

***TRABAJO ESPECIAL DE GRADO***

**DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS DE EQUIPOS  
DE CARGA Y ACARREO EN CVG FERROMINERA ORINOCO  
CA. ESTADO BOLIVAR**

Trabajo Especial de Grado  
Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela para  
Optar al título de Ingeniero de Minas  
Por la Br.  
Viana Barrios, Clara Elena

Caracas, junio de 2004.

***TRABAJO ESPECIAL DE GRADO***

**DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS DE EQUIPOS  
DE CARGA Y ACARREO EN CVG FERROMINERA ORINOCO  
CA. ESTADO BOLIVAR**

**Tutor académico: Prof. Alex Villanueva**

**Tutor industrial: Ing. Víctor Cordero**

Trabajo Especial de Grado  
Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela para  
Optar al título de Ingeniero de Minas  
Por la Br.  
Viana Barrios, Clara Elena

Caracas, junio de 2004.

## **DEDICATORIA**

A mi Madre y Hermanos.  
A mis segundos padres, mi Tili y Tilo  
Y Especialmente a la memoria de mi  
Padre y Abuelos.

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad Central de Venezuela, institución que me dio todas las herramientas necesarias para mi crecimiento profesional.

A CVG Ferrominera Orinoco CA. por abrirme las puertas de su empresa para desarrollar mi investigación.

Al prof. Alex Villanueva, quien durante este tiempo dedico incontables horas de su tiempo y como un padre, me brindo los mejores consejos para conducirme por el camino que aseguraba la culminación de este trabajo.

Al Ing. Víctor Cordero quien fue mi tutor industrial y me facilitó el tema de este trabajo y me brindo su apoyo.

A la Ing. Zulmer Andara, Jefa del Dpto. de Minas, quien me brindo su mano amiga y todas las facilidades para cumplir con esta investigación.

Al Tec. Alan Peña por toda la colaboración que me ha prestado durante el desarrollo del trabajo, además de su paciencia y amistad.

A los compañeros de estudios y los amigos, que me estimularon a la culminación de este trabajo.

A todos los que no he nombrado, pero que de una u otra manera me apoyaron e impulsaron para llevar a feliz termino este informe.

***A TODOS MI ETERNO AGRADECIMIENTO***

*Clara E. Viana B.*

**VIANA B. CLARA E.**

**DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS DE EQUIPOS DE CARGA Y ACARREO EN CVG FERROMINERA ORINOCO CA. ESTADO BOLIVAR.**

**Tutor Académico: Prof. Alex Villanueva. Tutor Industrial: Ing. Víctor Cordero.  
Tesis. Caracas, UCV. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería de Minas.  
2004, n° pag. 125.**

**Palabra Clave: Ferrominera, Hierro, Camión, Pala.**

**RESUMEN:** La empresa CVG Ferrominera Orinoco CA es la encargada de explorar, extraer, procesar y comercializar el mineral de hierro en Venezuela, por lo que se requiere de una explotación racional de sus yacimientos, a fin de cumplir con la planificación a mediano y largo plazo, con el menor costo operativo y el mayor rendimiento de sus equipos de carga y acarreo, los cuales son determinantes para alcanzar las metas.

La investigación se orientó hacia la consecución del mejor rendimiento de los equipos analizándose el funcionamiento actual de los mismo, para ello se sometieron a comprobación varios procesos que arrojaron significativos resultados. El primer proceso que se verificó su efectividad fue el programa M821V1, el cual, a pesar de las virtudes que posee para otras funciones probadas con muy buenos resultados en el comportamiento cualitativo y cuantitativo de las minas en excavación, para el proceso de carga y acarreo fue diseñado para ser utilizado en minas, donde el frente de explotación es continuo y los equipos de carga y acarreo son una flota única, con características diferentes a las de FMO.

En cuanto a los cálculos convencionales, éste constituye la manera más directa para alcanzar los resultados finales. Es una respuesta al problema de la asignación de los equipos de carga y acarreo, debido a que su aproximación ofrece una primera visión del asunto, pero no refleja una realidad, porque intervienen muchos factores aleatorios fuera de control, motivo por el cual se requiere un análisis más detallado, incorporando la aleatoriedad del fenómeno mediante la simulación estocástica. Esta última expresa resultados más realistas, puesto que la operación no funciona como un reloj perfectamente engranado, más bien la variabilidad de la duración de los eventos operativos actúa en contra de su eficiencia. De hecho, la operación de carga más rápida no representa eventualmente un mejor ciclo de acarreo, pero un retraso en el mismo tiene una suerte de efecto dominó. Para la simulación se utilizó el método de Monte Carlo, con el cual se obtuvo que la distribución de equipos para el cumplimiento del plan es: en Los Barrancos/Las Pailas, 3 palas PH (14 yd<sup>3</sup>) con la flota de camiones de 170 ton (Catepillar y Komatsu); en San Isidro 2 palas PH (14 yd<sup>3</sup>) y como repuestos las pala BE (10 yd<sup>3</sup>) con la flota de camiones de 90 ton (Lectra Haul)

Se puede afirmar que los requerimientos de los equipos de carga y acarreo permiten con su optimización un mayor rendimiento en los frentes mineros y un menor tiempo de trabajo que, a su vez, significa una mayor rentabilidad para la empresa y por ende para el país.

Caracas, 25 de junio de 2004.

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Minas, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por la Bachiller Clara Viana, titulado:

**“DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS DE EQUIPOS  
DE CARGA Y ACARREO EN CVG FERROMINERA ORINOCO CA.  
ESTADO BOLIVAR”**

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero de Minas, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por el autor, lo declaran APROBADO.

Prof. Alba Castillo  
Jurado

Prof. Miguel Castillejo  
Jurado

Prof. Alex Villanueva  
Tutor Académico

Ing. Víctor Cordero  
Tutor Industrial

# CONTENIDO

## CAPÍTULO I EL PROBLEMA

<b>1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>3</b>
1.2.1 OBJETIVO GENERAL.....	3
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
<b>1.3 JUSTIFICACIÓN .....</b>	<b>3</b>

## CAPÍTULO II GENERALIDADES

<b>2.1 BREVE RESEÑA HISTÓRICA.....</b>	<b>6</b>
<b>2.2 VISIÓN .....</b>	<b>8</b>
<b>2.3 MISIÓN.....</b>	<b>8</b>
<b>2.4 UBICACIÓN Y ACCESO .....</b>	<b>8</b>
<b>2.5 HIDROLOGÍA.....</b>	<b>10</b>
<b>2.6 VEGETACIÓN .....</b>	<b>10</b>
<b>2.7 CLIMA.....</b>	<b>11</b>
<b>2.8 GEOLOGÍA .....</b>	<b>12</b>
2.8.1 GEOLOGÍA REGIONAL.....	12
2.8.2 GEOLOGÍA LOCAL.....	12
<b>2.9 TIPO DE MENA .....</b>	<b>16</b>
2.9.1 MENAS DURAS O COSTRA .....	17
2.9.2 MENA BLANDA O FRIABLE (FINOS).....	19
2.9.3 MENAS DE BAJO TENOR.....	21
2.9.4 ESTÉRIL.....	21
<b>2.10 PRODUCTO.....</b>	<b>21</b>
Fuente: Gerencia de Minería. FMO.....	24
<b>2.11 RESERVAS .....</b>	<b>25</b>
2.1.2. MÉTODOS PARA EL CÁLCULO DE RESERVAS .....	26
3.2.3 RESERVAS RECUPERABLES.....	27
2.12 MINERÍA.....	28
2.13 ESTRUCTURA ORGANIZATIVA DE LA GERENCIA DE MINERIA.....	31

## CAPÍTULO III.- MARCO TEÓRICO



<b>3.1 MÉTODO DE EXPLOTACIÓN A CIELO ABIERTO.....</b>	<b>32</b>
3.1.1 GEOMETRÍA DEL PIT DE EXPLOTACIÓN.....	35
<b>3.2 PLANIFICACIÓN DE MINAS .....</b>	<b>36</b>
3.2.1 PLANIFICACIÓN A LARGO PLAZO: .....	36
<b>3.3 CAPACIDAD DE CARGA Y ACARREO .....</b>	<b>37</b>
3.3.1 ANTECEDENTES DE EQUIPOS OPERATIVOS DE FMO.....	38
3.3.2. INDICADORES DE LA OPERACIÓN .....	38
3.3.3 CAPACIDAD DE EXCAVACIÓN.....	39
3.3.4 CAPACIDAD DE ACARREO .....	42
<b>3.4 SIMULACIÓN DE CARGA Y ACARREO.....</b>	<b>43</b>
3.4.1. SIMULACIÓN ESTOCÁSTICA. ....	44
3.4.2. SIMULACIÓN DE MONTE CARLO .....	44
3.4.3. PROCEDIMIENTO CON EXCEL.....	46
<b>3.5 SOFTWARE MEDSYSTEM (SISTEMA DE DISEÑO Y EVALUACIÓN DE MINERALES).....</b>	<b>48</b>
3.5.1. OPERACIONES CON DATOS DE SONDEOS.....	49
3.5.2 OPERACIONES CON DATOS DIGITALIZADOS (VBM).....	49
3.5.3 OPERACIONES CON COMPUESTOS. ....	50
3.5.4 OPERACIONES DE MODELAMIENTO. ....	50
3.5.5 DISEÑO ECONÓMICO DEL LÍMITE DE EXCAVACIÓN.....	51
3.5.6 EVALUACIÓN DEL LÍMITE DE EXCAVACIÓN. ....	51
3.5.7 PROGRAMA DE PRODUCCIÓN.....	52
<b>3.6 PROGRAMA M821V1 .....</b>	<b>54</b>
3.6.1 SOLUCIÓN ÓPTIMA A LA SIMULACIÓN.....	56
 <b>CAPITULO IV ANÁLISIS DE REQUERIMIENTOS DE EQUIPOS</b>	
<b>4.1 INDICADORES OPERATIVOS DE LOS EQUIPOS .....</b>	<b>58</b>
4.1.1 CICLO DE EXCAVACIÓN.....	58
4.1.2 TIEMPO EFECTIVO .....	60
4.1.3 TIEMPO DE ACARREO .....	61
4.1.4 EQUIPOS MINEROS.....	62
<b>4.2 METAS DE PRODUCCIÓN .....</b>	<b>64</b>
<b>4.3. REQUERIMIENTO DE EQUIPOS MEDIANTE MEDSYSTEM.....</b>	<b>67</b>
4.3.1. VALIDACIÓN DEL PROGRAMA M821V1.....	69
<b>4.4. REQUERIMIENTOS DE EQUIPOS DE CARGA Y ACARREO .....</b>	<b>71</b>

4.4.1 CÁLCULOS CONVENCIONALES DE EQUIPOS DE CARGA Y ACARREO.....	71
4.4.2. ASIGNACIÓN DE EQUIPOS.....	82
4.4.3. SIMULACION ESTOCASTICA .....	83
4.4.4. COMPARACIÓN ENTRE AMBOS METODOS.....	89
4.4.5. ANÁLISIS COMBINATORIO .....	93
4.4.6. ASIGNACION DE EQUIPOS MINEROS.....	98

