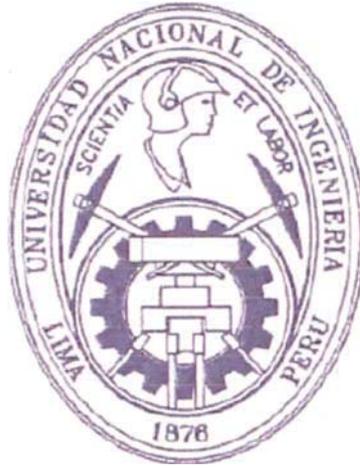


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

Facultad de Ingeniería Industrial y de Sistemas



INFORME DE SUFICIENCIA

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO INDUSTRIAL

“DISEÑO DE UN MODELO PARA LA OPTIMIZACIÓN DE DESPACHOS

EN EL ÁREA DE TRANSPORTE DE UNA EMPRESA MINERA

METALÚRGICA”

FREDDY MATUTE MIRANDA

LIMA-PERU

2008

*A Dios por estar siempre
conmigo.*

*A mis padres y hermanos por su
constante apoyo sin el cual no
podría haber alcanzado mis
objetivos.*

INDICE

CAPITULO I.....	1
ANTECEDENTES.....	1
1.1 Diagnóstico estratégico:	5
1.1.1.- Fortalezas y Debilidades.....	5
1.1.2.- Amenazas y Oportunidades.....	6
1.2 Diagnóstico funcional.....	11
1.2.1.- Productos.....	11
1.2.2.- Clientes.....	15
1.2.3.- Proveedores.....	18
1.2.4.- Procesos.....	19
1.2.5.- Organización de la empresa.....	23
CAPITULO II.....	25
MARCO TEÓRICO.....	25
CAPITULO III.....	42
PROCESO DE TOMA DE DECISIONES.....	42

1.3	Planteamiento del Problema.....	42
1.4	Alternativas de Solución	43
1.5	Evaluación de alternativas de solución.....	45
1.6	Metodología para el desarrollo de la alternativa seleccionada ...	51
1.6.1.-	Análisis del problema.....	52
1.6.2.-	Formulación del problema como un modelo de programación lineal ..	61
1.6.3.-	Solución del modelo.....	74
1.6.4.-	Validación del modelo	76
1.6.5.-	Implementación del modelo	80
CAPITULO IV		86
EVALUACIÓN DE RESULTADOS		86
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		89
GLOSARIO DE TÉRMINOS		91
BIBLIOGRAFIA.....		93
ANEXOS.....		94

DESCRIPTORES TEMATICOS

- Optimización
- Logística de distribución
- Programación lineal
- Programación entera/binaria
- Programación mixta
- Minera metalúrgica
- Excel
- Solver
- Transporte

RESUMEN EJECUTIVO

Actualmente, el proceso de programación de unidades para despachos en el Área de Transportes, se efectúa de manera manual. Las personas encargadas de realizar este trabajo -si bien es cierto se apoyan en la experiencia de años y en prácticas, que no han sido mejoradas desde hace ya buen tiempo- ocasionan inconvenientes con los demás Usuarios Internos, al no programar eficientemente las unidades. Por consiguiente, se quedan productos en stock sin ser despachados y, lo que es peor aún, genera en el Cliente Externo un malestar al no ser entregado el producto a tiempo.

La solución elegida, con el fin de mejorar este proceso, fue utilizar técnicas de programación lineal. Este modelo es alimentado con datos fácilmente disponibles, cuya solución arroja la asignación óptima de carga, aprovechando la capacidad máxima de unidad para carga entre las dos modalidades de transporte disponibles: Ferrocarril y Carretera.

Se espera reducir un mínimo de 3 a 4% por concepto de pagos de fletes.

Al tratarse de una técnica matemática, lo que se entregará al usuario deberá ser una interfaz amigable, que pueda ser fácilmente usado por él.

INTRODUCCION

El objetivo fundamental de este trabajo, al adoptar la solución propuesta, es poder ayudar a reducir el gasto de fletes pagados, de manera eficiente y sin tener que afectar negativamente el nivel de servicio.

Sólo en el 2007, el concepto por pago de fletes bordeó los 9 millones de dólares americanos, cifra que fue 10% superior a lo presupuestado. El Área de Transportes, como área que se encuentra dentro de la Cadena de Valor, cumple una función estratégica, porque es parte final de toda esa cadena, ya que sin el concurso de esta área, los productos no llegarían a tiempo y, su mala distribución haría que se incurra en fletes innecesarios; es decir: cuando se disponga de una mayor holgura para tiempos de entrega, es necesario usar la modalidad de transporte más económica, como es el ferrocarril y, cuando haya premura en despachar los productos, debido a que se adelantaron las fechas de entrega, es más conveniente emplear la modalidad carretera. Por consiguiente, estaríamos hablando aquí de las dos variables de decisión más importantes:

- Tiempos de entrega.
- Unidades disponibles para carga por modalidad.

La bondad de este modelo, basado en técnicas de Programación Lineal (PL), es saber conjugar todas esas variables para reconocer oportunamente qué modalidad de transporte se deberá usar, teniendo en cuenta, principalmente, los tiempos de entrega acordados. En la actualidad, esta variable no se emplea de manera adecuada, puesto que si se quisiera reducir drásticamente los niveles de flete pagados, simplemente se tendría que despachar íntegramente por vía férrea, porque el costo de transporte por esta modalidad es menor, comparado con la modalidad carretera; sin embargo, el nivel de servicio caería drásticamente, al alargarse los tiempos de entrega.

Gracias a la implementación de este modelo, se puede reducir los fletes pagados en 3 a 4%, optimizando solamente la asignación de unidades para despacho.

La herramienta desarrollada, no sólo servirá como una aplicación que ayude a simplificar el trabajo diario, si no que ayudará también a Planificar, al saber de manera oportuna, si las unidades con las que disponemos serán suficientes para efectuar el despacho del día siguiente; algo que no se ha venido tomando en cuenta, si no hasta que en el proceso mismo de

despacho, la persona encargada de distribuir las unidades se daba con la sorpresa que no contaba con las unidades suficientes y recién a partir de ese momento, se abocaba a la tarea de conseguir unidades para poder sacar toda la producción del día.

Asimismo, podemos asegurar que se podrá conocer, adicionalmente a la distribución óptima, el monto a pagar por fletes de esa distribución en forma diaria.

Entre las limitaciones de la implementación de esta solución podemos mencionar:

Al crear un interfaz en una aplicación conocida por el usuario, como es el software de Ofimática MS-Excel, sus limitaciones son también las restricciones para su implementación, ya que MS-Excel controla un número limitado de variables y restricciones. Actualmente, tal como viene funcionando el negocio, es viable hacer uso de este software, sin embargo cuando se amplíe la cartera de productos, se tendría que migrar a otro software capaz de soportar un mayor número de variables y restricciones.

Otra de las restricciones presentadas por este modelo es el hecho que las modificaciones sólo podrán hacerse por alguien que conozca las técnicas de programación lineal, el usuario se limitará a ingresar datos y utilizar los valores obtenidos (caja negra).

El informe se va a desarrollar en cuatro capítulos:

Capítulo 1-Antecedentes, se hace una presentación de la empresa DOE RUN PERU, organización donde se desarrollo el informe, presentaremos a la organización como tal, procesos, productos y clientes.

Capítulo 2-Marco Teórico, se expone el fundamento teórico, en el que sustentara el desarrollo de la solución propuesta.

Capítulo 3-Proceso de toma de decisiones, haciendo uso de la metodología de investigación de operaciones, se identifica el problema, se analiza el mismo, se diseña un modelo de PL que utilizaremos para obtener la solución, se verifica la coherencia de la solución obtenida antes de su implementación.

Capítulo 4-Evaluación de resultados, en esta parte del informe se realiza la comparación entre la solución obtenida al usar el modelo y el método actualmente empleado.

Y finalmente en el apartado de Conclusiones y Recomendaciones, se exponen aportes adicionales basados en la experiencia al desarrollar el informe.

CAPITULO I

ANTECEDENTES

DOE RUN PERU S.R.L., es una empresa Minero Metalúrgica ubicada en La Oroya, Provincia de Yauli, Departamento de Junín, a una altura de 3,726 m.s.n.m. y a 194 Km. de la ciudad de Lima.

En 1922, la Empresa Cerro de Pasco Cooper Corporation inició las operaciones del Complejo Metalúrgico de La Oroya con la Planta de Fundición de Cobre. A partir de esa fecha hasta 1973, la empresa diversificó sus operaciones hasta llegar a producir once metales básicos y trece subproductos.

En 1974, la empresa se estatizó, creándose la empresa Minera del Centro del Perú (Centromin Perú), hasta el 23 de Octubre de 1997.

Un día después, 24 de Octubre de 1997, ya privatizada la empresa, pasó a ser propiedad de DOE RUN PERÚ.

Actualmente, DOE RUN PERÚ cuenta con tres unidades operativas; La Oroya, Cobriza y Callao. Los metales y subproductos obtenidos en el complejo metalúrgico de La Oroya son transportados a los almacenes ubicados en el Callao, donde LICSA, una empresa contratista, realiza la recepción, almacenamiento, despacho y embarque para las exportaciones. Adicionalmente, se cuenta con una oficina en San Isidro, Lima, para las áreas administrativas.

Básicamente, el sistema productivo de DOE RUN PERU utiliza como materia prima concentrados metálicos de plomo, cobre y zinc, adquiridos principalmente de CORMIN, trader que tiene sus almacenes en el Callao, así como de otras compañías mineras ubicadas en las cercanías de La Oroya.

Para la producción de cobre, DOE RUN PERU recibe también concentrados de cobre de Cobriza, mina de su propiedad ubicada en el departamento de Huancavelica.

Los concentrados son trasladados hacia La Oroya por dos vías de transporte: Carretera y Ferrocarril. El Complejo Metalúrgico de La Oroya cuenta con las instalaciones apropiadas para poder recibir carga mediante estas dos modalidades.

Los concentrados de los distintos minerales llegan al Complejo Metalúrgico de La Oroya, para ser depositados en las plantas respectivas. En cada una de las plantas se va preparando, lo que los metalurgistas llaman "camas" o

“lechos de fusión”, que no es otra cosa que la combinación, por capas, de diferentes concentrados provenientes de distintos proveedores. Estos concentrados, al tener cada uno de ellos composiciones diferentes, hacen que los cálculos estequiométricos deban ser cuidadosamente elaborados, para evitar que el rendimiento del proceso se vea afectado negativamente. Las camas de minerales son intercaladas con fundentes como pirita (mineral con alta concentración de hierro) y silicato.

Una vez preparados los lechos de fusión, grandes rastrillos trasladan la preparación de concentrados hacia un mecanismo de fajas, llevando esta preparación hacia las fundiciones respectivas.

En las fundiciones ocurren procesos físico-químicos que transforman la combinación del polvo metálico y fundentes a un estado líquido; allí se puede notar la formación de dos fases: Mata (alta concentración de metal), y la Escoria (impurezas de la fusión, como óxidos metálicos). La mata pasa por unos convertidores que se encargan de aumentar la concentración del metal, este metal en estado líquido es moldeado en planchas para ser transportado luego a las respectivas refineras.

El último paso para la obtención de los metales es el refinado. En esta fase -por medio de procesos de Electrorefinación (Cu y Pb) y Electrodeposición (Zn)- se obtienen metales con una concentración de 99.999%.

Cabe mencionar que durante la obtención de los 3 minerales principales: Cu, Zn, Pb, a través de otros procesos y subprocesos, se obtienen otros minerales y subproductos.

1.1 Diagnóstico estratégico:

1.1.1.- *Fortalezas y Debilidades*

Fortalezas:

- Complejo metalúrgico que permite procesar concentrados polimetálicos de diferentes calidades.
- Personal profesional altamente calificado.
- Alta Calidad de productos.
- Cercanía a las diferentes minas de la Sierra Central.
- Buena percepción de parte de los clientes en el mercado de metales.
- Certificaciones obtenidas: ISO-9001, ISO14001, OSHAS 18001, exigidas por clientes externos.

Debilidades:

- Equipos e instalaciones antiguos, que datan de hace más de 50 años.
- Trabajadores con promedio de edad por encima de los 55 años y próximos a jubilarse.

- Ubicación distante al puerto del Callao para despacho de sus productos y recepción de la Materia Prima importada.
- Existencia de un sindicato de trabajadores que ejerce presión para la obtención de beneficios a costa de paradas de producción.
- Ineficiencia en algunos procesos, como los destinados a manejar la emisión de gases.

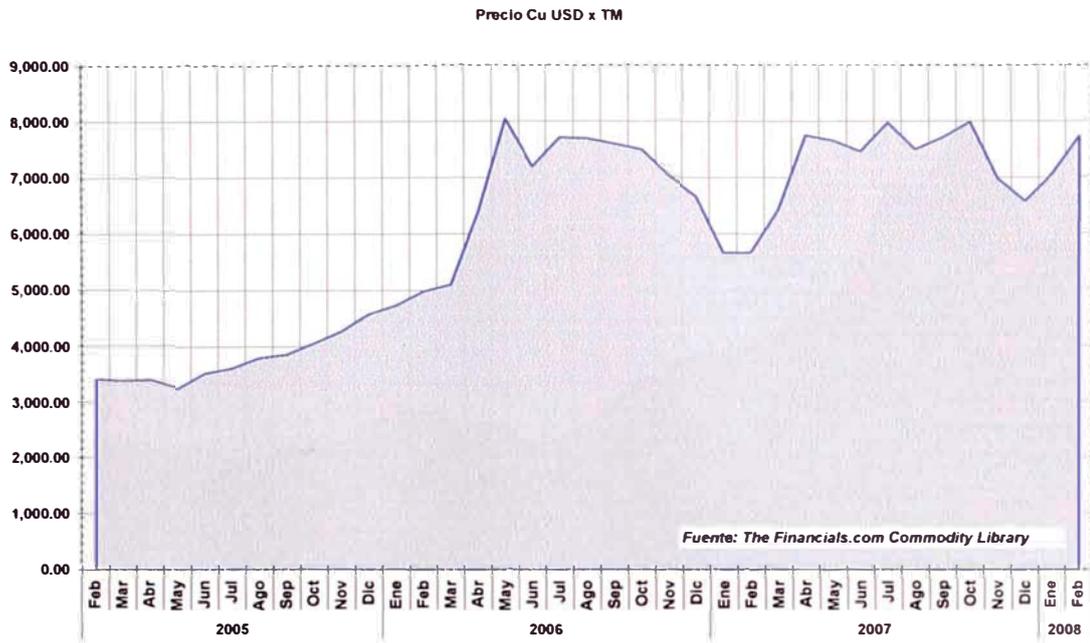
1.1.2.- Amenazas y Oportunidades

Amenazas:

- Nueva reglamentación adoptada por el Estado Peruano en lo referente a Control Ambiental.
- Presencia de algunas ONG dentro de los sindicatos de DOE RUN PERU.
- Precio del Dólar con tendencia a la baja.
- Mayor competencia en la compra de materia prima, principalmente concentrados metálicos, por incremento de la demanda en China, Corea e India.
- Competencia Agresiva de empresas acopiadoras (Traders), cuyo negocio es la comercialización de concentrados metálicos.

