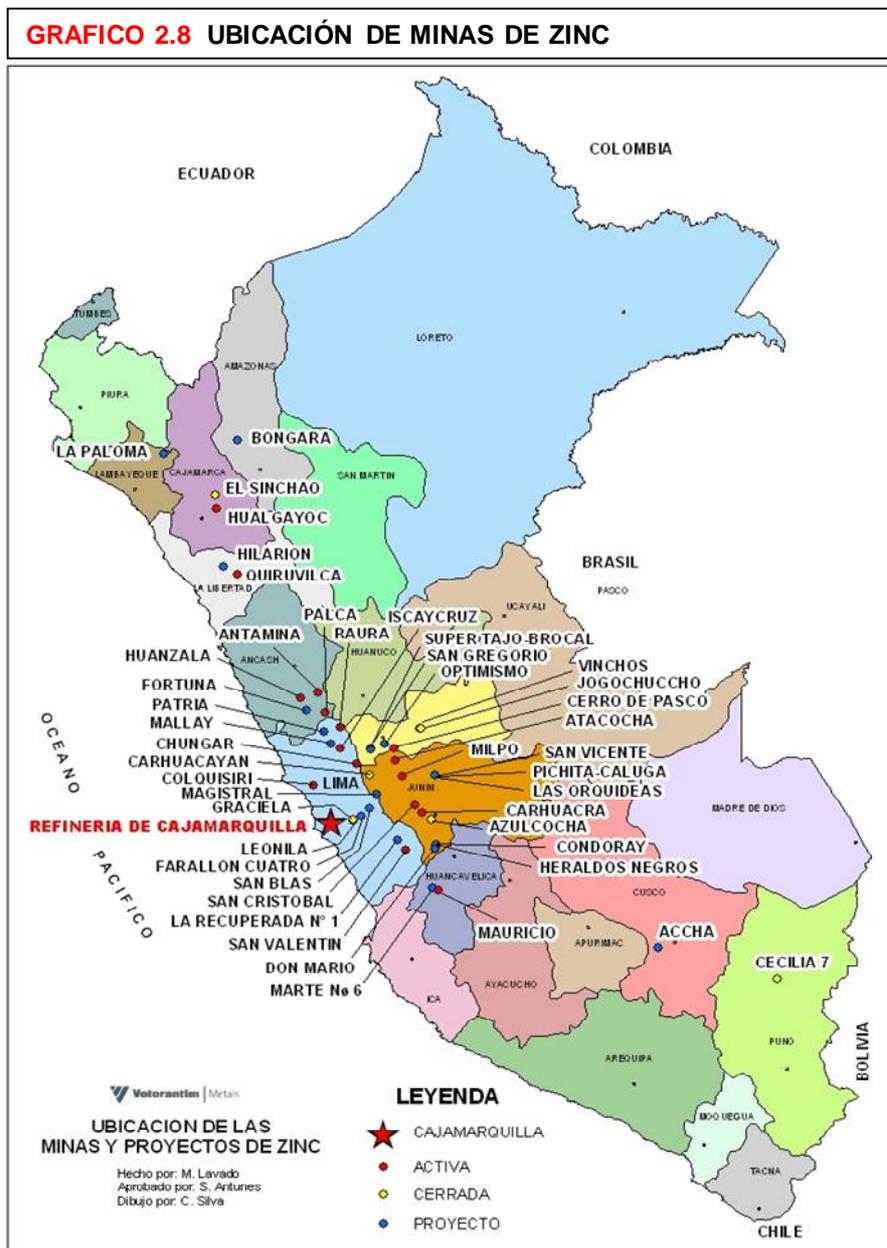
Fuente : Reportes mensuales Minem Perú –Jun 2006

GRAFICO 2.7 PRODUCCION DE ZINC Y AMPLIACIONES



Fuente : Plan Referencial de Minería 2000 - 2009

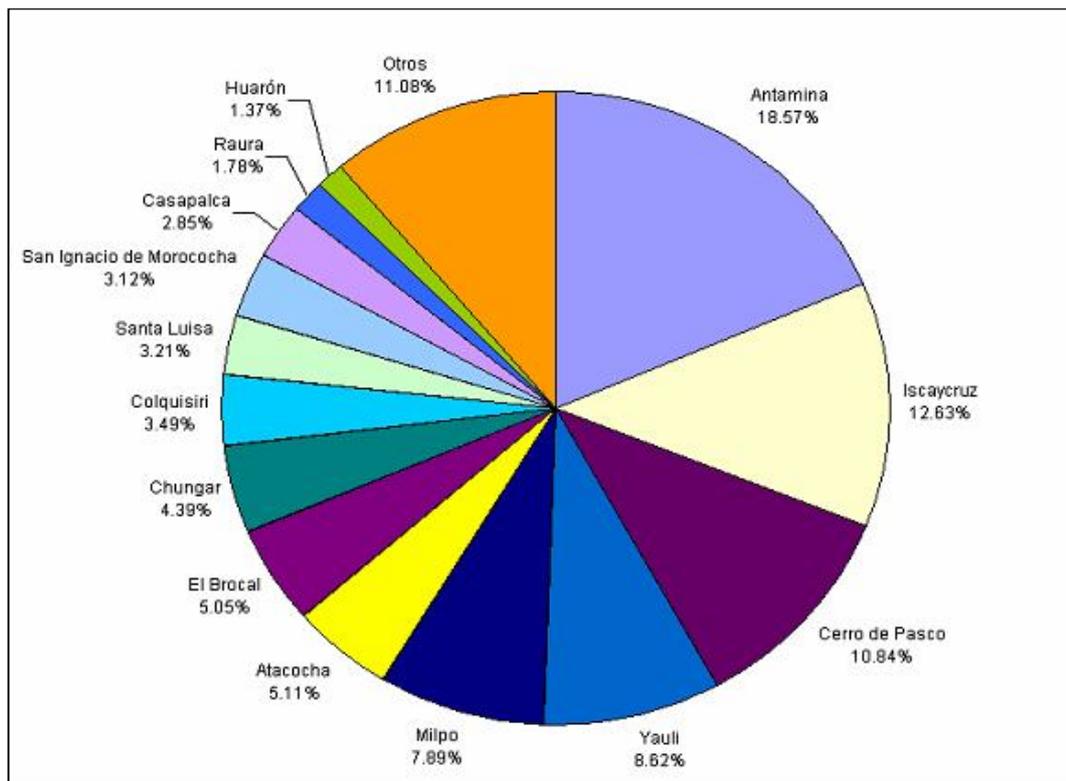
En el Gráfico 2.8 se muestra la presencia de minas activas que producen concentrado de zinc y nuevos proyectos mineros.



Fuente : Pagina WEB de LATIZA

En el Gráfico 2.9 se detalla la participación porcentual de la principales Minas del Perú, en la producción de concentrado de Zinc.

GRAFICO 2.9 PRINCIPALES PRODUCTORES DE CONCENTRADO DE ZINC EN EL PERU



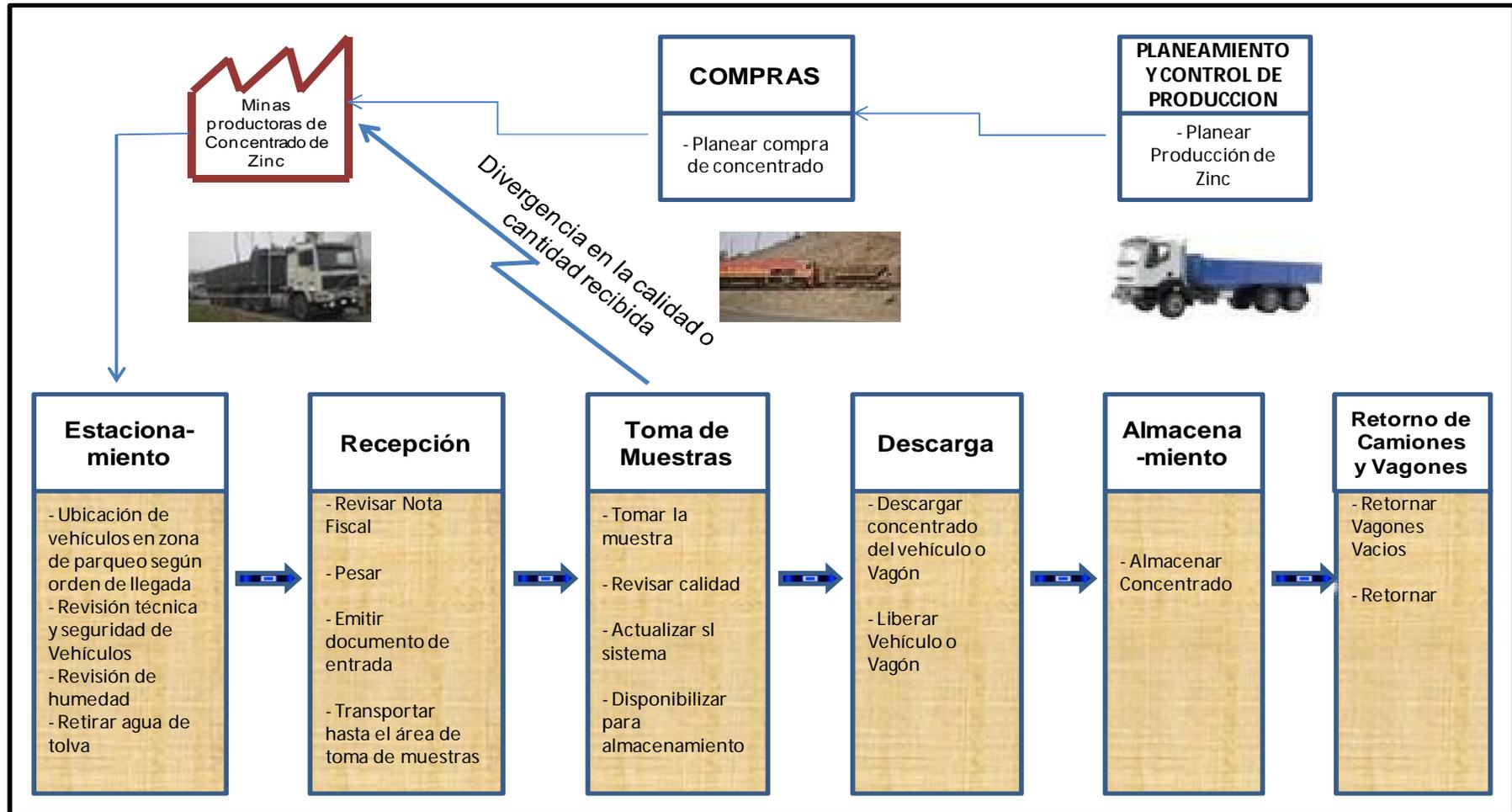
Fuente: Pagina Web de LATIZA.

2.4 MAPA CADENA DE VALOR: RECEPCION DE CONCENTRADO

El Mapa de Cadena de Valor de Recepción de Concentrados de Zinc, nos permite visualizar el flujo de materiales en las diferentes fases del proceso.

En el gráfico 10, se muestra el Mapa de Cadena de Valor indicado, en el cuál se destaca la implantación de la nueva zona de estacionamiento para camiones. (Ver Gráfico 2.10).

GRAFICO 2.10 MAPA DE CADENA DE VALOR – RECEPCION DE CONCENTRADO



Fuente : Informe Franco Arbeit , Ago.2007; Elaboración: V. Flores C.

2.5 MEDIDAS DE DESEMPEÑO

Nivel de utilización de recursos:

Zona de estacionamiento, para la recepción de vehículos con carga de concentrados y plataformas para barras de Zinc según orden de llegada.

GRAFICO 2.11 ZONA DE ESTACIONAMIENTO DE VEHICULOS



Fuente Archivos de Refinería de Cajamarquilla.

Balanza de Portería, (Una para camiones y otra para vagones).

GRAFICO 2.12 BALANZA DE PORTERIA



Fuente: Archivos de Refinería de Zinc.

Estación de retiro de muestras, con las seguridades del caso, para tomar la muestra del concentrado de los camiones.

GRAFICO 2.13 ESTACION PARA OBTENER MUESTRAS



Fuente : Archivos de Refinería de Zinc

Excavadora hidráulica (Para retirar concentrado de camiones/vagones).

GRAFICO 2.14 EXCAVADORA HIDRAULICA



Fuente : Archivos de Refinería de Zinc

Cargador Frontal (Acumula en los Silos, el concentrado retirado de los camiones)

GRAFICO 2.15 CARGADOR FRONTAL



Fuente : Pagina WEB Caterpillar

Número de vehículos:

- Cantidad de vehículos en la planta
- Tasa de ocupación en el estacionamiento de Portería (La misma que debe ser considerada en forma paralela con los vehículos que despachan los productos terminados)

Productividad:

- Recepción de concentrado en vagones

GRAFICO 2.16 RECEPCION DE CONCENTRADOS EN VAGONES

Fuente : Archivos de Refinería de Zinc

GRAFICO 2.17 RECEPCION DE CONCENTRADOS EN CAMIONES

Fuente : Archivos de Refinería de Zinc

2.6 RECEPCION DE CONCENTRADOS DE ZINC

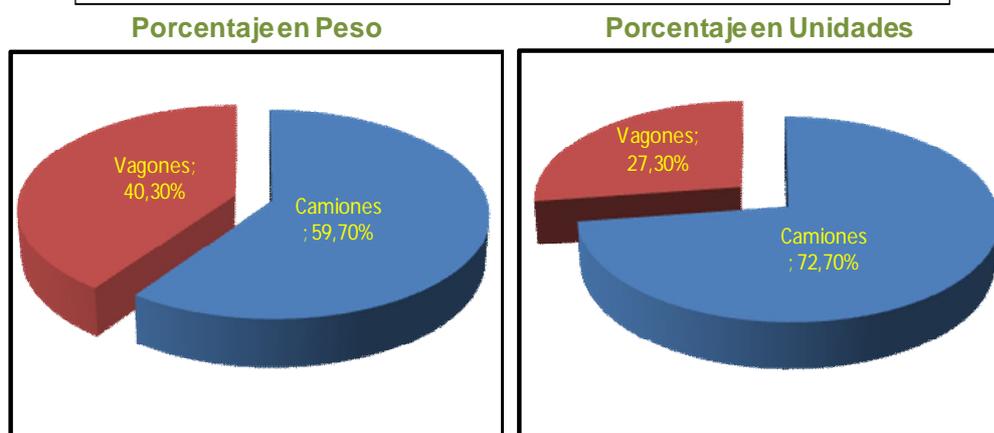
El Concentrado de Zinc es comprado de las Minas o de Traders.

El Concentrado de Zinc llega a Refinería de Cajamarquilla en Camiones y Vagones, siendo el de Camiones el más utilizado actualmente.

Referente al peso de Concentrado de Zinc transportado, los camiones significan casi un 50% mas que los vagones.

En Unidades de Vehículos, los Camiones cubren el 72% del total.

GRAFICO 2.18 RECEPCION PORCENTUAL DE CONCENTRADOS



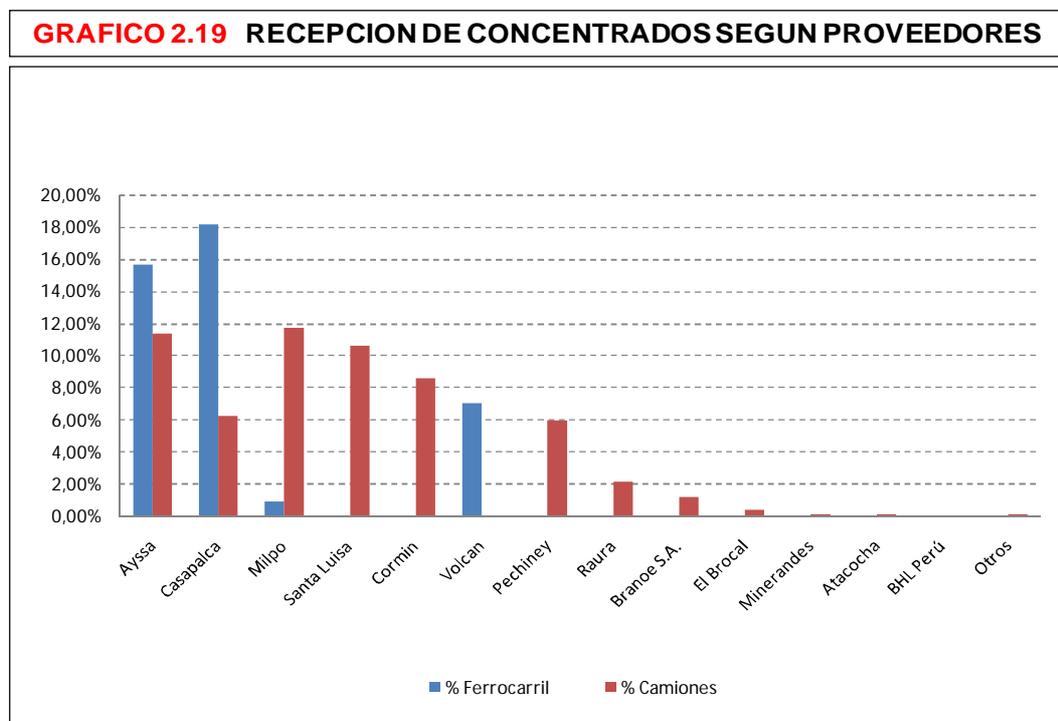
Fuente : Archivos de Refinería de Zinc

Como antecedente se destaca que el consumo de concentrado de Zinc en el año 2006 fue del orden de 265.000 toneladas. De la revisión de los datos registrados en la Refinería de Cajamarquilla se cuenta con 13 Proveedores y

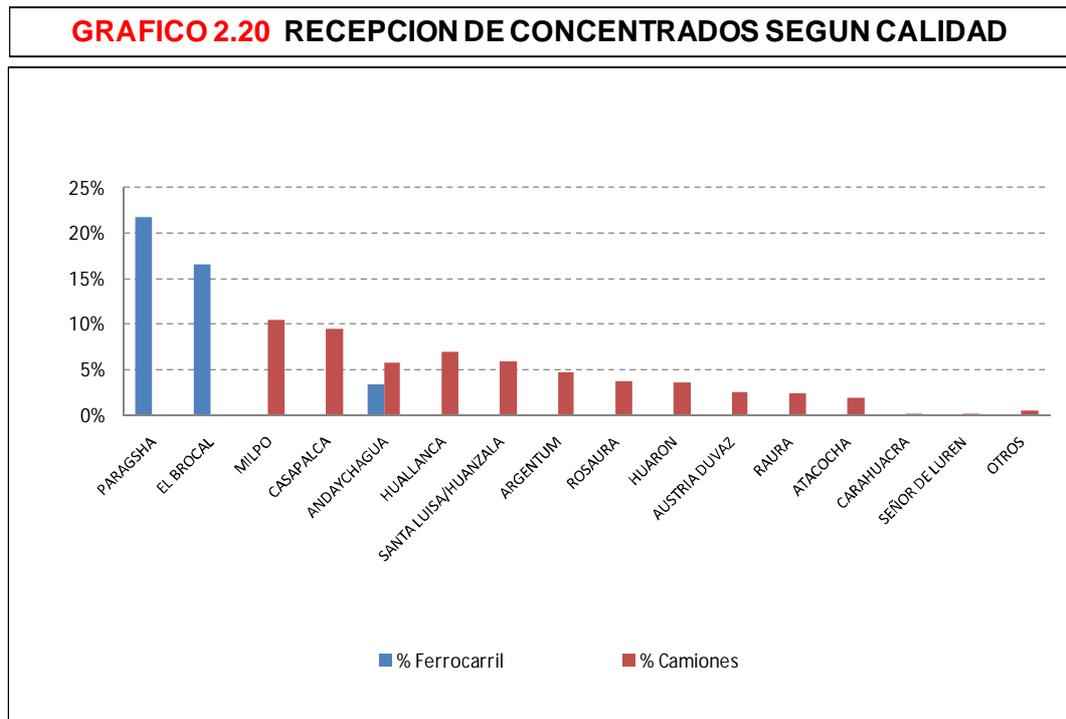
20 calidades diferentes de concentrado de zinc en el período de enero 2002 a junio del 2006.

Para el proyecto 320 Kta se estima un consumo de concentrado de zinc, en el orden de 650.000 toneladas por año

A continuación se muestra la distribución porcentual del mineral recibido en vagones y camiones tanto a nivel de cada proveedor como a nivel de cada calidad.



Fuente: Archivos de Refinería de Zinc



Fuente : Archivos de Refinería de Zinc

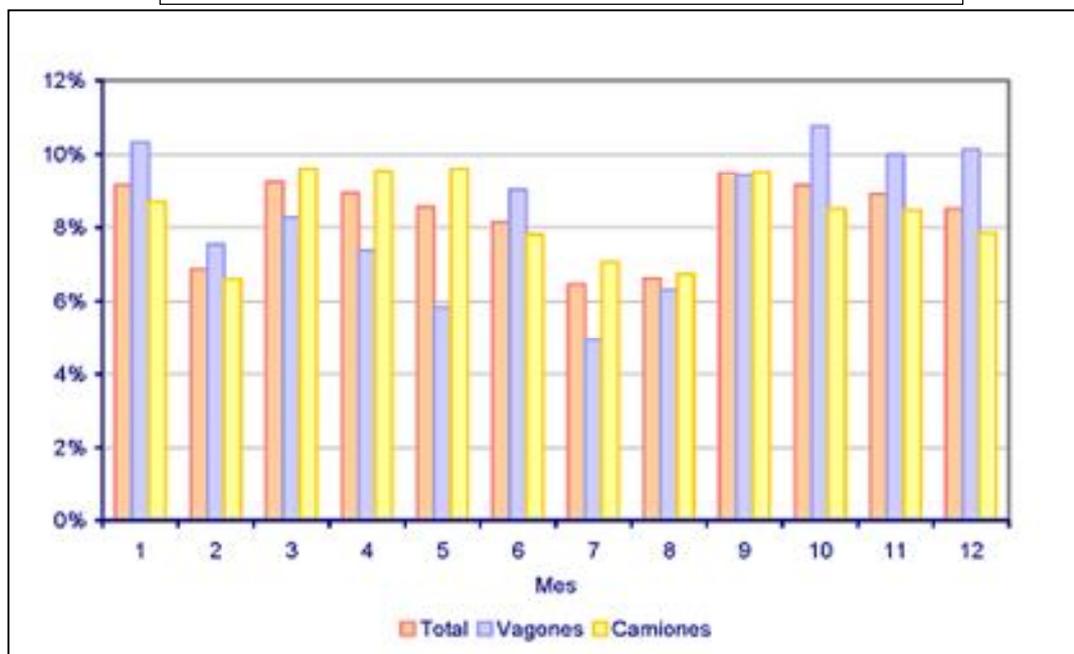
2.7 FRECUENCIAS EN RECEPCION DE CONCENTRADO

En los siguientes gráficos se muestran las variaciones porcentuales de recepción de concentrados a nivel de vagones, camiones y totales, distribuidos en periodos mensuales, semanales, diarios y horarios.

- Gráfico 2.21, menor recepción en febrero por las lluvias y en julio y agosto por una parada de planta.
- Gráfico 2.22, muestra una mayor entrega los días lunes por carguío efectuado el fin de semana en las minas y entregas ocasionales los domingos.

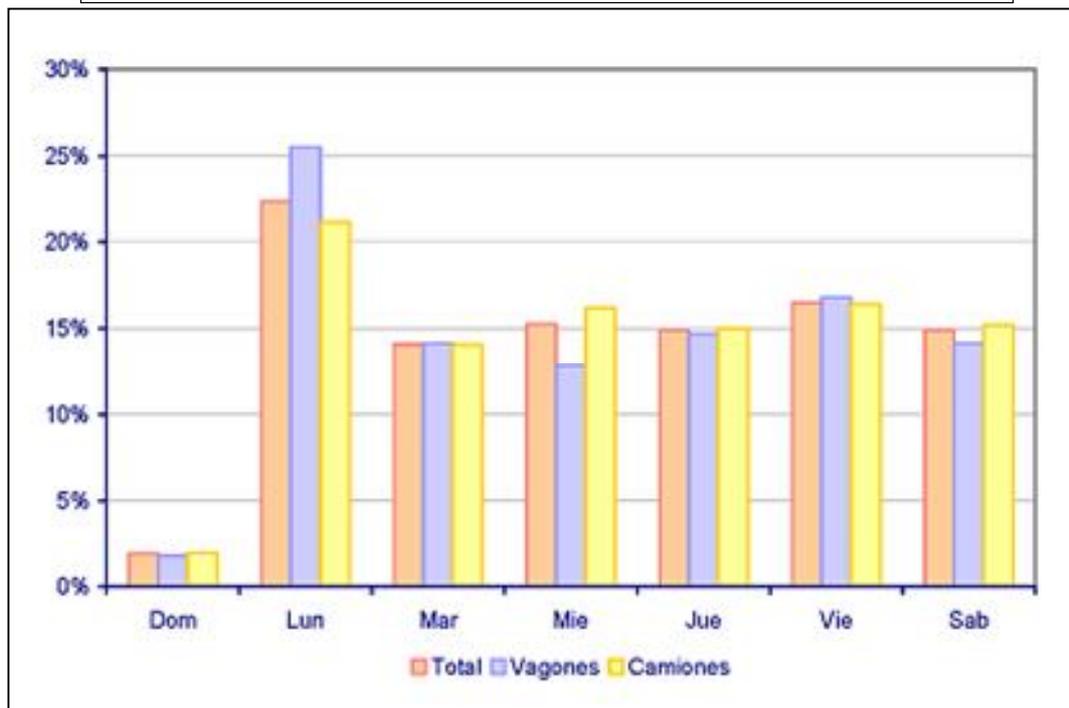
- Gráfico 2.23, aumentan las entregas en los últimos días de cada mes para luego reducirse la primera semana del mes siguiente.
- Gráfico 2.24, muestra que el mayor ingreso de vehículos con concentrados es en la mañana debido al viaje nocturno que realizan.