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Composición Química de la Mena Dura o Costra .....	19
Tabla 2 Química de la Mena Blanda o Friable (Finos).....	20
Tabla 3 Composición Química de la Mena de Bajo Tenor.....	21
Tabla 4 Composición Química de la Laterita .....	21
Tabla 5 Características Físicas y Químicas de los Tipos de Finos .....	22
Tabla 6 Características Físicas y Químicas de los Tipos de Gruesos .....	23
Tabla 7 Características Físicas y Químicas de los Tipos de Pellas.....	24
Tabla 8 Reservas Geológicas de C.V.G. Ferrominera Orinoco C.A.....	26
Tabla 9 Características Químicas Promedio .....	28
Tabla 10 Reservas Recuperable .....	28
Tabla 11 Factor de Giro .....	41
Tabla 12 Tiempo del ciclo de excavación.....	60
Tabla 13 Tiempos de carga para cada camión de acuerdo al equipo de carga.....	62
Tabla 14 Tiempos de descarga y viaje para cada camión .....	62
Tabla 15 Tiempo de ciclo para cada yacimiento de acuerdo con los perfiles establecido.....	62
Tabla 16 Estimación del despacho y producción de minas año 2004 – 2008.....	65
Tabla 17 Estimación del despacho y producción de minas. Promedio anual. ....	65
Tabla 18 Excavación de minas para el periodo 2004 – 2008.....	66
Tabla 19 Excavación de minas para el año 2004.....	66
Tabla 20 Excavación de minas para el año 2005.....	66
Tabla 21 Excavación de minas para el año 2006.....	66
Tabla 22 Excavación de minas para el año 2007.....	66
Tabla 23 Excavación de minas para el año 2008.....	67
Tabla 24 Costo Estándar.....	71
Tabla 25 Número de viajes de cada tipo de camión.....	72
Tabla 26 Rendimiento de los equipos de acarreo (ton/hr).....	73
Tabla 27 Capacidad máxima de acarreo (ton/año).....	73
Tabla 28 Resumen de los casos Evaluados.....	82
Tabla 29 Asignación de equipos, Los Barrancos – Las Pailas.....	83
Tabla 30 Asignación según método convencional, mina San Isidro .....	83
Tabla 31 Parámetros Simulación de San Isidro: pala BE(10yd <sup>3</sup> ) y camiones 90ton ..	84
Tabla 32 Parámetros Simulación de San Isidro: pala PH(14yd <sup>3</sup> ) y camiones 90ton ..	84
Tabla 33 Parámetros Simulación de San Isidro: pala PH(14yd <sup>3</sup> ) y camiones 170ton	84

Tabla 34 Esquema propuesto para el plan quinquenal.....	98
Tabla 35 Asignación de equipos mineros para el Cerro San Isidro .....	98
Tabla 36 Esquema propuesto para el plan quinquenal. Mina San Isidro.....	99

## **INDICE DE ILUSTRACIONES**

Ilustración 1 Cerro Bolívar.....	6
Ilustración 2 Ubicación de los Yacimientos Ferríferos de FMO. ....	9
Ilustración 3 Alrededores de los Yacimientos Ferríferos.....	11
Ilustración 4 Frente de Explotación. Mina San Isidro.....	14
Ilustración 5 Frente de Explotación. Mina Los Barrancos.....	17
Ilustración 6 Parámetros para el Diseño de Fosa de Excavación.....	27
Ilustración 7 Proceso de Minería.....	30
Ilustración 8 Diagrama de Open Pit.....	33
Ilustración 9 Diagrama de Open Cut.....	33
Ilustración 10 Diagrama de Strip Mining.....	34
Ilustración 11 Diagrama de Glory Hole.....	34
Ilustración 12 Operación de Carga. Mina Los Barrancos.....	37
Ilustración 13 Base de datos de tiempos generados.....	46
Ilustración 14 Esquema para la simulación.....	47
Ilustración 15 Diagrama de Evaluación Minera.....	53
Ilustración 16 Configuración Minera Factible.....	55
Ilustración 17 Diagrama de Excavación.....	59
Ilustración 18 Ciclo de acarreo.....	61

## **INDICE DE ANEXOS**

ANEXO 1 Estructura Organizativa de la Gerencia de Minería.....	106
ANEXO 2 Datos de Entrada al Programa M821V1.....	107
ANEXO 3 Reporte Emitido por el Programa M821V1.....	108
ANEXO 4 Base de datos para la Simulación Estocástica.....	109
ANEXO 5 Simulación de los ciclos Operativos.....	110

## INTRODUCCIÓN

Esta investigación está referida a los aspectos prácticos, conceptuales y metodológicos del tema vinculado a requerimientos de equipos mineros de carga y acarreo para los planes de mediano y largo plazo de explotación de las minas San Isidro, Los Barrancos y Las Pailas de la CVG Ferrominera Orinoco CA., con el fin de obtener el máximo rendimiento en la producción minera, con el menor costo operativo.

Para desarrollar la problemática planteada se consideró el Plan Quinquenal 2004 – 2008 de la empresa y se analizó la aplicación del programa M821V1 del software Medsystem. Por otra vía se desarrollaron los cálculos convencionales de requerimientos de flota de carga y acarreo y luego se formuló un modelo de simulación estocástica de la operación de carga y acarreo. Finalmente se realizó un completo análisis combinatorio para determinar en definitiva la asignación óptima de los equipos en las diferentes minas del Cuadrilátero Ferrífero de San Isidro.

Para su mayor comprensión el proyecto se presenta en cuatro capítulos. En el capítulo I se esboza el planteamiento del problema, en el capítulo II se indica las generalidades de la empresa, en el capítulo III se explica la teoría desarrollada y el capítulo IV contiene el análisis de requerimiento de equipos de carga y acarreo.

La metodología empleada para este trabajo se basó en una investigación de campo y en el uso de aplicación directa de herramientas computarizadas, en observación y medición de las operaciones en la propia mina, en fuentes bibliográficas, hemerográficas y orales que permitieron realizar cálculos de los procesos. Así para el planteamiento de las generalidades se utilizaron fuentes bibliográficas, hemerográficas, Memorias y Cuentas, Resumen de Actividades, y artículos de web de la empresa CVG Ferrominera Orinoco CA.

Para la validación del programa M821V1 se utilizaron todas las herramientas que posee la empresa sobre el software Medsystem.

En la estimación y validación de los resultados se manejaron los métodos convencionales de carga y acarreo y la simulación estocástica por el método de Monte Carlo, los cuales permitieron obtener resultados precisos de los requerimientos de equipos de carga y acarreo necesarios para cumplir eficientemente con la planificación a mediano y largo plazo de CVG Ferrominera Orinoco CA.

Por último se presentan las conclusiones, los anexos y las fuentes consultadas, de la investigación.



# **CAPÍTULO I EL PROBLEMA**

## ***1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA***

La motivación principal de minería se centra en la necesidad de obtener el mayor aprovechamiento de los recursos minerales de los yacimientos de hierro que actualmente tiene en explotación CVG Ferrominera Orinoco CA., la cual exige que se deben revisar y actualizar los medios y equipos existentes en procura de una planificación minera que arroje un máximo rendimiento; en consecuencia se requiere de un adecuado diseño de los límites finales de excavación y la formulación de una secuencia racional de explotación.

En este contexto, es necesaria la asignación de los equipos de carga y acarreo que, mediante el análisis de alternativas operativas diferentes, permita minimizar los costos operativos y, a su vez, satisfacer las metas de producción planteadas.

El Departamento de Planificación de Minas estima la capacidad de producción actual de los equipos de las minas basándose en la información y estadísticas de las operaciones realizadas. Sin embargo, la proyección a futuro dependerá de la condición de los equipos, el esquema operativo y la utilización de la flota disponible.

Los cálculos, que convencionalmente se realizan no toman debidamente en cuenta la interrelación entre los equipos de carga y acarreo, de manera que no hay una óptima programación que minimice las demoras operativas, tales como el camión esperando para ser cargado o la pala esperando por camiones para cargar.

De esta forma, es conveniente obtener en primera instancia los requerimientos de carga y acarreo con el método convencional de cálculo y, luego,

comprobar con la simulación estocástica los resultados y precisar los promedios que reflejen más fielmente la capacidad de producción real.

Para este análisis existe, en la empresa, el programa M821V1, del software llamado Medsystem, que es una aplicación para la determinación de los requerimientos de los planes de minas. Este software fue adquirido para realizar fundamentalmente el cálculo de reservas y los diferentes planes de mina, pero la aplicación M821V1 no ha sido utilizada hasta la fecha.

Es importante verificar la posibilidad de aplicar la herramienta mencionada para conceptualizar adecuadamente el problema y, con el programa en cuestión u otros medios, desarrollar un modelo realista de cálculo que permitan estimaciones de rendimiento y capacidad de producción acorde con la realidad operativa.



## ***1.2 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN***

### **1.2.1 OBJETIVO GENERAL**

Determinar los requerimientos de equipos mineros de carga y acarreo en los planes de minas a largo plazo, para la explotación de los yacimientos de CVG Ferrominera Orinoco CA., bajo el criterio de minimizar los costos operativos.

### **1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

\* Seleccionar una base de datos estadísticos de los rendimientos, disponibilidad y eficiencia de los equipos mineros existentes en la empresa.

\* Revisar las metas de producción de cada yacimiento, previstas en el esquema general de operaciones mineras para un quinquenio dado.

\* Evaluar el programa M821V1 del software Medsystem para el requerimiento de los equipos mineros.

\* Establecer los ciclos operativos de los equipos disponibles asignados en cada posible mina.

\* Determinar los requerimientos de los equipos de carga y acarreo mediante los métodos convencionales de cálculo de rendimientos y costos unitarios

\* Determinar los requerimientos de los equipos de carga y acarreo mediante procedimiento de simulación estocástica.

\* Comparar ambos métodos para optimizar la asignación de equipos mineros.

\* Determinar la capacidad de producción versus los requerimientos de producción según los planes de minas, a través del análisis combinatorio.

### 1.3 JUSTIFICACIÓN

La CVG Ferrominera Orinoco CA. es la empresa del estado venezolano que está encargada de la explotación y comercialización del mineral de hierro en el país; actualmente tiene en producción las minas San Isidro, Las Pailas y Los Barrancos; las cuales pudieran alcanzar un mayor rendimiento de explotación si se mantienen en una explotación racional, orientada al máximo aprovechamiento de los recursos geológicos disponibles en cada yacimiento.

En este sentido, la planificación debe proporcionar las herramientas necesarias para proyectar el máximo aprovechamiento del personal, de los equipos mineros y de los materiales necesarios para el esquema operacional, considerando los recursos ya disponibles en la empresa.

La aplicación de las herramientas de comparación y evaluación para las diferentes alternativas antes de su ejecución, debe permitir optimizar la asignación de equipos y los costos de operaciones. Además el uso de herramientas computarizadas constituyen un aporte que agiliza la estimación de los costos y la máxima utilización de equipos.

Al contribuir a resolver el problema del mayor aprovechamiento de los equipos de carga y acarreo, se contribuye a bajar los costos operativos beneficiando a la empresa al aumentar los ingresos en su balance general.

Finalmente, una explotación racional contribuye a mejorar no sólo las condiciones socio económicas de las zonas aledañas a los yacimientos al proporcionarles nuevas fuentes de empleo, sino que en general afectaría todo el país, porque en la medida que obtenemos un mayor rendimiento en las explotaciones mineras, también serán mayores los aportes al fisco nacional, que a su vez beneficia a toda la nación.

## CAPÍTULO II GENERALIDADES

### ***2.1 BREVE RESEÑA HISTÓRICA***

La existencia del hierro en la región de guayana era conocida desde la época de la colonia, pero fue en 1939 cuando, el Estado venezolano comienza a interesarse seriamente en los cuantiosos recursos mineros que se encuentran al sur del país, en el Estado Bolívar. Para ello el gobierno de transición del Gral. Eleazar López Contreras nombró una comisión de expertos que evaluó sus potencialidades mineras, obteniéndose como resultado la existencia del gran potencial ferrífero de la región, hecho este que llevó al ejecutivo nacional a decretar como zona reservada para la exploración y explotación del mineral de hierro, los distritos Piar y Roscio del Estado Bolívar y el Territorio Federal Delta Amacuro.