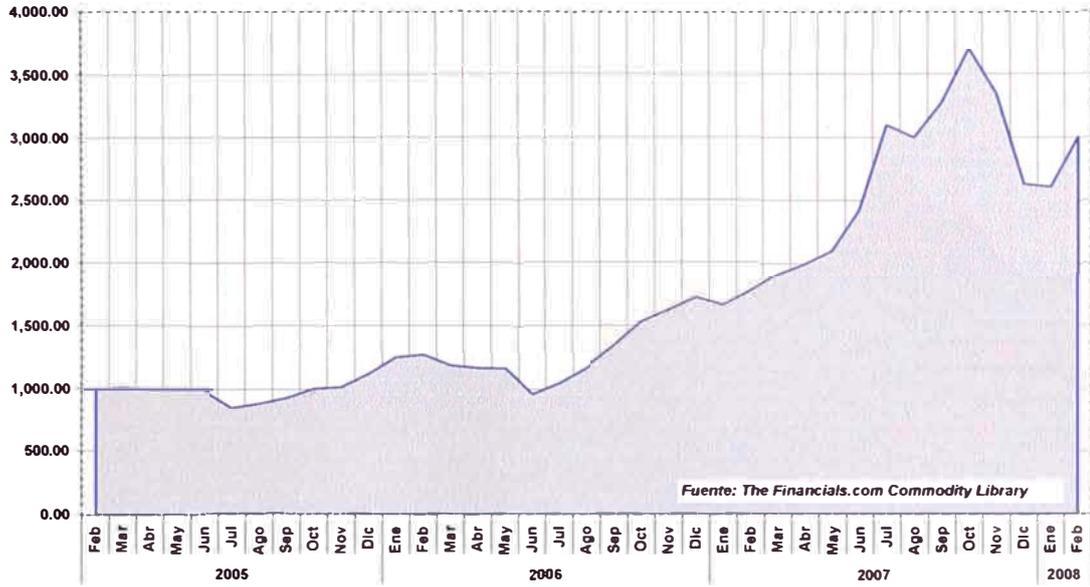
Oportunidades:

- Tendencia alcista en el precio de los metales.
- Aparición de nuevas tecnologías para la minería y fundición.
- Interés de proveedores por vender chatarra metálica de Cu, Pb y Zn.
- Aparición de nuevas aplicaciones de metales producidos, como por ejemplo el Indio, usado principalmente en televisores y monitores LCD.
- Demanda de productos no metálicos en el exterior.
- Aparición de nuevos clientes demandantes de productos producidos por DOE RUN PERU.
- Situación económica estable del país.
- Apoyo gubernamental a la inversión minera.



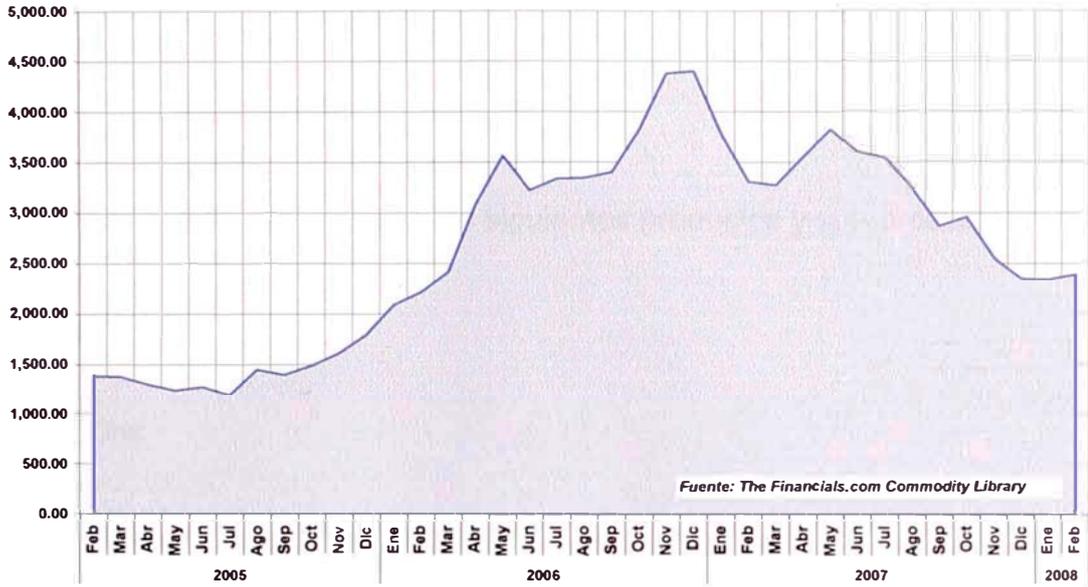
Evolución del precio del Cobre refinado Feb-05 a Feb-08

Precio Pb USD x TM



Evolución del precio del Plomo refinado Feb-05 a Feb-08

Precio Zn USD x TM



Evolución del precio del Zinc refinado Feb-05 a Feb-08

1.2 Diagnóstico funcional

1.2.1.- *Productos*

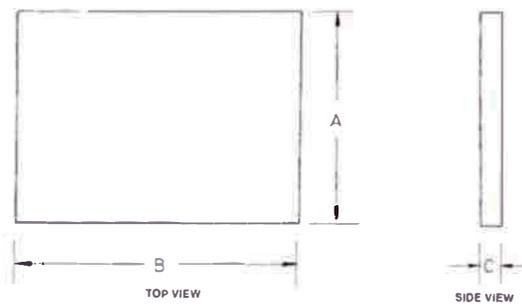
DOE RUN PERU comercializa los siguientes productos y sub-productos:

Productos

- Zinc
- Plomo
- Cobre
- Plata
- Oro
- Indio
- Bismuto
- Cadmio
- Telurio
- Antimonio
- Selenio

Sub-productos

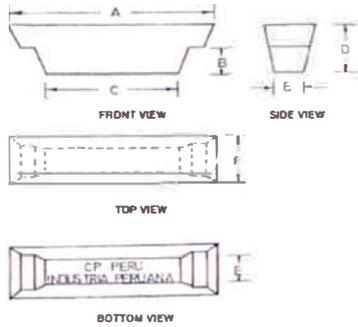
- Polvo de zinc
- Acido sulfúrico
- Trióxido de Arsénico
- Sulfato de Cobre
- Sulfato de Zinc
- Concentrados Ag -Zn
- Oxido de Zinc
- Bisulfito de sodio



DIMENSIONS					
TYPE	SIZE	UNITS	A	B	C
			Tolerance: ±2 %	Tolerance: ±3 %	Tolerance: ±0 %
1	FULL	inch	30	35	146.34
		mm	762	889	3711.6
2	HALVES	inch	15	35	146.34
		mm	381	889	3711.6
3	QUARTERS	inch	7.62	35	146.34
		mm	193	889	3711.6

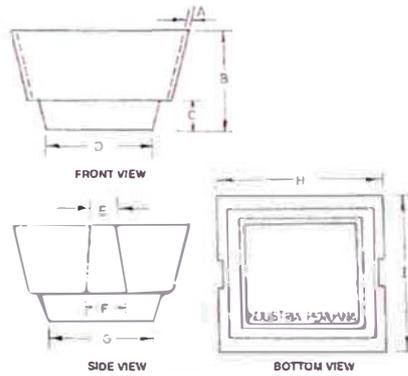
Presentación de Cobre refinado para venta

INGOTS



DIMENSIONS						
Units	A	B	C	D	E	F
inch	22	2 1/4	17 1/8	4 1/4	2 1/4	4
mm	565	67	438	108	62	102

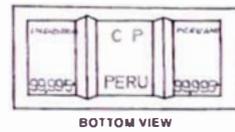
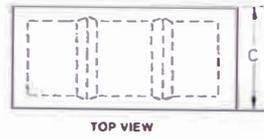
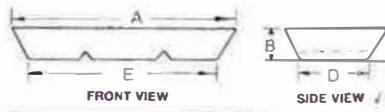
BLOCKS



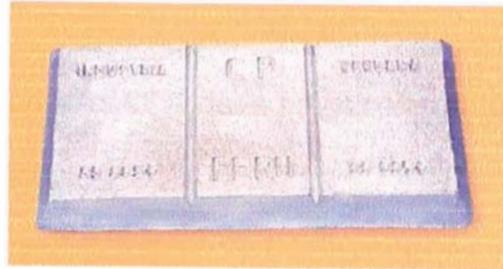
DIMENSIONS										
TO	Units	A	B	C	D	E	F	G	H	I
USA	inch	10	10 1/2	8	15 1/4	8	11 1/2	18 1/4	23 3/4	23 3/4
	mm	254	267	203	390	203	292	464	603	603
BRAZIL	inch	5 1/2	12 1/2	3 3/4	17	8	11 1/2	17	26 1/2	26 1/4
	mm	138	317	95	432	203	292	432	673	673

Presentación de Plomo refinado para venta

PLAIN SLABS



MARKS: Bottom Cast:
Industria CP Peruana
99,995 + PERU 99,995+



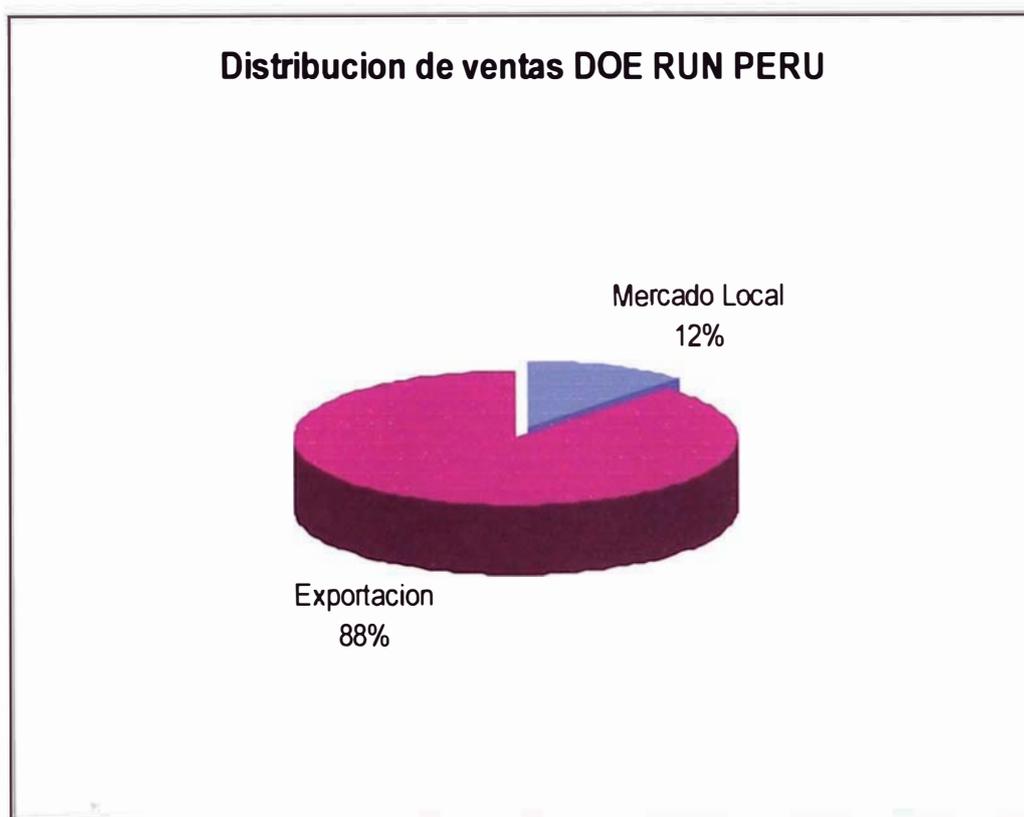
Tolerancia ± 0,2%

DIMENSIONS						
SHAPE	UNITS	A	B	C	D	E
Slab	lcs	18,34	1,84	9,14	7,64	17,84
	mm	47,6	48	23,1	19,7	45,8

Presentación de Zinc refinado para venta

1.2.2.- Clientes

En su mayoría son clientes del exterior, el 88% de la producción se exporta y el 12% se comercializa a nivel nacional.



Distribución de ventas DOE RUN PERU

Los clientes están comprendidos en los 5 Continentes, así tenemos:

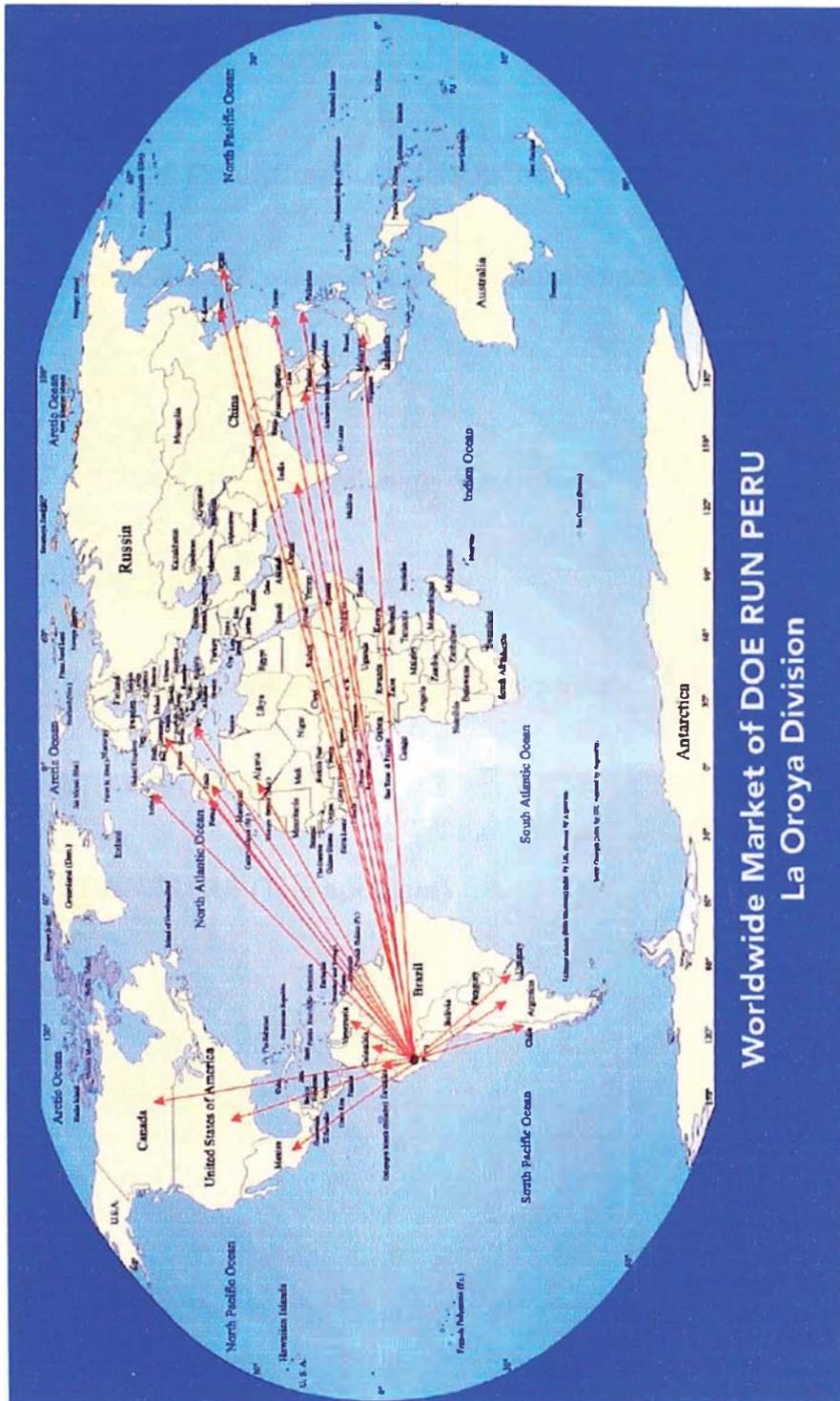
América del Norte: Canadá, USA, México.

América del Sur: Ecuador, Colombia, Venezuela, Chile, Argentina, Uruguay.

Europa: Irlanda, Alemania, Italia, Portugal, España.

África: Argelia.