GRAFICO 2.21 RECEPCION DE CONCENTRADOS POR MESES



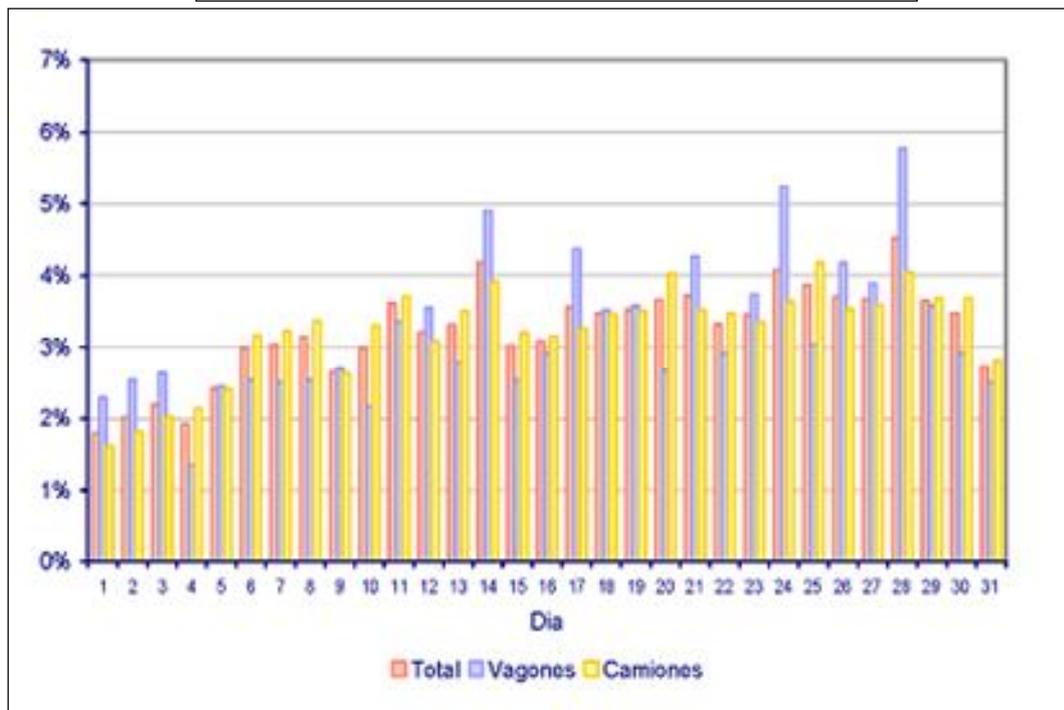
Fuente: Informe Franco Arbeit, Ago.2007

GRAFICO 2.22 RECEPCION DE CONCENTRADOS POR SEMANAS

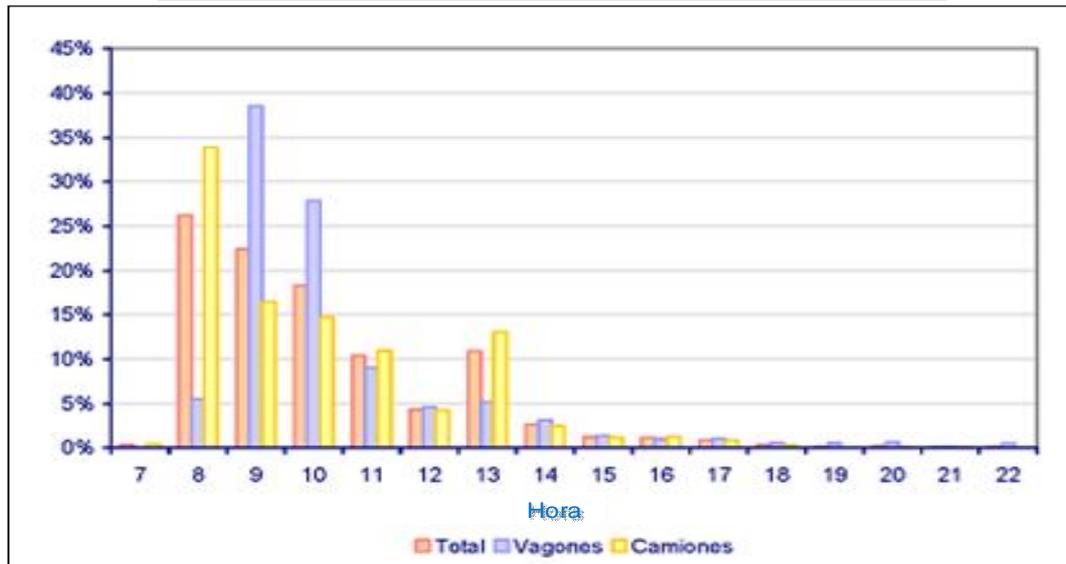


Fuente : Informe Franco Arbeit , Ago.2007;

GRAFICO 2.23 RECEPCION DE CONCENTRADOS POR DIAS



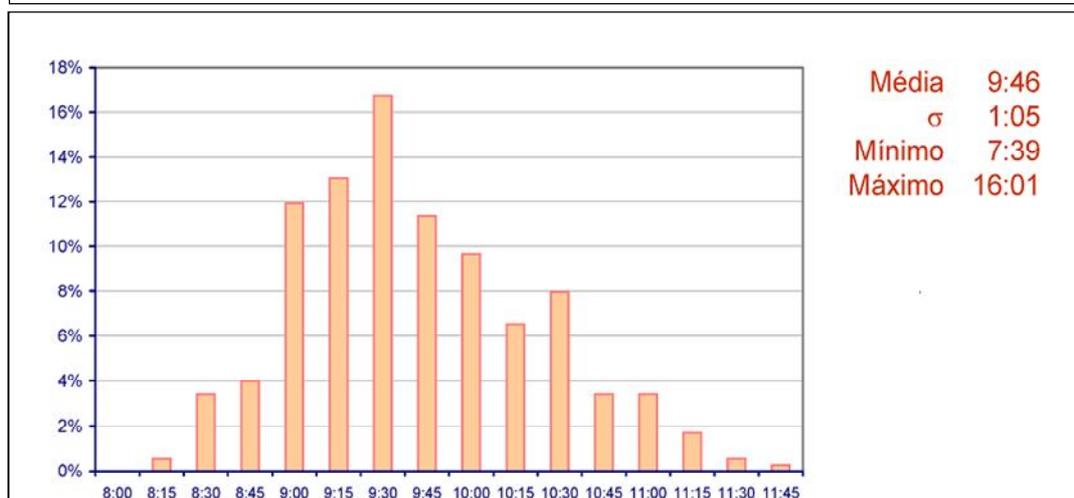
Fuente : Informe Franco Arbeit , Ago.2007

GRAFICO 2.24 RECEPCION DE CONCENTRADO POR HORAS

Fuente : Informe Franco Arbeit , Ago.2007

2.8 ENTRADA DE VEHICULOS CON CONCENTRADO

Es importante destacar el horario de entrada de los vehículos, ya que de no cumplirse no habrá tiempo suficiente para completar las operaciones de descarga, incurriendo en horas extras de personal operativo y/o superposición con otras actividades programadas.

GRAFICO 2.25 HORARIO DE ENTRADA DE VEHICULOS EN CAJAMARQUILLA

Fuente : Informe Franco Arbeit , Ago.2007

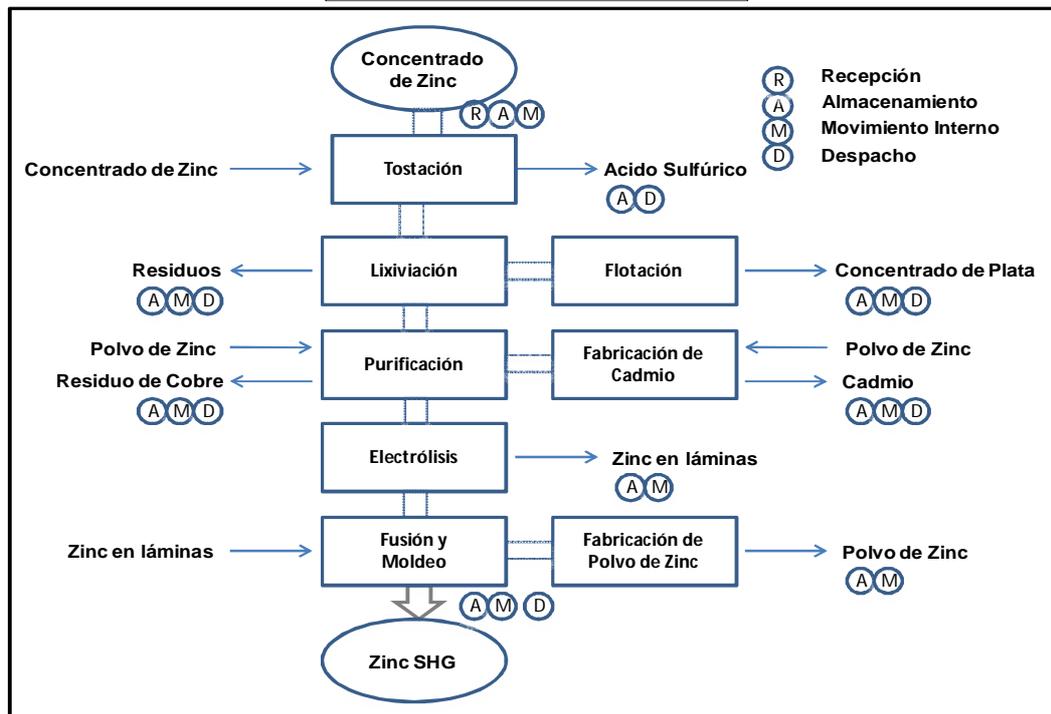
CAPITULO III

LOGISTICA INTERNA

Durante el proceso de refinación de Zinc, diversos materiales son consumidos y producidos, los mismos que demandan una logística adecuada para estar disponibles en los lugares correctos y en la hora en que fuesen necesarios.

Se analizan las principales operaciones de recepción, almacenamiento, movimientos internos y despacho, las mismas que son consideradas en la formulación del modelo.

Para que la logística sea modelada en forma adecuada es fundamental conocer el proceso; sin embargo, las operaciones propiamente dichas de producción de zinc, no han sido consideradas en este trabajo. En el anexo 3 se muestra el Diagrama de Flujo del Proceso de Refinería de Zinc.

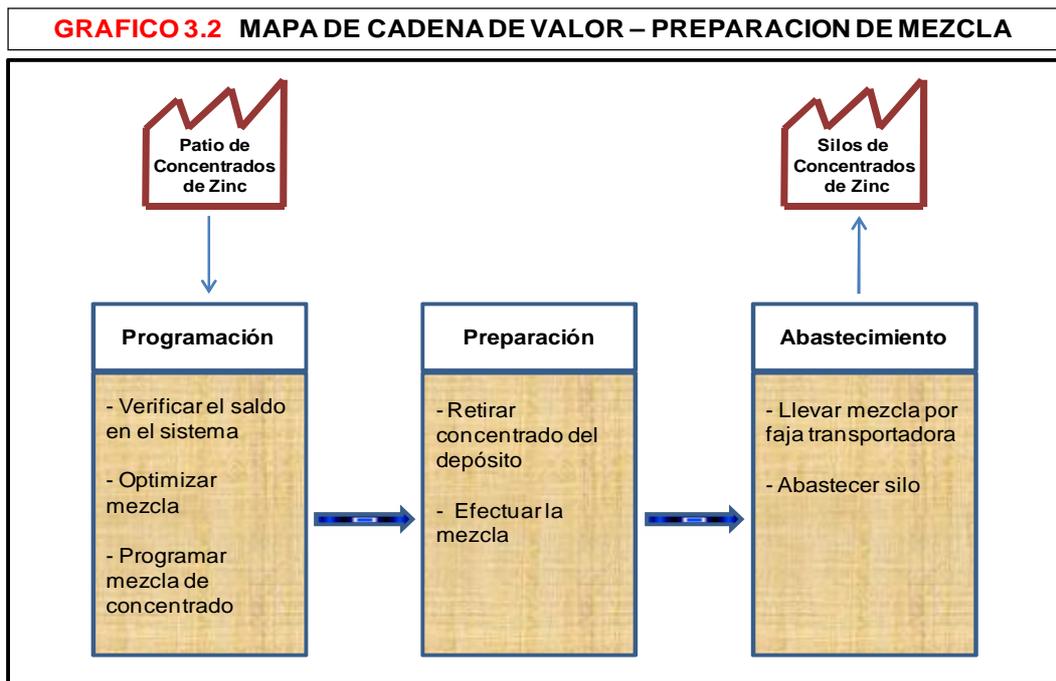
GRAFICO 3.1 LOGISTICA INTERNA

Fuente : Informe Franco Arbeit , Ago.2007; Elaboración: V. Flores C.

En el gráfico anterior se muestra las actividades de recepción, almacenamiento, movimientos internos y despacho de los principales productos.

3.1 MAPA DE CADENA DE VALOR: PREPARACION DE MEZCLA

En el siguiente gráfico se destaca la secuencia de actividades en la preparación de la mezcla.



Fuente : Informe Franco Arbeit , Ago.2007; Elaboración: V. Flores C.

3.2 MEDIDAS DE DESEMPEÑO

Nivel de utilización de recursos

- Cargador Frontal (Ver anexo 4).

Almacenamiento de Concentrado (Ver anexo 5)

- Stock total de concentrado.
- Stock de concentrado por cajón de almacenamiento.
- Tasa de ocupación por cajón.
- Silos (Último punto de stock antes del horno, que recibe el resultado de la mezcla de concentrados).

Productividad:

- Producción.
- Blend (Retirada de concentrado de las cajas y alimentación de los silos).

GRAFICO 3.3 CONCENTRADO DISPONIBLE PARA MEZCLA

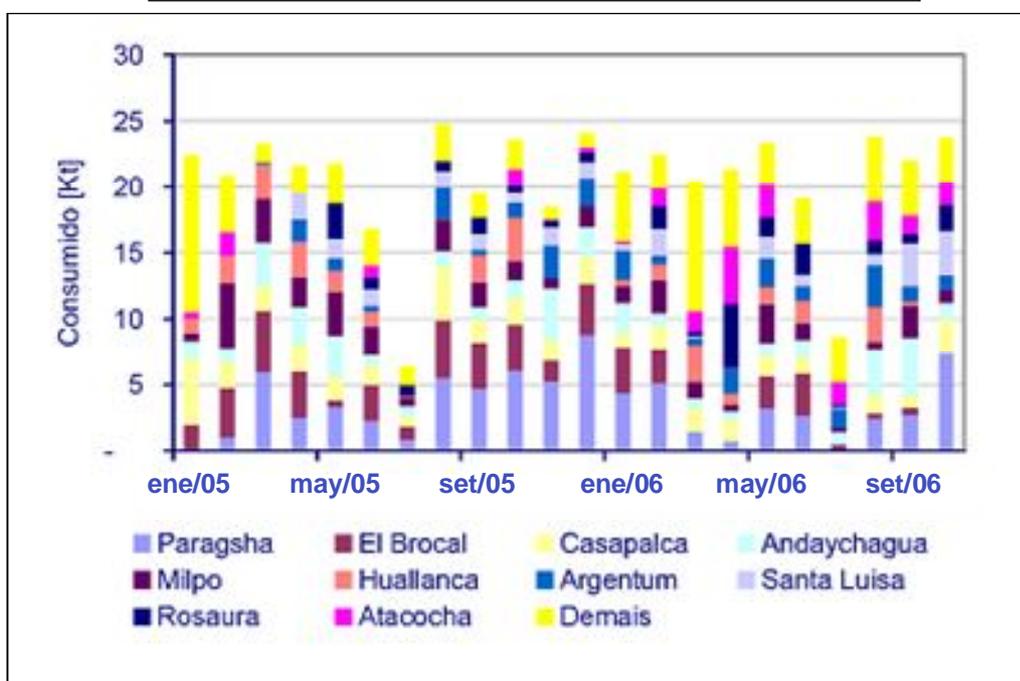
Fuente : Archivo Refinería de Zinc

3.3 PREPARACION DE MEZCLA

El concentrado ingresa en el sistema en una proporción de 52,36 % de Zn en promedio, a través de la mezcla de diversas calidades de concentrados, cada uno con su contenido específico.

Además de Zinc, otros contenidos son considerados en esta mezcla, como Fe, Cu, Mg y Si.

GRAFICO 3.4 CONSUMO DE CONCENTRADO PARA MEZCLA



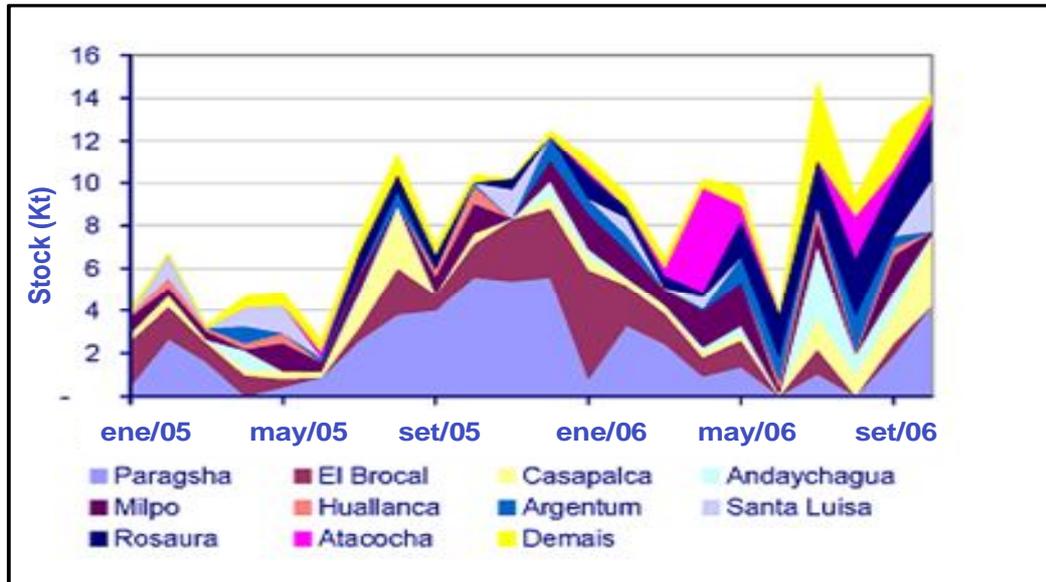
Fuente : Informe Franco Arbeit , Ago.2007;

La programación de la mezcla a ser hecha considera contenidos y disponibilidad de cada calidad de concentrado.

Aunque la programación de mezclas no tiene influencia en los stocks totales de concentrados, afecta la cantidad de cajas necesarias.

Por su naturaleza, trátase de un problema de mezcla, cuya solución puede ser obtenido utilizando herramientas de Programación Lineal.

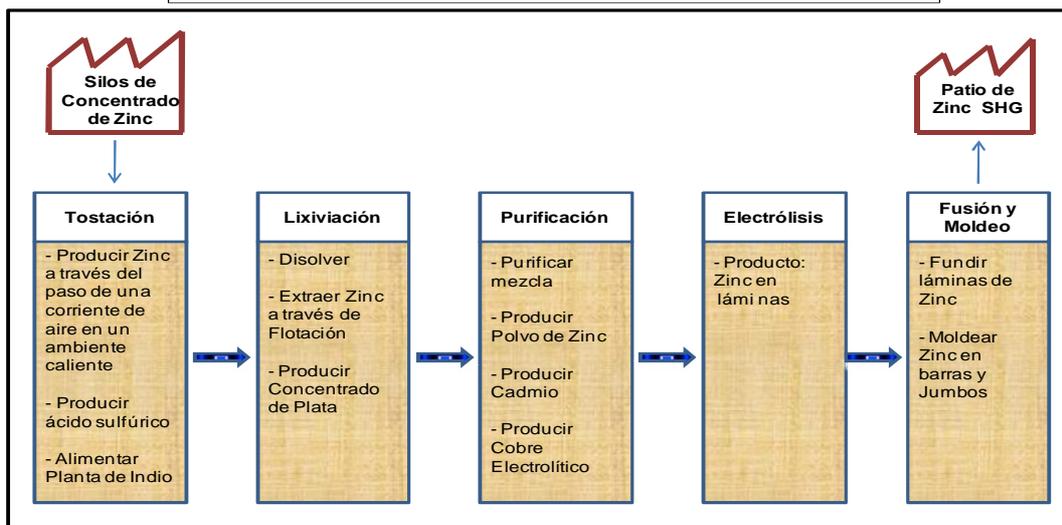
GRAFICO 3.5 STOCK DE CONCENTRADOS



Fuente : Informe Franco Arbeit , Ago.2007

3.4 MAPA DE CADENA DE VALOR DE PRODUCCION DE ZINC

GRAFICO 3.6 MAPA DE CADENA DE VALOR - PRODUCCION DE ZINC



Fuente : Informe Franco Arbeit , Ago.2007; Elaboración: V. Flores C.

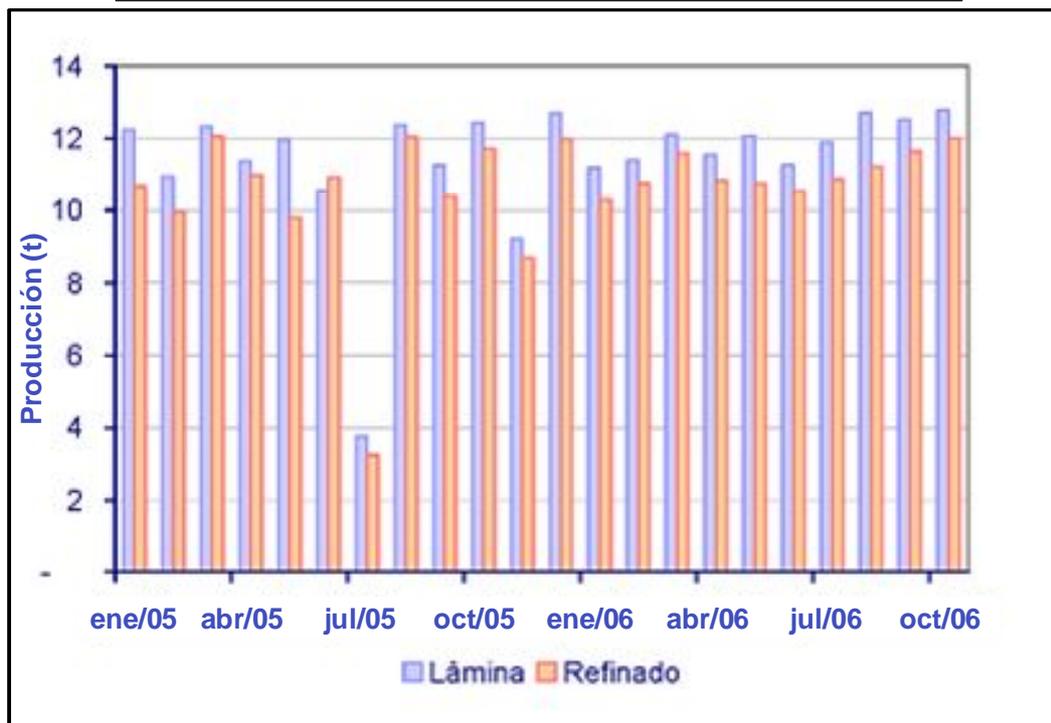
3.5 PRODUCCIÓN DE ZINC Y SUBPRODUCTOS

La producción posee aleatoriedades que hacen como que haya variaciones significativas.

Las paradas de equipos (Por ejemplo: Julio 2005), el planeamiento de producción y las situaciones del mercado son factores que tienen influencia en el total producido.