**Ilustración 1 Cerro Bolívar.**

Algunas compañías extranjeras fueron atraídas por este hallazgo y es así que para 1945, la Oliver Iron Mining Co., subsidiaria de la US. Steel, inicia la exploración ferrífera al este del río Caroní; en 1947, se explora y prueba la buena capacidad ferrífera del Cerro la Parida, cuyo nombre fue cambiado en 1948 por el de Cerro Bolívar. (Ver ilustración 1).

Para 1949, se funda la Orinoco Mining Company, subsidiaria de la US. Steel Corporation de los Estados Unidos y que con el tiempo se convirtió en una de las empresas extranjeras de extracción de hierro más importante del país.

Para el año 1950, se establece otra empresa estadounidense Iron Mines Company of Venezuela; ésta inicia la explotación del yacimiento localizado en cerro El Pao. En los años siguientes se da inicio al dragado del río Orinoco para ampliar el canal de navegación.

En 1954, la Orinoco Mining Company Co. alcanzó a exportar 3 millones de toneladas de hierro del yacimiento ubicado en el Cerro Bolívar. Esta misma empresa a finales de la década del 60, amplía sus operaciones con la construcción de la planta de briquetas.

Para el 1ro de enero de 1975, el estado venezolano nacionalizó la industria del hierro. El 3 de enero, Venezuela envía el primer embarque, después de la nacionalización en el buque Tyne Ore con una carga de 17.417 toneladas de mineral de hierro con destino a Estados Unidos.

El 10 de diciembre de ese mismo año (1975), se constituye formalmente la C.V.G Ferrominera Orinoco C.A., pasando así a formar parte de una de las empresas estatales que conforman a la Corporación Venezolana de Guayana, la cual quedó encargada para 1976, como empresa responsable de la exploración, explotación y comercialización del mineral de hierro y sus derivados en todo el territorio nacional.

En la actualidad, C.V.G. FMO tiene en explotación los cerros San Isidro, Los Barrancos y Las Pailas con unas reservas totales de 405,43; 947,06 y 136,52 millones de toneladas, respectivamente.

## ***2.2 VISIÓN***

C.V.G Ferrominera Orinoco C.A., se proyecta como una empresa con una gestión de calidad, en armonía con el medio ambiente, que ofrece productos altamente competitivos al sector siderúrgico nacional e internacional

## ***2.3 MISIÓN***

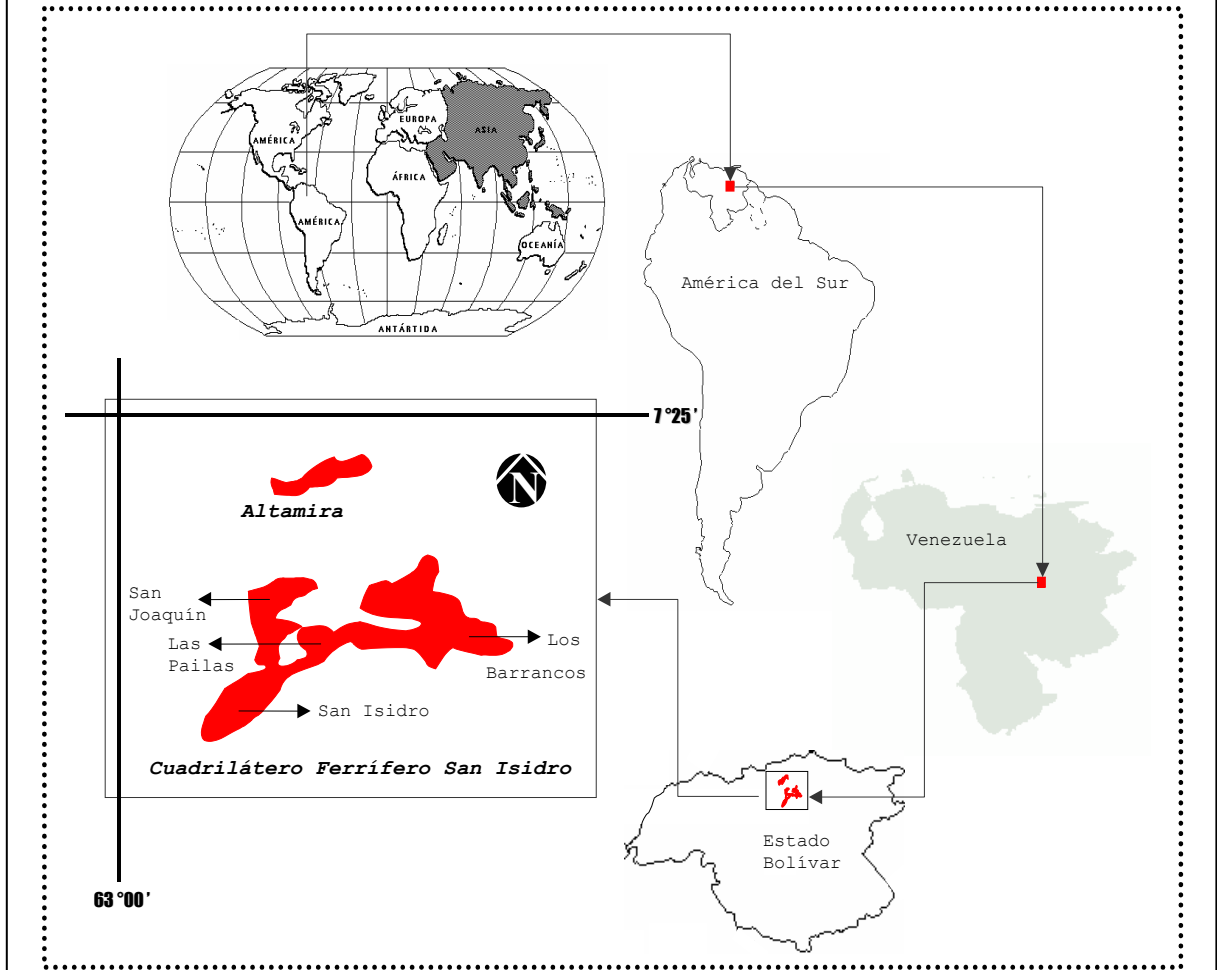
C.V.G. Ferrominera Orinoco C.A., empresa del Estado Venezolano, tiene como responsabilidad la explotación de la industria del mineral de hierro y sus derivados con productividad, calidad y competitividad, de forma sostenible y sustentable, para abastecer oportuna y suficientemente a la industria siderúrgica nacional y aquellos mercados internacionales que resulten económicos y estratégicamente atractivos, garantizando la rentabilidad de la empresa y contribuir al desarrollo socio-económico del país.

## ***2.4 UBICACIÓN Y ACCESO***

Los yacimientos ferríferos se ubican al sur-este de Ciudad Piar, zona que pertenece al Municipio Autónomo Raúl Leoni, Distrito Heres del Estado Bolívar, con una latitud norte de 7°25' y longitud oeste de 63°10'; en la provincia geológica de Imataca del Escudo Guayanés en el Estado Bolívar. (Ver ilustración 2).



## C.V.G. FERROMINERA ORINOCO C.A.



Fuente: C.V.G. Ferrominera Orinoco C.A.

### **Ilustración 2 Ubicación de los Yacimientos Ferríferos de FMO.**

A los mismos se le puede acceder por la vía que comunica a Ciudad Piar con Santa Bárbara, a una distancia aproximada de 12km, con Ciudad Guayana se encuentra a una distancia de 140km y con Ciudad Bolívar a unos 115km. Internamente los yacimientos se comunican por carretera granzonada a los diferentes

frentes de explotación, trasladando la carga mediante un ramal ferroviario de 136km, aproximadamente desde el Cerro San Isidro hasta Puerto Ordaz; este ferrocarril es utilizado solamente como transporte de mineral.

## ***2.5 HIDROLOGÍA***

Es posible describir la red hidrográfica de la región dentro de la cuenca del río Caroní, siendo los cursos de agua en su mayoría intermitentes y torrenciales, aunque las quebradas Tocoma, San Isidro y Purgatorio son permanentes ó casi permanentes, y en cuanto a los drenajes en las cabeceras de los diferentes cursos de aguas, estos se encuentran por lo regular, debajo de la formación ferrífera a nivel del contacto entre la roca mineralizada y los gneises, esquistos, lateritas, etc., tomando un rumbo de acuerdo a la foliación.

El drenaje de las aguas está controlado por las zonas de debilidad de los corrimientos, que sirven de contactos a las diferentes fajas de rocas, las vertientes en la mayoría de los casos poseen dirección de Norte–Sur a N20°W.

## ***2.6 VEGETACIÓN***

La zona pertenece a una región montañosa cubierta con espesa vegetación, caracterizada por ser baja en las colinas y alta y densa en los valles.

La flora que predominante está clasificada como Bosque Tropical Macrotérmico y Bosque Pluvial Submontano y Montano, donde se desarrollan especies como la Clusia, de la familia Lakeii o Copey y Guttiferal, relativa de los suelos ricos en mena de hierro.



En esta zona donde aflora la mena de hierro la vegetación presente es muy baja y rala, mientras que en los suelos lateríticos o los formados por rocas básicas y ácidas la vegetación es alta y abundante.

En cuanto a la fauna existente en la región se tienen a las serpientes venenosas, varias clases de monos, cachicamos, venados, picures, conejos, pavos, entre otros.



**Ilustración 3 Alrededores de los Yacimientos Ferríferos**

## ***2.7 CLIMA***

La región pertenece a un clima tropical seco; la temperatura promedio en la zona es de aproximadamente 26,7°C. La precipitación anual de la región es aproximadamente de 1.905 mm, siendo de Marzo a Octubre los meses de lluvias, aunque es en Junio y Agosto cuando se presentan con mayor intensidad. (Ver ilustración 3).

## **2.8 GEOLOGÍA**

### **2.8.1 GEOLOGÍA REGIONAL**

El escudo de Guayana (Escudo Precámbrico Venezolano) está situado al Sur de Venezuela. Su expresión septentrional se encuentra al sur del curso del Río Caroní, cubriendo los Estados Bolívar, Delta Amacuro y Amazonas, mientras la parte meridional se adentra en Colombia, Brasil, Guyana, Surinam y la Guayana Francesa. Hacia la zona de Venezuela comprende rocas arqueozóicas y proterozóicas de muy diversas litologías, alternando, en mayor o menor grado, debido a una serie de episodios geotectónicos mayores.

Basándose en caracteres petrológicos y tectónicos, el Escudo de Guayana ha sido dividido en cuatro provincias: Imataca, Pastora, Cuchivero y Roraima. Estas provincias se diferencian en sus direcciones estructurales, estilos de deformación tectónica, asociaciones litológicas y metalogénicas y edades.

La provincia Imataca, se extiende en dirección SW-NE, desde las proximidades del Río Caura hasta el Delta de Amacuro y en dirección NW-SE, aflora desde el curso del Río Orinoco hasta la falla del Hurí por unos 550 KM. Y 80 Km. Respectivamente. En general se considera que la provincia está representada en la actualidad, por un conjunto de metasedimentos graníticos plegados en forma compleja por intrusiones graníticas posteriores.

La litología característica del complejo de Imataca está representada por gneises félsico y máficos intercalados con capas de cuarcitas ferruginosas, granulíticas y cuerpos delgados de ricas graníticas.