Asia: Corea del Sur, Japón, Taiwán, India, Tailandia, Filipinas, Malasia



Worldwide Market of DOE RUN PERU
La Oroya Division

UBICACIÓN DE CLIENTES DOE RUN PERU A NIVEL MUNDIAL

1.2.3.- *Proveedores*

Los principales proveedores, en cuanto a importancia por el Volumen de compras son:

- Shell del Perú (Combustible y lubricantes)
- Refractarios Peruanos (Ladrillos refractarios)
- EXSA (Explosivos)
- CORMIN (Concentrados de minerales)
- TRANSVER (Transportista)
- Ferrocarril Central Andino (Transportista)
- TRANSA (Transportista)
- TRANSAGUI (Transportista)

1.2.4.- *Procesos*

DOE RUN PERU, basa su gestión en una serie de procesos, los cuales han sido agrupados en 4 grandes grupos:

- Procesos de Gestión Estratégica.

A través del proceso de planificación estratégica, se identifican y se convierten los requisitos del cliente y del mercado en una estrategia de negocios, a fin de identificar los mercados que se deben servir y los productos que se han de ofrecer.

La visión, misión, política, los objetivos y metas empresariales sirven para alinear a todo el personal, a fin de hacer realidad los propósitos de la organización. Este grupo incluye, también los procesos de revisión por la gerencia, lo cual permite asegurar la eficacia del desempeño del sistema de gestión de calidad de la organización.

- Procesos de Cadena de Valor

El proceso de ventas identifica los requisitos especificados por el cliente, incluyendo los requisitos para las actividades de entrega y las posteriores a la misma. Esta información es insumo para el proceso I+D que investiga la factibilidad del desarrollo del producto.

El proceso de planificación de la producción organiza las actividades, contempla los responsables y recursos necesarios para producción de metales y subproductos.

Los procesos de fundición y refinación transforman la materia prima en productos de valor para el cliente. Control de calidad inspecciona estos productos, a fin de liberar y ser transportados a los almacenes del Callao para su venta local o exportación.

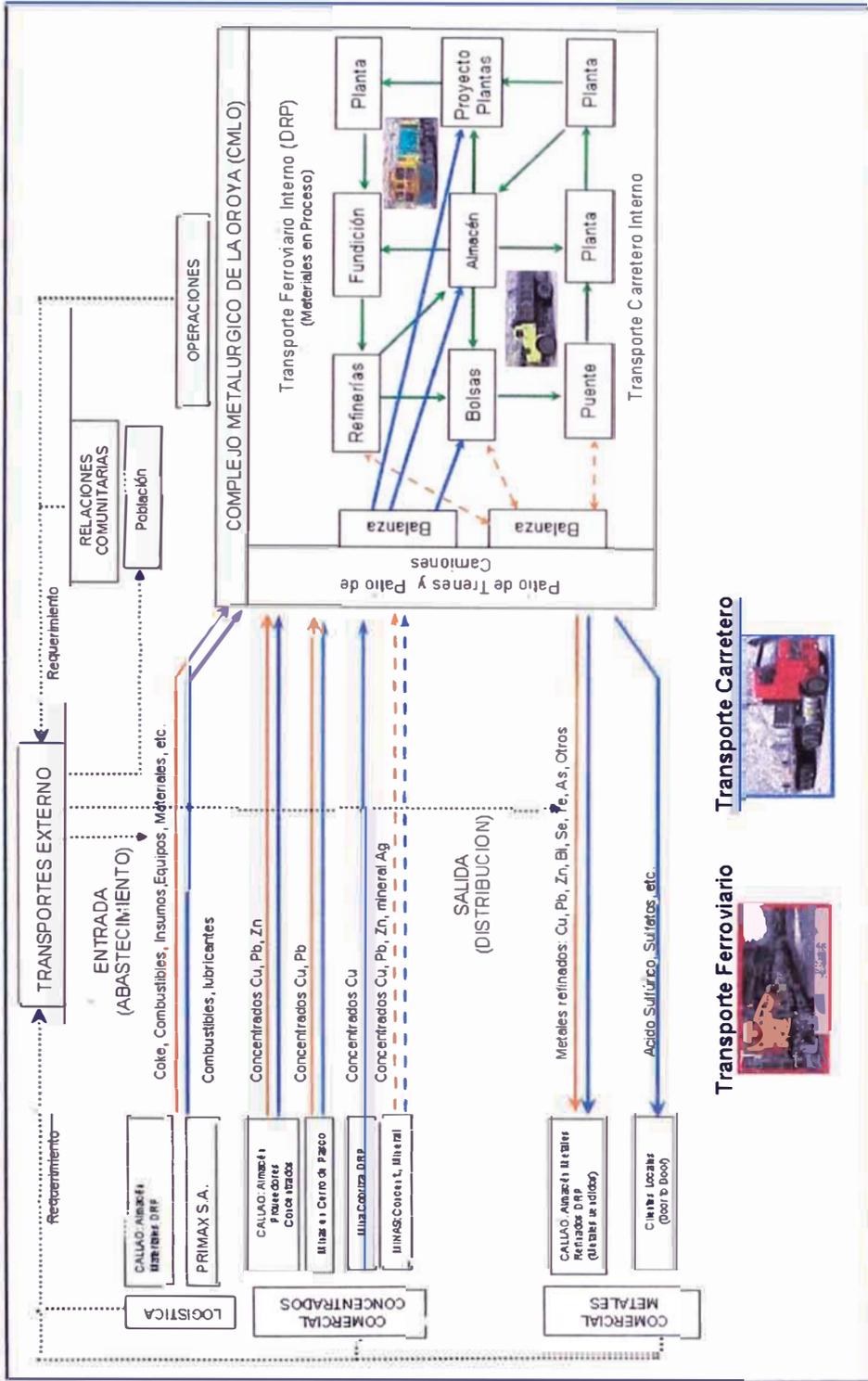
Despacho es un proceso externo controlado de entrega de productos al cliente.

- **Procesos de Recursos/Soporte**

Son procesos de apoyo para los procesos de cadena de valor como mantenimiento, desarrollo de capital humano, ferrocarril interno, tecnología de información, seguridad empresarial, control analítico.

- **Procesos de Medición, Análisis y Mejora**

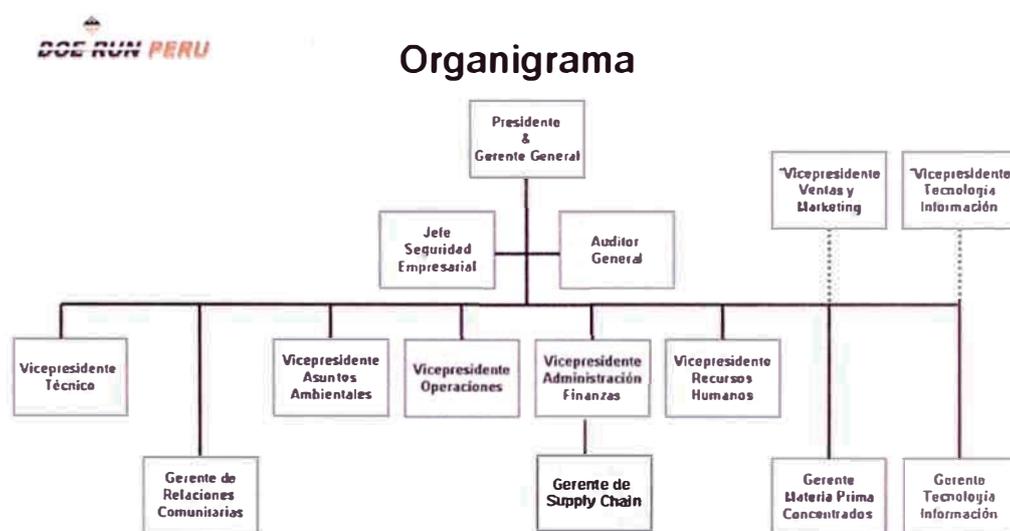
Son los procesos necesarios para realizar el seguimiento y control necesario de nuestro sistema de gestión de calidad. Los procesos miden y recopilan datos para realizar el análisis del desempeño y la mejora de la eficacia y la eficiencia. Los procesos de seguimiento, dispositivos de medición y monitoreo, control de procesos, gestión de calidad, reclamo y satisfacción de clientes son una parte integral de los procesos de gestión, gestión de procesos de cadena de valor y recursos/soporte.



ESQUEMA DE TRANSPORTE

1.2.5.- Organización de la empresa

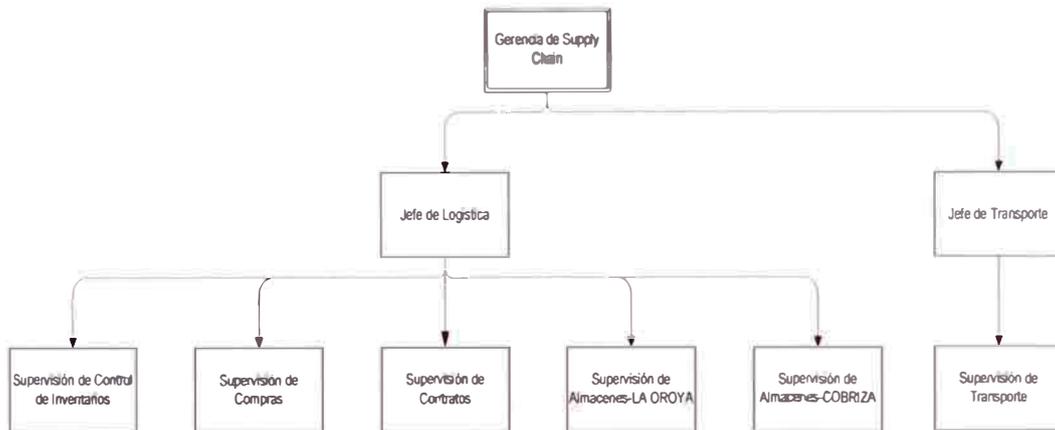
La organización de DOE RUN PERU esta conformada por un Presidente y Gerente General y varias Vice-presidencias, éstas a su vez cuentan con osus respectivas Gerencias.



H COMPANY USA

Organigrama General de DOE RUN PERU

El Área de Transportes y el Área de Logística forman parte de la Gerencia de Supply Chain



Organigrama Supply Chain DOE RUN PERU

El Área de Transportes, administra los contratos con los transportistas y , tiene como objetivo principal, efectuar la distribución óptima de las unidades de carga para la venta de productos y sub-productos, así como de poner a disposición de las Áreas Logística y Comercial, las unidades de carga suficientes para el abastecimiento de materia prima e insumos destinados al Complejo Metalúrgico de La Oroya.

El trabajo desarrollado en este informe surge a raíz de la necesidad del Área de Transporte de optimizar el proceso de despacho de las unidades de carga al menor costo posible.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

El modelamiento es una de las áreas más atractivas de la ingeniería y las ciencias aplicadas. De hecho, los ingenieros necesitan construir modelos para resolver problemas de la vida real. El objetivo de un modelo consiste en reproducir la realidad de la manera más fiel posible, tratando de entender cómo se comporta el mundo real y obteniendo las respuestas que pueden esperarse de determinadas acciones. En la práctica, se utilizan muchos tipos de modelos, tales como modelos de ecuaciones diferenciales, modelos de ecuaciones funcionales, modelos en diferencias y de elementos finitos y modelos de programación matemática.

La selección del modelo adecuado para reproducir la realidad es una etapa crucial para obtener una solución satisfactoria a un problema real. Las estructuras matemáticas asociadas no son arbitrarias, sino una consecuencia de la realidad misma.

Los problemas de programación matemática son problemas particulares a los que uno se enfrenta con cierta frecuencia. Uno está preparado para resolverlos, usando muchas de las herramientas disponibles, procedimientos o paquetes de software. De hecho, estos problemas se estudian en detalle en los estudios de pre-grado y postgrado. Sin embargo, uno puede no estar preparado para resolver otros problemas muy frecuentes como:

1. Problemas de programación lineal con muchas variables y/o restricciones
2. Problemas de programación no lineal
3. Técnicas de descomposición para problemas por resolver con herramientas de programación matemática
4. Reglas para transformar otros problemas en problemas de programación matemática

Para el desarrollo del presente trabajo, se ha adoptado las teorías de programación Lineal y dos casos particulares de este trabajo: el Modelo del Transporte y el Modelo de asignación.

Programación lineal

La programación matemática es una potente técnica de modelado, usada en el proceso de toma de decisiones. Cuando se trata de resolver un problema de este tipo, la primera etapa consiste en: identificar las posibles decisiones que pueden tomarse; esto lleva a identificar las variables del problema concreto. Normalmente, las variables son de carácter cuantitativo y se buscan los valores que optimizan el objetivo. La segunda etapa supone determinar qué decisiones resultan admisibles; esto conduce a un conjunto de restricciones que se determinan, teniendo presente, la naturaleza del problema en cuestión. En la tercera etapa, se calcula el coste/beneficio asociado a cada decisión admisible; esto supone determinar una función objetivo que asigna a cada conjunto posible de valores (para las variables que determinen una decisión) un valor de coste/beneficio. El conjunto de todos estos elementos define el problema de optimización.

La programación lineal (PL), que trata exclusivamente con funciones objetivos y restricciones lineales, es una parte de la programación matemática, y una de las áreas más importantes de la matemática aplicada. Se utiliza en campos como la ingeniería, la economía, la gestión, y muchas otras áreas de la ciencia, la técnica y la industria.

Se debe resaltar que, cualquier problema de programación lineal requiere identificar cuatro componentes básicos:

1. El conjunto de datos.
2. El conjunto de variables involucrado en el problema, junto con sus dominios respectivos de definición.
3. El conjunto de restricciones lineales del problema que define el conjunto de soluciones admisibles.
4. La función lineal que debe ser optimizada (minimizada o maximizada).

Asimismo, un problema de programación lineal debe satisfacer 4 suposiciones básicas:

1. Suposición de certidumbre

Los parámetros del sistema se conocen con certeza

2. Suposición de divisibilidad

Las variables pueden tomar valores fraccionarios (valores reales)

3. Suposición de proporcionalidad

La contribución de cada variable a la función objetivo y al lado izquierdo de cada restricción es proporcional al valor de la variable.

4. Suposición de Aditividad

La contribución de cada variable a la función objetivo y al lado izquierdo de cada restricción es independiente de los valores de las otras variables.

El problema del transporte

En esta sección se presenta y se describe el problema del transporte.

Imagínese que cierto producto debe enviarse en determinadas cantidades u_1, \dots, u_m , desde cada uno de m orígenes, y recibirse en cantidades v_1, \dots, v_n , en cada uno de n destinos. El problema consiste en determinar las cantidades x_{ij} , que deben enviarse desde el origen i al destino j , para conseguir minimizar el coste del envío.

Los cuatro elementos principales de este problema son:

1. Datos

m : el numero de orígenes

n : el numero de destinos

u_i : la cantidad que debe enviarse desde el origen i

v_j : la cantidad que debe ser recibida en el destino j

c_{ij} : el coste de envío de una unidad de producto desde el origen i al destino j

2. Variables

x_{ij} : la cantidad que se envía desde el origen i al destino j .

Se supone que las variables deben ser no negativas:

$$x_{ij} \geq 0; i = 1, \dots, m; j = 1 \dots, n \quad (1.1)$$

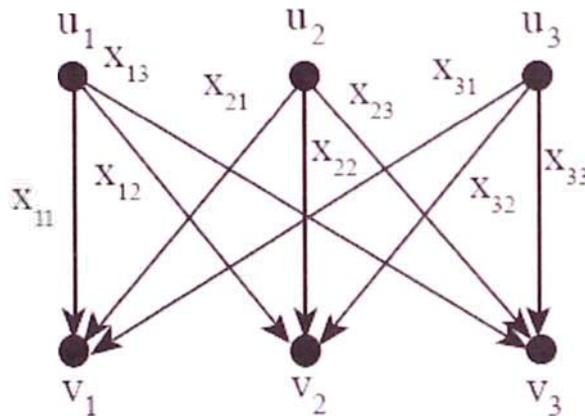
Esto implica que la dirección de envío del producto esté prefijada desde los distintos orígenes hasta los destinos. No obstante, podrían tenerse en cuenta otras hipótesis. Por ejemplo, podría no limitarse el signo de las variables $x_{ij} \in \mathbb{R}$, si no se quiere predeterminar cuáles son los puntos de partida y llegada.