Esas aleatoriedades pueden ser observadas en los siguientes gráficos:

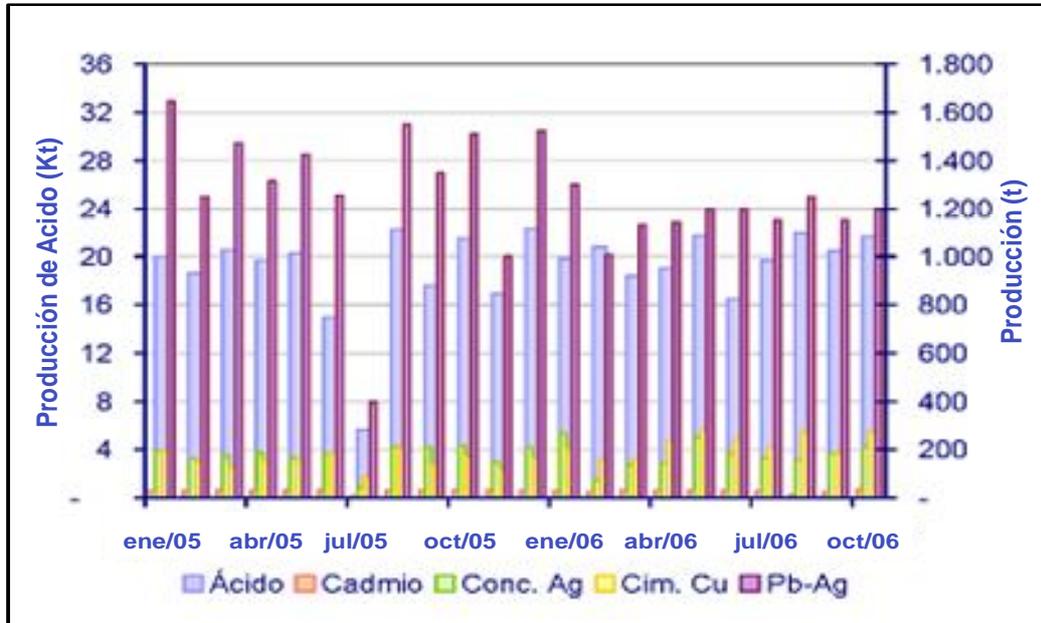
GRAFICO 3.7 PRODUCCION MENSUAL DE LAMINAS Y REFINADO 2005-2006



Fuente : Informe Franco Arbeit , Ago.2007

En el gráfico siguiente se muestra la producción de subproductos.

GRAFICO 3.8 PRODUCCION SUBPRODUCTOS 2005 - 2006



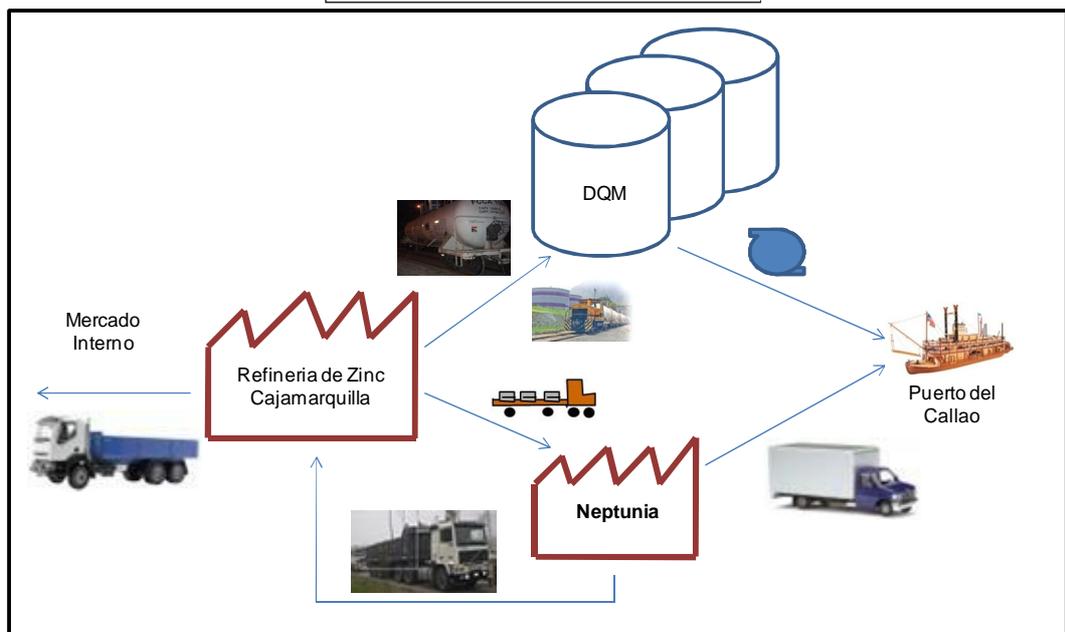
Fuente : Informe Franco Arbeit , Ago.2007

CAPITULO IV

LOGÍSTICA DE SALIDA

La logística externa está formada por las operaciones de despacho de productos terminados y de subproductos como el ácido sulfúrico.

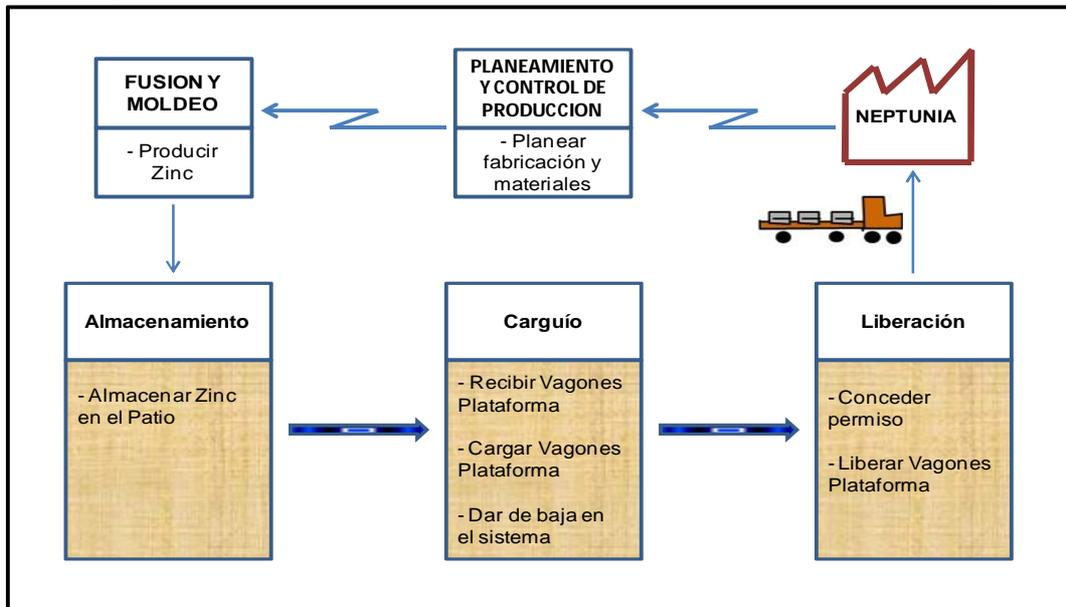
GRAFICO 4.1 LOGISTICA DE SALIDA



Fuente : Informe Franco Arbeit , Ago.2007; Elaboración: V. Flores C.

4.1 MAPA DE CADENA DE VALOR: LOGISTICA DE ZINC SHG

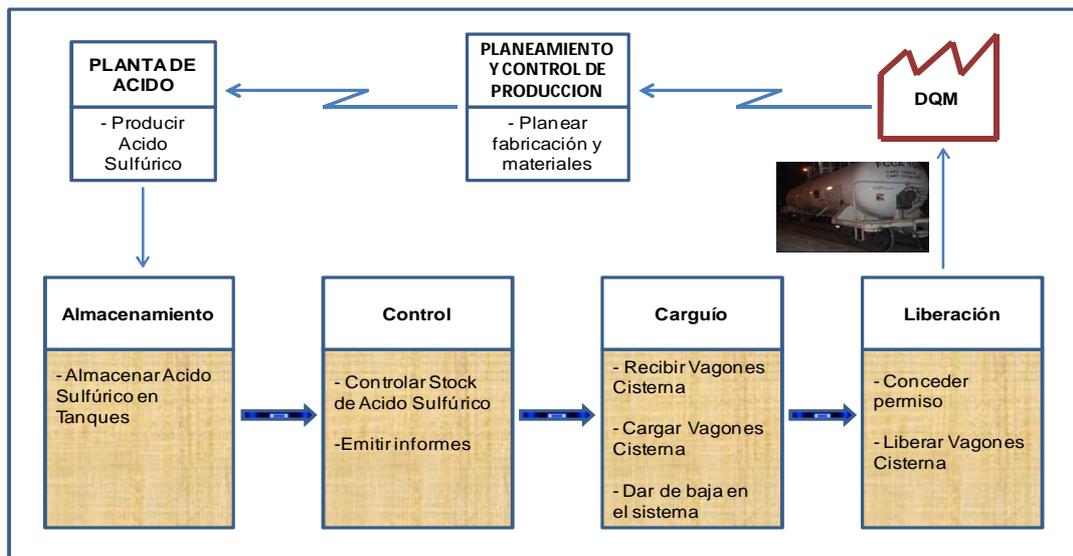
GRAFICO 4.2 MAPA DE CADENA DE VALOR – LOGISTICA DE ZINC SHG



Fuente : Informe Franco Arbeit , Ago.2007; Elaboración: V.Flores C.

4.2 MAPA DE CADENA DE VALOR: LOGISTICA DE ACIDO

GRAFICO 4.3 MAPA DE CADENA DE VALOR – LOGISTICA DE ACIDO SULFURICO



Fuente : Informe Franco Arbeit , Ago.2007; Elaboración: V. Flores C.

4.3 MEDIDAS DE DESEMPEÑO

Procesos: (En el anexo 6 se muestran los parámetros de desempeño).

- Carguío de Zinc, vía plataforma de tren o camión-plataforma (Anexo 5).

GRAFICO 4.4 CARGUÍO DE ZINC EN PLATAFORMA



Fuente : Archivos Refinería de Cajamarquilla

GRAFICO 4.5 CARGUÍO DE ZINC EN CAMION



Fuente : Archivos Refinería de Cajamarquilla

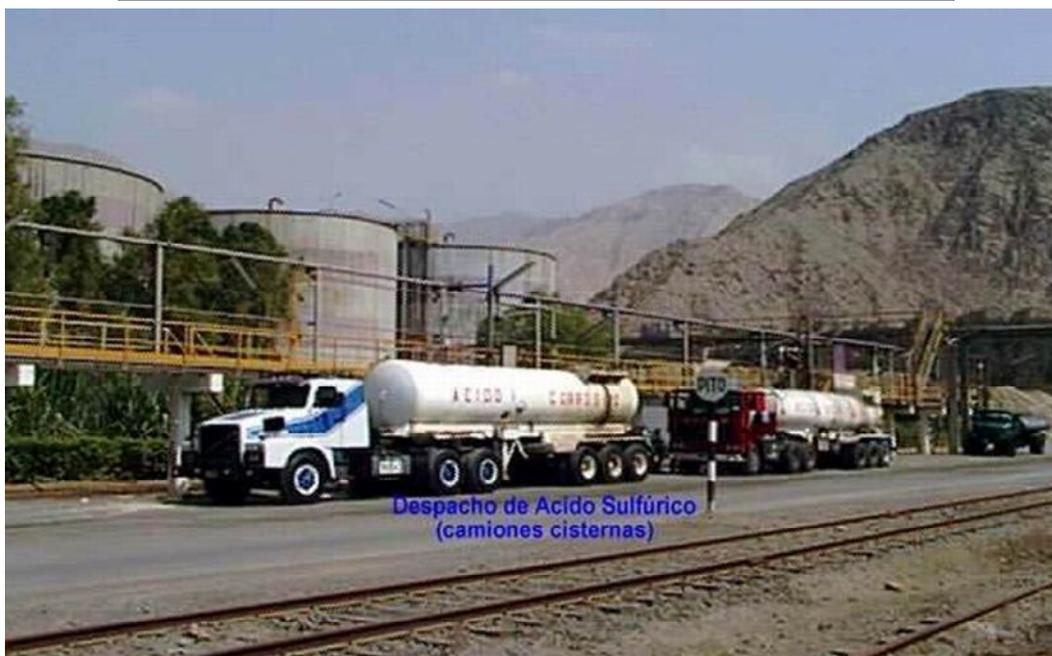
- Carguío de Acido, en vagón-cisterna o en camión-cisterna (Ver anexo 5).

GRAFICO 4.6 CARGUÍO DE ACIDO SULFÚRICO EN VAGON CISTERNA



Fuente : Archivos Refinería de Cajamarquilla

GRAFICO 4.7 CARGUÍO DE ACIDO SULFÚRICO EN CAMION CISTERNA



Fuente : Archivos de Refinería de Cajamarquilla

- Recepción en DQM, traspaso de ácido de vagón a los tanques de depósito (Ver anexo 5).

GRAFICO 4.8 RECEPCIÓN DE ÁCIDO SULFÚRICO EN DQM



Fuente Archivos de Refinería de Cajamarquilla

- Recepción en Neptunia, Lingotes de Zinc para ser descargados (Ver anexo 5).

GRAFICO 4.9 RECEPCIÓN DE ZINC EN NEPTUNIA



Fuente : Archivos Refinería de Cajamarquilla

- Locomotora, para transporte de ida y vuelta entre Cajamarquilla y El Callao.

GRAFICO 4.10 LOCOMOTORA DE FERROVIAS



Fuente : Archivos de Refinería de Cajamarquilla.

Stocks :

- Zinc en Cajamarquilla (Ver anexo 4).

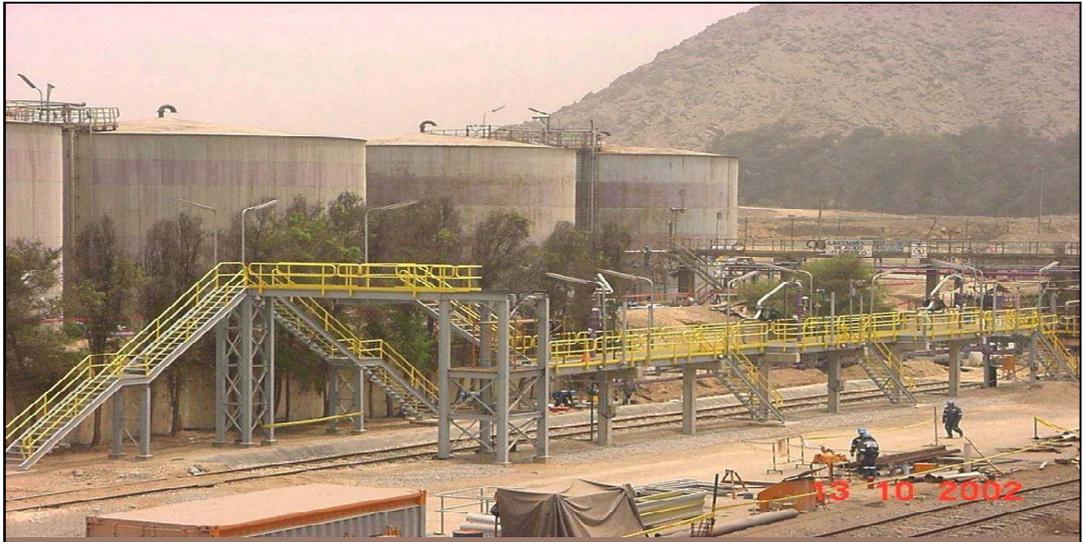
GRAFICO 4.11 ALMACENAMIENTO DE ZINC EN PATIO DE CAJAMARQUILLA



Fuente : Archivos de Refinería de Cajamarquilla.

- Acido Sulfúrico en Cajamarquilla, con cuatro tanques de almacenamiento (Ver anexo 4).

GRAFICO 4.12 ALMACENAMIENTO DE ACIDO SULFURICO EN CAJAMARQUILLA



Fuente : Archivos de Refinería de Cajamarquilla.

- Zinc en Neptunia, área con toldo de protección y piso señalizado (Ver anexo 4).

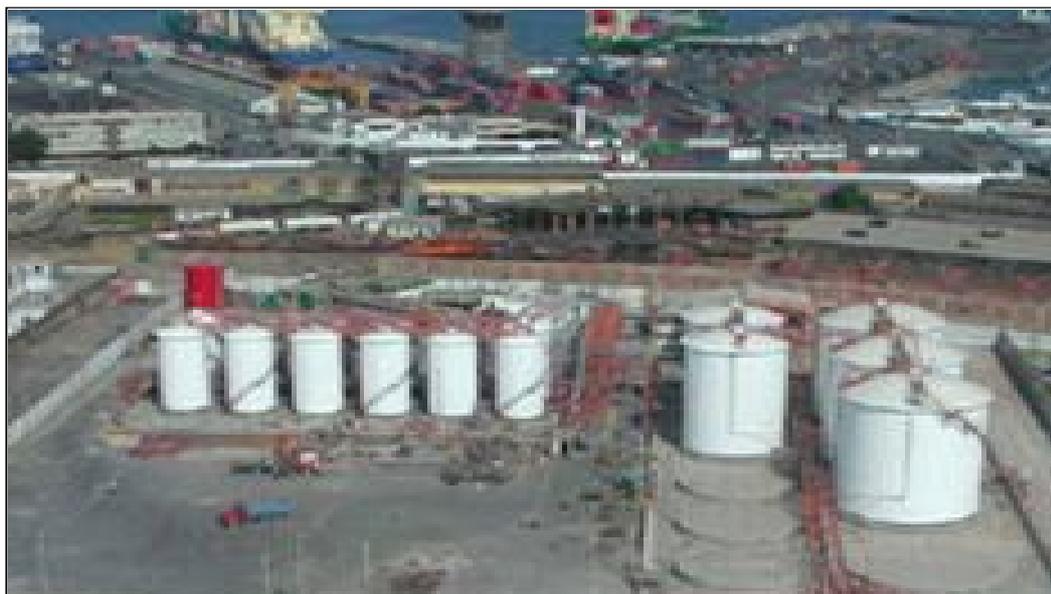
GRAFICO 4.13 ALMACENAMIENTO DE ZINC EN NEPTUNIA



Fuente : Archivos de Refinería de Cajamarquilla.

- Acido Sulfúrico en DQM, con Tanques para almacenamiento de ácido
(Ver anexo 4)

GRAFICO 4.14 ALMACENAMIENTO DE ACIDO SULFÚRICO EN DQM



Fuente : WEB de DQM

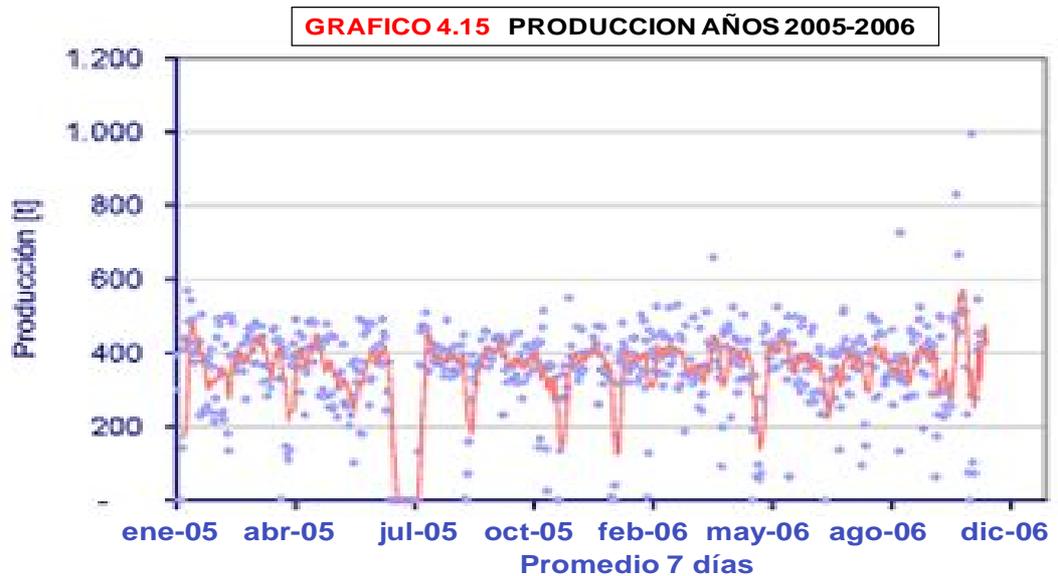
Productividad:

En los cuadros del capítulo V, se muestran los resultados de la productividad, indicando los requerimientos de equipamiento, referente a:

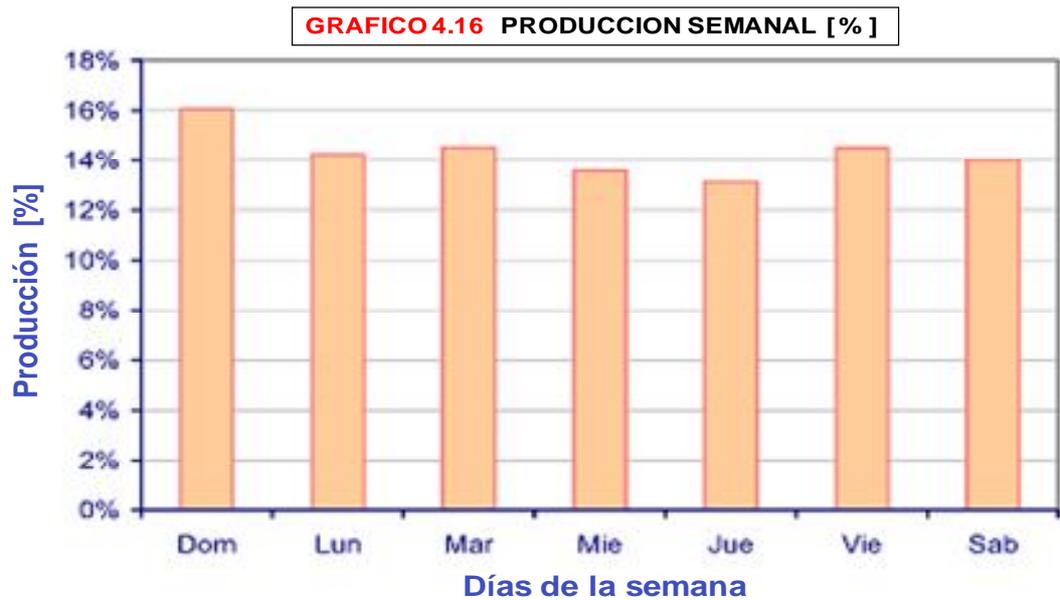
- Carguío de ácido sulfúrico para DQM
- Carguío de zinc para Neptunia
- Venta directa de ácido sulfúrico en camiones para mercado interno
- Venta directa de zinc en camiones para mercado interno

4.4 SITUACION DE LA PRODUCCION DE ZINC

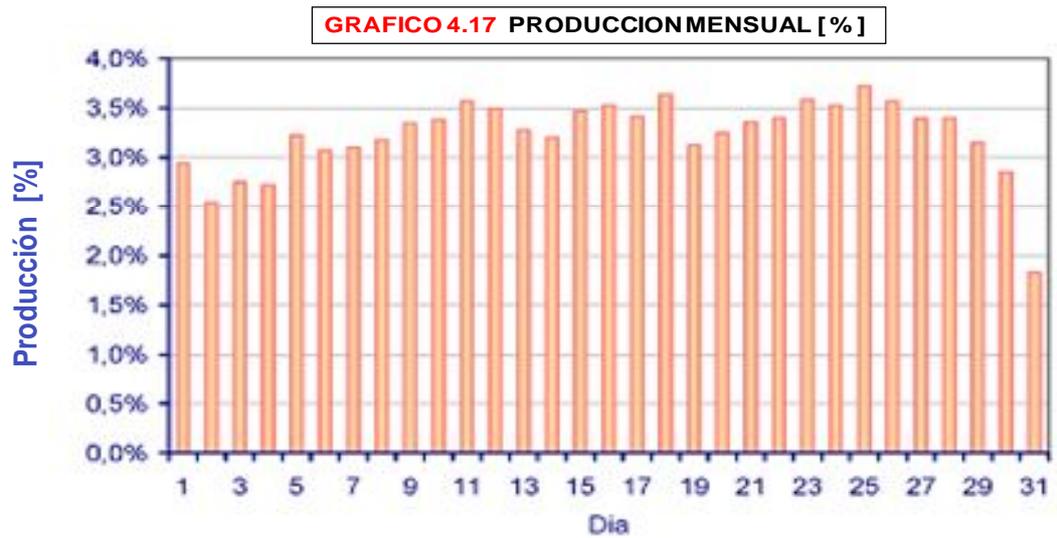
En los gráficos siguientes se muestran la situación de producción mensual, semanal y diaria en base a la información histórica de los años 2005 y 2006.



Fuente : Informe Franco Arbeit , Ago.2007.



Fuente : Informe Franco Arbeit , Ago.2007



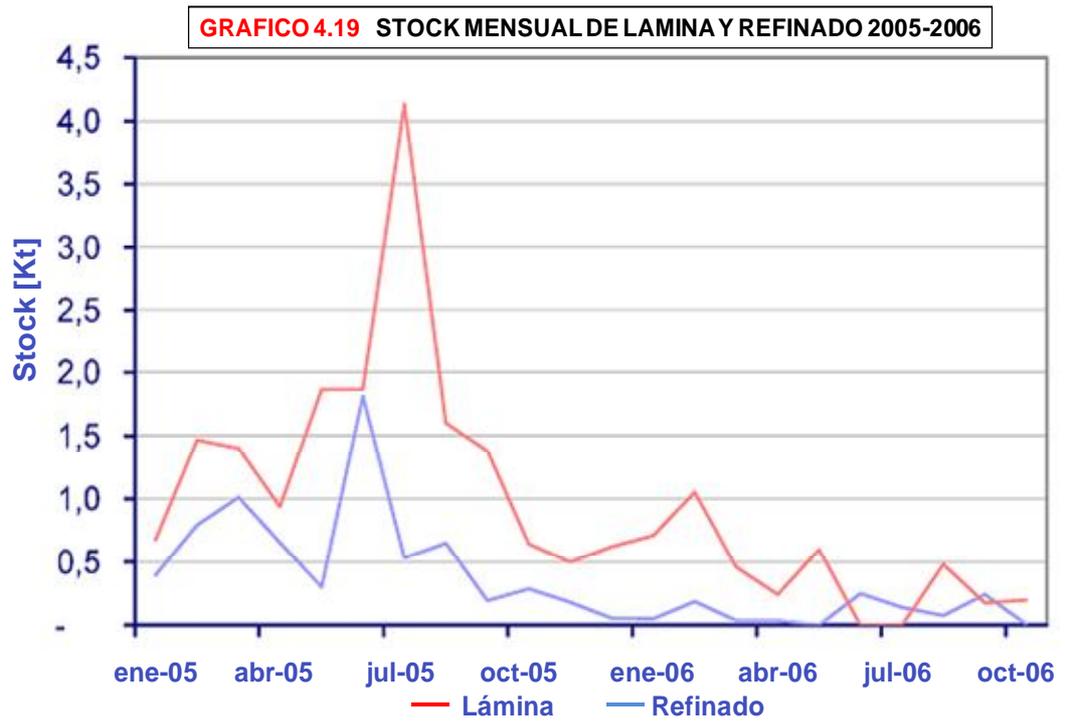
4.5 STOCK DE PRODUCTOS EN PLANTA

El almacenamiento de productos intermedios y productos terminados tiene un papel estratégico, ya que debe garantizar el abastecimiento durante las paradas de producción.