### **2.8.2 GEOLOGÍA LOCAL**

El Distrito Ferrífero Piar pertenece a la Provincia Geológica de Imataca, la cual está situada en el extremo norte de la Guayana Venezolana y se extiende en

dirección NE desde el Río Caura, hasta el Delta del Orinoco por unos 550 Kilómetros y en dirección NS aflora desde el curso del Río Orinoco, hasta la Falla de Guri, por unos 80 Kilómetros.

La edad de las rocas de la Provincia Imataca es Arqueozóica (3400 - 3700 Ma), fechada por los métodos radiométricos Rubidio-Estroncio y Plomo-Plomo. Litológicamente está constituida por ortogneis cuarzo-feldespático, paragneis y granulitas félsicas (más del 80%), ortogneis intermedio a máfico, granulita y charnokita (10 - 15%), formación bandeada de hierro metamorfizada (1%) y menores cantidades de rocas metasedimentarias manganíferas, mármoles dolomíticos y anortositas. El protolito del Complejo Imataca consiste de rocas metasedimentarias elásticas y químicas, rocas volcánicas sub-aérea silíceas calco-alcalinias, y menos rocas plutónicas. El metamorfismo registrado en estas rocas varía de las facies de las granulitas y los piroxenos, en la parte del cinturón generalmente al NE del área del Lago de Gurí, a las facies de las anfibolitas al SO del área.

Las tendencias estructurales que dominan la región son N 60°-70° E, más o menos paralelas a la Falla de Gurí. En realidad registra seis o más dominios tectónicos, separados entre sí por grandes fallas mayores del tipo corrimiento. El plegamiento es isoclinal, con replegamientos más abiertos. En la parte Norte, los pliegues tienen rumbo NW mientras que la parte sur la tendencia dominante de los pliegues es N 70°-80° E.

#### ***Cuadrilátero Ferrífero San Isidro***

Comprende los yacimientos de menas de hierro de los cerros San Isidro, Las Pailas, Los Barrancos y San Joaquín, los cuales abarcan una extensión de 11 Km de largo por 5 Km de ancho. Se podría considerar la totalidad del Cuadrilátero como un yacimiento, pero por razones de sistematización de los datos y al hecho que los

separan cuerpos de estéril han sido divididos en los yacimientos antes nombrados. (Ver ilustración 4).

Los cuerpos de menas están situados en la parte superior de las colinas entre 430 y 800 msnm, en cuyas superficies afloran casi exclusivamente los tipos de mena corteza (costras) y a mayor profundidad se presentan diferentes tipos de menas friables (finos) con intercalaciones de costras. Estos finos pasan transicionalmente a cuarcitas ferruginosas friables, cuarcitas ferruginosas duras, hasta alcanzar las zonas estériles (lateritas).

Estructuralmente el Cuadrilátero Ferrífero San Isidro concuerda con los patrones estructurales del Complejo de Imataca.



**Ilustración 4 Frente de Explotación. Mina San Isidro**

### Cerro San Isidro

Es una colina alargada de 10 km de largo por 2 km de ancho. El mineral está recargado hacia el sur, de ahí que, en un principio se creía que no tenía reserva suficiente porque, visto desde el Norte el contacto de la mena está muy alto, casi en el tope del Cerro. Tiene una altura máxima de 710 msnm., unos 410 m sobre la sabana circundante.

La mena es bastante uniforme en superficie; el área de la zona mineralizada tiene 3 km de largo por 600 m de ancho promedio y la profundidad media de 60 m a profundidad, la mineralización es también bastante uniforme y está constituida por 80% de finos y 20% de costra.

La cuarcita ferruginosa tiene un espesor original de 60 m, se retuerce, se dobla sobre sí misma, se multiplica por fallamiento y forma una especie de huso, tanto en superficie como en profundidad. El rumbo de las capas es constante (N 60°E) y el buzamiento es bastante pronunciado, 30° al sur y 90° al norte.

El mineral de hierro está circunscrito en un sinclinorio y las cuarcitas subyacentes y las de los alrededores pertenecen a un anticlinorio.

### Cerro Las Pailas

El Cerro Las Pailas está situado en el centro de gravedad del Cuadrilátero Ferrífero San Isidro. Su altura máxima es de 700 m.s.n.m. Es redondeado y el más pequeño del grupo, pero su tonelaje es apreciable (mínimo 80 millones de toneladas).

Los elementos de foliación tienen dirección N - S que corresponden a todo el grupo; las fallas y fracturas tienen rumbo N 60° W, y a pesar de constituir un sinclinal metido entre otras estructuras mayores de Los Barrancos, San Isidro y San Joaquín, ha mantenido una posición elevada al resistir la erosión. Las Pailas no sólo está en el centro de gravedad, sino que sirve de enlace de todos los yacimientos del

Cuadrilátero Ferrífero San Isidro. Su ramal Noroeste se prolonga y penetra en San Joaquín y el ramal Sur-Oeste penetra en San Isidro, tales ramales se consideran como un anticlinal erosionado en su sección central.

### Cerro Los Barrancos

Es el yacimiento más oriental y el de mayor extensión del Cuadrilátero. Su parte sur forma un escarpado (barranco) de falla de unos 3 km en dirección E-O, con alturas variables entre 30 y 150 m sobre el nivel de la sabana circundante.

El Cerro Los Barrancos, ha sido dividido en cinco zonas A, B, C, D y E debido a su gran extensión y por sus diferencias estructurales, que pudieran ser pseudo-cuerpos separados. Las zonas A y B forman parte del área denominada Los Barrancos I y las zonas C, D y E fueron asignadas a Los Barrancos II, donde su elevación máxima es de 790 msnm., y en la superficie aflora la mena tipo costra, que recubre la mena friable. El yacimiento Los Barrancos es de estructura compleja y de una topografía bastante irregular.

En el yacimiento ubicado en Los Barrancos I existen menas de hierro con aproximadamente 67% de Fe, 1% de SiO<sub>2</sub> Y 0,5% de AL<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; donde la mena con un mínimo de 59% de Fe, y un máximo de 11% de SiO<sub>2</sub> son consideradas de alto tenor.

Por su parte el yacimiento Los Barrancos II, donde la mena de hierro es más abundante, contiene 66% de Fe, 1% de SiO<sub>2</sub> y 1% de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; la mena de alto tenor contiene 57% como mínimo de Fe y 11% como máximo de SiO<sub>2</sub>.

## **2.9 TIPO DE MENA**

En los yacimientos de C.V.G Ferrominera Orinoco, se distinguen dos tipos principales de mena de alto tenor como son:

- Menas Duras o Costra

- Menas Blandas o Friables (Finos)

Además de las dos menas de alto tenor, se tienen las menas de bajo tenor y el estéril, todas las cuales han sido clasificadas de acuerdo a su textura, estructuras y composición química. (Ver ilustración 5)

### **2.9.1 MENAS DURAS O COSTRA**

Se originan de los procesos de disolución, hidratación y cementación en la parte superior de los yacimientos de tipo residual, como es el caso de San Isidro; entre los tipos de costras se tiene:



**Ilustración 5 Frente de Explotación. Mina Los Barrancos**

#### ***Costra Hematítica (Vh)***

Está compuesta principalmente por hematita especular y su composición química es similar a los finos negros, pero las costras contienen mayor proporción de

sílice, alúmina y pérdida por ignición, algunas variedades de costras contienen magnetita.

Las costras hematíticas se pueden encontrar desde homogénea con cristales desarrollados, que pudieran ser agregados de hematita primaria, hasta finamente laminadas y bandeadas. Se hallan a diferentes niveles del yacimiento, tanto en superficie como interestratificadas con las menas friables en profundidad.

***Costra Gohetítica (Vg)***

Integrada por gohetita microcristalina o amorfa, masiva, dura y frágil, de color pardo, con brillo mate o negro con brillo adamantino; es mineralógicamente pura y en pequeñas cantidades, se presenta con limonita cementada, cristales de gohetita y cuarzo.

***Costra Limonítica (Vy)***

Mena compuesta principalmente por hematita, gohetita y limonita; además de cuarzo, caolinita, gibsita y otros minerales en pequeña proporción.

***Costra Laminada (Vp)***

Mena dura en bandas delgadas con capas alternas de hematita y gohetita.

***Costra Masiva (Vm)***

Constituida de cantidades variables de gohetita, limonita y hematita, usualmente con poca o ninguna magnetita, y es de bandeamiento incospícuo.

***Costra Bandeada (Vb)***

Compuesta con bandas alternas de hematita y gohetita.

***Costra Recementada (Vc)***

Formada por fragmentos angulares o subangulares, aluviales o fanglomeráticos, cualquier subtipo de mena aglomerada por gohetita.



### ***Costra Sílicea (Vs)***

Similar a la mena de costra masiva, pero con cierta cantidad de granos o cristales de cuarzo.

### ***Ganga (C)***

Fragmentos angulares o subangulares cementados, de tipo aluvial o flagomerático, ubicado en meseta, cabalgaduras y valles; la formación de hierro se presenta con fragmentos.

**Tabla 1 Composición Química de la Mena Dura o Costra**

Mena Dura o Costra		Composición Química (%)			
Tipo de Mena	Código	Fe (Seco)	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	PPC
Costra Hematíticas	Vh	66 - 69	0 - 2	0 - 2	0 - 4
Costra Gohetítica	Vg	58-63	0-3	0-2	7-12
Costra Limonítica	Vy	60-66	0-2	0-2	5-9
Costra Laminada	Vp	65 - 68	0-2	0-2	2-5
Costra Masiva	Vm	60-65	0-2	0-3	2-5
Costra Bandeada	Vb	63-66	0-2	0-2	2-6
Costra Recementada	Vc	62-65	0-2	0-3	2-6
Costra Sílicea	Vs	60-66	1-3	0-3	0-5
Ganga	C	52-58	2-5	2-5	7-10

Fuente: Gerencia de Minería. FMO.

## **2.9.2 MENA BLANDA O FRIABLE (FINOS)**

Poseen apariencia de arena suelta, moderadamente hidratadas, con alta porosidad, se presentan finamente laminados.

### ***Finos Negros (B)***

Grano de hematina, sueltos, muy finos, con poco o ningún otro mineral ferroso.

### ***Finos Negros Síliceos (Bs)***

Constituidos por granos muy finos o medios, sueltos o aglomerados, de hematita negra con algunos granos de cuarzos.

***Finos Marrones (F)***

Compuestos por granos finos o medios de hematita, sueltos o aglomerados, con algo de gohetita; esporádicamente escasas bandas de granos duros y macizos; las cavidades vacías en la mena son frecuentes.

***Finos Marrones Síliceo (Fs)***

Están integrados con la misma composición que los finos marrones, pero con mayor proporción de cuarzo.

***Finos Negros muy Síliceos (Bv)***

Son similares a los finos marrones síliceos, con la diferencia que posee una cantidad relativamente grande de hematita en su composición.

***Finos Marrones muy Síliceo (Fv)***

De composición igual a los ya nombrados, pero con un alto contenido de cuarzo.

***Limonita (Y)***

Compuesta de limonita térrea, blanda, porosa con color ocre amarillo en un 90% y de minerales arcillosos un 10%.

**Tabla 2 Química de la Mena Blanda o Friable (Finos)**

<b>Mena Blanda o Friable (Finos)</b>		<b>Composición Química (%)</b>			
<b>Tipo de Mena</b>	<b>Código</b>	<b>Fe (Seco)</b>	<b>SiO<sub>2</sub></b>	<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>PPC</b>
<b>Finos Negros</b>	B	65-69	0 - 2	0 - 2	0-3
<b>Finos Negros Síliceos</b>	Bs	63-65	2-6	0-2	0-3
<b>Finos Marrones</b>	F	64-67	0-2	0-2	2-4
<b>Finos Marrones Síliceos</b>	Fs	62-66	0-2	0-2	2-4
<b>Finos Negros muy Síliceos</b>	Bv	55-62	>6	0-2	0-3
<b>Finos marrones muy Síliceos</b>	Fv	55-62	6-18	0-2	2-4
<b>Limonita</b>	Y	56-60	1-6	2-8	7-12

Fuente: Gerencia de Minería. FMO.