3. Restricciones

Las restricciones de este problema son:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = u_i; i = 1, \dots, m$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = v_j; j = 1, \dots, n \quad (1.2)$$



Esquema del problema del transporte.

El primer conjunto de condiciones indica que, la cantidad del producto que parte del origen i , debe coincidir con la suma de las cantidades que parten de ese origen hasta los distintos destinos $j = 1, \dots, n$.

El segundo conjunto de condiciones asegura que, el total recibido en el destino j , debe corresponder a la suma de todas las cantidades que llegan a ese destino y parten de los distintos orígenes $i = 1, \dots, m$.

Aquí hay que distinguir entre las cotas de las variables (1.1) y las restricciones del problema (1.2).

4. Objetivo que debe optimizarse.

En el problema del transporte nos interesa normalmente minimizar los costes de envío (suma de los costes de envío por unidad de producto multiplicado por las cantidades enviadas);

es decir, se debe minimizar:

$$Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \quad (1.3)$$

Una vez que se han identificado estos cuatro elementos, se está preparado para resolver el problema.

$$\sum_{i=1}^n u_i = \sum_{j=1}^m v_j$$

Problema de Asignación

Los problemas de asignación presentan una estructura similar a los de transporte, pero con dos diferencias:

1. Asocian igual número de orígenes con igual número de demandas y
2. Las ofertas en cada origen es de valor uno, como lo es la demanda en cada destino.

Hay muchos problemas típicos de programación lineal en los que las variables tomaban valores reales. Sin embargo, en muchos casos realistas, algunas de las variables no son reales sino enteras, o incluso están más restringidas siendo binarias, es decir, que toman exclusivamente los valores 0 o 1. El empleo de variables enteras hace más complejo el problema de programación lineal, debido a la ausencia de continuidad.

El problema de asignación debe su nombre a la aplicación particular de asignar hombres a trabajos (o trabajos a máquinas), con la condición de que cada hombre puede ser asignado a un trabajo y, que cada trabajo tendrá asignada una persona.

La condición necesaria y suficiente para que este tipo de problemas tenga solución, es que se encuentre balanceado, es decir, que los recursos totales sean iguales a las demandas totales.

El modelo de asignación tiene sus principales aplicaciones en: Trabajadores, Oficinas al personal, Vehículos a rutas, Máquinas, Vendedores a regiones, productos a fabricar, etc.

$$\min \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij}$$

Sujeto a:

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = 1, j = 1 \dots n$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1, i = 1 \dots m$$

$$x_{ij} \in \{0,1\}$$

Programación lineal entera

En algunas situaciones que pueden representarse con modelos lineales, nos encontramos con que sólo tienen sentido aquellas soluciones de la región factible, en las que todas o algunas de las variables de decisión sean números enteros. Estas situaciones pueden representarse mediante modelos matemáticos ligeramente diferentes de la programación lineal. Si todas las variables de decisión deben ser enteras, tenemos un problema de programación lineal entera. Si sólo algunas variables de decisión deben ser enteras, pudiendo ser reales las demás, se trata de un problema de programación lineal mixta.

En algunos casos, todas o algunas de las variables enteras, sólo pueden tomar los valores de 0 o 1. A estas variables se les llama variables binarias.

De este modo tenemos tres tipos de variables:

- a) Variables no enteras o reales
- b) Variables enteras
- c) Variables binarias

La posibilidad de utilizar variables enteras o binarias amplía notablemente las posibilidades de modelización matemática. El precio por una mayor versatilidad de la herramienta es el de una mayor complejidad en la resolución del modelo. Esta complejidad se debe a los siguientes hechos:

Para las variables enteras del modelo, el razonamiento que se empleó para mostrar que la solución óptima era un vértice (o una combinación convexa de vértices) de la región factible no es válido: en un caso general, los vértices de la región factible no tienen porqué ser números enteros. En consecuencia, la solución óptima se encontrará en el interior de la región factible, por lo que el método simplex, empleado de forma directa, no proporcionará la solución óptima.

A diferencia del problema con variables reales, el número de soluciones de un modelo de programación lineal entera es finito, por lo que podría plantearse la posibilidad de encontrar la solución, mediante la exploración de todas las soluciones posibles. Sin embargo, el número de soluciones que se van a explorar para un problema mediano puede ser muy elevado: en principio, para un problema con n variables enteras debemos explorar 2^n soluciones (excluyendo quizás algunas descartadas por las restricciones).

Para $n = 30$, tenemos $2^{30} = 1.073.741.924$ soluciones posibles.

Se han desarrollado metodologías que permiten explorar, de manera más eficiente que la mera enumeración, el conjunto de soluciones posibles. Gran número de estas metodologías emplean la lógica del branch and bound y están incorporadas a la mayoría de programas informáticos que resuelven modelos lineales. Seguidamente, se muestra este procedimiento y cómo resolver modelos de programación entera mediante programas informáticos.

Programación lineal con variables binarias

El uso de variables binarias permite introducir planteamientos de decisión en programación entera y, permite representar gran número de situaciones. Sin ánimo de ser exhaustivos, detallaremos, a continuación, alguna de ellas:

- **Alternativas mutuamente excluyentes**

Muchos grupos de decisiones pueden ser del tipo sí o no y además requerir que sólo una de las decisiones del grupo puede ser si. En este caso, las alternativas son mutuamente excluyentes y cada grupo requiere una restricción que obligue a la suma de las variables binarias igual a 1 (si exactamente una decisión debe ser si), o menor o igual a 1 (si como máximo una decisión de ese grupo puede ser si)

Ejemplos:

Sean X_1 y X_2 variables binarias, que toman los valores 0 y 1

Si tengo 2 variables y quiero que solamente una de ellas tome el valor de 1, entonces:

$$X_1 + X_2 = 1$$

Si tengo 2 variables y quiero tener la posibilidad de que cualquiera de ellas pueda asumir el valor de 1 o ambas ser ceros:

$$X_1 + X_2 \leq 1$$

- **Decisiones contingentes**

Una situación contingente ocurre cuando una acción que sigue a otra se vuelve irrelevante y, a veces imposible, dependiendo de la acción inicial, lo que implica que la decisión contingente dependa de decisiones previas, por ejemplo: una decisión es contingente sobre otra, si permite que sea SI solo si la otra es SI.

Ejemplo:

Sean X_1 y X_2 variables binarias, que toman los valores 0 y 1

Si X_1 asume el valor de 1, entonces X_2 deberá ser cero:

$$X_2 \leq X_1 \quad \text{ó}$$

$$X_2 - X_1 \leq 0$$

- **Restricciones de una u otra**

Se puede considerar el caso en el que se debe elegir entre dos restricciones, de manera que sólo una de las dos (cualquiera de ellas) se tenga que cumplir (la otra puede cumplirse pero no se requiere que lo haga)

Ejemplos:

Sean X_3 y X_4 variables reales sujetas a las siguientes restricciones:

$$X_3 \leq A$$

$$X_4 \leq B$$

Queremos que solamente una de ellas sea la restricción activa, entonces debemos hacer uso de una variable binaria.

Sea y una variable binaria, que toman los valores 0 y 1

Entonces:

Sea " M " una variable real muy grande, entonces:

$$X_3 \leq A + M \times y \quad (1)$$

$$X_4 \leq B + M \times (1 - y) \quad (2)$$

Así tenemos que, si " y " asume el valor de 1 entonces la restricción (1) no estará limitada y la restricción (2) si estará limitada y viceversa.

Podemos tener el caso también de restringir los valores de dos variables que adoptan variables reales, pero que sólo nos sea permitido que una de ellas asuma un valor, es decir, si una asume un valor, la otra debe ser cero.

Sean X_5 y X_6 variables reales y Y_5 y Y_6 variables binarias, que toman los valores 0 y 1

Si sólo queremos que una sola asuma valores reales y la otra sea cero, entonces:

$$Y_5 + Y_6 \leq 1$$

$$X_5 \leq M \times Y_5$$

$$X_6 \leq M \times Y_6$$

Donde "M" es una constante muy grande

CAPITULO III

PROCESO DE TOMA DE DECISIONES

1.3 Planteamiento del Problema

El problema central, que es motivo de desarrollo del presente informe, es la inadecuada Distribución de carga por modalidad de Transporte, lo que trae como consecuencia lo siguiente:

- Pérdida de embarques por entregas fuera de fecha, lo que obliga a la empresa a asumir el costo por penalización, al haber hecho una reserva de espacio para el transporte de productos.
- Quejas de los clientes, al no ser atendidos sus requerimientos a tiempo.
- Pago de fletes en exceso, al no distribuir, oportunamente, las cargas en la modalidad adecuada. Durante el 2007, se pagó un 10% del total presupuestado por el Área de Transportes para fletes.

1.4 Alternativas de Solución

Para resolver este problema, se tienen dos alternativas:

- Alternativa 1: Implementar un módulo dentro del ERP People Soft.

Ventajas:

Se podrá contar con un módulo que esté integrado con el ERP.

Se contará con data histórica almacenada, a la que se podrá recurrir para obtener reportes para toma de decisiones.

Desventajas:

Tiempo de desarrollo e implementación muy largo aprox. 4 meses de solicitado el pedido.

Complicada adaptación del Algoritmo de solución al lenguaje de desarrollo People Soft.

Desconocimiento del personal de TI acerca de los Procesos de Transporte.

- Alternativa2: Resolver el problema, diseñando un modelo de programación lineal.

Ventajas:

Corto tiempo para su desarrollo.

Adaptabilidad, uso del modelo como prototipo y de fácil modificación.

Desventajas:

Adquisición de Software adicional para desarrollar el modelo.

Uso del modelo por personal técnicamente poco calificado

1.5 Evaluación de alternativas de solución

Para efectuar la evaluación de alternativas, se tuvieron presente los siguientes criterios:

- Empleo de recursos: Se refiere a la cantidad de recursos empleados para desarrollar una alternativa de solución, pueden ser del tipo financiero, equipos, mano de obra, etc.
- Tiempo de desarrollo: El tiempo necesario que se utiliza para analizar el problema, diseñar una alternativa de solución y finalmente su implementación.
- Integración a ERP: Actualmente la organización cuenta con el ERP People Soft, la alternativa de solución que se evalúa debe tener la capacidad de poder integrarse a este ERP.
- Flexibilidad: La alternativa de solución obtenida debe ser capaz de poder adaptarse ante los cambios en las reglas de negocio o de nuevas necesidades de los clientes.

(Ver Cuadro de evaluación de alternativas en la siguiente página).

TABLA DE EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS

Nº	Criterio/Alternativas	Alternativa 1: Creación Módulo People Soft	Alternativa 2: Diseño de un modelo de programación lineal
1	Empleo de recursos	2	4
2	Tiempo de desarrollo	1	4
3	Integración a ERP	5	2
4	Flexibilidad	2	3

Escala de calificaciones:

1. Malo
2. Regular
3. Satisfactorio
4. Bueno
5. Muy bueno

TABLA DE PESOS DE LOS CRITERIOS

Criterio/Alternativas	Peso
Empleo de recursos	0.4
Tiempo de Desarrollo	0.3
Integración a ERP	0.2
Flexibilidad	0.1
Total	1.0

El criterio: Empleo de recursos (0.4), es el que posee el peso más alto, puesto que la alternativa de solución deberá poder desarrollarse al menor costo posible y en la medida de lo posible con recursos propios del área originadora.

El criterio: Tiempo de desarrollo (0.3), es también uno de los más importantes, debido a que la alternativa de solución tendrá que efectuarse en el menor tiempo posible para mejorar la eficiencia del área originadora y evitar seguir incurriendo en costos que no se tuvo presupuestado.

El criterio: Integración a ERP (0.2), si bien es cierto para otras organizaciones es muy importante porque tienen la información disponible en una sola aplicación, en el caso de DRP, por ahora no es algo muy importante ya que este sistema tiene poco tiempo de implementado y si una solución se desarrolla haciendo uso de cualquier herramienta, antes de integrarlo al ERP se tendrá que comprobar su utilidad y sobretodo el

beneficio que representa para la organización, antes de ser integrado, porque de lo contrario a parte de los consabidos problemas de integración se adicionaría el tiempo empleado en corregir errores de la solución misma, algunas áreas optan por adoptar soluciones aisladas que funcionan perfectamente y que no lo hacen así cuando son integradas.

El criterio: Flexibilidad (0.1), en estos momentos no es primordial, porque la organización difícilmente cambiara sus reglas de negocio; no se tiene planeado incrementar la cartera de productos y tampoco está planeado aumentar la capacidad de producción, por lo menos hasta que culminen los compromisos adquiridos con el Gobierno Peruano y el Proyecto de modernización tecnológica, algo que tomara aproximadamente 3 años.

(Ver Cuadro de evaluación ponderada de alternativas en la siguiente página).

TABLA DE EVALUACIÓN PONDERADA DE ALTERNATIVAS

Nº	Criterio/Alternativas	Alternativa 1: Creación Módulo People Soft	Alternativa 2: Diseño de un modelo de programación lineal
1	Empleo de recursos	0.6	1.2
2	Tiempo de Desarrollo	0.3	1.2
3	Integración a ERP	1.5	0.6
4	Flexibilidad	0.6	0.9
	Total	3.0	3.9

Alternativa seleccionada:

Alternativa 2: Diseño de un modelo de programación lineal

Se optó por esta alternativa, debido a las siguientes razones:

- El modelo de PL se puede tomar como prototipo y seguir perfeccionándolo, algo que es más complicado, si se desarrolla un

módulo integrado; los cambios son mayores y su desarrollo es más tedioso, además se depende exclusivamente de TI.

- El uso de recursos es menor, porque se emplea menor tiempo de horas hombre y, por consiguiente se emplea menores recursos financieros.
- Para solucionar el modelo, se puede hacer uso del Microsoft-Excel que puede soportar el número de las restricciones del modelo; además de que el usuario ya está familiarizado con su uso y, fácilmente, puede construirse una interfaz amigable.

1.6 Metodología para el desarrollo de la alternativa seleccionada

El problema se va a resolver utilizando la Metodología de la Investigación de Operaciones, la cual tiene las siguientes etapas:

- Análisis del problema
- Formulación del problema como un modelo de programación lineal
- Solución del modelo
- Validación del modelo
- Implementación del modelo

El objetivo es diseñar un modelo de programación Lineal, que optimice los despachos de los diferentes productos que comercializa DOE RUN PERU. Este modelo nos servirá para distribuir las cargas de los distintos productos, entre dos opciones de envío: transporte carretero o transporte ferroviario, pudiendo ocurrir que un mismo producto sea despachado con ambas modalidades o solo una de ellas. Cada medio de transporte contará con un número de unidades disponibles, las mismas que tendrán una capacidad de carga no necesariamente iguales. Lo que buscaremos será la distribución óptima al menor costo y, que a su vez no afecte el nivel de servicio al cliente.

1.6.1.- *Análisis del problema*

Actualmente, la distribución de carga se realiza en forma manual, práctica heredada de la antigua CENTROMIN PERU. Esta actividad se realiza en base a la experiencia y sin ningún criterio técnico, lo cual ocasiona que el costo de transporte, en general, aumente y, que el stock diario en muchas ocasiones quede sin despacharse.

DOE RUN PERU tiene 5 plantas desde donde se despachan los metales refinados y los concentrados; estos son:

Refinería de Cobre, Refinería de Plomo, Refinería de Zn, Planta de Preparación y Planta de Ferritas.