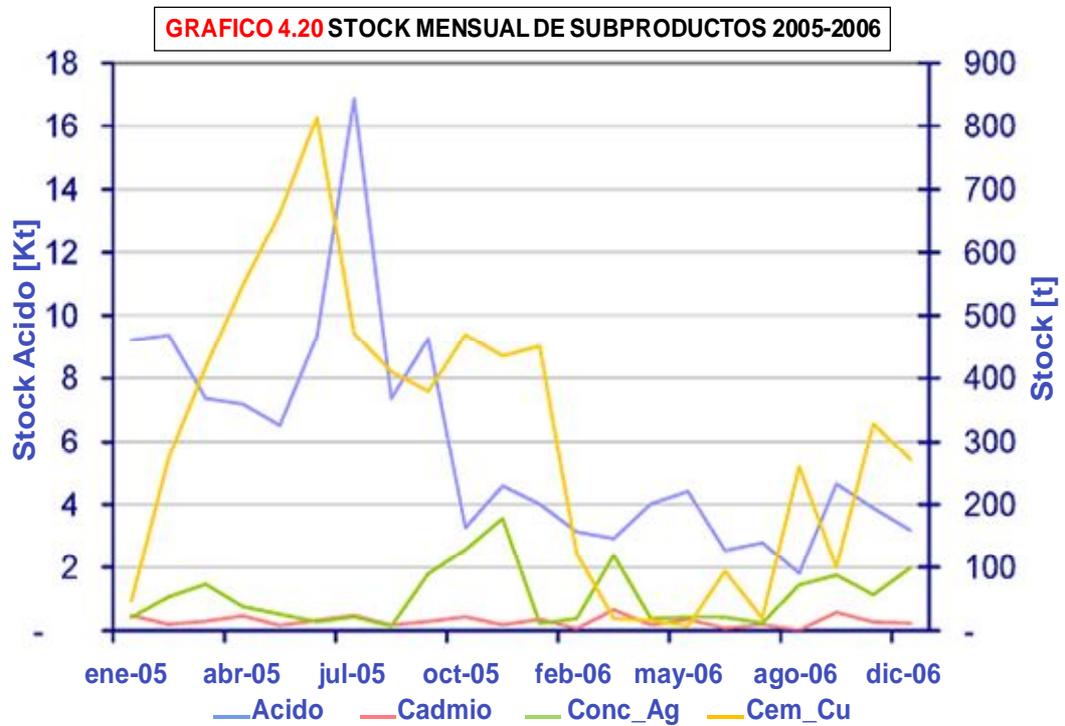
GRAFICO 4.18 ALMACENAMIENTO DE LAMINAS DE ZINC



Fuente : Archivo Refinería de Cajamarquilla.



Fuente : Informe Franco Arbeit , Ago.2007

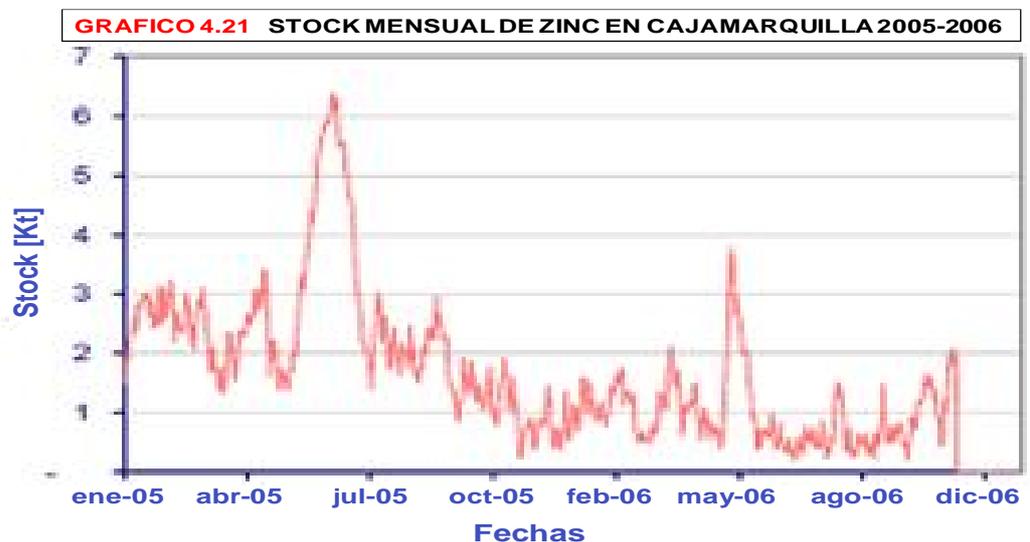


Fuente : Informe Franco Arbeit , Ago.2007;

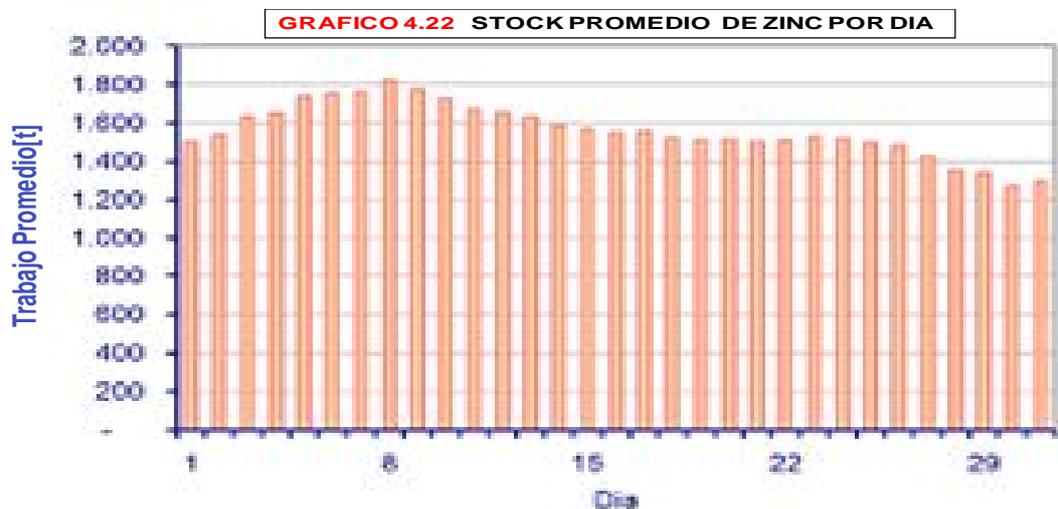
4.6 STOCK DE ZINC EN CAJAMARQUILLA

Un análisis de los stocks de Zinc en la Refinería de Cajamarquilla muestra un comportamiento específico.

Se observa que los valores medios de stock por día tienen una pequeña tendencia de disminución a lo largo del mes, e igual se recupera al final de la primera semana del mes siguiente.



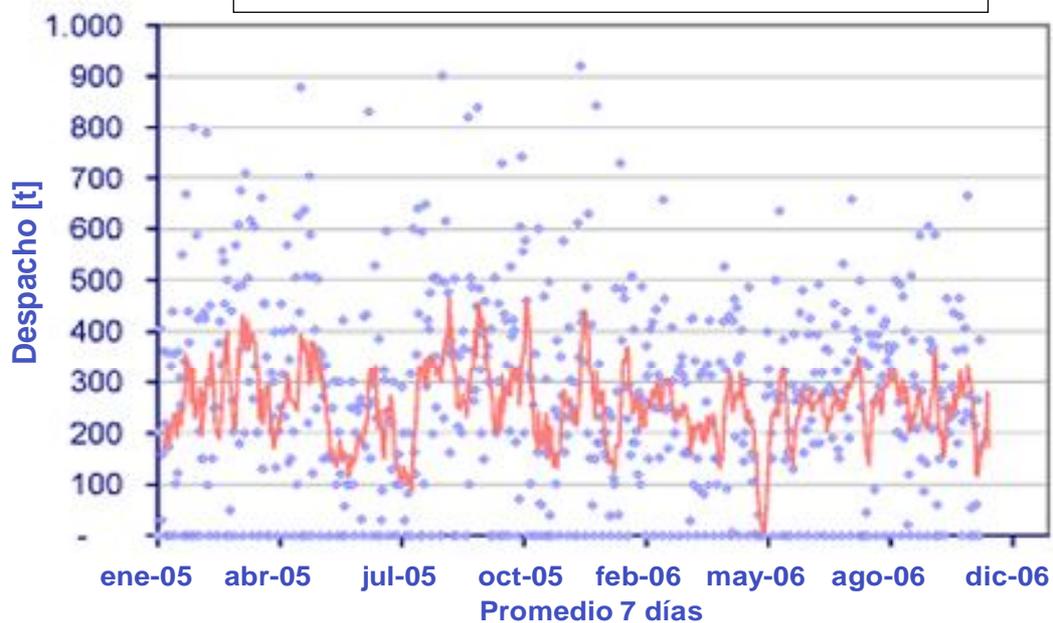
Fuente : Informe Franco Arbeit , Ago.2007



Fuente : Informe Franco Arbeit , Ago.2007;

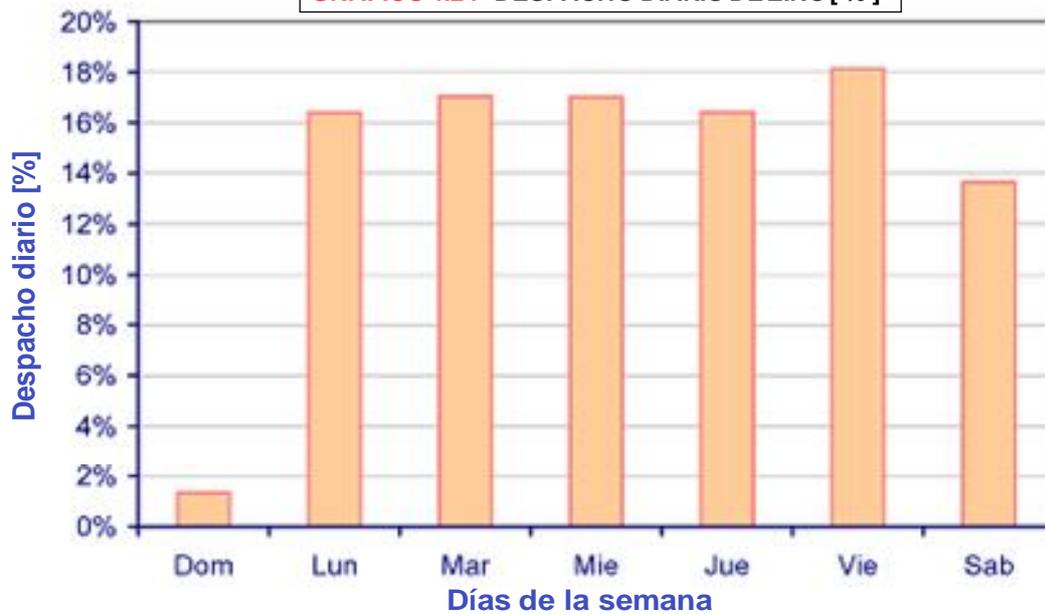
4.7 SITUACION EN DESPACHO DE ZINC

GRAFICO 4.23 DESPACHO PROMEDIO DE ZINC 2005-2006

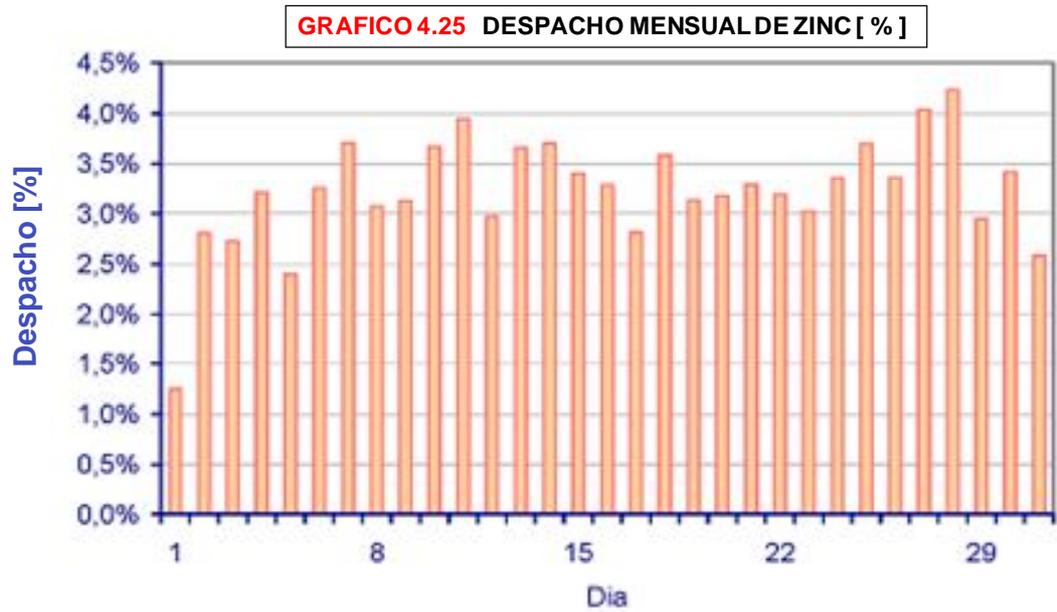


Fuente : Informe Franco Arbeit , Ago.2007;

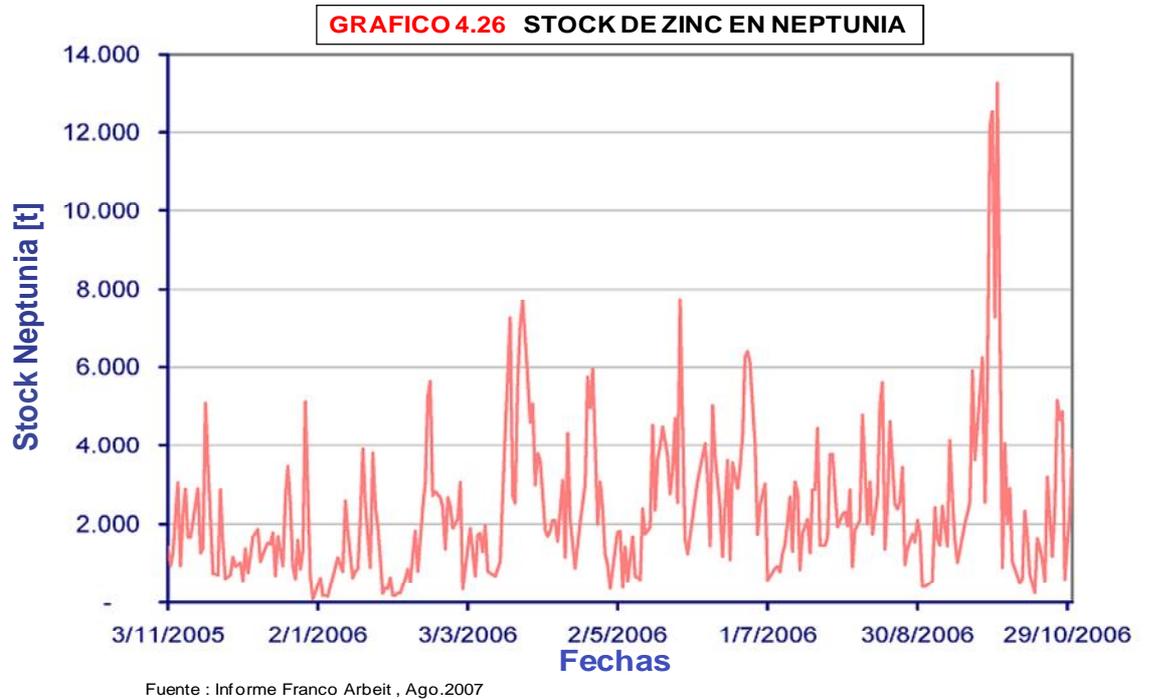
GRAFICO 4.24 DESPACHO DIARIO DE ZINC [%]



Fuente : Informe Franco Arbeit , Ago.2007



4.8 STOCK DE PRODUCTOS EN NEPTUNIA.



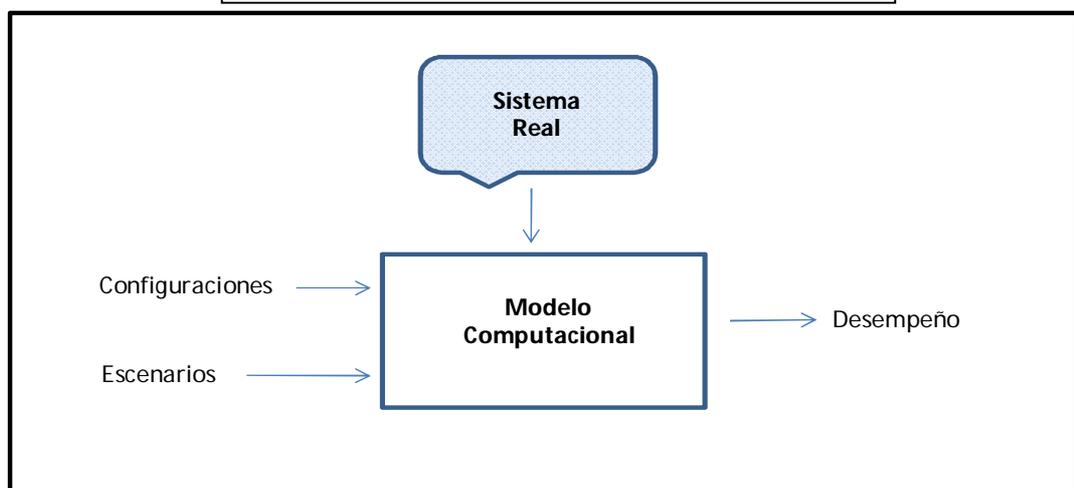
CAPITULO V

RESULTADO DE LOS EXPERIMENTOS

Para el presente trabajo se tomó como base el desenvolvimiento de modelos computacionales de Simulación de Eventos Discretos basado en las operaciones logísticas de la Refinería de Zinc de Cajamarquilla.

Se efectuaron diversos escenarios y configuraciones, cada cual explorando el sistema logístico de la Refinería de Zinc de Cajamarquilla, determinándose de esta manera, una situación específica.

GRAFICO 5.1 MODELO COMPUTACIONAL



Fuente : Informe Franco Arbeit , Ago.2007; Elaboración: V. Flores C.

Por consiguiente, cada experimento realizado representa una combinación de configuración y escenario.

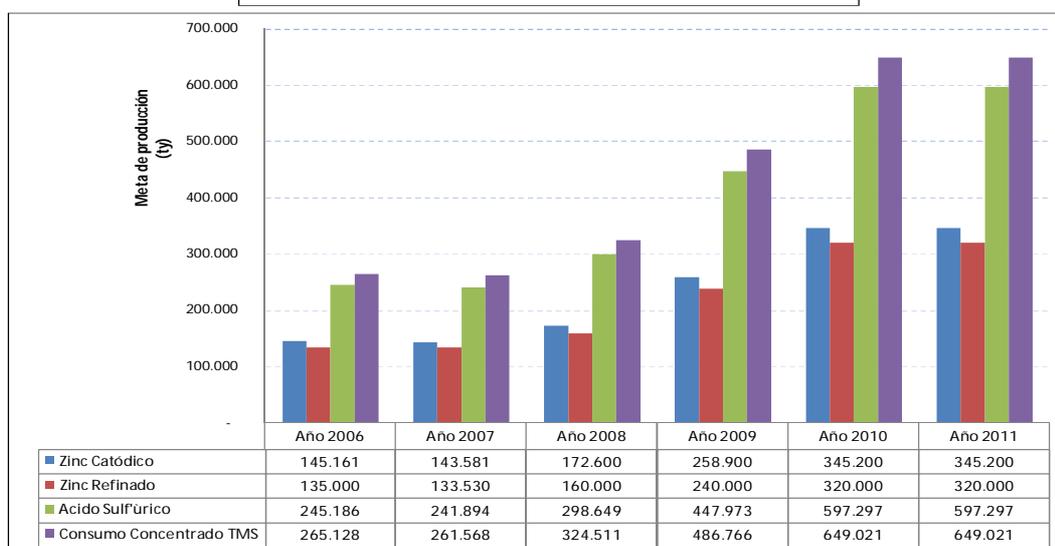
Los experimentos realizados en este trabajo, fueron divididos en tres fases distintas:

- Escenario actual que representa la producción de 135 mil toneladas por año.
- Escenario para la expansión a 160 mil toneladas por año.
- Escenario para la expansión a 320 mil toneladas por año.

Diversas medidas de desempeño son recolectadas en cada experimento realizado, midiendo el impacto de sus parámetros de entrada seguido de una situación específica.

Una comparación en los resultados de las medidas de desempeño recolectadas en el experimento de cada configuración permite escoger las más viables para cada escenario.

GRAFICO 5.2 META DE PRODUCCION 2007-2011



Fuente : Planeamiento de Producción 2007-2011, Refinería de Cajamarquilla.

5.1 PRODUCCION DE 135 KT/AÑO

5.1.1 Situación actual

Los parámetros de entrada representan:

- Cantidad de recursos disponibles para realizar las diversas tareas del sistema.
- Capacidad de los procesos de carguío y descarga de Vagones con Zinc y Acido Sulfúrico.
- Tasas de producción media.

Los resultados indican:

- Cuál es la productividad alcanzada.
- El número medio de Vagones utilizados para despacho.
- La carga de Naves y su periodicidad.
- Los stock medios.

Un análisis de los resultados y la comparación con los resultados reales, sirvió de base para validar el modelo computacional.