### 2.9.3 MENAS DE BAJO TENOR

#### *Cuarcita Ferruginosa Friable (IFf)*

Se compone por granos de hematita, martita, algo de gohetita y principalmente de cuarzo; es cuarcita lixiviada parcialmente, por remoción de sílice.

#### *Cuarcita Ferruginosa (IF)*

Su mineralogía es magnetita, hematita, poca gohetita y proporciones menores de mica, anfíbolita, calcita y apatito; constituye la roca primaria fresca que origina las menas de hierro.

**Tabla 3 Composición Química de la Mena de Bajo Tenor**

Mena de Bajo Tenor		Composición Química (%)			
Tipo de Mena	Código	Fe(Seco)	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	PPC
Cuarcitas Ferruginosas friables	IFf	45-55	18-35	0-2	0-2
Cuarcitas Ferruginosas	IF	30-45	35-55	0-2	0-2

Fuente: Gerencia de Minería. FMO.

### 2.9.4 ESTÉRIL

#### *Laterita (L)*

Arcilla sílicea blanda, de color rosáceo a blanco, producto de la meteorización de gneis, esquisto y rocas ígneas.

**Tabla 4 Composición Química de la Laterita**

Estéril		Composición Química (%)			
Tipo	Código	Fe(Seco)	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	PPC
Laterita	L	45-55	18-35	0-2	0-2

Fuente: Gerencia de Minería. FMO.

## 2.10 PRODUCTO

CVG. Ferrominera Orinoco C.A. extrae de sus distintos yacimientos en explotación el mineral de hierro el cual al ser procesado se clasifica en Finos, Gruesos y adicionalmente comercializa las Pellas. A continuación especificamos las características físicas y químicas de cada uno de estos derivados del mineral de hierro:

**Tabla 5 Características Físicas y Químicas de los Tipos de Finos**

<b>Tipo de fino</b>	<b>Características Químicas (%)</b>	<b>valores esperados (%)</b>	<b>Características Físicas (%)</b>	<b>valores esperados (%)</b>
<b>Finos Cerro Bolívar (FCB)</b>	Fe	64.750	+3/8" (9,53mm)	5
	SiO <sub>2</sub>	1.300	+1/4" (6,35mm)	14
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.000	+100 mallas (+149 micrones)	77
	Mn	0.070		
	L.O.I.	4.800	-100 mallas (-149 micrones)	23
	P	0.085		
	S	0.025		
	Na <sub>2</sub> O	0.002		
	K <sub>2</sub> O	0.002		
	TiO <sub>2</sub>	0.170		
	CaO	0.040		
	MgO	0.030		
	H <sub>2</sub> O	6.800		
<b>Finos San Isidro (FSI)</b>	Fe	65.800	+3/8" (9,53mm)	4
	SiO <sub>2</sub>	1.150	+1/4" (6,35mm)	13
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.800	+100 mallas (+149 micrones)	74
	Mn	0.070		
	L.O.I.	3.750	-100 mallas (-149 micrones)	26
	P	0.065		
	S	0.020		
	Na <sub>2</sub> O	0.003		
	K <sub>2</sub> O	0.002		
	TiO <sub>2</sub>	0.120		
	CaO	0.040		
	MgO	0.030		
	H <sub>2</sub> O	6.300		
<b>Finos para Pellas Ferrominera (FPF)</b>	Fe	66.710	+3/8" (9,53mm)	4
	SiO <sub>2</sub>	1.050	+1/4" (6,35mm)	6
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.700	+100 mallas (+149 micrones)	60
	Mn	0.050		
	L.O.I.	2.700	-100 mallas (-149 micrones)	40
	P	0.050		
	S	0.015		
	Na <sub>2</sub> O	0.010		
	K <sub>2</sub> O	0.005		
	TiO <sub>2</sub>	0.100		
	CaO	0.040		
	MgO	0.020		
	H <sub>2</sub> O	5.500		

Fuente: Gerencia de Minería. FMO.

**Tabla 6 Características Físicas y Químicas de los Tipos de Gruesos**

<b>Tipo de Gruesos</b>	<b>Características Químicas</b>	<b>valores esperados (%)</b>	<b>Características Físicas</b>	<b>valores esperados (%)</b>
<b>Gruesos Cerro Bolívar (GCB)</b>	Fe	64.800	+1 ¾" (+44,45mm)	5
	SiO <sub>2</sub>	0.800		
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.900	+ 1" (+ 25,40mm)	40
	Mn	0.070		
	L.O.I.	5.400	+ ½" (+12,70mm)	90
	P	0.090		
	S	0.020	+ ¼" (+ 6,35mm)	96
	Na <sub>2</sub> O	0.006		
	K <sub>2</sub> O	0.005	- ¼"(- 6,35mm)	4
	TiO <sub>2</sub>	0.120		
	CaO	0.030		
	MgO	2.500		
	H <sub>2</sub> O	6.80		
<b>Gruesos San Isidro (GSI)</b>	Fe	65.330	+1 ¾" (+44,45mm)	5
	SiO <sub>2</sub>	0.700		
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.900	+ 1"	
	Mn	0.060	(+ 25,40mm)	40
	L.O.I.	4.900	+ 1/2"	
	P	0.075	(+12,70mm)	90
	S	0.016	+ 1/4" (+ 6,35mm)	96
	Na <sub>2</sub> O	0.001		
	K <sub>2</sub> O	0.002	- 1/4" (- 6,35mm)	4
	TiO <sub>2</sub>	0.100		
	CaO	0.025		
	MgO	0.020		
	H <sub>2</sub> O	2.500		
<b>Gruesos Cerro Bolívar Calibrado</b>	Fe	64.800	+ 2" (+50,8mm)	0
	SiO <sub>2</sub>	0.800	+1 ¾" (+44,45mm)	6
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.900	+1 ½" (+38,10mm)	NA
	Mn	5.400	+1 ¼" (+31,75mm)	NA
	L.O.I.	0.090	+ 1" (+ 25,40mm)	40
	P	0.070	+ 1/2" (+12,70mm)	90
	S	0.030	+3/8" (9,53mm)	NA
	Na <sub>2</sub> O	0.030	+ ¼" (+ 6,35mm)	97
	K <sub>2</sub> O	0.020	- 1/4"(- 6,35mm)	3
	TiO <sub>2</sub>	0.005		
	CaO	0.006		
	MgO	0.120		
	H <sub>2</sub> O	63.200		

Tipo de Gruesos	Características Químicas	valores esperados (%)	Características Físicas	valores esperados (%)
<b>Gruesos San Isidro Calibrado</b>	Fe	6533.000	+ 2" (+50,8mm)	0
	SiO <sub>2</sub>	0.700	+1 ¾" (+44,45mm)	6
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.900	+1 ½" (+38,10mm)	NA
	Mn	4.900	+1 ¼" (+31,75mm)	NA
	L.O.I.	0.075	+ 1" (+ 25,40mm)	40
	P	0.060	+ 1/2" (+12,70mm)	90
	S	0.025	+3/8" (9,53mm)	NA
	Na <sub>2</sub> O	0.020	+ ¼" (+ 6,35mm)	97
	K <sub>2</sub> O	0.016	- 1/4"(- 6,35mm)	3
	TiO <sub>2</sub>	0.002		
	CaO	0.001		
	MgO	63.700		
	H <sub>2</sub> O	2.500		

Fuente: Gerencia de Minería. FMO.

**Tabla 7 Características Físicas y Químicas de los Tipos de Pellas**

Tipo de Pellas	Características Químicas	valores esperados (%)	Características Físicas	valores esperados (%)
<b>Pellas para Reducción Directa</b>	Fe	67.220	+5/8" (+ 15,87mm)	6
	SiO <sub>2</sub>	1.410	+5/8"+3/8" (+15,87+9,53)mm	90
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.810		
	Mn	0.070	+ 1/4" (+ 6,35mm)	4
	L.O.I.	0.100		
	P	0.051		
	S	0.002		
	TiO <sub>2</sub>	0.015		
	CaO	0.910		
	MgO	0.350		
	H <sub>2</sub> O	1.000		
	<b>Pellas para Alto Horno</b>	Fe	63.630	+5/8" (+ 15,87mm)
SiO <sub>2</sub>		3.460	+5/8"+3/8" (+15,87+9,53)mm	90
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		0.860		
Mn		0.090	+ 1/4" (+ 6,35mm)	4
L.O.I.		0.100		
P		0.050		
S		0.004		
Na <sub>2</sub> O		0.010		
K <sub>2</sub> O		0.010		
TiO <sub>2</sub>		0.100		
CaO		3.110		
MgO		1.210		
H <sub>2</sub> O	1.000			

Fuente: Gerencia de Minería. FMO.

## **2.11 RESERVAS**

Las reservas minerales son la parte económicamente explotable de un Recurso Mineral Medido o Indicado. Incluye dilución de materiales y tolerancias por pérdidas que se puedan producir, cuando se extrae el material. Se han realizado las evaluaciones apropiadas, que pueden incluir estudios de factibilidad e incluyen las consideraciones y modificación por factores de extracción, metalúrgicos, económicos, de mercados, legales, ambientales, sociales y gubernamentales. Estas evaluaciones demuestran a la fecha en que se reporta, que podría justificarse razonablemente la extracción.

Las reservas geológicas se clasifican en reservas probadas, probables y posibles; esta clasificación es tradicional y propia de la Jefatura de Área de Geología de la CVG. Ferrominera Orinoco C.A.

### ***Reservas probadas***

Son aquellas definidas con detenimiento por el espesor de la mena, por sondeo y realmente por el radio de influencia asignado a cada perforación según los criterios del método analítico, fijando un error máximo de estimación del espesor en 15% para un intervalo de confianza del 87%.

### ***Reservas probables***

Igual que las reservas probadas, éstas permiten un error máximo de estimación del 40%, para el mismo intervalo de confianza.

### ***Reservas posibles***

Son aquellas que no son probadas, ni probables, pero que se encuentran dentro del contacto de superficie del yacimiento.

## 2.1.2. MÉTODOS PARA EL CÁLCULO DE RESERVAS

Los métodos principales utilizados para el cálculo de reservas son clasificado como: Los clásicos, estadísticos y geoestadísticos.

### *Métodos Clásicos*

Entre los métodos clásico empleados para la obtención de reservas de mineral se tienen: el método de los polígonos, el método triangular y el método de las secciones verticales u horizontales.

### *Métodos Estadísticos*

Se aplican las estadísticas en el cálculo de reservas y las técnicas disponibles permiten obtener el tenor y el volumen aproximado del mineral con un alto intervalo de confianza.

### *Métodos Geoestadísticos*

Estos métodos toman en cuenta la importancia de las relaciones geométricas entre las muestras y sus respectivas zonas de influencia.

A continuación la tabla 8 indica las reservas geológicas del yacimiento del cerro San Isidro, para la fecha.