De estas plantas se despachan los siguientes productos:

Refinería de cobre: Cobre refinado, Selenio refinado, Telurio refinado y Bismuto refinado

Refinería de Plomo: Plomo refinado

Refinería de Zn: Zinc refinado

Planta de Preparación: Concentrados de Cu Cobriza

Planta de Ferritas: Concentrado Zn/Ag

En menor frecuencia -y son sólo despachos puntuales- se transporta Sulfato de Zn y Sulfato de Cobre.

Los metales preciosos: Oro, Plata e Indio son transportados por una empresa de seguridad, ya que se trata de carga valiosa.

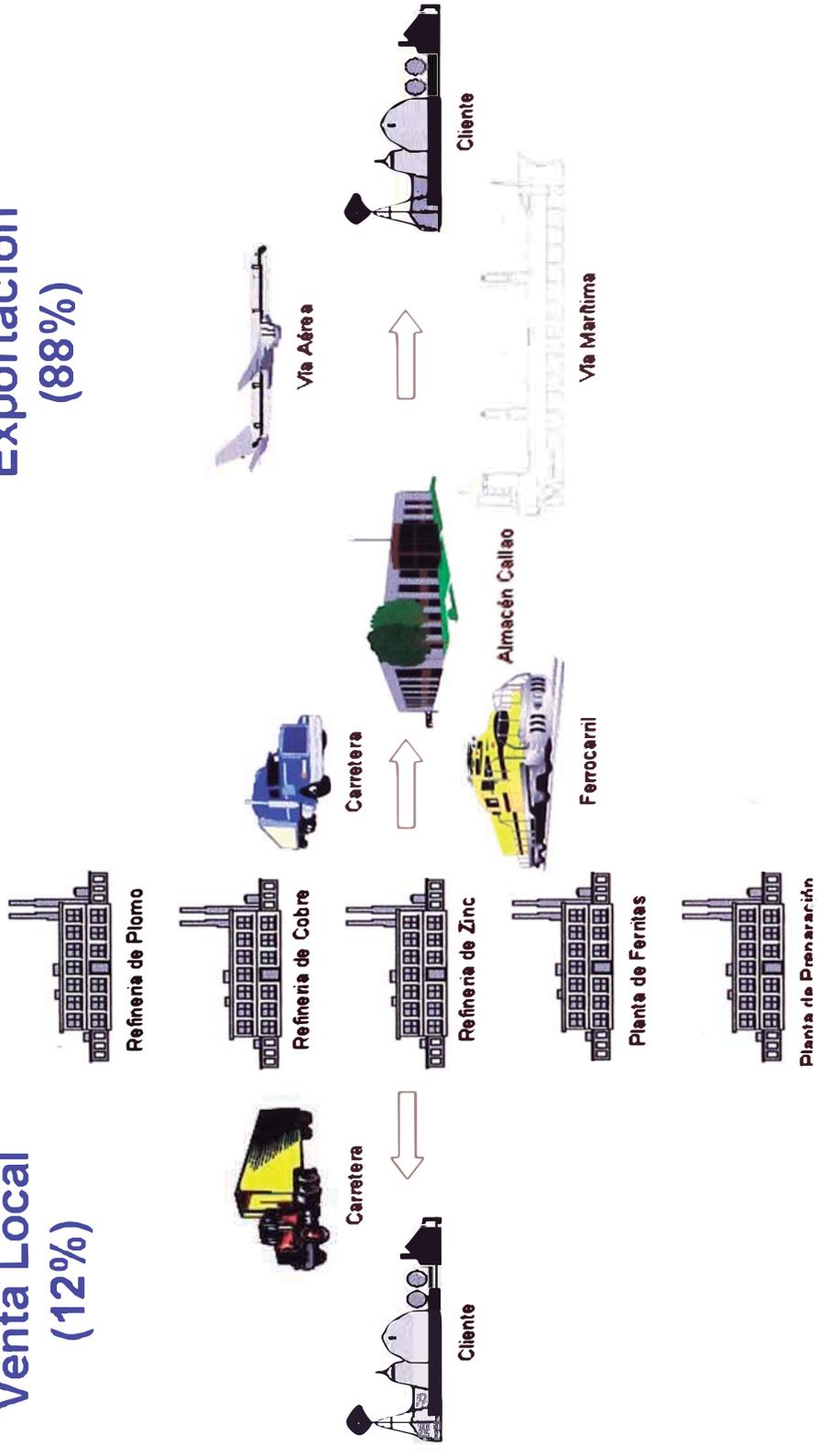
El sistema de distribución posee dos modalidades de transporte: por carretera y por ferrocarril. En promedio, se dispone de 24 camiones de diferentes configuraciones por día y 7 Hopper o carros ferroviarios del tipo "tanque". La ventaja que tiene el transporte carretero sobre el transporte ferroviario es el tiempo de entrega: 0.375 días, mientras que el transporte por ferrocarril tarda más: 1.25 días. En contraparte, el transporte por ferrocarril tiene mayor capacidad de carga, un carro del tipo tanque carga hasta 55 TM y un camión carga hasta 30 TM, es decir 80% más.

Toda la producción del día es transportada a los almacenes del Callao, por lo que no hay restricción de demanda, ya que toda la producción está comprometida.

La decisión de usar una modalidad de transporte en particular depende, en gran medida, de la proximidad de las fechas de los embarques, esto quiere decir: si solo se tiene un plazo de entrega menor o igual a dos días, necesariamente se usará la modalidad carretera, pero de tener un mayor tiempo de espera, se usará una combinación de carretera y ferrocarril.

**Venta Local
(12%)**

**Exportación
(88%)**



ESQUEMA DE TRANSPORTE DE PRODUCTOS Y SUBPRODUCTOS

Logística de Distribución Inversa

Las unidades que fueron despachadas el día anterior, cargadas con metales refinados y concentrados de Cu o Zn/Ag, estarán retornando en su mayoría con materiales y concentrados metálicos para abastecer a la fundición.

Los puntos de carga y descarga son:

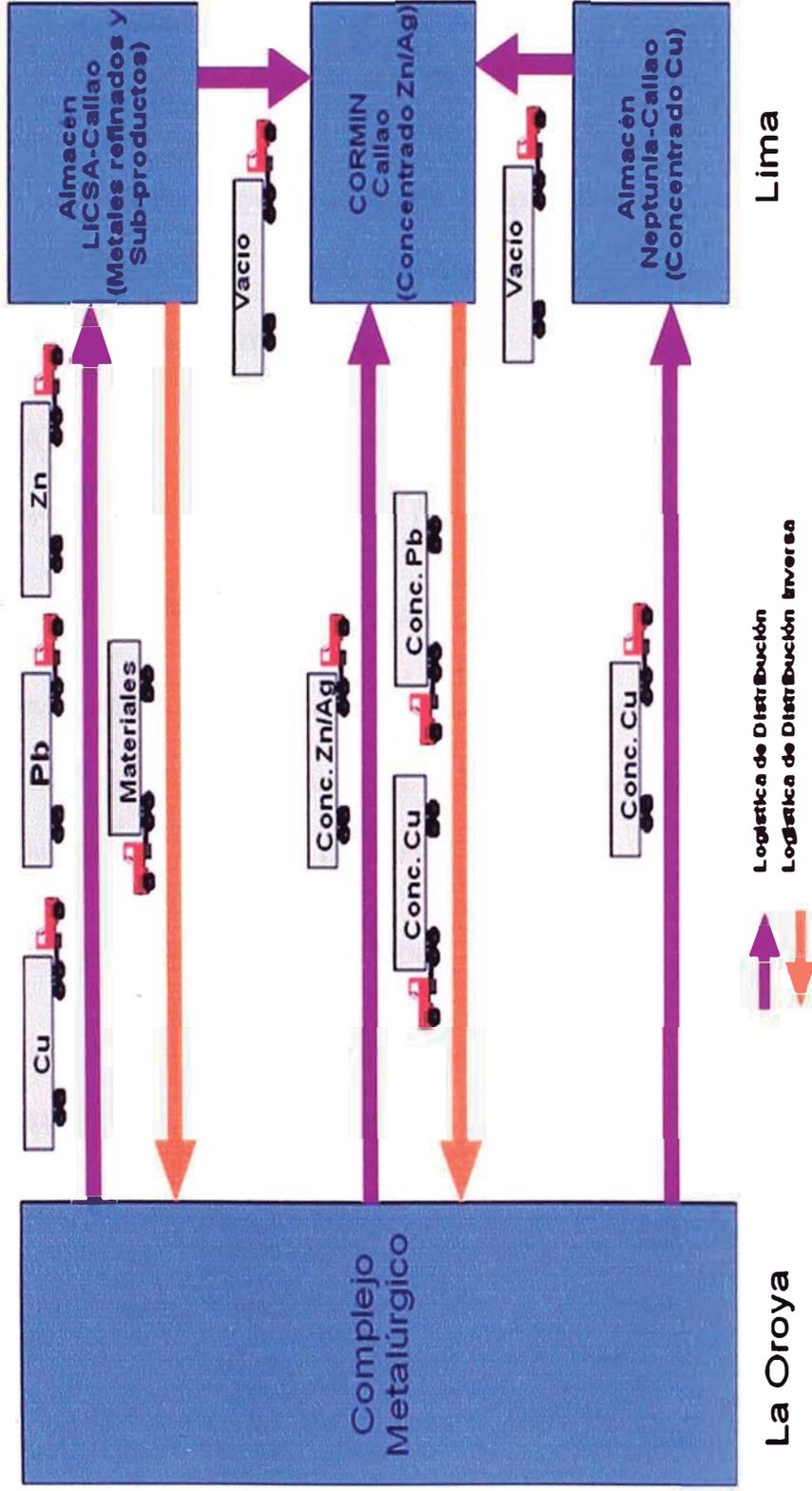
- Almacén Neptunia (Cliente Nexttrade): Aquí se descarga concentrado metálico de Cu.
- Almacén LICSA: Aquí se carga materiales, insumos, equipos, etc. Es un almacén de recibos generales.
- Almacén CORMIN (proveedor): Aquí se carga concentrados de metales, principalmente Cu y Pb.

Con esto lo que se busca es aprovechar la disponibilidad de unidades de subida y, así contar con una capacidad de carga que pueda ayudar a paliar las necesidades de aprovisionamiento del complejo metalúrgico, ya que en la mayoría de veces CORMIN(proveedor principal de concentrados) demora la entrega de concentrados por no contar con unidades suficientes. En estos casos, como es lógico, el flete lo asume el proveedor, aunque ellos debieran conseguir su propio transporte. Las unidades, que DOE RUN administra por contrato con los transportistas, son puestas a disposición del proveedor para que puedan ser usadas en el abastecimiento al complejo, ya que de otro

modo, puesto que se dispone de pocas unidades en el Callao, los “lead time” de entrega aumentarían, ocasionando entregas a destiempo y, con ello, perjudicando a la cadena de valor.

Aunque no todas las unidades son cargadas, ya sea con materiales o concentrados, éstas igualmente retornan vacías para poder ser utilizadas al día siguiente. Al no tener unidades propias, esto no representa costo por retorno en vacío ni el contrato contempla pagar el flete de retorno en vacío. Es bueno también mencionar que el 80% de los concentrados comprados son puestos en destino (La Oroya).

LOGISTICA DE DISTRIBUCION DE UNIDADES



ESQUEMA DE DISTRIBUCIÓN LOGISTICA DE UNIDADES

Conocido el problema, visto detalladamente en el acápite anterior, procedamos a plantear el objetivo principal que se persigue con el desarrollo de este trabajo:

- Optimizar el proceso de despachos, haciéndolo al menor costo y en el menor tiempo posible, respecto del método manual empleado actualmente.

A continuación, presentaremos unas tablas de datos que se han recopilado y que nos van a servir para el modelo a desarrollar.

Análisis de datos recopilados

A continuación, se presentan unos cuadros resumen, donde se muestran los datos recopilados, que serán útiles para el desarrollo del modelo que nos ayudará a resolver el problema.

Producción promedio diaria:

Según los últimos reportes de producción, (Ver Anexo V) se tienen los siguientes niveles de producción diarios:

(Ver Cuadro de datos de producción en la siguiente página).

Producto	Producción (TM)
Plomo refinado	350
Cobre refinado	180
Zinc refinado	120
Concentrado de Cobre Cobriza	120
Concentrado de Zn/Ag	30

Capacidad de carga promedio diaria:

La capacidad de carga por modalidad de transporte se muestra en la siguiente tabla:

Modalidad	Unidades disponibles	Capacidad promedio unitaria (TM)	Capacidad promedio Total (TM)
Carretera	23	30	450
Ferrocarril	6	55	350

Tiempo de entrega

Los tiempos de entrega son datos considerados para el recorrido: La Oroya-Callao, a continuación se muestra la tabla con los datos recopilados:

Modalidad	Tiempo en Horas	Tiempo en días
Carretera	24	1
Ferrocarril	60	2.5

1.6.2.- *Formulación del problema como un modelo de programación lineal*

El problema, como tal, se ajusta a un modelo de programación lineal, con ciertas particularidades, como es el caso de que se van a tener que utilizar variables de decisión. En términos de PL, tendremos que usar variables binarias (0,1) y también variables reales; por lo tanto, estamos ante un modelo de PL mixta.

En resumen, nuestro modelo desarrollado cuenta con:

VARIABLES REALES	: 101, donde: $X \in R^+$
VARIABLES BINARIAS	: 83, donde: $X \in (0, 1)$
CONSTANTES O DATOS DE ENTRADA PARA EL MODELO	: 43
RESTRICCIONES	: 425
Restricciones de capacidad de producción	: 5
Restricciones de tiempo de entrega	: 18
Restricciones de capacidad de carga	: 30
Restricciones de exclusión	: 188
Restricciones de no negatividad	: 184

La complejidad del modelo radica en poder interpretar las restricciones que se dan durante el proceso de despacho y trasladarlas al modelo, de manera que simule lo que ocurre en la realidad y puedan obtenerse soluciones coherentes.

La disponibilidad de unidades de carga.

- La elección correcta de uno de los medios de transporte utilizados: carretera o ferrocarril o la combinación de ambas.
- La imposibilidad de enviar, en algunos casos, dos productos en una misma unidad de carga (restricciones de exclusión)
- Los tiempos de entrega.