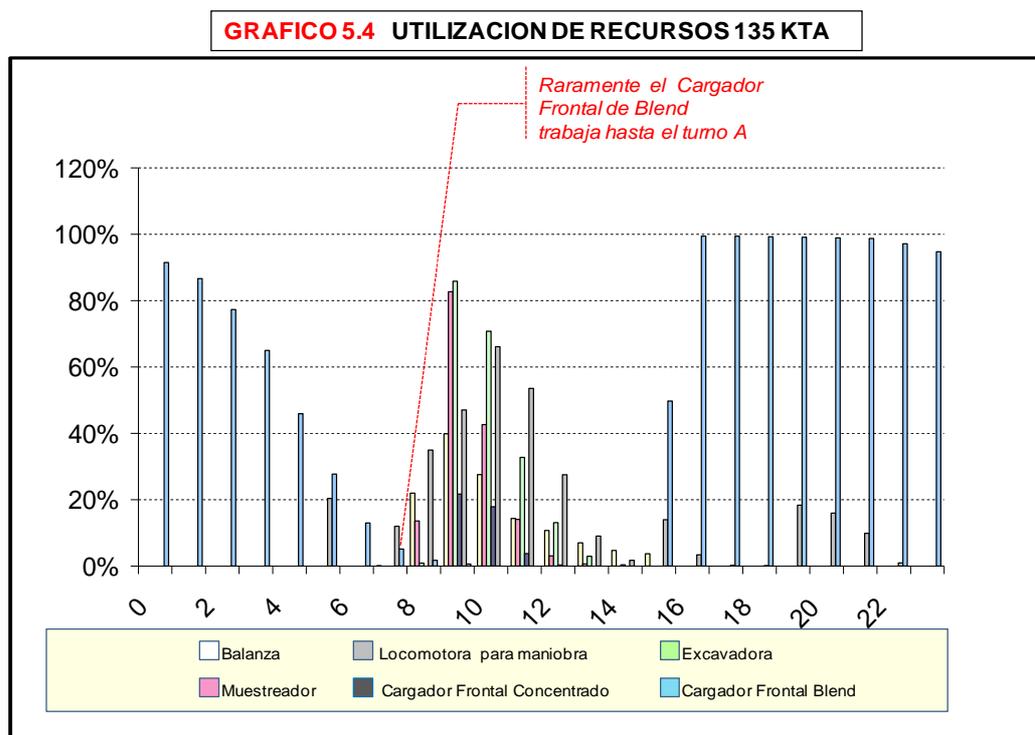
GRAFICO 5.3 PRODUCCION 135 KTA-SITUACION ACTUAL		
PARAMETROS DE ALIMENTACION AL MODELO		
PROPIEDADES		PRODUCCION
		135 kt/año
Código de escenario		00-a
Escenario de Base		(Situacion actual)
1	Factor de producción (con relacion al caso actual) [%]	100%
2	Vagones para despacho de Zinc (por composición) [Unds]	6
3	Tamaño del ciclo de composición de Zinc [h]	48
4	Capacidad de proceso de carguío de Zinc CJM [Vagón]	1
5	Horario de carguío de Zinc [hh:mm]	07:30-15:30
6	Días de recepción en Neptunia	Lun-Sab
7	Capacidad de proceso de Descarga en Neptunia [Unds]	1
8	Zinc MI por Camión [t/año]	60.000
9	Zinc MI Neptunia por camion [t/año]	5.637
10	Zinc ME Neptunia por navío [t/año]	70.390
11	Período entre navíos Neptunia [días]	1,3
12	Número de Cargadores para Blend [Unds]	1
13	Vagones para despacho de acido (por composición) [Unds]	10
14	Tamaño del ciclo de composición de Acido [h]	24
15	Capacidad de proceso de carguío de Acido CJM - Vagón [Unds]	3
16	Horario de carguío de Acido [hh:mm]	19:00-23:00
17	Días de recepción en DQM [días]	Lun-Vie
18	Capacidad de proceso de Descarga en DQM [Unds]	2
19	Acido MI por Camión [t/año]	52.464
20	Acido ME en DQM por navío [t/año]	174.880
21	Período entre Navios DQM [días]	20,9
22	Stock máximo DQM [t]	18.500
RESULTADOS DE LA EJECUCION		
PROPIEDADES		PRODUCCION
		135 kt/año
Código de escenario		00-a
Escenario de Base		(Situacion actual)
1	Producción de Zinc [kt/año]	136
2	Consumo de concentrado [ktm/año]	265,1
3	Media de Zinc por composición [Vagón]	4,9
4	Intervalo entre navíos: Neptunia [días]	1,6
5	Carga média de los navíos:Neptunia [t]	306
6	Stock medio: Depósito concentrados [t]	10.300
7	Stock medio: Zinc CJM [t]	276
8	Stock medio: Zinc Neptunia [t]	1.030
9	Tasa media de realización del Blend [t/h]	54,2
10	Producción de Acido [kt/año]	245,2
11	Media de Acido por composición [Vagón]	7,3
12	Intervalo entre navíos: DQM [días]	20,3
13	Carga média de los navíos: DQM [t]	9.803
14	Stock medio: Acido CJM [t]	3.423
15	Stock medio: Acido DQM [t]	12.855

Fuente : Franco Arbeit, Brasil

5.1.2 Nivel de utilización de recursos

Permite analizar cómo los diversos recursos del sistema son utilizados a lo largo del día.

Cuanto más próximo se encuentren de 100% x N (Siendo N el número de recursos), mas saturado está dicho recurso en aquel momento.



Ref.: Franco Arbeit, Brasil, Ago.2007 Resultado simulado para 135 Kt/año

Los principales recursos monitoreados son:

- Toma de muestras
- Balanza.
- Excavadora hidráulica (Encargada de retirar los concentrados de los vagones y camiones).

- Locomotora para maniobra.
- Cargador Frontal de concentrados (Coloca en los depósitos el concentrado retirado de los camiones por la excavadora.
- Cargador Frontal de Blend (Retira el concentrado de los depósitos y realiza la mezcla.

5.1.3 Realización de procesos

Permite analizar como los diversos procesos de despacho de productos son realizados a lo largo del día.

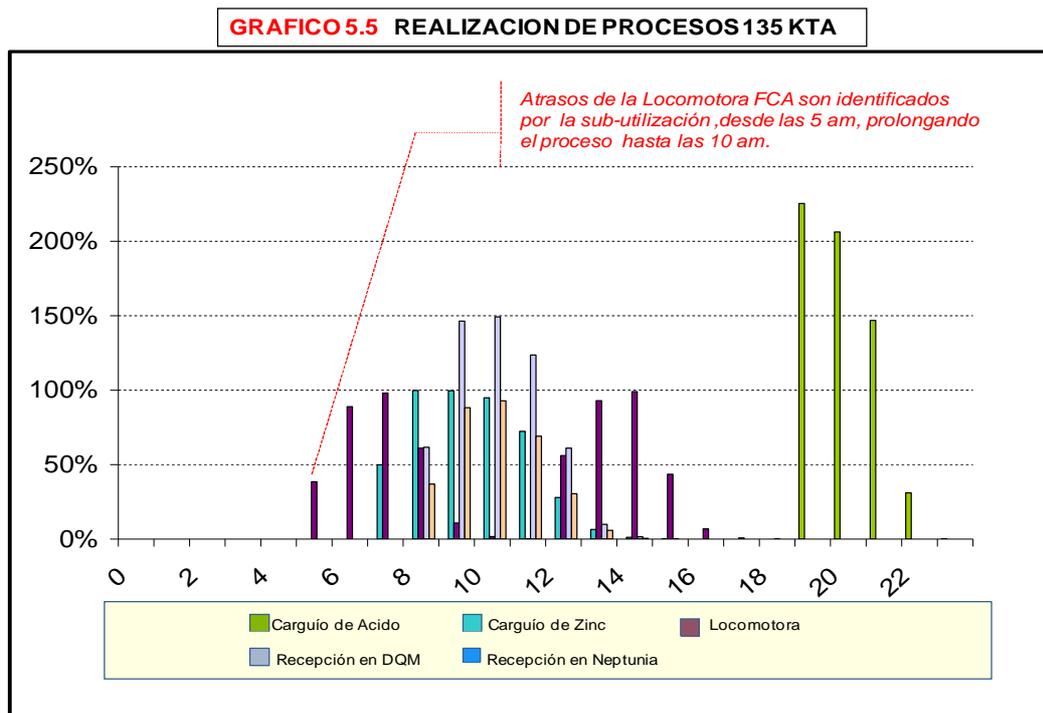
De forma análoga al nivel de utilización de recursos, cuanto más próximo de $100\% \times N$ (N es el número de recursos asignados al proceso), mas trabajo o demanda de proceso.

Permite ver cómo los atrasos en algunos procesos pueden influenciar los procesos dependientes.

Los principales procesos monitoreados son:

- Carguío de Acido.
- Carguío de Zinc.
- Recepción en DQM.
- Recepción en Neptunia.

- Locomotora (Transporte de ida y vuelta entre Cajamarquilla y el Callao).



Fuente : Informe Franco Arbeit , Ago.2007; Resultado simulado para 135 Kta.

5.1.4 Nivel de Stock

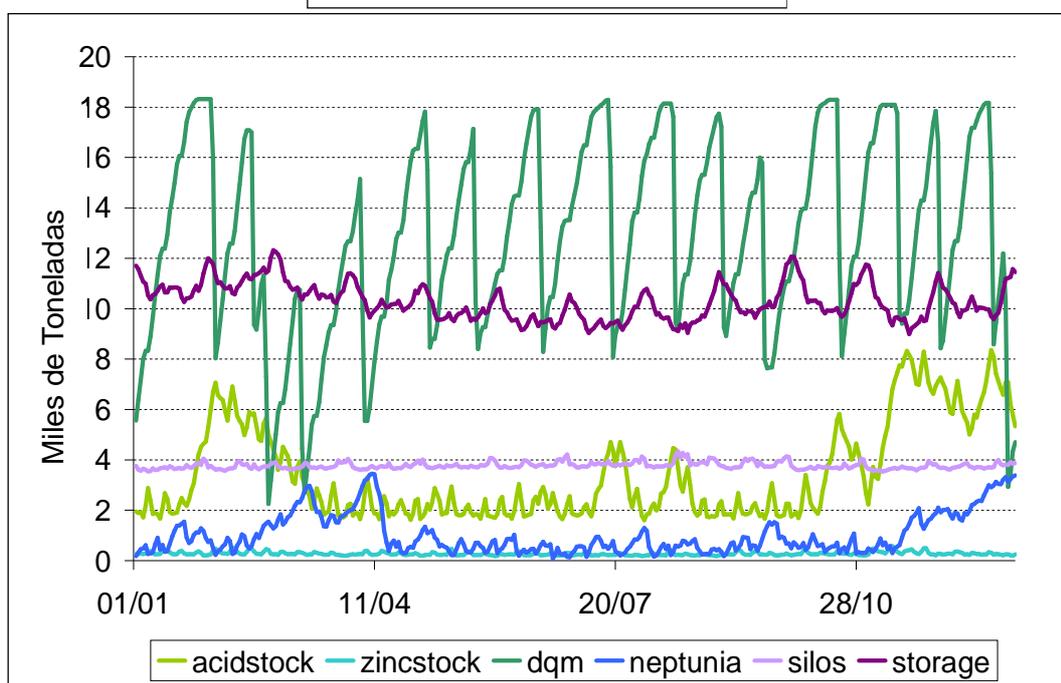
Se revisa la capacidad de tanques y depósitos.

Un nivel muy alto o muy bajo puede indicar un desbalance entre el recibimiento y el despacho.

Los principales stocks monitoreados son los siguientes:

- Acidstock, permite analizar el nivel de stock de Acido en Cajamarquilla.
- Dqm, muestra el stock de acido en las instalaciones de DQM.
- Neptunia, Muestra el stock de Zinc en los depósitos de Neptunia
- Silos, se refiere al último punto de stock antes del Horno, que es el resultado de la mezcla de concentrados.
- Storage, se refiere al depósito de concentrados.
- Zincstock, está referido al stock de Zinc en Cajamarquilla.

GRAFICO 5.6 NIVEL DE STOCK 135 KTA



Fuente : Informe Franco Arbeit , Ago.2007;

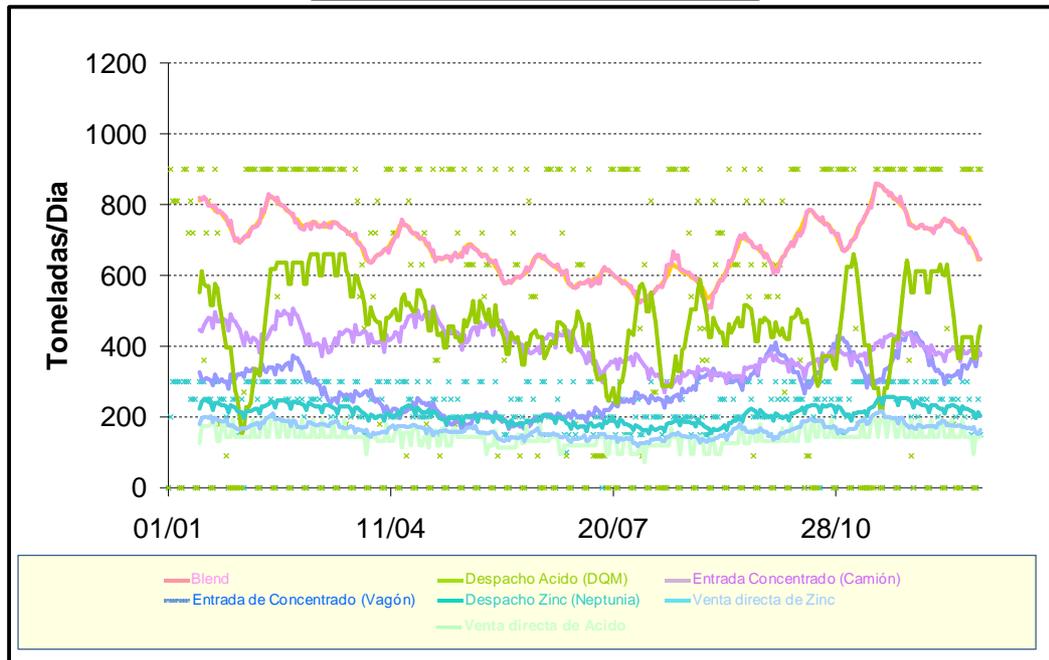
5.1.5 Productividad

Comprende el monitoreo del despacho a lo largo del tiempo.

Pueden señalar momentos críticos que, vistos en conjunto con los demás gráficos, pueden indicar problemas logísticos.

Los principales indicadores analizados son:

- Blend, comprende el retiro de concentrado de los depósitos y la alimentación a los silos.
- Entrada de concentrado, referido a los vagones.
- Entrada de concentrado referido a los camiones
- Despacho de Acido (DQM)
- Despacho de Zinc (Neptunia)
- Venta directa de Acido con camiones para el mercado interno.
- Venta directa de Zinc con camiones para el mercado interno.

GRAFICO 5.7 PRODUCTIVIDAD 135 KTA

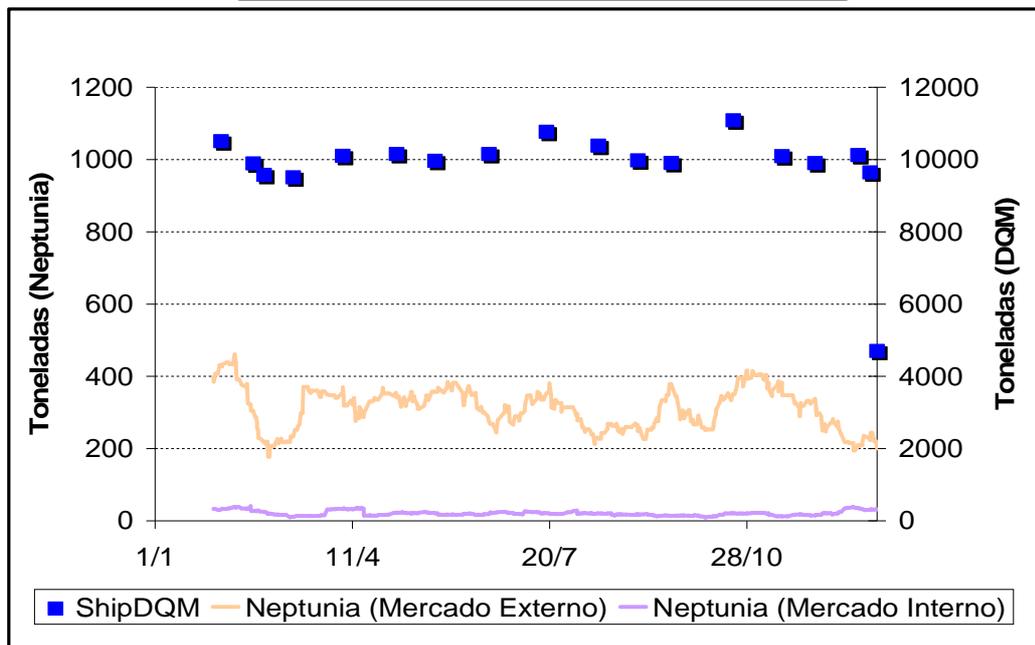
Fuente : Informe Franco Arbeit , Ago.2007; Resultado simulado para 135 Kta.

Contadores

Comprende la llegada y carguío de Naves.

- Si los stocks en DQM o en Neptunia fueran insuficientes, los Navíos tendrían dificultades para recoger todo el material necesario.
- En el caso del mercado interno, el traslado del producto es realizado por camiones.

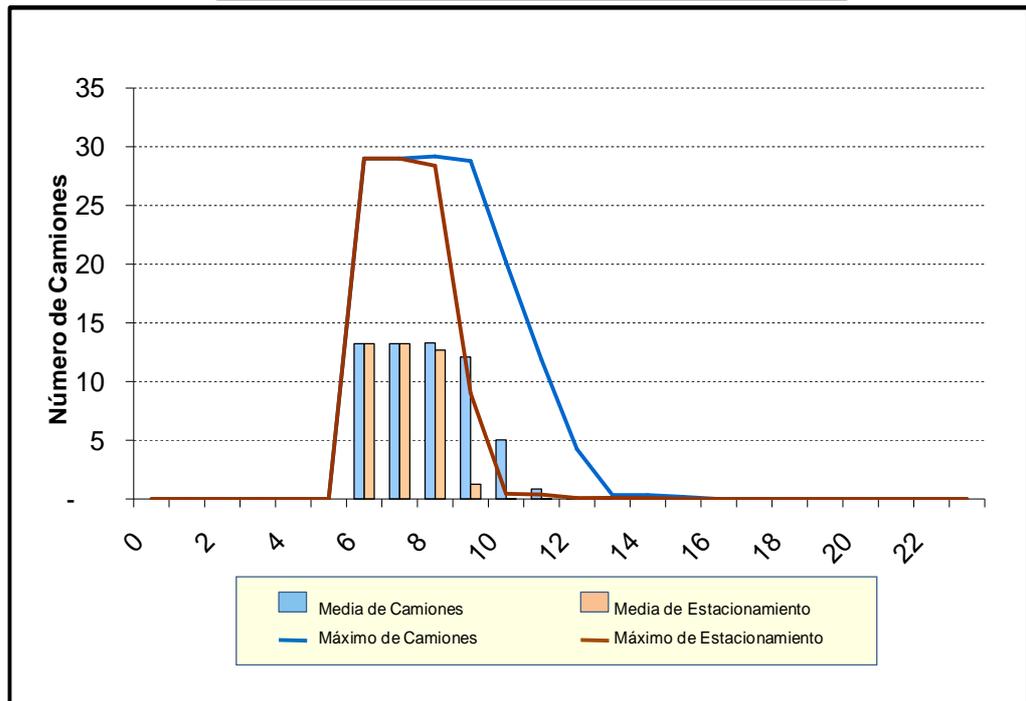
GRAFICO 5.8 CONTADORES DE DESPACHO EN NAVES



Fuente : Informe Franco Arbeit , Ago.2007; Simulación para 135 Kta.

Número de camiones en la planta:

- Se considera que los camiones normalmente llegan a partir de las 6 am a la zona de estacionamiento.
- Es posible comparar como se da la entrada de camiones en Cajamarquilla, tanto para recepción de concentrado cuanto para despacho de producto final.
- Se analiza la utilización máxima de estacionamiento de la portería.

GRAFICO 5.9 NUMERO DE CAMIONES EN PLANTA

Fuente : Informe Franco Arbeit , Ago.2007; Resultado simulado para 135 Kta.

5.2 PRODUCCION DE 160 KT/AÑO

Comprende la evaluación del sistema actual con un incremento de la producción en el orden de un 20%.

Sus escenarios, permiten monitorear lo siguiente:

- Capacidad de recepción de concentrados
- Stocks internos
- Capacidad de despacho de productos finales (Acido y Zinc)

Cada escenario representa una configuración de un segundo sistema:

- Volumen de recepción de concentrados
- Capacidad de los recursos (Balanza, Locomotora, etc.)
- Capacidad de almacenamiento
- Tasa de producción
- Volumen de material despachado para venta

5.2.1 Escenarios para producción

Alteración en el volumen de producción

- Proceso productivo acelerado en aproximadamente 20%.

- Recepción de concentrados acelerado, pero manteniendo la misma estacionalidad anual del escenario actual.

Recursos y procesos :

- Manteniendo las mismas cantidades y disponibilidades actuales.

Número de vagones

- Escenario 01-a con la misma cantidad de vagones actual.
- Escenario 01-b con vagones extras para despacho de zinc.

GRAFICO 5.10 PRODUCCION 160 KTA			
PARAMETROS DE ALIMENTACION AL MODELO			
PROPIEDADES		PRODUCCION	
		135 kt/año	160 kt/año
Código de escenario	00-a	01-a	01-b
Escenario de Base	(Situación actual)	00-a	01-a
1	Factor de producción (con relación al caso actual) [%]	100%	120%
2	Vagones para despacho de Zinc (por composición) [Unds]	6	7
3	Tamaño del ciclo de composición de Zinc [h]	48	48
4	Capacidad de proceso de carguío de Zinc CJM [Vagón]	1	1
5	Horario de carguío de Zinc [hh:mm]	07:30-15:30	07:30-15:30
6	Días de recepción en Neptunia	Lun-Sab	Lun-Sab
7	Capacidad de proceso de Descarga en Neptunia [Unds]	1	1
8	Zinc MI por Camión [t/año]	60.000	60.000
9	Zinc MI Neptunia por camion [t/año]	5.637	10.950
10	Zinc ME Neptunia por navío [t/año]	70.390	91.250
11	Período entre navíos Neptunia [días]	1,3	1,0
12	Número de Cargadores para Blend [Unds]	1	1
13	Vagones para despacho de acido (por composición) [Unds]	10	10
14	Tamaño del ciclo de composición de Acido [h]	24	24
15	Capacidad de proceso de carguío de Acido CJM - Vagón [Unds]	3	3
16	Horario de carguío de Acido [hh:mm]	19:00-23:00	19:00-23:00
17	Días de recepción en DQM [días]	Lun-Vie	Lun-Vie
18	Capacidad de proceso de Descarga en DQM [Unds]	2	2
19	Acido MI por Camión [t/año]	52.464	60.000
20	Acido ME en DQM por navío [t/año]	174.880	212.780
21	Período entre Navios DQM [días]	20,9	22,3
22	Stock máximo DQM [t]	18.500	18.500
		Simulación de situación actual	Apenas amplia producción (No es factible) Se requiere un vagón adicional

Fuente : Franco Arbeit, Brasil

5.2.2 Resultado del escenario 01-a

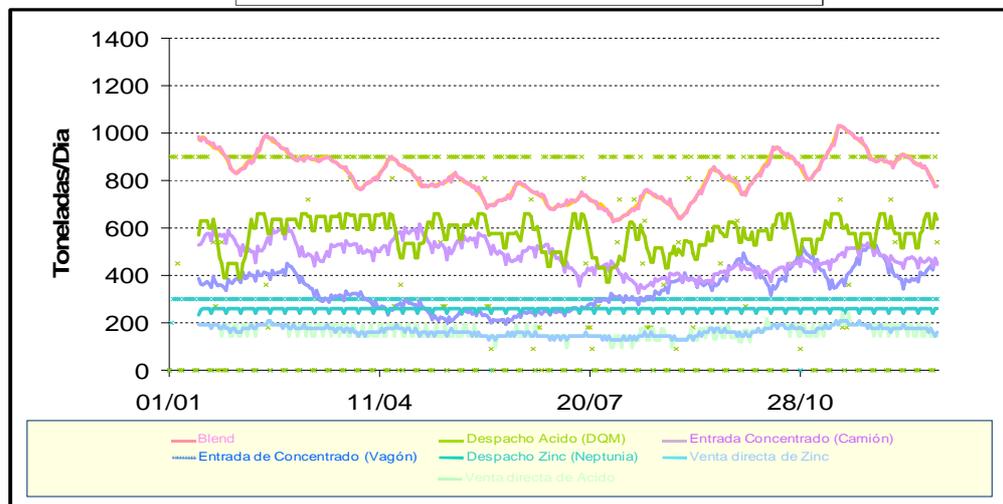
Escenario con el mismo número de vagones actual.

Los recursos de recepción no tendrían problemas en atender la demanda de concentrado.

El indicador de despacho de Zinc se mantiene en su nivel máximo y el stock de Zinc en Cajamarquilla muestra una tendencia de crecimiento a lo largo del tiempo

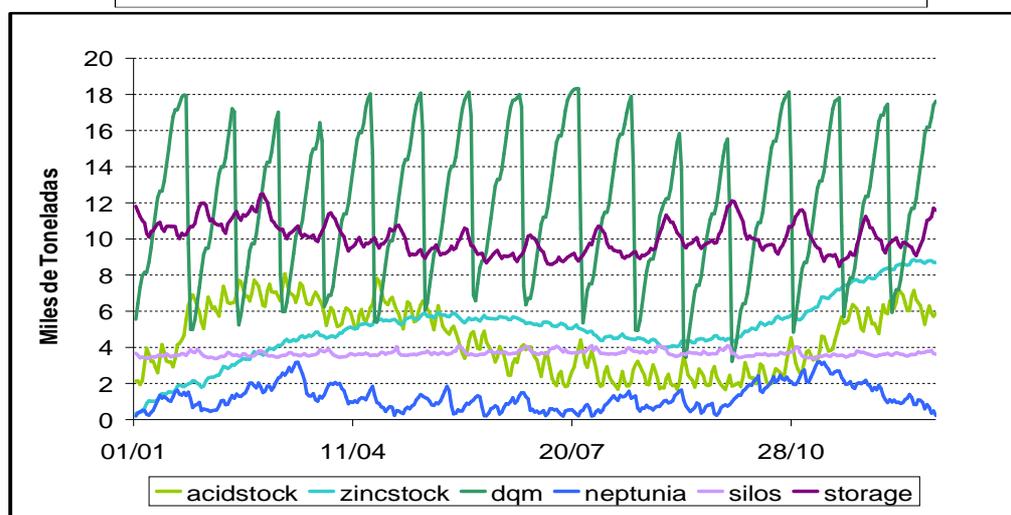
- Consecuencia de problemas en el despacho de Zinc.
- Un vagón extra por composición se mostro necesario, o sea 2 vagones a mas.

GRAFICO 5.11 RESULTADOS DE SITUACION ACTUAL



Fuente : Informe Franco Arbeit , Ago.2007;

GRAFICO 5.12 RESULTADOS DE STOCK DE SITUACION ACTUAL



Fuente : Informe Franco Arbeit , Ago.2007;

5.2.3 Resultados del Escenario 01-b

En forma análoga al escenario 01-a, pero con vagón extra en despacho de Zinc por composición:

- Dos vagones extras para dos composiciones distintas de periodo de 48 horas
- La tasa de despacho muestra una cierta holgura y el stock de Zinc se muestra equilibrado.