**Tabla 8 Reservas Geológicas de C.V.G. Ferrominera Orinoco C.A.**  
(Millones de toneladas)

PROBADAS				PROBABLES		POSIBLES	
ALTO TENOR		BAJO TENOR		BAJO TENOR		BAJO TENOR	
Mt.	%Fe	Mt.	%Fe	Mt.	%Fe	Mt.	%Fe
1708	64,62	2477	48,46	1762	44,08	8711	44,08

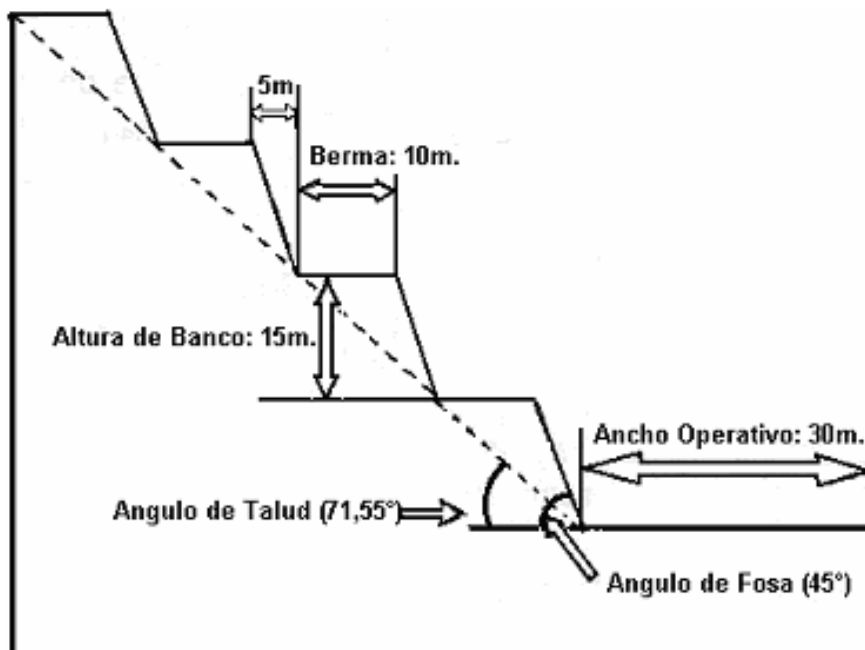
Actualizado Noviembre 2003.



### 3.2.3 RESERVAS RECUPERABLES

La noción de reservas recuperables es quizás el factor de mayor interés en una empresa minera, y puede definirse como la cantidad de mineral aprovechable, dentro de un diseño de una fosa final de excavación y que por concepto de su venta, representa un determinado beneficio. Las reservas recuperables deben satisfacer las restricciones de calidad requerida de mineral, parámetros de diseño geométrico y beneficio económico. El criterio para la fosa de excavación utilizada se representa en la ilustración 6.

El cálculo de reservas recuperables se hace por sistemas computarizados de las áreas de mena y escombros incluidos dentro del diseño de límite final de excavación a partir de las secciones geológicas horizontales espaciadas cada 15 metros.



**Ilustración 6** Parámetros para el Diseño de Fosa de Excavación

Según la demanda estimada, la característica química promedio requerida, a largo plazo, de los minerales de alto tenor, friable para concentración (FPC) y dura para concentración (DPC) son:

**Tabla 9 Características Químicas Promedio**

<i>Tipo de Mena</i>	<b>%Fe</b>	<b>%SiO<sub>2</sub></b>	<b>%Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>%PPC</b>	<b>%P</b>
<i>Alto Tenor</i>	65.49	0.99	1.05	4.24	0.067
<i>FPC</i>	52.50	23.50	0.50	2.06	0.048
<i>DPC</i>	40.00	42.00	0.34	1.60	0.047

Fuente: Gerencia de Minería. FMO.

Las reservas recuperables por fosa de excavación de los diferentes yacimientos, según los criterios económicos de la empresa se muestran detalladamente en las tablas 10

**Tabla 10 Reservas Recuperable**

<i>Reservas Recuperables de mena de alto tenor.</i>						
<b>Mina</b>	<b>en miles toneladas</b>	<b>%Fe Seco</b>	<b>%SiO<sub>2</sub></b>	<b>%AL<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>%PPC</b>	<b>%P</b>
<b>CERRO BOLÍVAR</b>	146,791	65.02	1.50	1.00	4.51	0.100
<b>SAN ISIDRO</b>	86,381	67.37	1.13	0.89	1.72	0.051
<b>LOS BARRANCOS</b>	291,992	66.07	1.77	0.66	3.79	0.080
<b>LAS PAILAS</b>	27,132	66.54	1.12	0.71	3.08	0.062
<b>ALTAMIRA</b>	135,912	64.09	2.46	1.06	4.84	0.071
<b>SAN JOAQUIN</b>	75,855	65.39	2.35	0.48	1.67	0.045
<b>TOTAL</b>	<b>764,062</b>	<b>65.61</b>	<b>1.80</b>	<b>0.81</b>	<b>3.65</b>	<b>0.075</b>

Actualizado Enero 2004.

## 2.12 MINERÍA

La producción del mineral de hierro se realiza en base a los planes de minas, a largo, mediano y corto plazo, los cuales se elaboran tomando como base la cantidad y calidad de las reservas y la demanda exigida por los clientes. Para la evaluación de recursos, planificación y diseño de la secuencia de excavación en las minas se utilizan sistemas computarizados.

Los procesos involucrados en la explotación del mineral son ver ilustración 7.

### ***Exploración***

El paso inicial en la explotación del mineral de hierro consiste en la prospección y exploración de los yacimientos, con el propósito de identificar la cantidad de recursos, así como sus características físicas y químicas.

### ***Perforación***

Esta operación se realiza con 4 taladros eléctricos rotativos, que perforan huecos con brocas de 12 ¼" de diámetro, a profundidades de 17,5m y patrones de perforación de 7x12, 10x7 y 8x7m respectivamente, lo que permite bancos efectivos de explotación de 15 m de altura.

### ***Voladura***

Se utiliza como explosivo el ANFO, sustancia compuesta por 94% de nitrato de amonio, mezclado con 6% de gasoil y el ANFOAL compuesto por 87% de nitrato de amonio, 3% de gasoil y 10% de aluminio metálico.

### ***Excavación***

Una vez fracturado el mineral, por efecto de la voladura, es removido por palas eléctricas desde los frentes de producción. Se cuentan con 5 palas eléctricas de 14yd<sup>3</sup> y 3 de 10yd<sup>3</sup>; también se tienen 2 cargadores de 19yd<sup>3</sup>, 6 de 12yd<sup>3</sup> y 3 de 6yd<sup>3</sup>.



**Ilustración 7 Proceso de Minería**

***Acarreo***

Se cuenta con 16 camiones de 90ton de capacidad, los cuales se encargan de acarrear el mineral para depositarlo directamente en los vagones ubicados en las plataformas o muelles de carga. También cuentan con 5 camiones de 170ton y 6 de 180ton las cuales descargan el mineral de hierro a la Planta de Trituración Los Barrancos o a los muelles de carga ubicados en Los Barrancos.

### **2.13 ESTRUCTURA ORGANIZATIVA DE LA GERENCIA DE MINERIA**

La Gerencia de Minería está ubicada en el edificio de Relaciones Industriales de Ciudad Piar. La misma depende de la Gerencia General de Operaciones y tiene a su cargo Las Superintendencias de Mantenimiento, Producción, Ingeniería de Mina, Planta de Trituración Los Barrancos, El Departamento de Administración Cívica, además de la Sección de Planificación y Control, junto con el Proyecto de Concentración de Cuarzita. La misma tiene como objetivo y alcance, el garantizar el cumplimiento de los programas de exploración y explotación del mineral de hierro, además de su envío a Puerto Ordaz, o su procesamiento previo en las líneas de trituración de Los Barrancos, incluyendo los programas de operación de la Planta Piloto de Concentración, los programas de mantenimiento preventivo y/o correctivo de las instalaciones y equipos, y los programas de servicio de Administración Cívica. Todo ello de acuerdo con lo establecido en los planes de producción y ventas de la empresa, Políticas Corporativas y Lineamientos de la Gerencia General de Operaciones.

El orden de jerarquía y distribución de los entes dependientes de la Gerencia de Minería, se puede visualizar en la estructura organizativa de esta Gerencia contenida en el Anexo 1.

## **CAPÍTULO III.- MARCO TEÓRICO**

El tema de esta investigación ha sido tratado por los especialistas, y en los archivos de la CVG Ferrominera Orinoco CA., reposan los informes anuales de la capacidad de equipos en los que, entre otros temas trata: la planificación anual de la empresa, planes de producción en donde se señalan las metas a lograr en corto plazo, con la utilización de los equipos. Diferentes informes entre los cuales destacan la información anual de la capacidad de equipos mineros, donde se determina la capacidad de perforación, carga y acarreo para el proceso de producción a corto plazo, el informe de Estándares Operativos de Mina y de proyecciones físicas de disponibilidades en los últimos años y que calculan los requerimientos de equipos.

Y por último está el Informe Justificativo para la Adquisición de Equipos Mineros, elaborado por la Gerencia de Minas de CVG-FMO, que hace un análisis total del estado en que se encuentra la flota de carga y acarreo sugiriendo unas propuestas para mejorar su rendimiento.

### ***3.1 MÉTODO DE EXPLOTACIÓN A CIELO ABIERTO.***

La minería comprende un conjunto de labores que abarca desde la exploración, perforación, voladura, extracción, acarreo, y transporte, hasta la concentración y beneficio del mineral. La extracción del mineral puede ser llevada, bien sea en superficie o de forma subterránea, dependiendo, claro está, de la naturaleza propia del yacimiento, en el caso de CVG-FMO. La explotación de los yacimientos adyacentes se realiza mediante la utilización de los métodos de superficie o a cielo abierto. Los métodos más comunes de explotación en superficie o a cielo abierto empleados en la extracción de minerales son:

***Open Pit. Fosa Abierta.***

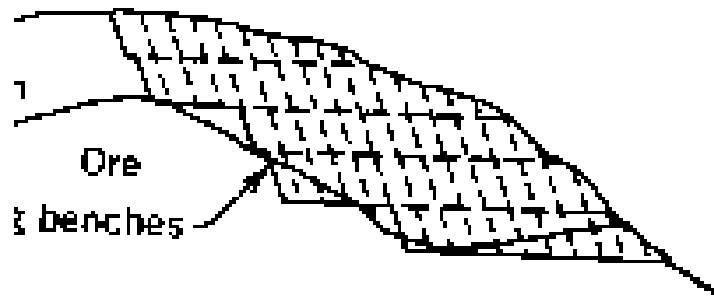
Explotación con profundidades importantes, que obligan a excavar un número importante de bancos descendentes, de modo que se requiere una alta tecnología de planificación, diseño, operación y control. Es ampliamente aplicada en la minería de minerales metálicos; también se ha adaptado para la explotación de carbón y rocas industriales. Este método está siendo aplicado actualmente por la empresa. (Ver ilustración 8)



**Ilustración 8 Diagrama de Open Pit**

***Open cut. Tajo Abierto.***

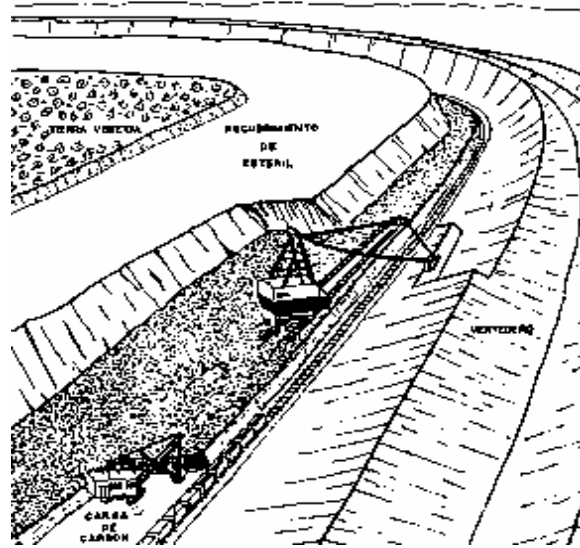
Es una variante del open pit, para yacimientos en ladera, de modo que el sistema de bancos queda abierto a lo largo de la ladera ver ilustración 9.