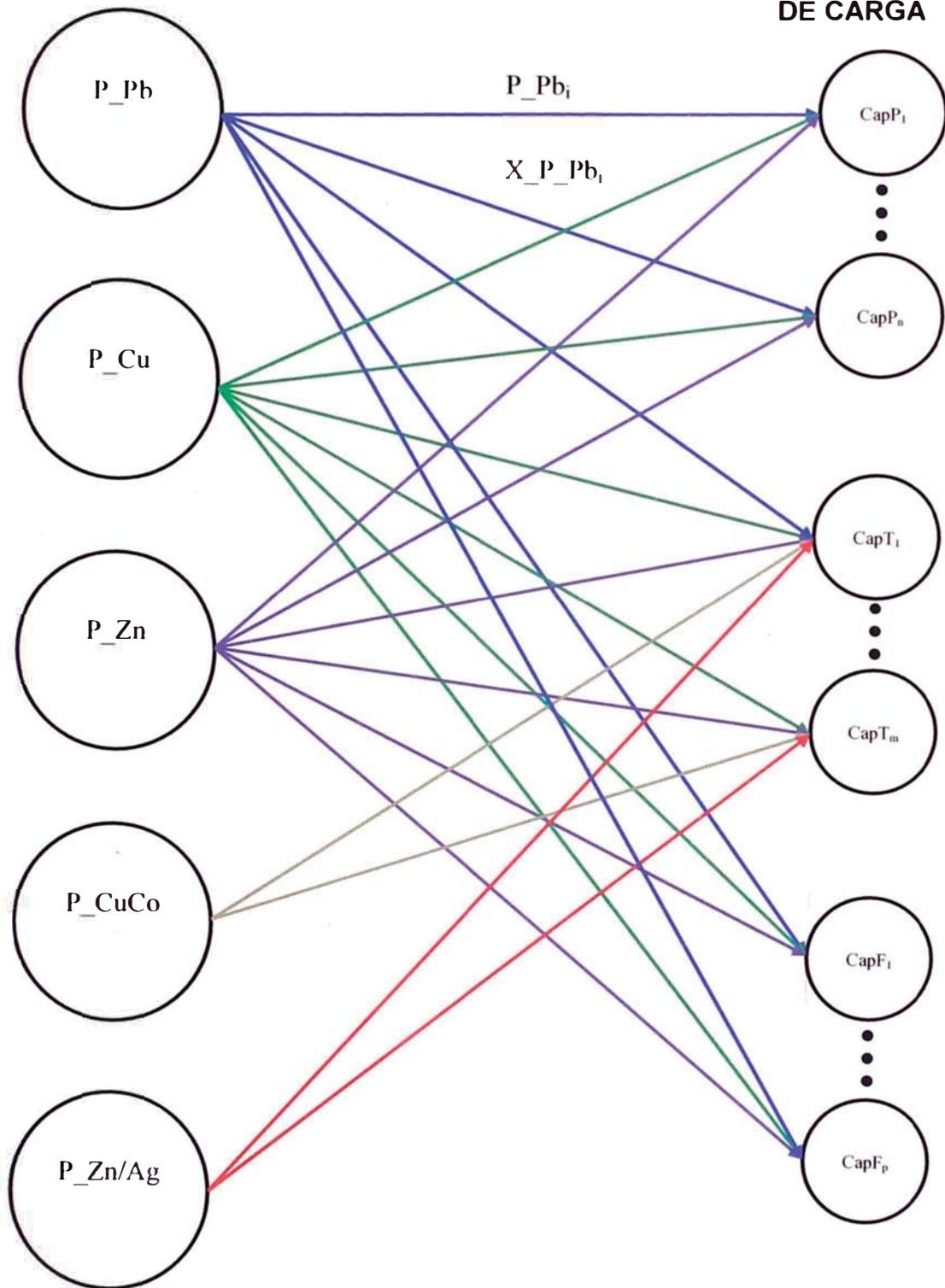
A continuación, se muestra el esquema del modelo:

(Ver Esquema en la siguiente página).

PRODUCCION

CAPACIDAD

DE CARGA



Modelo:

Constantes (Datos de entrada para el modelo):

- P_Cu : Producción de Cu refinado para despacho.
- P_CuCo : Producción de concentrado de Cobre para despacho.
- P_Pb : Producción de Pb refinado para despacho.
- P_Zn : Producción de Zn refinado para despacho.
- P_Zn/Ag : Producción de concentrado Zn/Ag para despacho.
- Tfa_Car : Tarifa por transporte carretero en USD.
- Tfa_Fer : Tarifa por transporte ferroviario en USD.
- Cap_Fer : Capacidad de carga ferroviaria en TM.
- Cap_Car : Capacidad de carga carretera en TM.
- te_Cu : Tiempo de entrega requerido para Cobre refinado.
- te_Pb : Tiempo de entrega requerido para Plomo refinado.
- te_Zn : Tiempo de entrega requerido para Zinc refinado.
- CapP_i : Capacidad de la unidad tipo plataforma "i" en TM
- CapT_i : Capacidad de la unidad tipo tolva "j", en TM

$CapF_k$: Capacidad de la unidad tipo tolva "k", en TM

Tfa_Car : Tarifa por transporte carretero en USD.

Tfa_Fer : Tarifa por transporte ferroviario en USD.

Variables:

P_Pb_i : Var. Binaria (0,1) indica si se carga Pb en la unidad del tipo plataforma "i".

P_Cu_i : Var. Binaria (0,1) indica si se carga Cu en la unidad del tipo plataforma "i".

P_Zn_i : Var. Binaria (0,1) indica si se carga Zn en la unidad del tipo plataforma "i".

T_Cu_j : Var. Binaria (0,1) indica si se carga Cu en la unidad del tipo tolva "j".

T_Zn_j : Var. Binaria (0,1) indica si se carga Zn en la unidad del tipo tolva "j".

T_CuCo_j : Var. Binaria (0,1) indica si se carga concentrado de Cu en la unidad del tipo tolva "j".

T_Zn/Ag_j : Var. Binaria (0,1) indica si se carga concentrado Zn/Ag en la unidad del tipo tolva "j".

$X_{P_Cu_i}$: Cantidad de Cu refinado que se carga en la unidad del tipo plataforma "i", expresado en TM.

$X_{P_Pb_i}$: Cantidad de Pb refinado que se carga en la unidad del tipo plataforma "i", expresado en TM.

$X_{P_Zn_i}$: Cantidad de Zn refinado que se carga en la unidad del tipo plataforma "i", expresado en TM.

$X_{T_Cu_j}$: Cantidad de Cu refinado que se carga en la unidad del tipo tolva "j", expresado en TM.

$X_{T_Zn_j}$: Cantidad de Zn refinado que se carga en la unidad del tipo tolva "j", expresado en TM.

$X_{T_CuCo_j}$: Cantidad de concentrado de Cu que se carga en la unidad del tipo tolva "j", expresado en TM.

X_{T_Zn/Ag_j} : Cantidad de concentrado Zn/Ag que se carga en la unidad del tipo tolva "j", expresado en TM.

$X_{F_Cu_k}$: Cantidad de Cu refinado que se carga en la unidad del tipo plataforma "k", expresado en TM.

$X_{F_Pb_k}$: Cantidad de Pb refinado que se carga en la unidad del tipo plataforma "k", expresado en TM.

$X_{F_Zn_k}$: Cantidad de Zn refinado que se carga en la unidad del tipo plataforma "k", expresado en TM.

D_i : Variables enteras auxiliares, para $i=1, 2, 3, 4, 5, 6$

Donde:

$$D_i \geq 0.$$

Función Objetivo:

Minimizar costos de Transporte:

$$\begin{aligned} & Tfa_Car \times \left(\sum_{i=1}^n X_P_Cu_i + \sum_{i=1}^n X_P_Pb_i + \sum_{i=1}^n X_P_Zn_i + \sum_{j=1}^m X_T_Cu_j + \right. \\ & \left. \sum_{j=1}^m X_T_Zn_j + \sum_{j=1}^m X_T_CuCo_j + \sum_{j=1}^m X_T_Zn/Ag_j \right) + \\ & Tfa_Fer \times \left(\sum_{i=1}^n X_F_Cu_i + \sum_{i=1}^n X_F_Pb_i + \sum_{i=1}^n X_F_Zn_i \right) \end{aligned}$$

Restricciones

Capacidad de producción:

Cu:

$$\sum_{i=1}^n X_P_Cu_i + \sum_{j=1}^m X_T_Cu_j + \sum_{j=1}^m X_F_Cu_k \leq P_Cu$$

Pb:

$$\sum_{i=1}^n X_P_Pb_i + \sum_{i=1}^n X_F_Pb_k \leq P_Pb$$

Zn:

$$\sum_{i=1}^n X_P_Zn_i + \sum_{j=1}^m X_T_Zn_j + \sum_{j=1}^m X_F_Zn_k \leq P_Zn$$

Concentrado de Cu:

$$\sum_{j=1} X_{T_CuCo_j} \leq P_{uCo}$$

Concentrado de Zn/Ag:

$$\sum_{j=1} X_{T_Zn/Ag_j} \leq P_{Zn/Ag}$$

De tiempo de entrega:

$$D_1 - D_2 = Te_{Pb} - 2$$

$$X_{F_Pb_k} \leq P_{Pb} \times D_1$$

$$D_3 - D_4 = Te_{Cu} - 2$$

$$X_{F_Cu_k} \leq P_{Pb} \times D_3$$

$$D_5 - D_6 = Te_{Zn} - 2$$

$$X_{F_Zn_k} \leq P_{Zn} \times D_5$$

Si el tiempo de entrega es **menor** a 2 días para alguno de los siguientes metales refinados: Cu refinado, Pb Refinado y Zn Refinado, entonces se despachará uno o todos por carretera.

Capacidad de carga camiones:

$$X_{T_Cu_j} + X_{T_Zn_j} + X_{T_CuCo_j} + X_{T_Zn/Ag_j} \leq CapT_j$$

Tipo tolva: Se pueden cargar 4 productos: Cu refinado, Zn refinado, Concentrado Cu y Concentrado Zn/Ag, para todo "j", desde 1 hasta "m".

$$X_{P_Cu_i} + X_{P_Pb_i} + X_{P_Zn_i} \leq CapP_i$$

Tipo plataforma: Se pueden cargar 3 productos: Cu refinado, Pb refinado y Zn refinado, para todo "i", desde 1 hasta "n".

Restricciones de exclusión:

$$T_{CuCo_j} + T_{Cu_j} \leq 1$$

$$X_{T_CuCo_j} \leq 1000 \times T_{CuCo_j}$$

$$X_{T_Cu_j} \leq 1000 \times T_{Cu_j}$$

Una sola tolva no puede cargar Cu y Concentrado de Cu a la vez, para todo "j", que va desde 1 hasta "m".

$$T_{CuCo_j} + T_{Zn_j} \leq 1$$

$$X_{T_{CuCo_j}} \leq 1000 \times T_{CuCo_j}$$

$$X_{T_{Zn_j}} \leq 1000 \times T_{Zn_j}$$

Una sola tolva no puede cargar Zn y Concentrado de Cu a la vez, para todo "j", que va desde 1 hasta "m".

$$T_{Zn/Ag_j} + T_{Cu_j} \leq 1$$

$$X_{T_{Zn/Ag_j}} \leq 1000 \times T_{Zn/Ag_j}$$

$$X_{T_{Cu_j}} \leq 1000 \times T_{Cu_j}$$

Una sola tolva no puede cargar Cu y Concentrado de Concentrado de Zn/Ag a la vez, para todo "j", que va desde 1 hasta "m".

$$T_{Zn/Ag_j} + T_{Zn_j} \leq 1$$

$$X_{T_{Zn/Ag_j}} \leq 1000 \times T_{Zn/Ag_j}$$

$$X_{T_{Zn_j}} \leq 1000 \times T_{Zn_j}$$

Una sola tolva no puede cargar Zn y Concentrado de Concentrado de Zn/Ag a la vez, para todo "j", que va desde 1 hasta "m".

$$T_{CuCo_j} + T_{Zn/Ag_j} \leq 1$$

$$X_{T_{CuCo_j}} \leq 1000 \times T_{CuCo_j}$$

$$X_{T_{Zn/Ag_j}} \leq 1000 \times T_{Zn/Ag_j}$$

Una sola tolva no puede cargar concentrado de Cu y concentrado de Zn/Ag a la vez, para todo "j" que va desde 1 hasta "m".

$$T_{Cu_j} + T_{Zn_j} \leq 1$$

$$X_{T_{Cu_j}} \leq 1000 \times T_{Cu_j}$$

$$X_{T_{Zn_j}} \leq 1000 \times T_{Zn_j}$$

Una sola tolva no puede cargar Cu y Zn a la vez, para todo "j" que va desde 1 hasta "m".

$$P_{Cu_i} + P_{Pb_i} \leq 2$$

$$X_{P_{Cu_i}} \leq 1000 \times P_{Cu_i}$$

$$X_{P_{Pb_i}} \leq 1000 \times P_{Pb_i}$$

Una plataforma puede cargar a Cu y Pb refinados a la vez, para todo "i", que va desde 1 hasta "n".

$$P_{Cu_i} + P_{Zn_i} \leq 1$$

$$X_{P_{Cu_i}} \leq 1000 \times P_{Cu_i}$$

$$X_{P_{Zn_i}} \leq 1000 \times T_{Zn_i}$$

Una sola Plataforma no puede cargar Cu y Zn refinado a la vez, para todo "i", desde 1 hasta "n".

$$P_{Cu_i}, P_{Pb_i}, P_{Zn_i} \in (0,1)$$

Para todo "i" desde 1 hasta "n"

$$T_{Cu_j}, T_{Zn_j} \in (0,1)$$

Para todo "j" desde 1 hasta "m".

$$X_{P_{Cu_i}}, X_{P_{Pb_i}}, X_{P_{Zn_i}} \geq 0$$

Para todo "i" desde 1 hasta "n"

$$X_{T_{Cu_j}}, X_{T_{Pb_j}}, X_{T_{Zn_j}}, X_{T_{CuCo_j}}, X_{T_{Zn/Ag_j}} \geq 0$$

Para todo "j" desde 1 hasta "n"

$$X_{F_{Cu_k}}, X_{F_{Pb_k}}, X_{F_{Zn_k}} \geq 0$$

Para todo "k" desde 1 hasta "l".

1.6.3.- *Solución del modelo*

Para resolver el modelo, tenemos una serie de software disponible en el mercado, pero surgen las siguientes limitaciones:

- Necesariamente, hay que conseguir licencias del software, ya que las versiones “freeware” o “shareware” no cuentan con las suficientes prestaciones como para resolver el problema, puesto que las versiones de prueba solamente pueden trabajar con un número limitado de variables y restricciones. Entre los software de este tipo podemos mencionar: LINDO, LINGO, STORM, Win-QSB, etc.
- Cada software de PL tiene sus particularidades, como son: la sintaxis, y los algoritmos de solución (unos más eficientes y avanzados que otros). No obstante, se requiere un estudio previo para poder manejar el software de la mejor manera posible, aprovechando todos los recursos que brindan.
- Finalmente, el costo del software, por ser un software “científico”, no se trata de un programa de cómputo barato, ésta podría ser una buena opción más adelante, cuando las complejidades del negocio aumenten.

Por estas razones, se ha optado por utilizar la función SOLVER de MS-Excel, ya que cumple con los requisitos en cuanto al manejo de variables y

restricciones. Además, no es necesario saber ningún "script" adicional para correr el modelo, únicamente nos basamos en el empleo de celdas en la hoja de trabajo y el uso del complemento SOLVER que viene en dicho software.

Más adelante, en el capítulo IV "EVALUACIÓN DE RESULTADOS OBTENIDOS", se presenta una solución obtenida, luego de una corrida del modelo, utilizando la cantidad de unidades promedio en un mes, en condiciones normales.

Es necesario precisar, que el proceso de despachos es más bien dinámico, ya que no hay una manera única de distribución que se haga por igual todos los días.

1.6.4.- Validación del modelo

El modelo ha sido verificado y probado completamente, asegurando que ofrece una representación suficientemente precisa del problema real.

A continuación, mostraremos los resultados obtenidos, utilizando el método actual (a criterio del despachador) y el resultado obtenido, cuando se hizo la corrida respectiva del modelo.