GRAFICO 5.13 RESULTADOS 160 KTA				
RESULTADOS DE LA EJECUCION				
PROPIEDADES	PRODUCCION	160 kt/año		
	135 kt/año	01-a	01-b	
Código de escenario	00-a	01-a	01-b	
Escenario de Base	(Situacion actual)	00-a	01-a	
1	Producción de Zinc [kt/año]	136	162,2	162,2
2	Consumo de concentrado [ktn/año]	265,1	324,5	324,5
3	Media de Zinc por composición [Vagón]	4,9	6,0	6,3
4	Intervalo entre navíos: Neptunia [días]	1,6	1,1	1,1
5	Carga média de los navíos: Neptunia [t]	306	250	250
6	Stock medio: Depósito concentrados [t]	10.300	10.053	10.044
7	Stock medio: Zinc CJM [t]	276	4.995	1.142
8	Stock medio: Zinc Neptunia [t]	1.030	1.228	2.999
9	Tasa media de realización del Blend [t/h]	54,2	55,5	55,5
10	Producción de Acido [kt/año]	245,2	298,6	298,6
11	Media de Acido por composición [Vagón]	7,3	8,9	8,9
12	Intervalo entre navíos: DQM [días]	20,3	22,9	22,9
13	Carga média de los navíos: DQM [t]	9.803	13.131	13.131
14	Stock medio: Acido CJM [t]	3.423	4.463	4.463
15	Stock medio: Acido DQM [t]	12.855	11.742	11.742

Fuente : Franco Arbeit, Brasil

5.3 PRODUCCION DE 320 KT/AÑO

Se evalúa el comportamiento del sistema actual con un aumento de producción de Zinc para 320 mil toneladas por año (320 Kt/año)

Sus escenarios permiten monitorear:

- Capacidad de recepción de concentrados
- Stocks internos
- Capacidad de despacho de productos finales (Acido y Zinc)

Cada escenario representa una configuración diferente :

- Volumen de recepción de concentrados
- Capacidad de los recursos (Balanza, Locomotora, etc)
- Capacidad de almacenamiento.
- Tasa de producción.
- Volumen de material despachado para venta.

5.3.1 Escenarios 02-a

Se consideran las mínimas alteraciones necesarias para simular un ambiente de 320 Kt/año:

- Recepción de concentrados bajo las mismas condiciones existentes.
- Aumento del número de vagones, de tal forma que sea posible atender el flujo de despacho de producto final (Acido y Zinc) sin espacios vacíos.
- Aumento del estado de carguío de vagones, de forma que sea posible cargar exactamente la cantidad de vagones existentes, sin riesgo de atraso.
- Ajuste de las cargas medias y capacidades de los Navíos, para dar salida a la nueva productividad.

Resultados del escenario 02-a

Este es un escenario no factible, por no conseguir atender ni en la recepción del concentrado ni en el despacho de Zinc y Acido Sulfúrico.

Los Stocks resultan descontrolados, principalmente de Acido Sulfúrico.

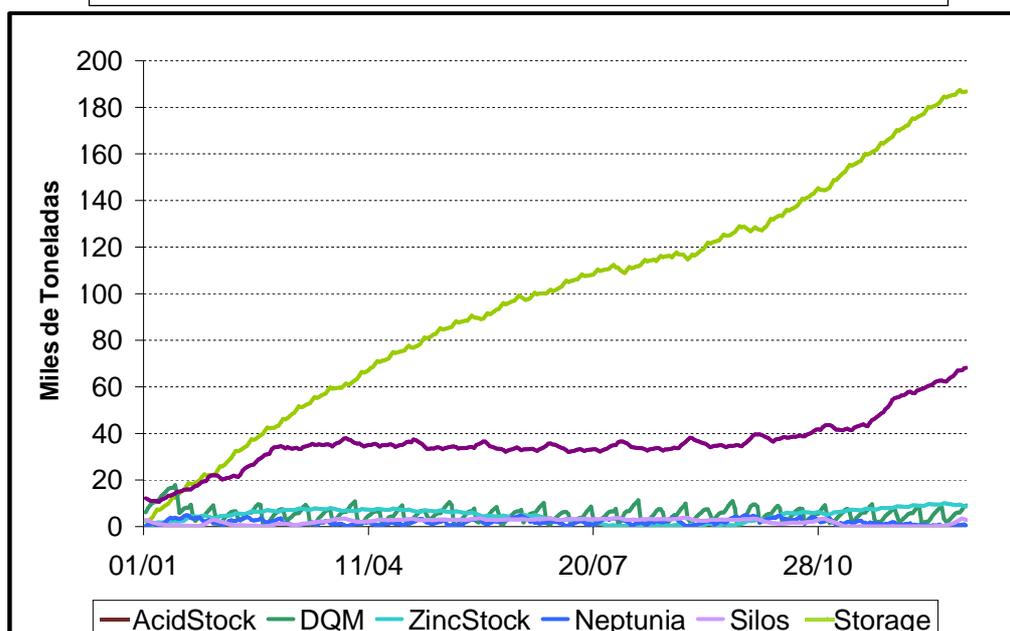
Las naves no consiguen cargar todo el material que se requerían.

GRAFICO 5.14 PRODUCCION 320 KTA, Parámetros de escenario 02-a			
PARAMETROS DE ALIMENTACION AL MODELO			
PROPIEDADES	PRODUCCION		
	135 kt/año	320 kt/año-a	
Código de escenario	00-a	02-a	
Escenario de Base	(Situación actual)	00-a	
1	Factor de producción (con relación al caso actual) [%]	100%	240%
2	Vagones para despacho de Zinc (por composición) [Unds]	6	17
3	Tamaño del ciclo de composición de Zinc [h]	48	48
4	Capacidad de proceso de carguío de Zinc CJM [Vagón]	1	1
5	Horario de carguío de Zinc [hh:mm]	07:30-15:30	07:30-17:30
6	Días de recepción en Neptunia	Lun-Sab	Lun-Sab
7	Capacidad de proceso de Descarga en Neptunia [Unds]	1	1
8	Zinc MI por Camión [t/año]	60.000	60.000
9	Zinc MI Neptunia por camión [t/año]	5.637	10.950
10	Zinc ME Neptunia por navío [t/año]	70.390	255.500
11	Período entre navíos Neptunia [días]	1,3	1,0
12	Número de Cargadores para Blend [Unds]	1	1
13	Vagones para despacho de ácido (por composición) [Unds]	10	22
14	Tamaño del ciclo de composición de Acido [h]	24	24
15	Capacidad de proceso de carguío de Acido CJM - Vagón [Unds]	3	3
16	Horario de carguío de Acido [hh:mm]	19:00-23:00	19:00-01:00
17	Días de recepción en DQM [días]	Lun-Vie	Lun-Vie
18	Capacidad de proceso de Descarga en DQM [Unds]	2	2
19	Acido MI por Camión [t/año]	52.464	70.000
20	Acido ME en DQM por navío [t/año]	174.880	475.451
21	Período entre Navíos DQM [días]	20,9	10,0
22	Stock máximo DQM [t]	18.500	18.500
		Simulación de situación actual	Solo amplia la Producción (Pero no es factible)

Fuente : Franco Arbeit, Brasil

GRAFICO 5.15 PRODUCCION 320 KTA, Resultados de escenario 2-a			
RESULTADOS DE LA EJECUCION			
PROPIEDADES	PRODUCCION		
	135 kt/año	320 kt/año-a	
Código de escenario	00-a	02-a	
Escenario de Base	(Situación actual)	00-a	
1	Producción de Zinc [kt/año]	136	282,1
2	Consumo de concentrado [ktm/año]	265,1	561,0
3	Media de Zinc por composición [Vagón]	4,9	11,0
4	Intervalo entre navíos: Neptunia [días]	1,6	1,4
5	Carga média de los navíos: Neptunia [t]	306	227
6	Stock medio: Depósito concentrados [t]	10.300	138.500
7	Stock medio: Zinc CJM [t]	276	27.945
8	Stock medio: Zinc Neptunia [t]	1.030	277
9	Tasa media de realización del Blend [t/h]	54,2	2,1
10	Producción de Acido [kt/año]	245,2	516,1
11	Media de Acido por composición [Vagón]	7,3	16,9
12	Intervalo entre navíos: DQM [días]	20,3	10,8
13	Carga média de los navíos: DQM [t]	9.803	11.829
14	Stock medio: Acido CJM [t]	3.423	5.018
15	Stock medio: Acido DQM [t]	12.855	7.195

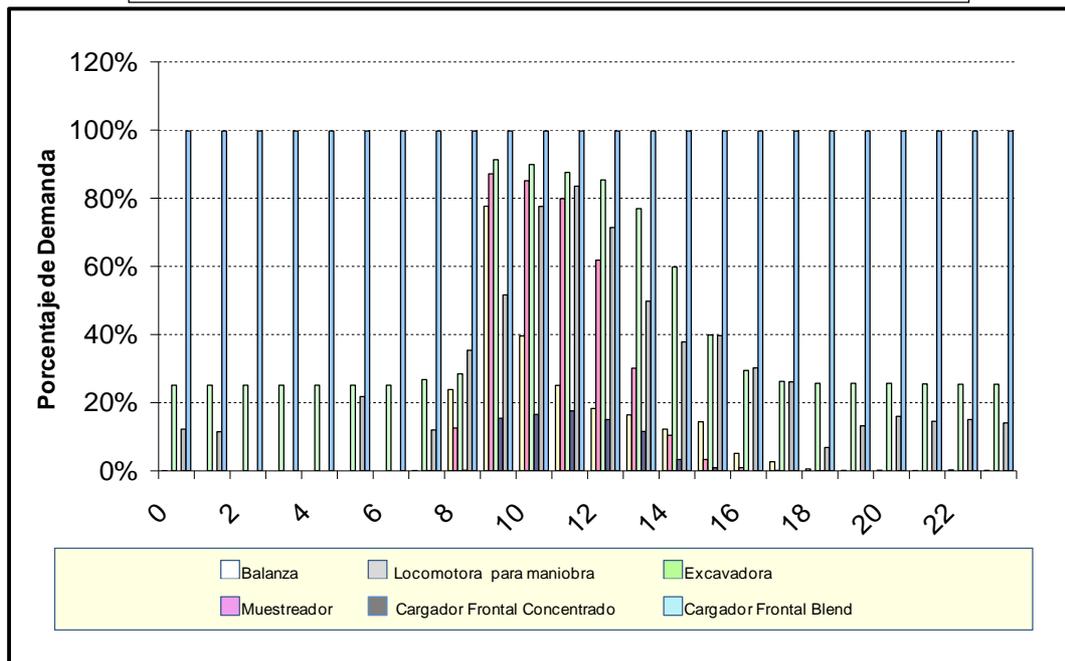
Fuente : Franco Arbeit, Brasil

GRAFICO 5.16 RESULTADOS DE STOCK 320 KTA- ESCENARIO 02-a

Fuente : Informe Franco Arbeit , Ago.2007

Problemas con los recursos

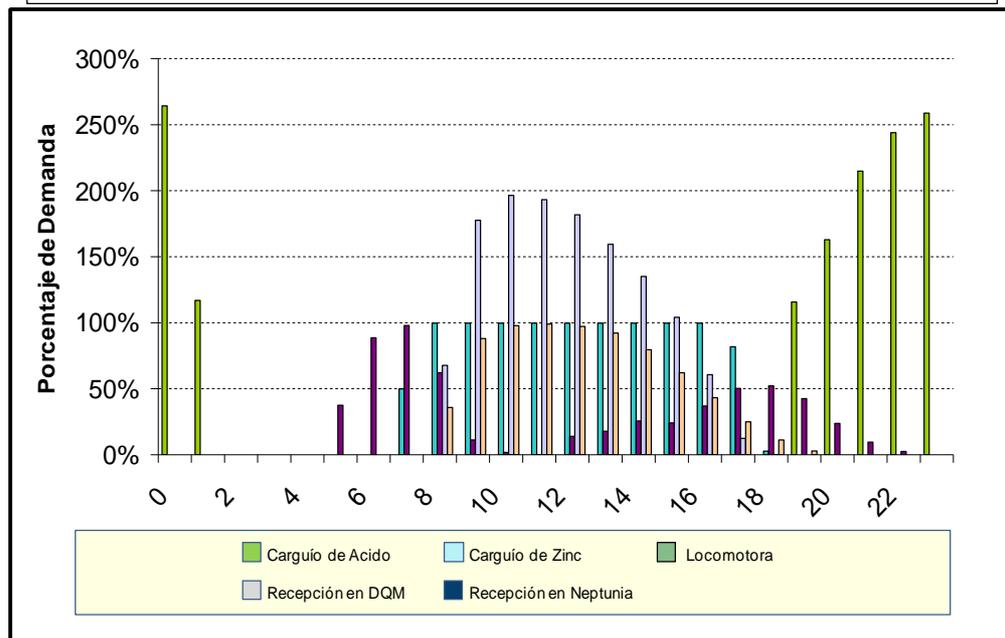
- Cargador Frontal no consigue atender la mezcla de concentrado
- Los recursos de recepción de concentrado también no son suficientes
- ✓ La Locomotora no consigue atender demandas paralelas a la recepción de concentrado.

GRAFICO 5.17 RESULTADOS DE RECURSOS 320 KTA - ESCENARIO 02-a

Fuente : Informe Franco Arbeit , Ago.2007

Estado de despacho :

- Carguío de Zinc insuficiente (Carga apenas 11 vagones por día de los 17 disponibles), por la baja capacidad de carguío y por la dificultad de tener una Locomotora para maniobra de los vagones.
- Queda comprometida la recepción principalmente en DQM y Neptunia, con los consiguientes atrasos en la vuelta de los vagones.
- El estado de carguío de Acido, se ve comprometido por los atrasos (carga apenas 17 vagones por día, de los 22 disponibles).

GRAFICO 5.18 RESULTADO DE LA ESTACION DE CARGUIO 320 KTA, ESCENARIO 02-a

Fuente : Informe Franco Arbeit , Ago.2007

5.3.2 Escenario 02-b

Aumento de Capacidades:

Nuevos escenarios para superar los problemas encontrados en 02-a, considerando lo siguiente:

- Aumento en la capacidad de recursos (como Cargador Frontal) y procesos (Como en Neptunia).
- Aumento de los días de trabajo por semana.

Forman ese conjunto, los siguientes escenarios factibles:

- 2-b-iii : Nueva Pala Cargadora para Blend y mas una Locomotora
- 2-b-iv : Recepción de Acido Sulfúrico en DQM los días sábados
- 2-b-v : Recepción en DQM y Neptunia los sábados y domingos

Parámetros:

En el cuadro siguiente se muestra los parámetros de alimentación al modelo.

GRAFICO 5.19 PRODUCCION 320 KTA, Escenario 02-b						
PARAMETROS DE ALIMENTACION AL MODELO						
	PROPIEDADES	PRODUCCION				
		135 kt/año	320 kt/año-a	320 kt/año-b		
	Código de escenario	00-a	02-a	02.b.iii	02.b.iv	02.b.v
	Escenario de Base	(Situacion actual)	00-a	02.a	02.b.iii	02.b.iii
1	Factor de producción (con relacion al caso actual) [%]	100%	240%	240%	240%	240%
2	Vagones para despacho de Zinc (por composición) [Unds]	6	17	18	18	16
3	Tamaño del ciclo de composición de Zinc [h]	48	48	48	48	48
4	Capacidad de proceso de carguío de Zinc CJM [Vagón]	1	1	2	2	2
5	Horario de carguío de Zinc [hh:mm]	07:30-15:30	07:30-17:30	07:30-15:30	07:30-15:30	07:30-15:30
6	Días de recepción en Neptunia	Lun-Sab	Lun-Sab	Lun-Sab	Lun-Sab	Lun-Dom
7	Capacidad de proceso de Descarga en Neptunia [Unds]	1	1	2	2	2
8	Zinc MI por Camión [t/año]	60.000	60.000	60.000	60.000	60.000
9	Zinc MI Neptunia por camion [t/año]	5.637	10.950	10.950	10.950	10.950
10	Zinc ME Neptunia por navío [t/año]	70.390	255.500	255.500	255.500	255.500
11	Período entre navíos Neptunia [días]	1,3	1,0	1,0	1,0	1,0
12	Número de Cargadores para Blend [Unds]	1	1	2	2	2
13	Vagones para despacho de acido (por composición) [Unds]	10	22	22	18	16
14	Tamaño del ciclo de composición de Acido [h]	24	24	24	24	24
15	Capacidad de proceso de carguío de Acido CJM - Vagón [Unds]	3	3	3	3	3
16	Horario de carguío de Acido [hh:mm]	19:00-23:00	19:00-01:00	19:00-02:00	19:00-02:00	19:00-02:00
17	Días de recepción en DQM [días]	Lun-Vie	Lun-Vie	Lun-Vie	Lun-Sab	Lun-Dom
18	Capacidad de proceso de Descarga en DQM [Unds]	2	2	3	3	3
19	Acido MI por Camión [t/año]	52.464	70.000	70.000	70.000	70.000
20	Acido ME en DQM por navío [t/año]	174.880	475.451	475.451	475.451	475.451
21	Período entre Navios DQM [días]	20,9	10,0	10,0	10,0	10,0
22	Stock máximo DQM [t]	18.500	18.500	18.500	18.500	18.500
		Simulación de situación actual	Solo amplia la Producción (Pero no es factible)	Resuelve problema de disputa por Locomotora. Un Cargador adicional.	Sábados en DQM Un Cargador adicional.	Sábados y Domingos en DQM y Neptunia; Un Cargador adicional.

Fuente : Franco Arbeit, Brasil

Resultados:

Alivio de cuellos de botella de los procesos.

Blend de concentrados : El proceso se muestra viable con la inserción de un segunda Cargador Frontal.

Despacho de Productos :

- Esta alternativa se considera suficiente para la realización del carguío de los vagones, sin embargo el carguío de Acido se puede extender hasta las 02:00 horas.
- Los fines de semana se consigue aumentar la holgura y disminuir el número de vagones.

GRAFICO 5.20 RESULTADOS 320 KTA, Escenario 02-b						
RESULTADOS DE LA EJECUCION						
PROPIEDADES		PRODUCCION				
		135 kt/año	320 kt/año-a	320 kt/año-b		
Código de escenario		00-a	02-a	02.b.iii	02.b.iv	02.b.v
Escenario de Base		(Situacion actual)	00-a	02.a	02.b.iii	02.b.iii
1	Producción de Zinc [kt/año]	136	282,1	326,4	326,4	326,4
2	Consumo de concentrado [ktm/año]	265,1	561,0	649,0	649,0	649,0
3	Media de Zinc por composición [Vagón]	4,9	11,0	16,6	16,6	14,3
4	Intervalo entre navíos: Neptunia [días]	1,6	1,4	1,1	1,0	1,0
5	Carga média de los navíos:Neptunia [t]	306	227	682	688	696
6	Stock medio: Depósito concentrados [t]	10.300	138.500	8.398	8.400	8.398
7	Stock medio: Zinc CJM [t]	276	27.945	4.879	4.373	3.771
8	Stock medio: Zinc Neptunia [t]	1.030	277	1.914	2.170	2.513
9	Tasa media de realización del Blend [t/h]	54,2	2,1	59,2	59,2	59,2
10	Producción de Acido [kt/año]	245,2	516,1	597,2	597,2	597,2
11	Media de Acido por composición [Vagón]	7,3	16,9	20,1	16,7	14,3
12	Intervalo entre navíos: DQM [días]	20,3	10,8	9,9	9,9	9,9
13	Carga média de los navíos: DQM [t]	9.803	11.829	12.888	12.879	12.852
14	Stock medio: Acido CJM [t]	3.423	5.018	7.037	7.499	8.538
15	Stock medio: Acido DQM [t]	12.855	7.195	9.500	11.216	12.232

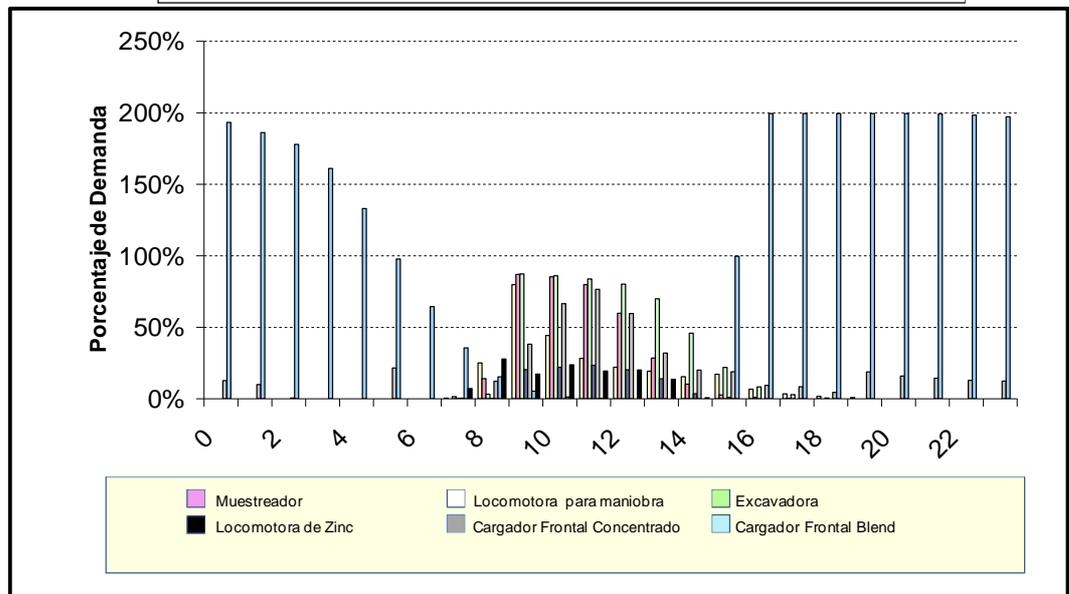
Fuente : Franco Arbeit, Brasil

5.3.2.1 Escenario 02-b-iii

Capacidad de recursos:

- El aumento de una Pala cargadora hace que la ventana de mezcla sea reducida; sin embargo, puede ocurrir simultaneidad con la recepción
- Una nueva Locomotora para acomodar los vagones de Zinc durante el carguío, para no cruzarse con la recepción de concentrados.

GRAFICO 5.21 CAPACIDAD DE RECURSOS, 320 KTA, ESCENARIO 02-b-iii



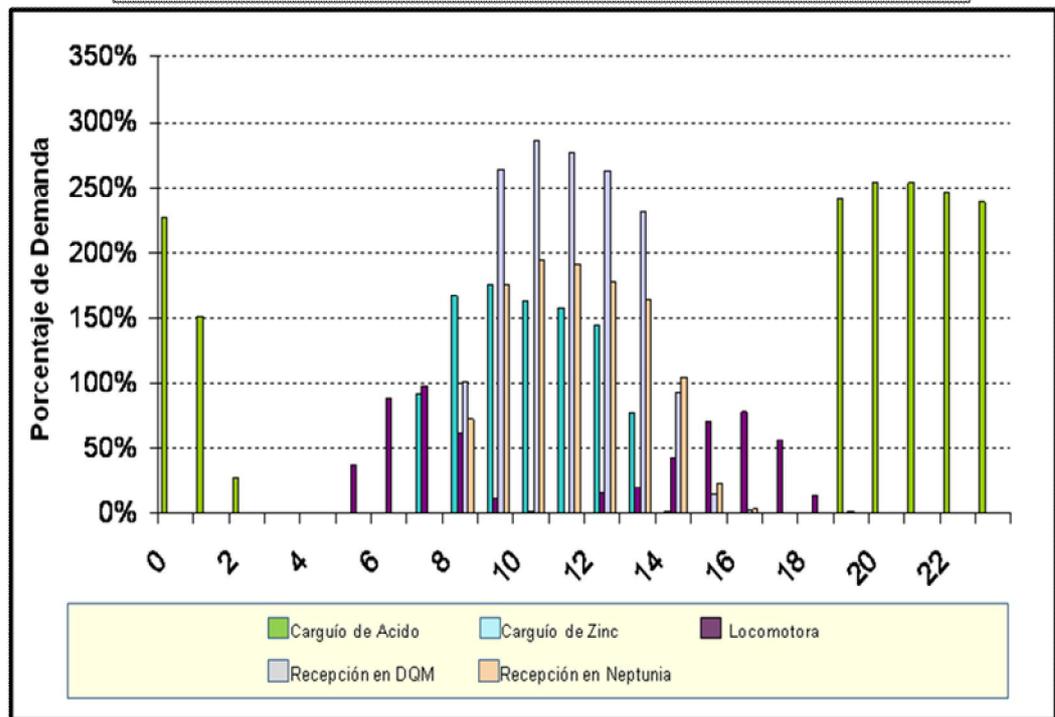
Fuente : Informe Franco Arbeit , Ago.2007

Estados de despacho :

- La capacidad de carguío de vagones de Zinc es duplicada, lo cual permite atender el flujo dentro del horario.