**Ilustración 9 Diagrama de Open Cut**

***Open cast (Strip mining). Descubierta.***

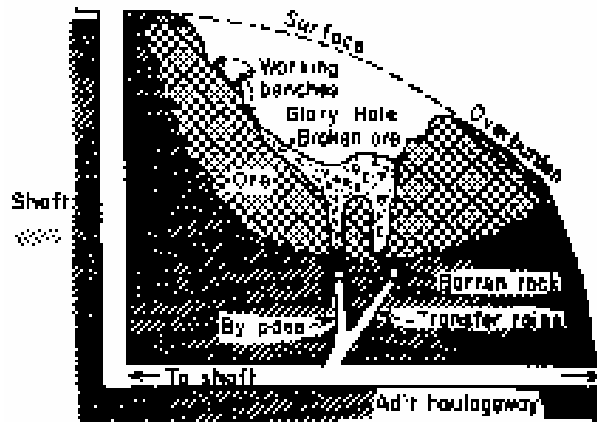
Explotación en yacimientos sedimentarios de profundidad limitada, bastante horizontales, de minerales blandos, en forma de capas y fácil separación entre mineral y estéril. El área de la excavación previa se aprovecha para depositar el estéril (back filling). Se distinguen: el método alemán (sistema continuo con rotopalas) y el método americano (sistema discontinuo con dragalinas). (Ver ilustración 10).



**Ilustración 10 Diagrama de Strip Mining**

***Glory Hole. Explotación Combinada Superficie - Subterráneo***

Implica una excavación en open pit, desde la cual el mineral es removido por gravedad hasta coladeros de traspaso que descargan en galerías subterráneas de transporte para la extracción. Ver ilustración 11.



**Ilustración**

**11 Diagrama de Glory Hole**



CVG. Ferrominera Orinoco C A utiliza para la explotación de sus yacimientos los métodos Open Pit (Fosa Abierta) y/o Open Cut (Tajo Abierto), de acuerdo a la morfología de cada yacimiento.

### **3.1.1 GEOMETRÍA DEL PIT DE EXPLOTACIÓN.**

En un Pit de explotación, se pueden distinguir varios elementos geométricos que sirven para definirla. En general, dichos parámetros son determinados por la resistencia de la roca y por las dimensiones de los equipos de explotación.

- *Banco de explotación*: El banco es una división vertical del depósito. En él se puede distinguir la cresta y el pié, estos corresponden, respectivamente, a la parte más alta y la más baja del banco. Generalmente, cada banco recibe como número de referencia al pié. La altura del banco es función de las dimensiones de los equipos a utilizar.
- *Talud del Banco*: Es la pared del banco. Su ángulo recibe el nombre de inclinación del talud, y éste último depende de la estabilidad de la roca que está siendo excavada.
- *Berma*: Representa la distancia horizontal entre la cresta de un banco y el pié de un banco superior. Sus dimensiones dependen de la estabilidad de los taludes.
- *Rampas*: Son carreteras que permiten comunicar los distintos niveles de explotación. Sus dimensiones e inclinación depende de las características de los camiones utilizados.
- *Ángulo de inclinación del pit*: Es el ángulo de inclinación promedio del pit desde el fondo de la excavación hasta la superficie, medido desde la horizontalidad. Este

ángulo es igual al ángulo de reposo del material donde se realiza la excavación. El mismo debe ser lo suficientemente alto como para minimizar la cantidad de estéril a remover de todo el pit

- *Fondo del pit*: Se denomina así al área correspondiente al pié del banco más profundo de la excavación. Esta área debe ser lo suficientemente grande como para permitir la operación de los equipos de producción de la mina.

### **3.2 PLANIFICACIÓN DE MINAS**

La planificación de minas puede definirse como un proceso para la toma de decisiones sobre la transformación de la realidad, con el fin de alcanzar determinados objetivos vinculados con la explotación de minas, mediante el cual se asignan recursos tendiente a la maximización de los beneficios a obtener.

#### **3.2.1 PLANIFICACIÓN A LARGO PLAZO:**

La planificación a largo plazo es aquella que se constituye con los estudios, proyectos, y diseños que instrumentalizan la concepción estratégica de la explotación y desarrollo de la mina concebida por la empresa. El propósito se orienta al desarrollo integral tendiente al máximo aprovechamiento de las reservas minerales, optimizando la relación mena/escombros, tenor de corte, mezcla de producción, etc.

En definitiva, los planes a largo plazo tienden a maximizar los beneficios económicos globales, optimizando los parámetros técnicos de la minería practicada, basándose fundamentalmente en la evaluación de los yacimientos, sustentada en la información de sondeos exploratorios, la interpretación geo-estructural, morfológica y litológica de los yacimientos. El diseño de los límites finales de excavación (Pit Limit), según ángulos de talud estables al tipo de material proyectado y las relaciones mena/escombros de equilibrio económico, es un objetivo fundamental de la planificación a largo plazo.

Esta información, de evaluación de reservas y diseños de Pit Limit, es la base de los planes de minas que abarcan períodos anuales, quinquenales y decenales, para proyectar la secuencia de explotación, evolución de la calidad, esquema operativo, áreas de depósitos y botaderos, y el desarrollo de infraestructura de servicios.

### ***3.3 CAPACIDAD DE CARGA Y ACARREO***

La capacidad de carga se refiere al volumen o tonelaje que los equipos de carga pueden excavar; mientras que la capacidad de acarreo corresponde al tonelaje que se puede transportar con los camiones mineros.



**Ilustración 12 Operación de Carga. Mina Los Barrancos**

### **3.3.1 ANTECEDENTES DE EQUIPOS OPERATIVOS DE FMO**

La flota operativa de la CVG Ferrominera Orinoco CA. ha ido paulatinamente reemplazándose, en la últimas décadas, por equipos de carga y acarreo que han permitido notables mejoras en los rendimientos de producción. (Ver ilustración 12).

En el informe Justificativo para la Adquisición de Equipos Mineros, presentado en el 2001, por la Gerencia de Minería, solicitando la adquisición de equipos mineros, se percibe la necesidad de renovar la flota de camiones que para esa fecha era de 21 camiones de 90ton con una antigüedad de más de 14 años y 5 de 170ton sugiriendo la adquisición de unidades de mayor capacidad, y que la flota a utilizar sea de 16 camiones de 170ton para poder acarrear un mayor volumen tal como lo ha sugerido en la planificación quinquenal 2004 – 2008.

### **3.3.2. INDICADORES DE LA OPERACIÓN**

Consiste en estimar la capacidad de un equipo y evaluar las alternativas para la selección de los mismos según la necesidad de carga y excavación, requeridos, para ello se consideran los siguientes factores de operación:

\* Producción requerida y esquema operativo

Toneladas/año, horas/turno, turnos/semana, vacaciones colectivas, paradas, horas efectivas/turno, etc.

\* Características de los materiales

Densidad, esponjamiento, granulometría, dureza, abrasividad, textura, etc.

\* Condiciones físicas y climatológicas

Altitud, temperatura ambiente, lluvias (factores que tienen impacto sobre el rendimiento de los equipos), etc.

\* Características de las pistas de acarreo

Longitud de vías, pendientes, ancho, capa de rodamiento, peralte, radio de curvatura, etc.

\* Carga

Amplitud del espacio operativo, tamaño de los equipos, estado del piso, etc.

\* Descarga

Amplitud del espacio operativo, tamaño de los equipos, estado del piso, forma de descarga, etc.

\* Varios

Vida de la mina, calidad de la mano de obra, infraestructura, etc.

### 3.3.3 CAPACIDAD DE EXCAVACIÓN

Consiste en la cantidad de yardas cúbicas que la pala es capaz de remover. Esta capacidad de producción se obtiene a través de la siguiente expresión:

$$producción(m^3_{SUELTO} / hora) = \frac{3600 * CC * f * h * g}{t_C}$$

$$producción(m^3_{IN-SIYU} / hora) = producción(m^3_{SUELTO} / hora) * v$$

CC = Capacidad del cucharón (m<sup>3</sup>).

f = Factor de llenado de la cuba

h = Factor de corrección por la altura de la carga

g = Factor de corrección por el ángulo de giro

v = Factor de conversión volumétrica

$t_c$  = Tiempo de ciclo de un pase de cucharón (seg)

La capacidad del cucharón (CC) es un factor que define el equipo de acuerdo con sus especificaciones, expresado usualmente en  $m^3$  o  $yd^3$ .

El factor de eficiencia (a) suele definirse por dos (2) factores, uno es la eficiencia del equipo mismo y el otro es el de la organización técnica de la obra, esto es:  $a = a_1 \times a_2$

<b>Condiciones Generales</b>	<b>Factor eficiencia Equipo (a1)</b>	<b>Factor eficiencia Organización (a2)</b>
Buena	0,90	1,00
Media	0,80	0,85
Baja	0,70	0,65

En muchas publicaciones, es habitual el empleo de un factor de eficiencia, este viene expresado en términos de un tiempo efectivo de trabajo de 50 minutos por hora corriente del turno operativo ( $a = 0,83$ ).

Un análisis más detallado de la eficiencia debería considerar entre los factores que la afectan: los aspectos económicos y financieros que inciden en la operación, calidad de la mano de obra, supervisión, condiciones laborales de trabajo, condiciones ambientales del trabajo, condiciones atmosféricas, amplitud de la zona de trabajo, etc.

El factor de llenado del cucharón (f) se expresa como el porcentaje de la carga media en relación con la máxima teoría del equipo.

<b>Materiales</b>	<b>Factor de llenado (%)</b>
Pala Excavadora	
Agregados húmedos	95 - 100
Agregados uniformes	90 - 100

Marga o arcilla húmeda	100 - 110
Roca Volada:	
Bien fragmentada	80 - 95
Normal	75 - 80
Mal fragmentada	60 - 75

Retroexcavadora hidráulica	
Marga o arcilla húmeda	100 - 110
Roca volada, bien fragmentada	60 - 75
Roca volada, mal fragmentada	40 - 60

El factor de giro (g) se aplica cuando el ángulo de la unidad giratoria, durante la carga, es distinto de 90°. En combinación con los factores de corrección por la altura de la carga, se tiene:

**Tabla 11 Factor de Giro**

% Altura carga	Angulo de Giro			
	60°	90°	120°	150°
60 %	1.03	0.91	0.81	0.73
100 %	1.16	1.00	0.83	0.79
140 %	1.04	0.91	0.81	0.73

Fuente: Guía de Operaciones Minera.

El factor de conversión volumétrica (v) permite convertir volumen suelto a volumen in situ o en banco:

$$v = \frac{Vb}{Vs} = \frac{kg / m^3_{MATERIAL SUELTO}}{kg / m^3_{MATERIAL EN BANCO}}$$

$$porcentaje\ de\ expansión = \frac{Vs - Vb}{Vb} * 100 = (FE - 1) * 100$$

$$Factor\ de\ espojamiento = FE = \frac{Vs}{Vb}$$

### 3.3.4 CAPACIDAD DE ACARREO

Consiste en la capacidad de acarreo es necesario determinar el número de camiones requeridos por el equipo de carga, de acuerdo con la siguiente expresión:

$$N = \frac{t_T}{n * t_C} \qquad n = \frac{CC * f_1}{CB * f_2}$$

donde:

N = Número de camiones por equipo de carga (punto de saturación teórico)

n = Número de paladas o ciclos del equipo de carga para un camión (usual: 3 a 5)

$t_T$  = Tiempo de ciclo del camión, en min.