Distribución de unidades efectuadas a criterio del despachador

No	Placa	Tipo	Cap.	Cu	Pb	Zn	Conc. Cu	Conc. Zn/Ag
1	YG-6843	Plataforma	28		28			
2	YI-3297	Tolva	26	26				
3	YD-2774	Plataforma	31		31			
4	YI-2277	Plataforma	28		28			
5	YG-4599	Plataforma	30		30			
6	YG-5406	Tolva	30					30
7	YI-1618	Plataforma	30		30			
8	YP-1318	Plataforma	26		26			
9	YI-6186	Tolva	30					30
10	YG-7502	Plataforma	28		28			
11	YG-4779	Plataforma	30		30			
12	YG-9980	Plataforma	30		30			
13	YG-5070	Tolva	30					30
14	YG-7522	Plataforma	31	31				
15	YG-6228	Tolva	30	30				
16	YI-4291	Tolva	30					
17	YI-1660	Plataforma	31	31				
18	YP-7842	Plataforma	32	32				
19	YF-1336	Plataforma	31					
20	YI-4761	Tolva	32					32
21	YI-6187	Tolva	31					
22	YG-4829	Tolva	28					
23	YI-2709	Plataforma	32					
Produccion (TM)				150	275	0	0	122
Despachado (TM)				150	261	0	0	122
Sin despachar (TM)				0	14	0	0	0

Distribución de unidades obtenidas según el modelo:

No	Placa	Tipo	Cap. (TM)	Cu	Pb	Zn	Conc. Cu Cobriza	Conc. Zn/Ag
T1	YI-3297	Tolva	26	15				0
T2	YG-5406	Tolva	30	0				30
T3	YI-6186	Tolva	30	30				0
T4	YG-5070	Tolva	30	0				30
T5	YG-6228	Tolva	30	30				0
T6	YI-4291	Tolva	30	30				0
T7	YI-4761	Tolva	32	0				32
T8	YI-6187	Tolva	31	0				30
T9	YG-4829	Tolva	28	28				0
T10								
T11								
P1	YG-6843	Plataforma	28	0	28			
P2	YD-2774	Plataforma	31	0	31			
P3	YI-2277	Plataforma	28	0	28			
P4	YG-4599	Plataforma	30	0	30			
P5	YI-1618	Plataforma	30	0	30			
P6	YP-1318	Plataforma	26	0	26			
P7	YG-7502	Plataforma	28	0	28			
P8	YG-4779	Plataforma	30	0	30			
P9	YG-9980	Plataforma	30	17	13			
P10	YG-7522	Plataforma	31	0	31			
P11	YI-1660	Plataforma	31	0	0			
P12	YP-7842	Plataforma	32	0	0			
P13	YF-1336	Plataforma	31	0	0			
F1	2315	Ferroviano	55	0	0			
F2	2412	Ferroviano	55	0	0			
F3	2415	Ferroviano	55	0	0			
F4	2312	Ferroviano	55	0	0			
F5	2512	Ferroviano	55	0	0			
F6	2614	Ferroviano	55	0	0			
Produccion (TM)				150	275	0	0	122
Despachado (TM)				150	275	0	0	122
Sin despachar (TM)				0	0	0	0	0

De ambos cuadros se desprende que:

Los datos entregados por el modelo son coherentes y se ajustan a la realidad. La distribución de unidades, utilizando el método manual es

bastante parecida al obtenido cuando se resuelve el modelo, salvo algunas observaciones.

Notamos que el resultado obtenido, efectuando una distribución manual, nos da como resultado dejar de despachar 14 TM de Pb, mientras que los resultados obtenidos al correr el modelo arrojan una distribución total, pero la distribución de unidades efectuadas manualmente no da la opción de poder distribuir el faltante en una unidad de capacidad menor, ya que si no es posible cargar a una unidad con su capacidad total, se incurre en pago por aforo, que representa el 85% de su capacidad de carga máxima.

El modelo nos da la opción de poder cargar las 15 TM de Cu en una unidad de 26 TM de capacidad, haciendo que el pago por aforo sea el mínimo, ya que no es lo mismo cargar 15 TM en una unidad con capacidad de 26 TM que en otra con capacidad de 30 TM. Es obvio que en este segundo caso, el pago de aforo sería mayor. Además, si en la distribución hecha manualmente se pudiera elegir un camión para que cargue las 14 TM que se deja de despachar, solamente tendríamos como opción las plataformas, porque únicamente, en este tipo de unidades, puede cargarse Pb y, la de menor capacidad disponible, sería una plataforma de 30 TM.

Recordemos que el objetivo es despachar el máximo posible de producción a un menor costo; si se deja de despachar 14 o 15 TM no se está cumpliendo el objetivo, claro que si eso implica pagar aforo, bien se justifica

pagar ese costo adicional, puesto que el precio de los metales refinados está alto, lógicamente ese pago de aforo tiene que ser el mínimo, es decir se debe asignar la carga a una unidad con una capacidad de carga mínima, algo que con el método empleado actualmente no se puede hacer.

1.6.5.- *Implementación del modelo*

Para la etapa de implementación, lo más conveniente es crear una interfaz amigable, de manera que su operación le sea sencilla al usuario y, en la medida de lo posible, buscar que sea intuitiva. Usar MS-Excel, debiera ser una buena opción, si es que no es la mejor, debido a que el usuario se le hace familiar este software.

A continuación, se presentan unos prototipos de pantallas, en una secuencia que, el mismo usuario tendrá que seguir para una correcta alimentación de data al modelo, el procesamiento usando algoritmos de PL y finalmente, la obtención de resultados.

Interfaz de Usuario

The screenshot shows a Microsoft Excel spreadsheet with the following data:

CAMIONES DISPONIBLES					
Tolvas		Plataformas		Carros FCCA	
Placa	Capacidad	Placa	Capacidad	Cant.	Capacidad
Y1-1525	23.5	Z3-2532	23.5	7	350
Z1-2453	25.6	Z1-2453	25.6		
Z1-3625	30	Z1-3625	30		
Z1-5642	31.5	Z1-5642	31.5		
Z1-5689	29.8	Z1-5689	29.8		

A button labeled 'Det. Und. Disp.' is located in the 'Carros FCCA' section of the spreadsheet.

Pantalla de ingreso de unidades disponibles

Modelo_Optimizacion_Transporte - Todos de Incompatibilidad - Microsoft Excel

Inicio Insertar Diseño de página Fórmulas Datos Revisar Vista Complementos

Advertencia de seguridad: Algún contenido activo se ha deshabilitado.

Fecha: 01/05/2008

TRANSPORTE

UNIDADES DISPONIBLES			
		TM	Unid.
Carretera	Tolva	H04	5
	Plataforma	H04	5
Ferrocarril	Cano	220	6
Total		699.6	

PRODUCCION	
PRODUCTO	TM
Cu	150
Pb	320
Zn	180
Cuac. Cu	120
Cuac. Zn/Aq	90
Total	860

COMERCIAL	
PRODUCTO	T.E. (tnA.S)
Cu	2
Pb	1
Zn	3

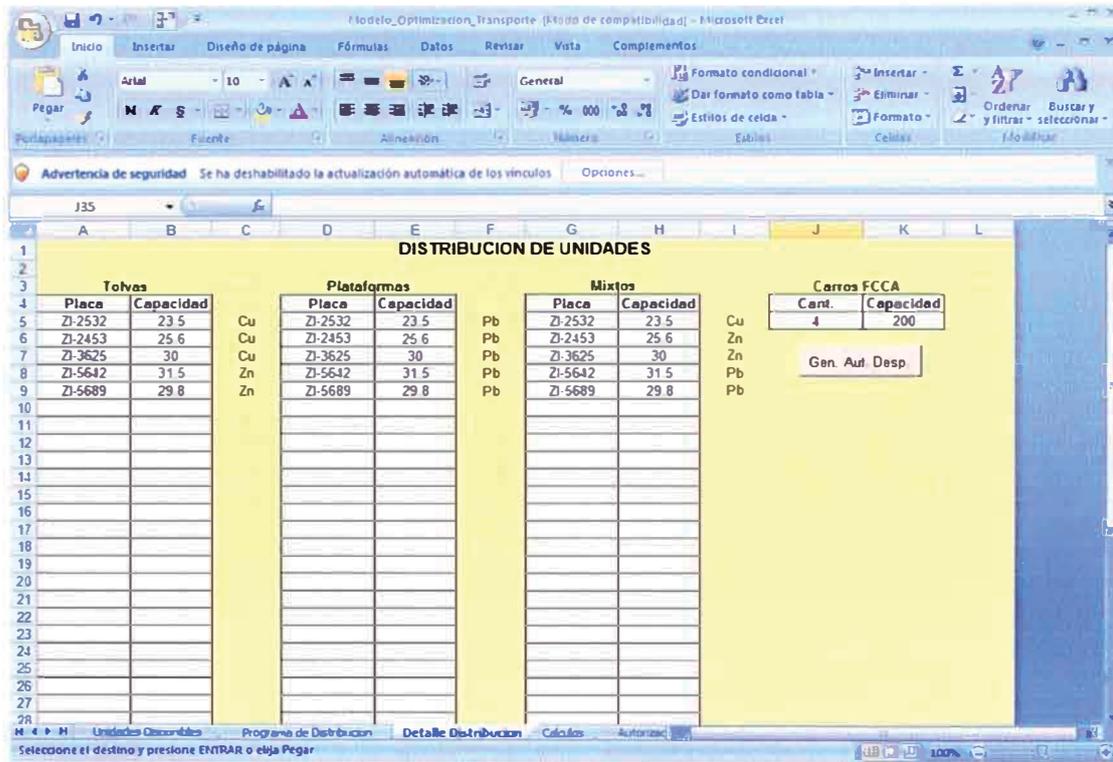
Faltante: 6 Plat., 13 Tolv.

	Requerido	Disponible	Faltante
Plataforma	11	5	6
Tolva	18	5	13

Procesar

Unidades Disponibles Programa de Distribucion Detalle Distribucion Calculos Autorizac

Pantalla de ingreso de datos para programa de distribución



Pantalla con la distribución de carga en unidades disponibles

Modulo_Optimizacion_Transporte (Modo de compatibilidad) - Microsoft Excel

Inicio Insertar Diseño de página Formulas Datos Referencia Vista Complementos

Formato condicional Dar formato como tabla Estilos de celda Insertar Eliminar Formato Ordenar y filtrar Buscar y seleccionar

Advertencia de seguridad: Algunos contenidos activos se han deshabilitado.

E10

1	Funcion Objetivo																	
2	Max. Carga	485.16																
4	Despacho por Carretera																	
6	Producto	Cant. (T.M.)																
7	Pb	0.00																
8	Cu	144.68																
9	Zn	158.70																
10	Conc. Cu Cobrizo	110.77																
11	Conc. ZnAg	65.03																
12	Total	485.16																
14	VEHICULO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	1	2	3	4		
16	TIPO	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	P	P	P	P		
17	NETO	26.65	29.02	31.33	29.00	30.22	30.74	28.65	28.01	32.22	32.22	32.22	32.24	28.40	30.22	2		
21	Distribucion de unidades:																	
22	Pb																	0.00
23	Cu	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	26.65	0.00	0.00	0.00	0.00	32.24	0.00	19.75	2		
24	Zn	0.00	0.00	0.00	29.00	0.00	30.74	0.00	28.01	0.00	32.22	0.00	0.00	28.40	10.47			
25	Conc. Cu Cobrizo	26.65	29.02	31.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	32.22	0.00	0.00						
26	Conc. ZnAg	0.00	0.00	0.00	0.00	30.22	0.00	0.00	0.00	0.00	32.22							
28	RESTRICCIONES																	
30	Transporte produccion:																	
32	Pb																	
33	Cu	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
34	Zn	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
35	Conc. Cu Cobrizo	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Detalle Distribucion Calculos Autorizacion de despacho Base Datos transportistas

Pantalla con cálculos obtenidos por la corrida del modelo

CAPITULO IV

EVALUACIÓN DE RESULTADOS

Para efectuar la evaluación de resultados, se ha utilizado como criterio la comparación de métodos de distribución de unidades.

Un primer método que es el utilizado actualmente y, que básicamente es manual y sigue los siguientes criterios:

- Las unidades son asignadas para cargar a una planta según el orden de llegada.
- Dependiendo del tipo de camión, como ya se mencionó línea arriba, solamente aquellos camiones del tipo plataforma, serán cargados con Pb.

Un segundo método, que es el propuesto y materia de desarrollo de este trabajo, es aquel que se basa en la aplicación de técnicas de programación lineal.

Para la evaluación, se ha considerado un día normal, donde la capacidad de carga cubre la demanda de unidades de transporte y, se tomó un día intermedio, donde se puede mostrar la programación de unidades, tanto por la modalidad carretera como por la modalidad ferroviaria, debido a que a inicios de mes, por lo general, usando el método manual de programación de unidades, se emplearía en mayor medida la modalidad férrea y, a fines de mes, se priorizaría el envío por carretera, ya que los tiempos de entrega se acortan y se tiene que cumplir con la programación de entregas mensuales.

A continuación, se presentan la tabla comparativa con los resultados obtenidos.

Tarifas vigentes:

	Carretera	Ferrocarril
USD	12.96	11.14
S/.	38	32.67

2.933

Tipo de Cambio:
Fuente: SUNAT

Ahorro (USD)	Ahorro %
-362.62	-4%

RESULTADOS OBTENIDOS POR EL MODELO (USD)

PRODUCTO	PLOMO REF. LINGOTES	CU REF. CAT. ENTEROS	ZINC REF. LINGOTES	CTDO. COBRE COBRIZA	CTDO. ZN/AG	TOTAL
Despachado Carretera (TM)	-	144.66	158.7	118.77	63.03	485.16
Tarifa (USD)	12.96	12.96	12.96	12.96	12.96	
Total flete Carretera (USD)	-	1,874.21	2,056.11	1,538.79	816.62	6,285.73
Despachado Ferrocarril (TM)	332.43	-	17.57	-	-	350
Tarifa (USD)	11.14	11.14	11.14	11.14	11.14	11.14
Total flete Ferrocarril (USD)	3,703.25	-	195.75	-	-	3,899.00
Total Flete (USD)	3,703.25	1,874.21	2,251.86	1,538.79	816.62	10,184.73

REAL EJECUTADO

Producto	PLOMO REF. LINGOTES	CU REF. CAT. ENTEROS	ZINC REF. LINGOTES	CTDO. COBRE COBRIZA	CTDO. ZN/AG	TOTAL
Despachado Carretera (TM)	182.11	144.66	176.27	118.77	63.03	684.84
Tarifa (USD)	12.96	12.96	12.96	12.96	12.96	
Total flete Carretera (USD)	2,359.41	1,874.21	2,283.77	1,538.79	816.62	8,872.80
Despachado Ferrocarril (TM)	150.32	-	-	-	-	150.32
Tarifa (USD)	11.14	11.14	11.14	11.14	11.14	11.14
Total flete Ferrocarril (USD)	1,674.55	-	-	-	-	1,674.55
Total Flete (USD)	4,033.97	1,874.21	2,283.77	1,538.79	816.62	10,547.35

COMPARACIÓN DE RESULTADOS OBTENIDOS POR EL MODELO Y EL MÉTODO ACTUAL EMPLEADO

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Después de un estudio minucioso, podemos concluir lo siguiente:

- La aplicación de un método sistemático, basado en técnicas de programación lineal, nos da buenos resultados al obtener beneficios entre 3 y 4% menos, si lo comparamos con el flete que se paga actualmente.
- La plantilla elaborada en Excel, no solamente sirve para usarla como una herramienta que entrega la programación óptima de unidades, sino que también puede ser usada como una herramienta de planificación y de ayuda en la toma de decisiones, ya que se sabe anticipadamente, si la carga que se va a despachar será cubierta con las unidades disponibles.

- La persona, encargada de hacer la distribución de unidades, dispondrá de un mayor tiempo para hacer trabajos de administración, puesto que el proceso de asignación de carga será automático, destinándole un menor tiempo en comparación al modo manual.

Como recomendaciones podemos decir lo siguiente:

- Es recomendable hacer la corrida del modelo un día antes, puesto que se sabrá por anticipado, si la capacidad de carga disponibles es suficiente o se deberá solicitar unidades adicionales para efectuar los despachos, sin el contratiempo de no contar con la cantidad de unidades adecuadas.
- Se deberá capacitar al personal que hará uso de la plantilla, para que lo pueda usar sin ningún inconveniente, haciendo énfasis en la parte operativa y, no en lo que hay detrás de ésta (algoritmos de PL). Recordemos que esta persona no es alguien precisamente experta en estas técnicas.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Transportista

Llamada también Empresa de servicio de transporte, es aquella persona jurídica que cumple con los requisitos de idoneidad para realizar el transporte de materiales, debidamente inscrita en los Registros Públicos, que cuenta con vehículos propios o tomados en arrendamiento financiero (Leasing), instalaciones y personal técnico capacitado.