- En la ventana de carguío de Zinc se considera 17 vagones por día, de 18 disponibles.
- La recepción en Neptunia es duplicada; considerando que los atrasos a la vuelta no perjudican tanto el carguío nocturno de acido
- La ventana de carguío de acido carga 20 vagones por día, de 22 disponibles

GRAFICO 5.22 SITUACION DE DESPACHO, 320 KTA, ESCENARIO 02-b-iii



Fuente: Informe Franco Arbeit , Ago.2007;

5.3.2.2 Escenario 02-b-iv y 02-b-v

Escenario 02-b-iv: Recepción de acido en DQM en días sábados

- Menos vagones de acido por día: 18 vagones (en vez de 22) son suficientes para atender el flujo diario. Son cargados en promedio 17 vagones por día.

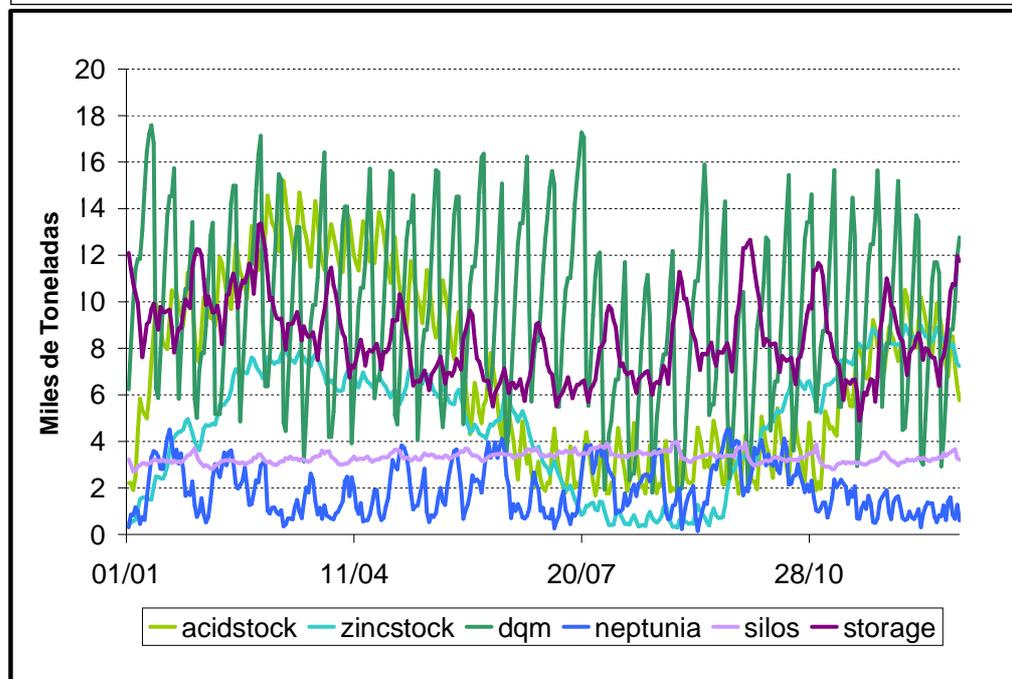
Escenario 02-b-v: Recepción en sábados y domingos (DQM y Neptunia)

- Disponibilidad de 16 vagones de acido y Zinc (En vez de 22 y 18 de acido y Zinc respectivamente en el escenario 02-b-iii) pasan a ser suficientes.

El flujo es garantizado con menor número de vagones

- Muestra stocks estables a lo largo del tiempo.

GRAFICO 5.23 DESPACHO FIN DE SEMANA, 320 KTA, ESCENARIO 02-b-iv y 02-b-v



Fuente : Informe Franco Arbeit , Ago.2007;

5.3.3 Nuevos esquemas de despacho

5.3.3.1 Dos viajes con la mitad de vagones

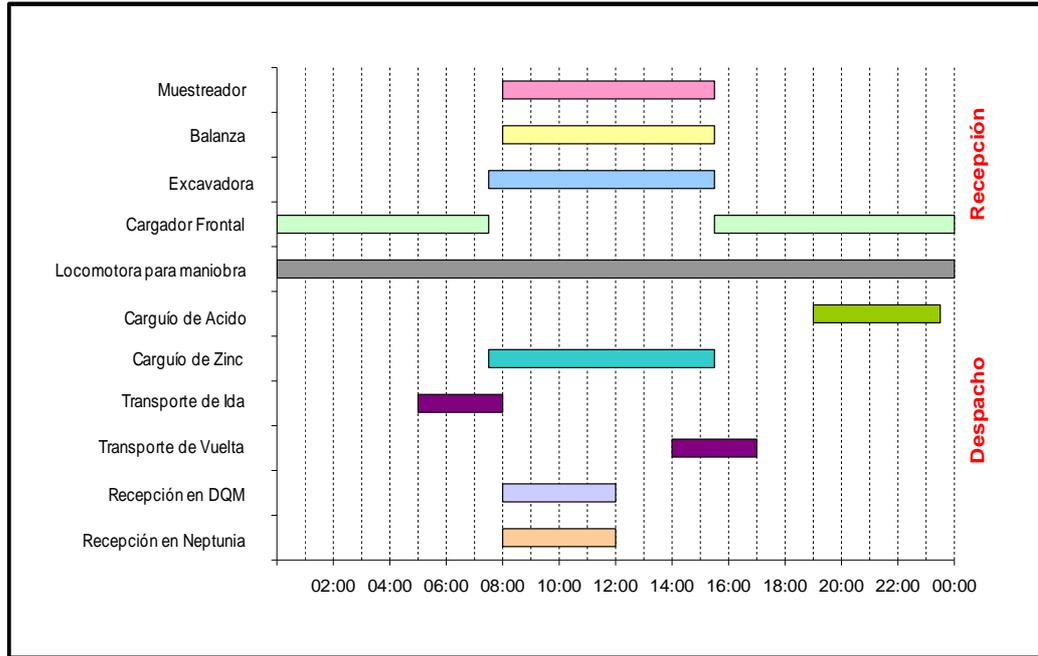
Aquí se propone un nuevo esquema de despacho: En vez de enviar una composición de vagones al día, hacer dos viajes con la mitad de vagones en cada viaje.

Los estados de despacho actuales son de un viaje por día.

Nuevos estados de despacho:

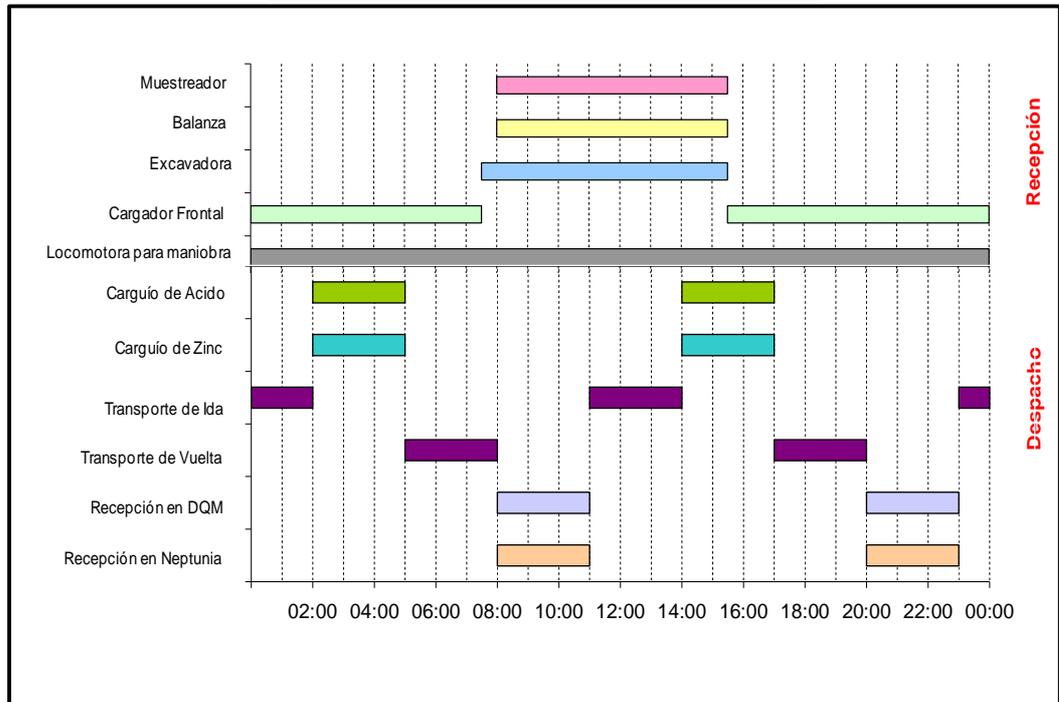
- Dos composiciones diarias con ciclo de 12 horas cada una
- El número de vagones para despacho es dividido en dos composiciones de 12 y 10 vagones de ácido y Zinc respectivamente, totalizando 24 y 20 vagones respectivamente.
- Los tiempos de carguío de zinc y ácido son coincidentes.
- Debido a que los tiempos son más cortos; el número de vagones es menor en cada composición.

GRAFICO 5.24 ESQUEMA ACTUAL DE DESPACHO Y RECEPCION



Fuente : Informe Franco Arbeit , Ago.2007;

GRAFICO 5.25 NUEVO ESQUEMA DE DESPACHO



Fuente : Informe Franco Arbeit , Ago.2007

5.3.3.2 Escenario 02-c

Forman ese conjunto los siguientes escenarios:

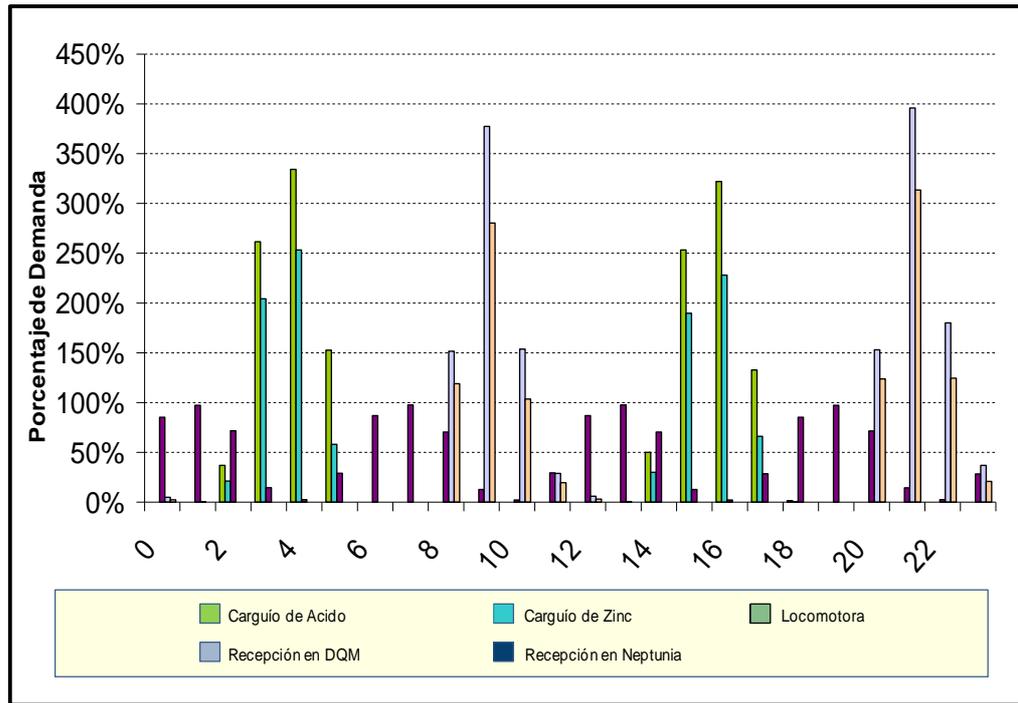
- 2-c-iii: Implementación del nuevo esquema de despacho
- 2-c-iv: Implementación del nuevo esquema de despacho con DQM y Neptunia, trabajando los sábados y domingos

Escenario 02-c-iii – Nuevo esquema de despacho

Los tiempos pequeños son insuficientes para atender al volumen de despacho.

El ciclo del tiempo de carguío, transporte de ida, descarga y transporte de vuelta es ajustado (12 horas) y no admite los atrasos de la FCA.

GRAFICO 5.26 NUEVO ESQUEMA DE DESPACHO, ESCENARIO 02-c-iii



Fuente : Informe Franco Arbeit , Ago.2007

GRAFICO 5.27 RESULTADOS 320 KTA, Escenario 02-c-ii

PROPIEDADES		PRODUCCION			
		135 kt/año	320 kt/año-a	320 kt/año-c	
Código de escenario		00-a	02-a	02.c.ii	02.c.iii
Escenario de Base		(Situación actual)	00-a	02-a	02-c-ii
1	Producción de Zinc [kt/año]	136	282,1	326,4	326,4
2	Consumo de concentrado [ktm/año]	265,1	561,0	649,0	649,0
3	Media de Zinc por composición [Vagón]	4,9	11,0	8	7,1
4	Intervalo entre navíos: Neptunia [días]	1,6	1,4	1,1	1,0
5	Carga média de los navíos:Neptunia [t]	306	227	439	693
6	Stock medio: Depósito concentrados [t]	10.300	138.500	8.399	8.399
7	Stock medio: Zinc CJM [t]	276	27.945	9.866	4.010
8	Stock medio: Zinc Neptunia [t]	1.030	277	778	2.185
9	Tasa media de realización del Blend [t/h]	54,2	2,1	59,2	59,2
10	Producción de Acido [kt/año]	245,2	516,1	597,2	597,2
11	Media de Acido por composición [Vagón]	7,3	16,9	7,2	7,0
12	Intervalo entre navíos: DQM [días]	20,3	10,8	9,4	9,6
13	Carga média de los navíos: DQM [t]	9.803	11.829	8.871	12.211
14	Stock medio: Acido CJM [t]	3.423	5.018	74.768	14.811
15	Stock medio: Acido DQM [t]	12.855	7.195	4.983	7.242

Fuente : Franco Arbeit, Brasil

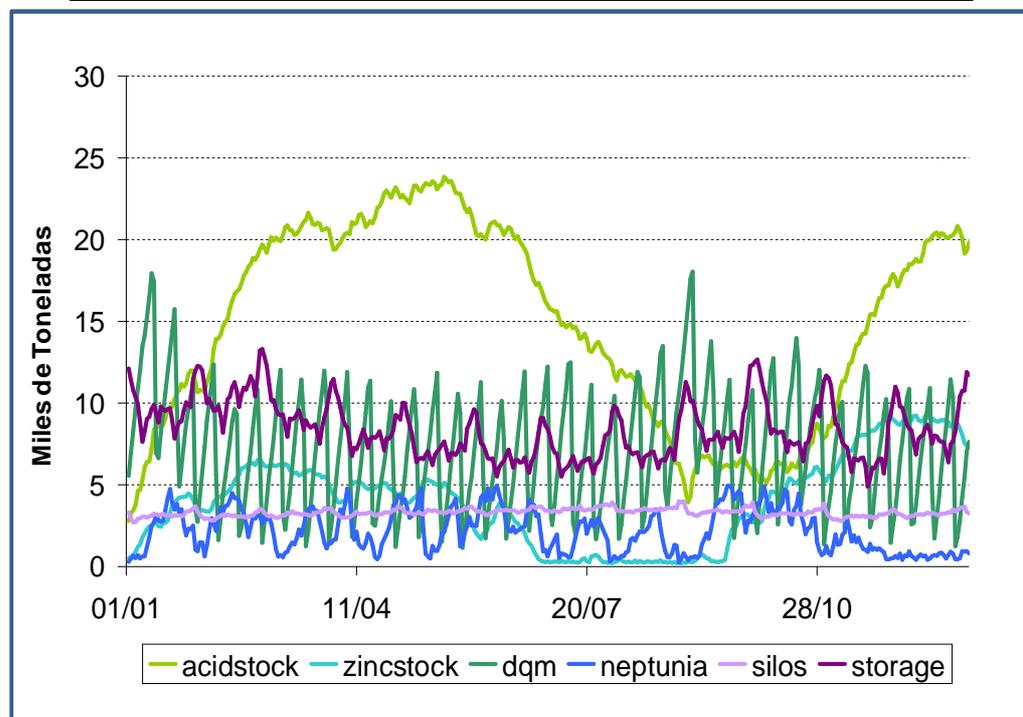
Escenario 02-c-iv - Nuevo esquema de fin de semana

Trabajando los días sábados y domingos, el volumen de despacho simulado fue suficiente.

Posibilitaría envíos mayores (por lo tanto los estados de trabajo se podían satisfacer en su totalidad) y consecuentemente, una tasa mayor de despacho.

Sin embargo, los volúmenes de stock en Cajamarquilla no se mantendrían estables, aumentando a niveles inestables en algunos momentos.

GRAFICO 5.28 NUEVO ESQUEMA FIN DE SEMANA, ESCENARIO02-c-iv



Fuente : Informe Franco Arbeit , Ago.2007

Para que este escenario sea factible, se torna como condición indispensable una mayor confiabilidad en la atención de FCA.

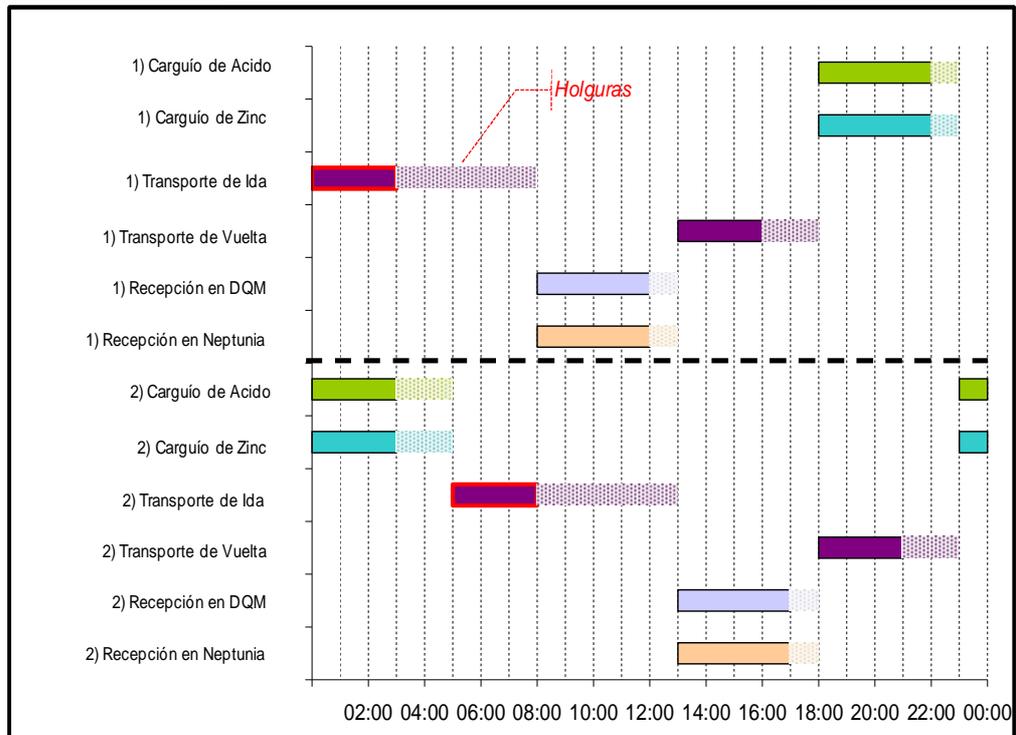
5.3.3.3 Esquema de despacho en dos grupos

Se utiliza el mismo número de vagones del escenario 02-b-iii, pero divididos en dos grupos.

Cada grupo sigue un ciclo independiente de carguío, transporte de ida, descarga y transporte de vuelta, con ciclo de 24 horas cada una.

Este nuevo esquema exige más locomotoras del FCA para ser posible la realización de los transportes.

GRAFICO 5.29 TERCER ESQUEMA DE DESPACHO



Fuente : Informe Franco Arbeit , Ago.2007;

Toda descarga en DQM y en Neptunia es realizado durante el día y todo el carguío en Cajamarquilla es realizado durante la noche.

Las holguras en la ventanas permiten que ambas composiciones cargadas sean llevadas juntas, pero volviendo en horarios diferentes.

5.3.3.4 Escenario 02-d.

Parámetros básicos del escenario 02-d.

GRAFICO 5.30 PRODUCCION 320 KTA, Escenario 02-d				
PARAMETROS DE ALIMENTACION AL MODELO				
PROPIEDADES	PRODUCCION			
	135 kt/año	320 kt/año-a	320 kt/año-d	
Código de escenario	00-a	02-a	02.d.ii	02.d.iii
Escenario de Base	(Situacion actual)	00-a	02-a	02-d-ii
1	Factor de producción (con relacion al caso actual) [%]	100%	240%	240%
2	Vagones para despacho de Zinc (por composición) [Uhds]	6	17	8
3	Tamaño del ciclo de composición de Zinc [h]	48	48	24
4	Capacidad de proceso de carguío de Zinc CJM [Vagón]	1	1	2
5	Horario de carguío de Zinc [hh:mm]	07:30-15:30	07:30-17:30	18:00 e 23:00
6	Dias de recepción en Neptunia	Lun-Sab	Lun-Sab	Lun-Sab
7	Capacidad de proceso de Descarga en Neptunia [Uhds]	1	1	2
8	Zinc MI por Camión [t/año]	60.000	60.000	60.000
9	Zinc MI Neptunia por camion [t/año]	5.637	10.950	10.950
10	Zinc ME Neptunia por navío [t/año]	70.390	255.500	255.500
11	Período entre navíos Neptunia [días]	1,3	1,0	1,0
12	Número de Cargadores para Blend [Uhds]	1	1	2
13	Vagones para despacho de acido (por composición) [Uhds]	10	22	11
14	Tamaño del ciclo de composición de Acido [h]	24	24	24
15	Capacidad de proceso de carguío de Acido CJM - Vagón [Uhds]	3	3	3
16	Horario de carguío de Acido [hh:mm]	19:00-23:00	19:00-01:00	18:00 e 23:00
17	Dias de recepción en DQM [días]	Lun-Vie	Lun-Vie	Lun-Vie
18	Capacidad de proceso de Descarga en DQM [Uhds]	2	2	3
19	Acido MI por Camión [t/año]	52.464	70.000	70.000
20	Acido ME en DQM por navío [t/año]	174.880	475.451	475.451
21	Período entre Navíos DQM [días]	20,9	10,0	10,0
22	Stock máximo DQM [t]	18.500	18.500	18.500
		Simulación de situación actual	Solo amplia la Producción (Pero no es factible)	- Aumento de capacidad -Sábados y Domingos en DQM y Neptunia;

Fuente : Franco Arbeit, Brasil

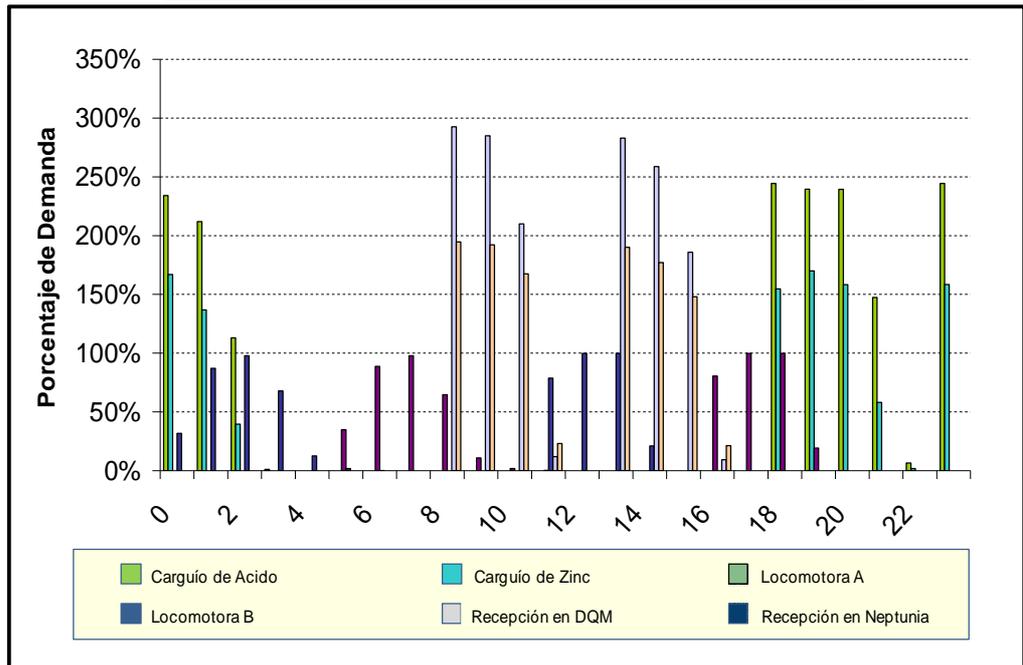
Resultados del escenario

Los estados para atender cada etapa pasan a ser suficiente y con holguras.

La descarga de material en DQM y Neptunia es realizado apenas durante el horario comercial (Un ciclo en la mañana y otro en la tarde).

El carguío de Ácido y Zinc ocurre durante la madrugada, así como su transporte para DQM y Neptunia.

GRAFICO 5.31 ESQUEMA DE DESPACHO, ESCENARIO 02-d



Fuente : Informe FrancoArbeit , Ago.2007;

Resultados generados del escenario 02-d-ii.

- El escenario se mostró factible, el mismo que permite holguras en todas las ventanas.

Escenario 02-d-iii: Trabajos en los fines de semana (Sábado y Domingo)

- Así como en el escenario 02-b-v, el número de vagones puede ser disminuido, de 22/18 para 16/16 de ácido/Zinc respectivamente. (Valor total a ser dividido en dos composiciones).