Plataforma

Carrocería de estructura plana descubierta, diseñada para el transporte de carga, la cual podrá ser provista de barandas laterales, delanteras y traseras, fijas o desmontables (estacas), tiene un largo promedio de 20.0 M., la carga máxima de estas unidades es aproximadamente 30 TM.

Vía terrestre

Aquella carretera, vía urbana o camino rural abierto a la circulación pública de vehículos, ferrocarriles, peatones y también animales. Se dividen en vías terrestres vehiculares y vías terrestres de ferrocarriles.

Tolva

Carrocería de estructura semi-cerrada, diseñada para el transporte de carga, tiene un largo total promedio de 20.0 M. la carga máxima de este tipo de unidades es aproximadamente 30 TM.

Traders

Empresas acopiadoras que basan su negocio en el acopio de concentrados metálicos de distintas leyes para, posteriormente, realizar una mezcla de los mismos hasta obtener un concentrado de una determinada calidad que, finalmente, es comercializado a precios muy por encima de los costos de compra.

BIBLIOGRAFIA

CARLBERG, C. Business Analysis with Microsoft Excel 2002. 2nd Edition
EUA: Macmillan Computer Publishing, 2003.

GIBELLINI, Renato; SATO, Sergio. Proyectos, Producción y Logística,
Técnicas de Aplicación. 4^a Edición. Lima: Universidad de Lima, 1999.

MATHUR, Kamlesh; SOLOW, Daniel. Investigación de Operaciones, El arte
de la toma de decisiones. 3^a Edición. México: Prentice-Hall, Inc., 1998.

TAHA H. Investigación de Operaciones (Una introducción). 6^a Edición,
México: Prentice-Hall, Inc., 1998.

VALDES A. Administración Logística. 3^a Edición. Lima: Ediciones SAGSA,
1984.

WALKENBACK J., Excel 2002 Power Programming with VBA. 3rd Edition
EUA: M&T Books, 2003.

WAYNE, L. Investigación de Operaciones, Aplicaciones y Algoritmos. 4^a
Edición. México: Thompson International, 2004.

ANEXOS

ANEXO I

TIPO DE UNIDADES DE TRANSPORTE USADAS EN EL DESPACHO



Camión tipo tolva



Camión tipo plataforma

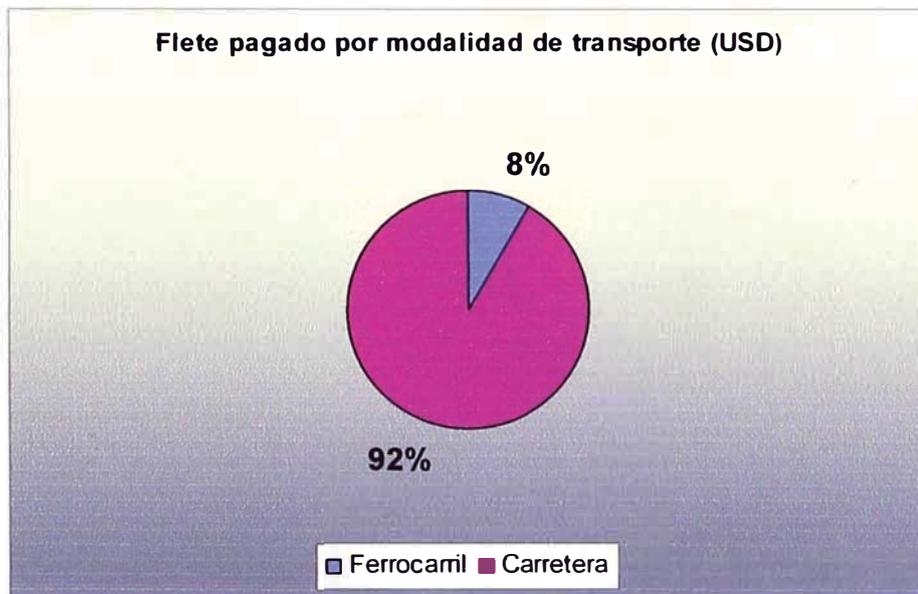


Carro ferroviario

ANEXO II

FLETE PAGADO POR MODALIDAD DE TRANSPORTE

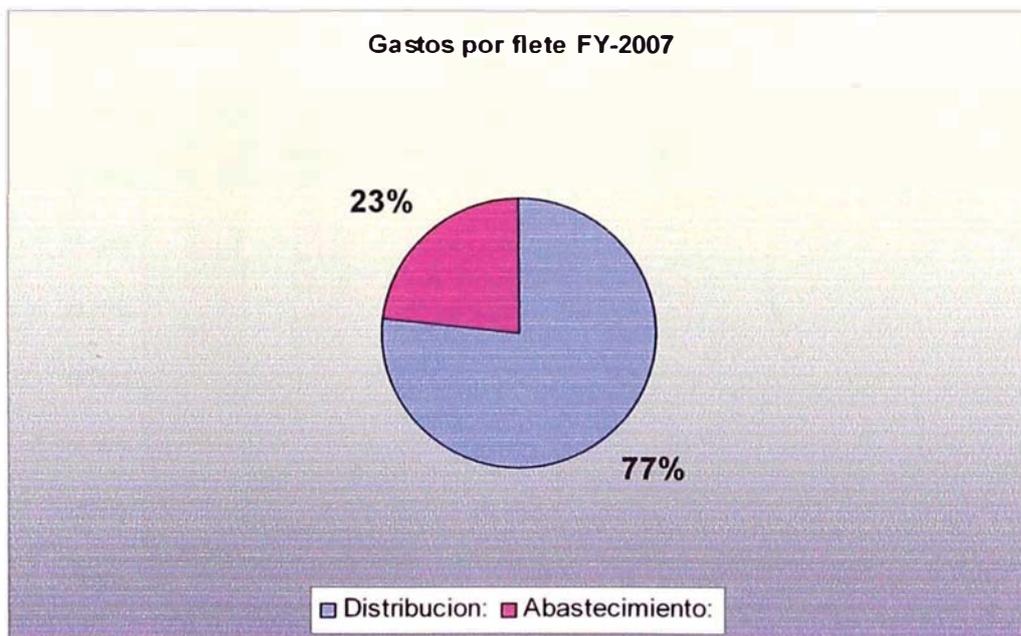
Modalidad	Flete (USD)	%
Ferrocarril	756,095	8%
Carretera	8,286,272	92%
Total	9,042,367	100%



ANEXO III

FLETES PAGADOS FY-2007

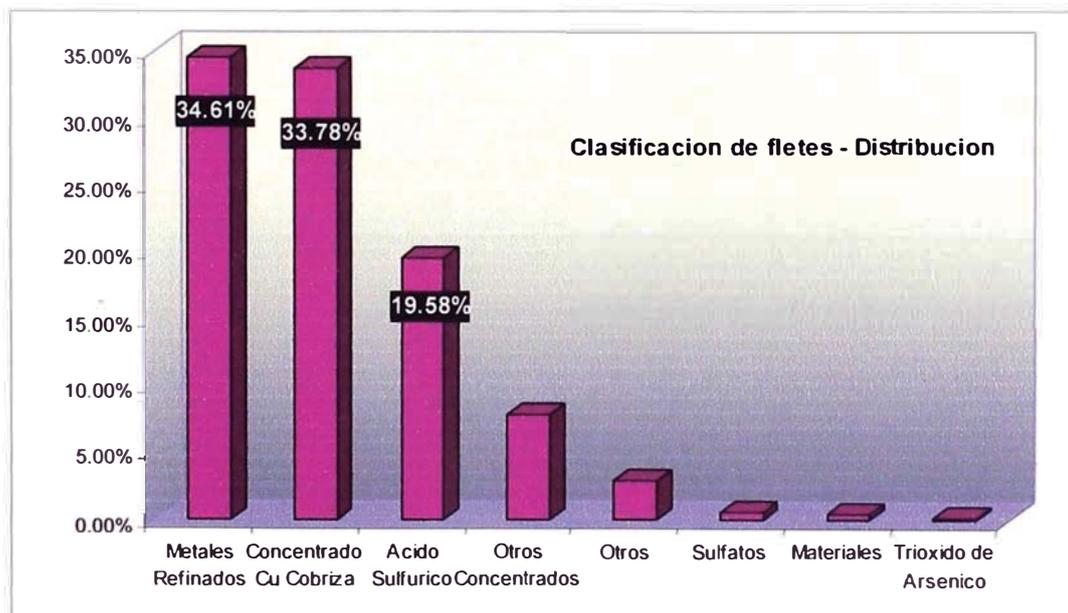
	Flete Total (USD)	%
Distribución:	7,227,467	76.80%
Abastecimiento:	2,183,220	23.20%
Total	9,410,687	100.00%



ANEXO IV

CLASIFICACIÓN DE FLETES - DISTRIBUCIÓN FY-2007

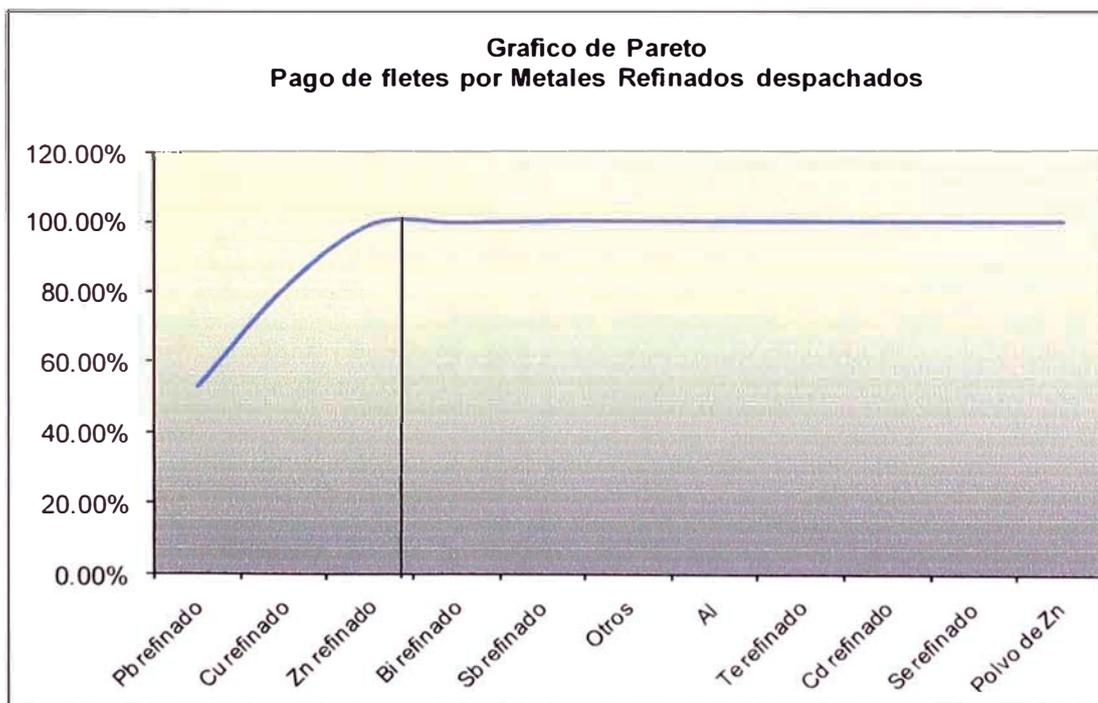
	Flete Total (USD)	%
Metales Refinados	2,501,446	34.61%
Concentrado Cu	2,441,792	33.78%
Acido Sulfúrico	1,415,086	19.58%
Otros Concentrados	568,704	7.87%
Otros	208,424	2.88%
Sulfatos	41,841	0.58%
Materiales	34,819	0.48%
Tritóxido de Arsénico	15,355	0.21%
Total	7,227,467	100.00%



ANEXO V

CLASIFICACIÓN DE FLETES POR METALES REFINADOS DESPACHADOS FY-2007

Producto	Flete USD	%	% Prod.	%Prod. Acum.	% Acum
Pb refinado	1,324,957	52.97%	9%	9%	52.97%
Cu refinado	699,466	27.96%	9%	18%	80.93%
Zn refinado	449,902	17.99%	9%	27%	98.92%
Bi refinado	13,445	0.54%	9%	36%	99.45%
Sb refinado	9,676	0.39%	9%	45%	99.84%
Otros	1,598	0.06%	9%	55%	99.90%
Al	1,182	0.05%	9%	64%	99.95%
Te refinado	475	0.02%	9%	73%	99.97%
Cd refinado	370	0.01%	9%	82%	99.98%
Se refinado	326	0.01%	9%	91%	100.00%
Polvo de Zn	51	0.00%	9%	100%	100.00%
Total	2,501,446	100.00%			



ANEXO VI

PRODUCCIÓN PROMEDIO MENSUAL EXPRESADO EN TONELADAS MÉTRICAS

Año	Mes	As ₂ O ₃	Pb	Cu	H ₂ SO ₄	Zn	Zn/Ag (1)	ZnSO ₄	Zn/Ag (2)	Ag	Bi	Sb	Polvo Zn	Te	Se	In	CuSO ₄	
2007	May	822.80	335.20	171.50	169.40	121.50	30.98	7.90	4.93	3.02	2.76	1.90	0.04	0.10	0.07	0.02	0.01	
	Jun	823.00	327.20	177.10	174.60	117.20	34.29	7.90	4.74	3.12	2.84	1.90	0.04	0.10	0.07	0.03	0.01	
	Jul	823.00	334.20	171.50	179.50	121.10	35.30	7.90	4.90	3.01	2.94	1.90	0.04	0.10	0.07	0.02	0.01	
	Ago	802.00	334.30	171.50	169.90	121.10	22.48	7.90	4.90	3.01	3.17	1.90	0.53	0.10	0.07	0.02	0.01	
	Sep	812.00	334.20	171.50	167.60	121.10	29.12	7.90	4.90	3.01	2.93	1.90	0.65	0.10	0.07	0.02	0.01	
	Oct	822.00	334.20	171.50	167.60	121.10	35.60	7.90	4.90	3.01	2.74	1.90	0.66	0.10	0.07	0.02	0.01	
	Nov	384.60	334.20	171.50	167.60	121.10	26.86	7.90	4.90	3.01	2.74	1.90	0.66	0.10	0.07	0.02	0.01	
	Dic	1.92	338.40	172.70	166.70	123.10	17.47	7.03	4.90	2.99	3.00	1.91	0.34	0.10	0.07	0.02	0.01	
	2008	Ene	1.92	336.50	172.70	166.70	123.00	17.40	7.00	4.90	3.09	3.01	1.91	0.33	0.10	0.07	0.02	0.01
		P. Tot.	567.20	334.30	172.40	170.00	121.20	27.71	7.70	4.89	3.03	2.90	1.90	0.36	0.10	0.07	0.02	0.01

ANEXO VII

MÉTODO MANUAL ACTUALMENTE USADO PARA LA DISTRIBUCION DE UNIDADES DE CARGA

The image shows a handwritten manual on a grid background, detailing a method for load distribution. The manual is divided into several sections:

- Fechas:** A section with a grid of dates from 1 to 31. The word "Fechas" is written in red above the grid.
- Reco:** A section with a grid of numbers from 1 to 31. The word "Reco" is written in red above the grid.
- Stocks:** A section with a grid of numbers from 1 to 31. The word "Stocks" is written in red above the grid.
- P.A.S.:** A section with a grid of numbers from 1 to 31. The letters "P.A.S." are written in red above the grid.
- Otro:** A section with a grid of numbers from 1 to 31. The word "Otro" is written in red above the grid.

Handwritten notes and symbols are scattered throughout the grid, including numbers like 150, 270, and 200, and various symbols like π , σ , and ρ . The manual is placed on a surface with a blue background.

RUTA DE TRANSPORTE CARRETERO OROYA-CALLAO