GRAFICO 5.32 RESULTADOS 320 KTA, Escenario 02-d					
RESULTADOS DE LA EJECUCION					
PROPIEDADES	PRODUCCION				
	135 kt/año	320 kt/año-a	320 kt/año-d		
Código de escenario	00-a	02-a	02.d.ii	02.d.iii	
Escenario de Base	(Situacion actual)	00-a	02-a	02-d-ii	
1	Producción de Zinc [kt/año]	136	282,1	326,4	326,4
2	Consumo de concentrado [ktm/año]	265,1	561,0	649,0	649,0
3	Media de Zinc por composición [Vagón]	4,9	11,0	8,3	7,2
4	Intervalo entre navíos: Neptunia [días]	1,6	1,4	1,0	1,0
5	Carga média de los navíos: Neptunia [t]	306	227	693	698
6	Stock medio: Depósito concentrados [t]	10.300	138.500	8.391	8.399
7	Stock medio: Zinc CJM [t]	276	27.945	3.984	3.575
8	Stock medio: Zinc Neptunia [t]	1.030	277	2.366	2.697
9	Tasa media de realización del Blend [t/h]	54,2	2,1	59,2	59,2
10	Producción de Acido [kt/año]	245,2	516,1	597,2	597,2
11	Media de Acido por composición [Vagón]	7,3	16,9	10,1	7,2
12	Intervalo entre navíos: DQM [días]	20,3	10,8	9,9	10,2
13	Carga média de los navíos: DQM [t]	9.803	11.829	12.899	13.046
14	Stock medio: Acido CJM [t]	3.423	5.018	6.193	8.579
15	Stock medio: Acido DQM [t]	12.855	7.195	9.901	12.174

Fuente : Franco Arbeit, Brasil

5.3.3.5 Escenario 02-e – Stock en DQM

El objetivo de este escenario fue responder a la cuestión de las influencias del tamaño del stock en DQM en el funcionamiento del sistema como un todo.

Stock de ácido sulfúrico:

- El gráfico del stock del escenario 02-b-ii muestra que en algunas situaciones el stock total de ácido (DQM y Cajamarquilla) puede ser peligrosamente elevado.
- Tal comportamiento se repite en los escenarios 02-c-iv y 02-d-ii.
- Hay la necesidad de analizar métodos para disminuir esta elevación.

Escenarios creados para estas pruebas:

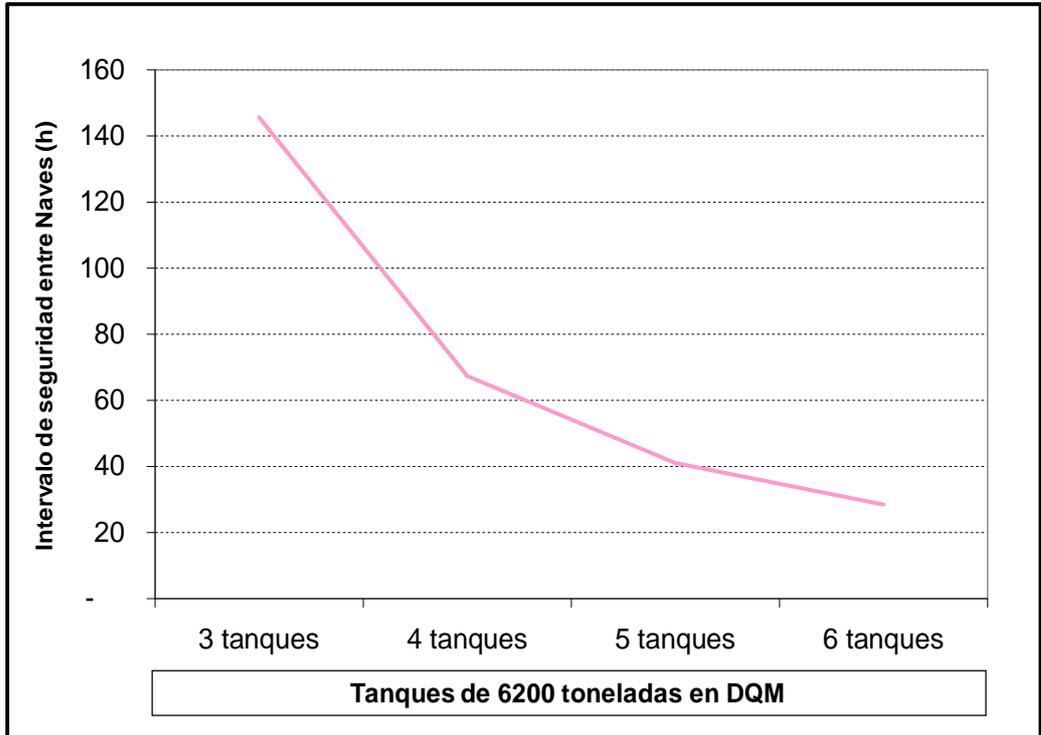
02-d-i: Adición de un tanque nuevo en DQM (4 tanques totales)

02-d-ii: Adición de dos tanques nuevos en DQM (5 tanques totales)

02-d-iii: Adición de tres tanques nuevos en DQM (6 tanques totales)

Cada tanque con 6,200 toneladas.

GRAFICO 5.33 RESULTADOS DE TANQUES EN DQM, ESCENARIO 02-e



Fuente : Informe Franco Arbeit , Ago.2007;

CONCLUSIONES

A través de los modelos de simulación en el computador, fue posible obtener respuestas confiables sobre el comportamiento futuro del sistema logístico de la Refinería de Zinc de Cajamarquilla de acuerdo con sus metas de producción.

Los escenarios de 160 Kt/año indicaron la necesidad de una pequeña inversión en el sistema actual, siendo necesario dos nuevos vagones plataforma para el despacho de zinc, uno para cada composición con ciclo de 48 horas.

Y para los escenarios de 320 Kt/año confirman las expectativas de mayor inversión, el mismo que fue comprobado con la no factibilidad del escenario con mínimas alteraciones (escenario 02-a).

Básicamente las inversiones previstas para este escenario son:

- Asignación de una nueva pala cargadora para Blend.
- Asignación de una Locomotora adicional.
- Coordinar los trabajos en días sábados en DQM.

- Para garantizar una mayor seguridad referente a la confiabilidad en el servicio que ofrece Ferrovías Central Andina (FCA), se ensayó escenarios con nuevos esquemas de despacho.
- En los escenarios con dos composiciones diarias con ciclo de 12 horas cada una (escenario 02-c), se obtuvieron resultados satisfactorios, aunque su factibilidad se ve comprometida por una menor tolerancia a los atrasos.
- Los escenarios donde cada composición sigue un ciclo independiente de carga, transporte de ida, descarga y transporte de vuelta, con ciclo de 24 horas cada uno (escenario 02-d), se observa una mayor tolerancia a los atrasos de FCA, garantizando mas allá de la capacidad de movimiento, una seguridad mayor ante las aleatoriedades.
- Se analizó los stocks en DQM, habiéndose identificado y cuantificado su influencia en el intervalo de seguridad entre la llegada de las naves.
- Se observa que, cuanto mayor es el stock en DQM, menores son las posibilidades de falta de ácido sulfúrico para la carga en las naves.

RECOMENDACIONES

1. Considerar la compra o alquiler de los equipos adicionales como el Cargador Frontal y la Locomotora para manejo interno, de acuerdo con las políticas corporativas de CAPEX.
2. Analizar la extensión del horario de atención en la Balanza de Camiones y Trenes y del personal de Laboratorio que toma las muestras para facilitar el pesaje de camiones de concentrado.
3. Negociar con FCA la asignación de plataformas para traslado de Zinc a Neptunia y de Vagones-Tanque para el traslado de Acido Sulfúrico a DQM.
4. Negociar con DQM los trabajos adicionales en días Sábados.
5. Negociar con los Proveedores de Concentrado de Zinc que tengan acceso a línea férrea, para incrementar el abastecimiento de concentrado mediante vagones halado por la locomotora.

6. Administrar eficientemente las llegadas de la Locomotora con los tanques vacíos de ácido sulfúrico a fin de completar el carguío de todas las unidades.

BIBLIOGRAFIA

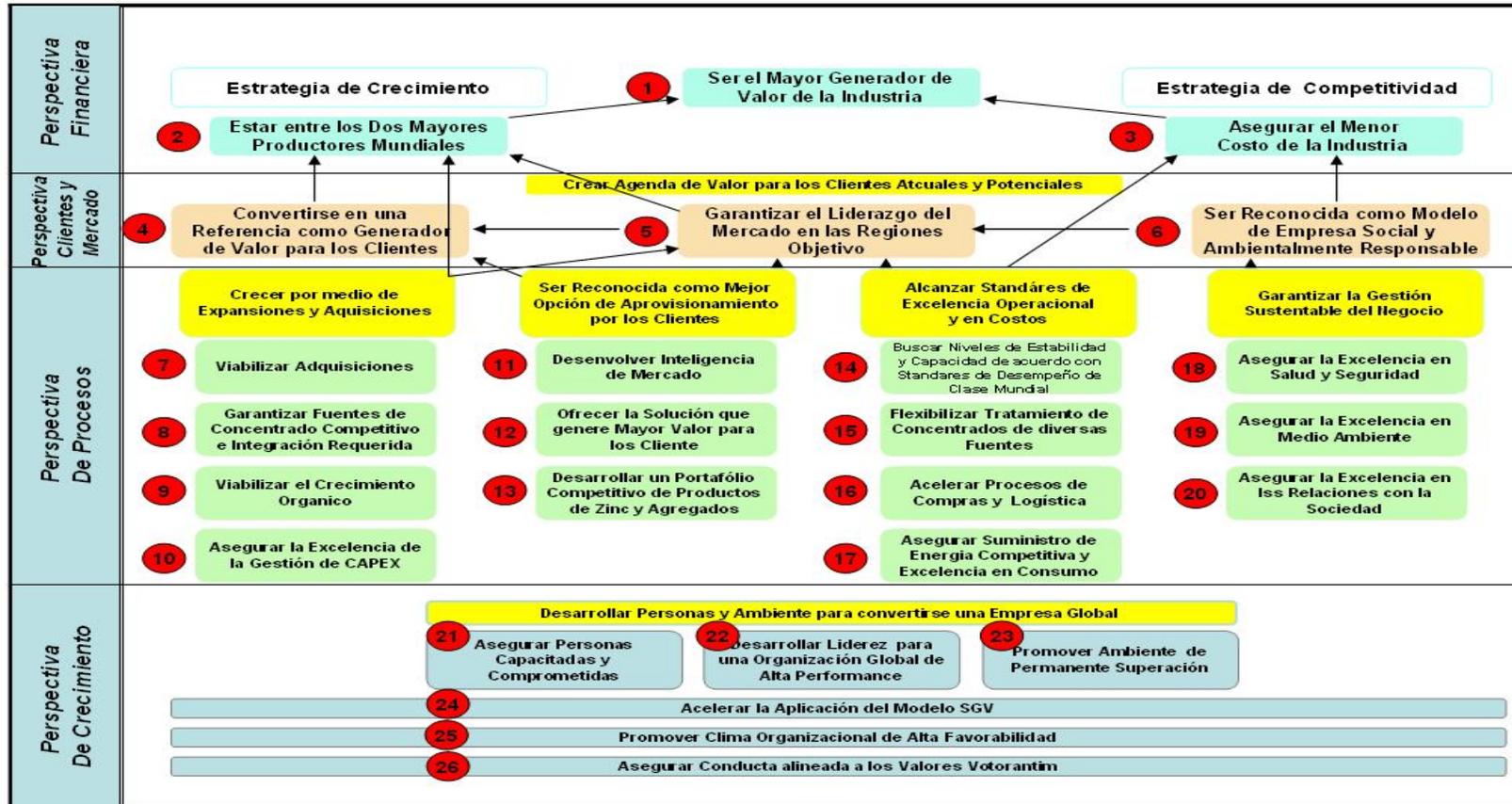
1. Asociación Latinoamericana de Zinc - LATIZA: www.latiza.com
2. Depósitos Químicos Mineros – DQM: www.odfjellterminals.com.pe
3. Ferrocarril Central Andina: www.ferroviasperu.com.pe
4. Franco Arbeit, Informes de Asesoría en Gestión Logística, Brasil, Agosto 2007.
5. GMI S.A. Ingenieros Consultores, Estudio conceptual sobre Planta de Recepción, Lavado de Camiones y Vagones de Ferrocarril, Junio 2004.
6. Neptunia, S.A: www.neptunia.com.pe
7. Refinería de Cajamarquilla, Planeamiento Estratégico 2007-2011, Documentos de gestión estratégica, Junio 2007.
8. Refinería de Cajamarquilla, Informes y Vistas Fotográficas, Gestión operacional, Junio 2007.

ANEXOS

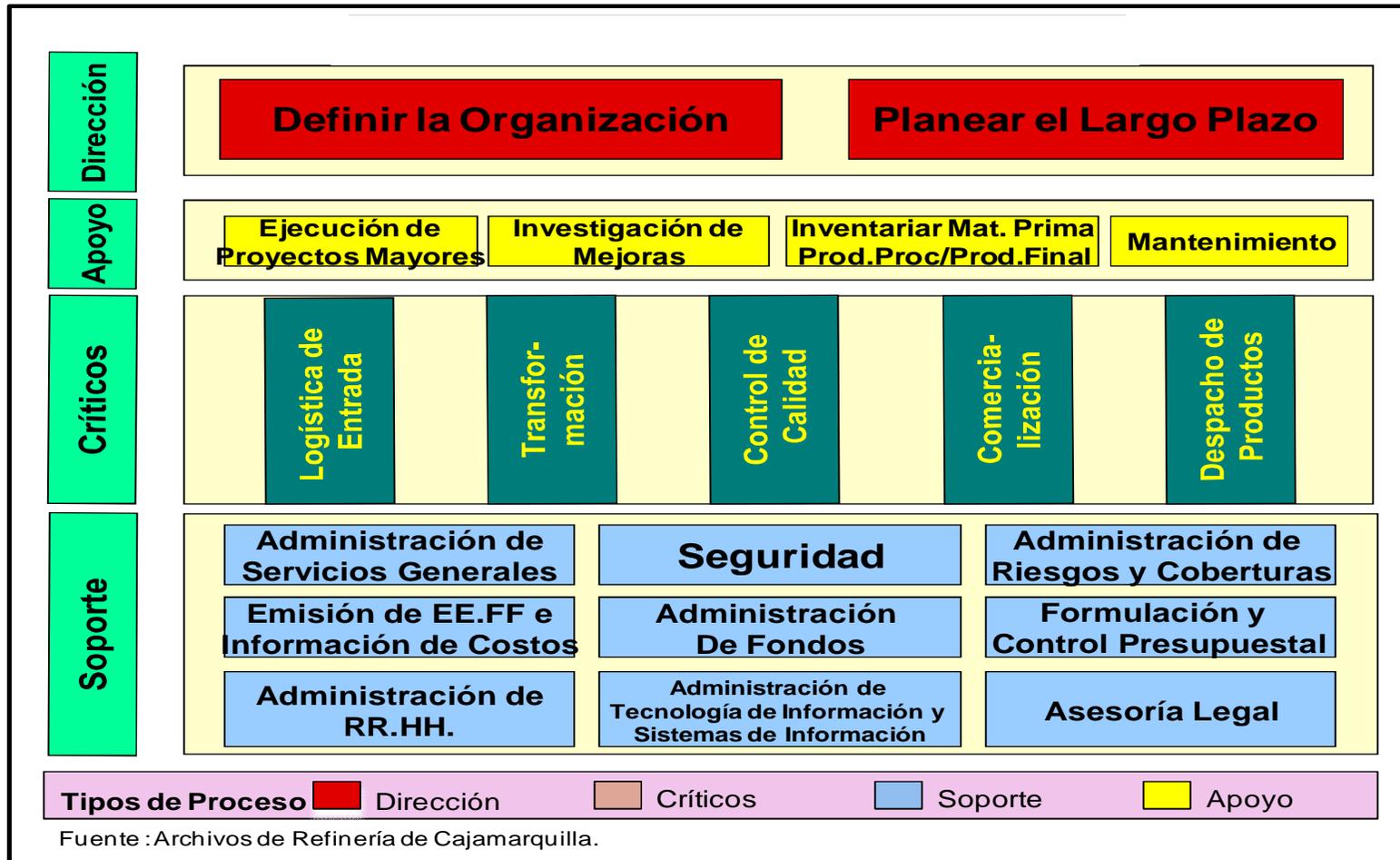
Anexo 1	Mapa estratégico del negocio de Zinc
Anexo 2	Mapa conceptual de procesos
Anexo 3	Diagrama de flujo del proceso de Refinería de Zinc
Anexo 4	Stock de seguridad y capacidad de almacenamiento
Anexo 5	Recursos para la gestión logística de Cajamarquilla
Anexo 6	Parámetros utilizados en el modelo

ANEXO 1

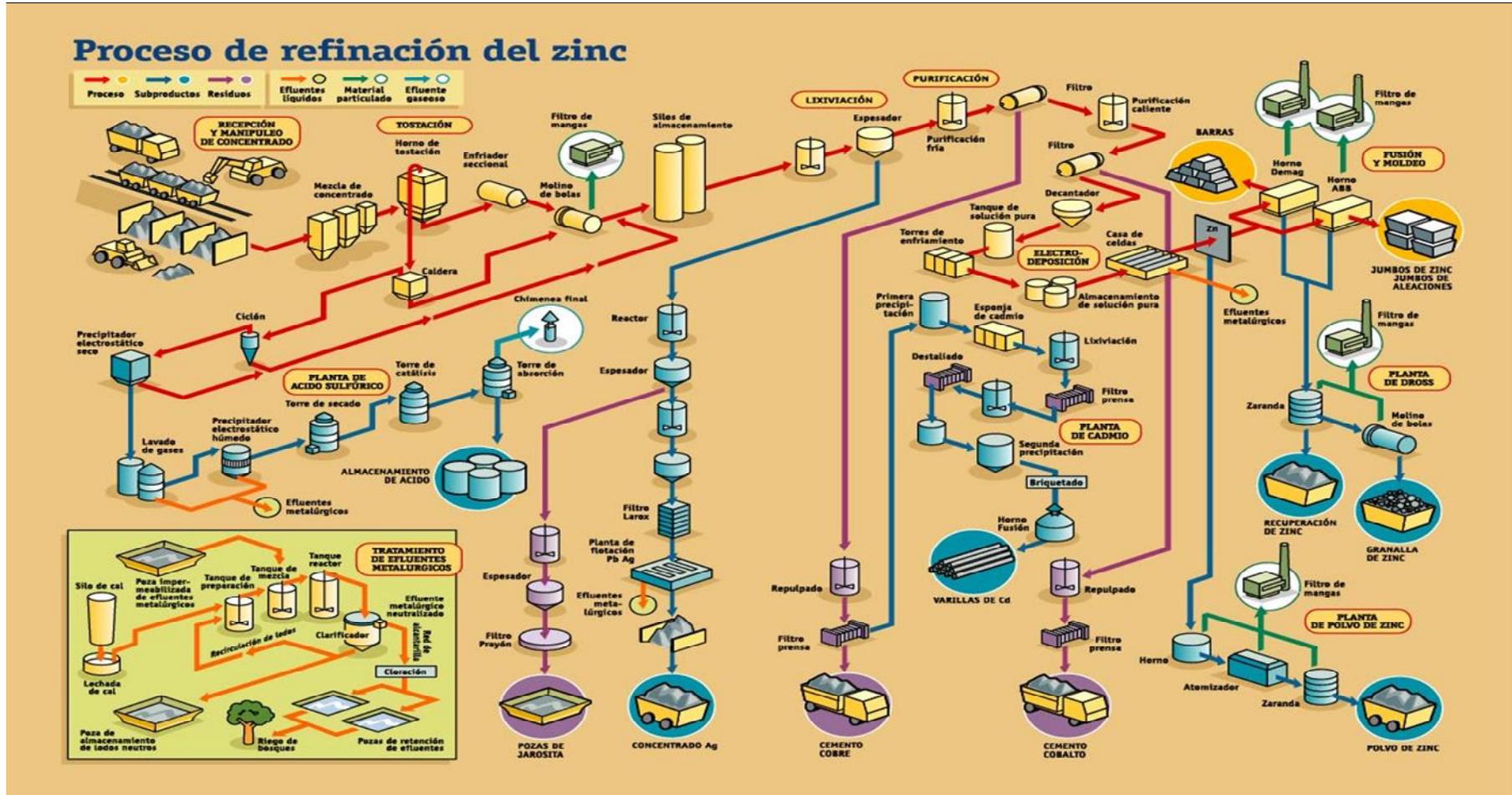
Mapa Estrategico del Negocio Zn



ANEXO 2: MAPA CONCEPTUAL DE PROCESOS



ANEXO 3: DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE REFINERÍA DE ZINC



ANEXO 4

STOCK DE SEGURIDAD Y CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO

Concepto	Contenido	Stock de seguridad [t]	Capacidad [t]
Depósito o Cajón (11 X 2,500t)	Concentrado	0	27.500
Silos de Blend	Concentrado mezclado	0	5.000
Almacén de Zinc en CJM	Producto acabado de Zinc (En Barras o Jumbos)	100	5.500
Almacén de Acido Sulfúrico en CJM	Acido Sulfúrico	1.500	17.000
Almacén de Acido Sulfúrico en DQM	Acido Sulfúrico	0	18.500
Almacén de Zinc en Neptunia	Producto acabado de Zinc (En Barras o Jumbos)	0	5.000
Fuente: Refinería de Cajamarquilla.			

ANEXO 5

**RECURSOS UTILIZADOS EN LA GESTION LOGISTICA DE
CAJAMARQUILLA**

RECURSO	DESCRIPCION	CAP.135Kta	CAP.320Kta	RENDIMIENTO
Balanza Camiones	Para pesaje de Camiones al ingreso y salida de la planta	1	1	1m30s por vehículo
Balanza de Trenes	Para pesaje de Vagones al ingreso y salida de la planta	1	1	1m30s por vehículo
Locomotora de maniobra	Transporta plataformas y vagones en el interior de la planta	1	2	A requerimiento
Muestreador	Recolecta las muestras de los vehículos de concentrado que ingresan a la planta	1	1	5m00s por vehículo
Excavadora hidráulica	Retira el concentrado de los vagones y camiones y coloca en los depósitos	1	1	5m00s por vagón, 8m00s por camión
Cargador Frontal	Retira concentrado de los depósitos para realizar la mezcla	1	2	13m10s por cada 9 toneladas
Montacarga	Representa el sistema completo para cargar plataformas con Zinc para despacho	1	2	30m00s por vagón, (5m00s de atraso promedio)
Bomba de carguío de Acido en CJM	Representa el sistema completo para cargar vagones con Zinc para despacho	3	3	45m00s por vagón (5m00s de atraso promedio)
Montacarga en Neptunia	Representa el sistema completo para descargar vagones con Zinc en Neptunia	1	2	40m00s en promedio por vagón
Bomba para descarga de ácido en DQM	Representa el sistema completo para descargar vagones con Acido en DQM	2	3	45m00s en promedio por cada 2 vagones
Fuente: Refinería de Cajamarquilla.				

ANEXO 6

PARAMETROS UTILIZADOS EN EL MODELO

Parámetros		
Parámetro	Valor	Comentarios
Capacidad máxima de la locomotora	50	En Vagones
Capacidad de carga en vagón de concentrado	50	En TMS
Capacidad de carga en plataforma de Zinc	50	En toneladas
Capacidad de carga en vagón-cisterna de ácido	90	En toneladas
Capacidad de carga en camión de concentrado	30	En TMS
Capacidad de carga en camión de Zinc	30	En toneladas
Máximo número de vagones de ácido	10	Máximo # de vagones para despacho de ácido al día
Máximo número de plataformas para Zinc	6	Máximo # de vagones para despacho de Zinc al día
Tiempo utilizado en verificar estado de concentrados	0,833	50 minutos
Tiempo de pesaje por vehículo	0,017	1 minuto
Tiempo de obtención de muestra por vehículo	0,083	5 minutos
Tiempo de descarga por vehículo	0,167	10 minutos
Tiempo dedicado a la mezcla de concentrado	0,1	6 minutos
Tiempo de limpieza de un vehículo	0,167	10 minutos
Tiempo de retirada del vehículo	0,033	2 minutos
Tiempo utilizado en transporte de la muestra	0,033	2 minutos
Tiempo de descarga de ácido en DQM	0,763	45:47 minutos por cada 2 vagones
Tiempo de desvío en descarga de ácido en DQM	0,124	7:26 minutos
Tiempo de descarga de Zinc en Neptunia	0,67	40:12 minutos por vagón
Tiempo de desvío en descarga de Zinc en Neptunia	0,1	6 minutos
Tiempo de carguío de Zinc	0,5	30 minutos por vagón
Tiempo de carguío de ácido	0,75	45 minutos por cada 3 vagones
Mínimo de concentrado	100	Stock mínimo de concentrado para retiro de Blend
Factor de producción de ácido	0,922	Producción de Acido por tonelada de concentrado
Factor de producción de Zinc	0,536	Producción de Zinc por tonelada de concentrado

Fuente: Refinería de Cajamarquilla.