$t_C$  = Tiempo de ciclo del equipo de carga (pala, draga o cargador frontal), en min.

CC = Capacidad del camión ( $m^3$ )

CB = Capacidad del balde del equipo de carga ( $m^3$ )

$f_1, f_2$  = Factores de eficiencia de llenado de camión y pala respectivamente

El ciclo del camión incluye el tiempo de carga, tomando en consideración el tiempo de maniobras de los equipos, el tiempo de recorrido cargado hasta el punto de destino, la descarga y el retorno vacío.

El tiempo total depende de la velocidad del equipo y de las normas de seguridad establecidas en la operación. La velocidad depende de las especificaciones del equipo, distancias del recorrido, pendientes de operación, resistencia de rodamiento, altitud y temperatura de trabajo.

La “resistencia de rodamiento” es la resistencia entre los neumáticos y el terreno que debe ser vencida para mantener el equipo en movimiento. Incluye la fricción interna en los cojinetes de las ruedas, la flexión de los neumáticos bajo el peso y la penetración de estos en el suelo.



Esta resistencia de rodamiento se acostumbra a expresarla en kg de esfuerzo de tracción que se necesita, por tonelada de peso bruto, por ejemplo 10 kg/ton, o simplemente en porcentaje de peso bruto del vehículo (i. e: 10 kg/ton = 1 %).

De modo que la “resistencia a la pendiente” - resistencia de tracción necesaria para que el equipo venza la pendiente, esto es, en términos de porcentaje del peso bruto del vehículo es el mismo porcentaje de pendiente y la resistencia de rodadura dando por resultado la resistencia total que el vehículo debe vencer. Por ejemplo, si la pendiente es 6% y la resistencia de rodamiento es 40 kg/ton (4 %), la resistencia total resulta 10% en subida y 2% en bajada.

Luego, la capacidad de un camión se estima en base a la siguiente expresión:

$$m_{SUELTO/hr}^3 = \frac{60 * Cc * f_1 * \xi}{t_T}$$

donde:

$\xi$  = Eficiencia de la operación (0.70 a 0.95)

### ***3.4 SIMULACIÓN DE CARGA Y ACARREO***

En las operaciones mineras, el sistema de carga, acarreo y descarga, denominado operaciones básicas de manejo de materiales, constituye una de las fases más importantes de la explotación minera, razón por la cual, se requiere alcanzar la mayor eficiencia y efectividad de estas actividades a través de detalladas consideraciones dentro de un análisis integral del ciclo operativo

En minería a cielo abierto el sistema pala/camiones es el más común, debido a su flexibilidad y adaptabilidad a las condiciones mineras. El análisis

detallado de este sistema se realiza con frecuencia a través de modelos de simulación estocástica, para efectos de estimar el rendimiento de operaciones, demoras, eficiencia y costos para los perfiles de acarreo que sean requeridos.

### **3.4.1. SIMULACIÓN ESTOCÁSTICA.**

La simulación estocástica es una técnica que permite imitar el funcionamiento de un sistema real, cuando evoluciona en el tiempo, mediante un modelo probabilístico. Es una técnica relativamente simple, con respecto a los procedimientos analíticos, para abordar problemas complejos; sin embargo, no es propiamente una técnica de optimización, aunque es válida como herramienta para evaluación de alternativas.

Sistema: es un conjunto de entidades que actúan e interactúan para la realización de un fin lógico.

Modelo de simulación: Es el conjunto de hipótesis acerca del funcionamiento del sistema, expresado como relaciones matemáticas o lógicas entre los objetos de interés del sistema.

### **3.4.2. SIMULACIÓN DE MONTE CARLO**

La idea clave de la simulación de Monte Carlo, es obtener un conjunto de valores que se distribuyen según la ley de probabilidades Normal o de Gauss. El procedimiento se basa en las siguientes consideraciones:

Si se genera un conjunto de valores  $F(z)$ , de modo independiente y equiprobables, acotados  $[0,1]$ . Para cada valor  $F(z_0)$  existirá un valor  $z_0$  que tendrá una distribución uniforme acotada  $[0,1]$

Similarmente, si se genera un conjunto de valores  $F(z)$ , de modo independiente y equiprobables, acotados  $[0,1]$ , asumidos ahora como valores de una función de distribución acumulativa normal estándar (o distribución gaussiana), para cada valor  $F(z_0)$ , existirá un valor  $z_0$  que tendrá una distribución normal (Gauss) con un rango de variación  $[-\infty, +\infty]$ , de media “ $m$ ” y varianza “ $\sigma^2$ ” igual a 0 y 1 respectivamente

La variable aleatoria “ $Z$ ” de distribución normal estándar se relaciona con una variable aleatoria “ $Y$ ”, también de distribución gaussiana, pero con media “ $m$ ” y varianza “ $\sigma^2$ ”, a través de la siguiente expresión:

$$z = \frac{y - m}{\sigma} \quad \Rightarrow \quad y = m + z \sigma$$

El conjunto de valores  $\{y\}$ , obtenidos por este procedimiento, tendrá una distribución normal o de Gauss y representarán la variable aleatoria “ $Y$ ”

Generar “ $n$ ” valores aleatorios, equiprobables, en el rango  $[0,1]$ . Usar la función “Aleatorio” y tomar en consideración que el resultado es volátil, esto es, cambia con cualquier operación en Excel, motivo por el cual es recomendable fijar los valores con un pegado especial de los mismos.

Asumir los valores anteriores como resultados de la distribución acumulativa de probabilidades, según modelo de Gauss, esto es:  $F(z)$ . Obtener entonces su valor inverso, es decir: los valores  $z$ . Usar la función Excel “Distr. Norm. Estand. Inv (Prob)” y se obtendrá un conjunto de datos con media y varianza aproximadamente de 0 y 1 respectivamente.

Calcular el conjunto de valores  $\{y\}$ , tomando la media y varianza que se desee imponer, con la siguiente expresión:

$$z = \frac{y - m}{\sigma} \Rightarrow y = m + z\sigma$$

Por ejemplo, para generar un conjunto de 100 valores con una media de 10.0 y desviación estándar de 2.0, se tienen los siguientes resultados en Excel:

### 3.4.3. PROCEDIMIENTO CON EXCEL

La idea clave es simular los ciclos de operación secuencialmente y llevar un control del tiempo con un reloj que registre el tiempo de los eventos más importantes. Previamente se debe preparar una base de datos con las variables aleatorias consideradas, y constituidas por un conjunto de valores de distribución normal, con determinada media y varianza, como se indica en la página Excel que sigue. (Ver ilustración 13).

TIEMPO DE CARGA					TIEMPO DE VIAJE					TIEMPO DE DESCARGA				
Item	Aleat.	Cop. F(z)	Val. Z	Val. Y	Item	Aleat.	Cop. F(z)	Val. Z	Val. Y	Item	Aleat.	Cop. F(z)	Val. Z	Val. Y
1	0,33456	0,06247	-1,53437	1,97250	1	0,07182	0,60782	0,27364	15,68410	1	0,12166	0,44009	-0,15075	1,45478
2	0,92662	0,26226	-0,63638	2,69089	2	0,55029	0,60687	0,27116	15,67791	2	0,00353	0,31168	-0,49111	1,35267
3	0,58077	0,90134	1,28923	4,23138	3	0,65393	0,25404	-0,66183	13,34544	3	0,87274	0,17193	-0,94658	1,21602
4	0,00048	0,27620	-0,59417	2,72466	4	0,43387	0,15020	-1,03557	12,41107	4	0,38479	0,68978	0,49522	1,64857
5	0,94721	0,76446	0,72072	3,77657	5	0,24329	0,33488	-0,42649	13,93377	5	0,21853	0,50774	0,01940	1,50582
6	0,75098	0,95740	1,72132	4,57706	6	0,51442	0,02080	-2,03747	9,90633	6	0,40969	0,72696	0,60365	1,68109
7	0,61061	0,66980	1,12542	4,10034	7	0,30660	0,50304	0,00762	15,01904	7	0,76236	0,70557	0,54050	1,66215
8	0,93600	0,46889	-0,07805	3,13756	8	0,29881	0,55015	0,12605	15,31512	8	0,32961	0,66163	0,41692	1,62508
9	0,31406	0,21550	-0,78747	2,57002	9	0,73903	0,26795	-0,61901	13,45246	9	0,31244	0,09197	-1,32875	1,10138
10	0,19665	0,66316	0,42109	3,53687	10	0,51569	0,79625	0,82832	17,07079	10	0,67937	0,40788	-0,23300	1,43010
11	0,52783	0,14542	-1,05630	2,35496	11	0,83318	0,22522	-0,75469	13,11328	11	0,29961	0,02304	-1,99458	0,90163
12	0,06182	0,33215	-0,43400	2,85280	12	0,83960	0,07868	-1,41401	11,46496	12	0,70112	0,53148	0,07900	1,52370
13	0,34309	0,20823	-0,81257	2,54994	13	0,89429	0,91665	1,38291	18,45727	13	0,90426	0,90986	1,33991	1,90197
14	0,73530	0,26112	-0,63988	2,68809	14	0,99257	0,66565	0,42794	16,06986	14	0,94937	0,97987	2,05106	2,11532
99	0,41015	0,84757	1,02606	4,02085	99	0,97264	0,11964	-1,17680	12,05799	99	0,75311	0,09791	-1,29358	1,11193
100	0,32242	0,17707	-0,92657	2,45874	100	0,48438	0,16798	-0,96217	12,59458	100	0,53028	0,74463	0,65770	1,69731
<b>Media</b>	0,52143	0,50185	0,04483	3,23587	<b>Media</b>	0,51493	0,51264	0,03970	15,09924	<b>Media</b>	0,46071	0,49342	-0,01760	1,49472
<b>D.Std.</b>	0,28169	0,29777	1,00735	0,80588	<b>D.Std.</b>	0,27267	0,28736	0,93672	2,34179	<b>D.Std.</b>	0,28753	0,28033	0,92624	0,27787
<b>Varza</b>	0,07935	0,08867	1,01475	0,64944	<b>Varza</b>	0,07435	0,08257	0,87744	5,48400	<b>Varza</b>	0,08268	0,07858	0,85792	0,07721

Ilustración 13 Base de datos de tiempos generados

El esquema mismo de simulación para este caso particular se puede plantear siguiendo el siguiente esquema de cálculo en una tabla Excel (ver ilustración 14):

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	SIMULACION DE CARGA Y ACARREO										
2											
3		Ciclo	Camión	Llegada camión	Inicio carga	Fin de carga	Regreso de pala	Demoras pala	Demoras camiones		
4		1	1								
5			2								
6			...								
7			...								
8			n								
9		2	1								
10			2								
11			...								
12			...								
13			n								
14		3	1								
15			2								
16			...								
17			...								
18			n								
19		4	1								
20			2								

**Ilustración 14 Esquema para la simulación**

De modo que cada renglón se determina de acuerdo a las siguientes expresiones vinculadas a las celdas de la tabla Excel y a la base de datos de las variables aleatorias (tiempo de carga, tiempo de viaje, etc):

Llegada de camión:	$D_i = G_{i-n}$
Inicio de carga:	$E_i = \text{Max}(F_{i-1}; D_i)$
Fin de carga:	$F_i = E_i + t_c(i)$
Regreso a pala:	$G_i = F_i + t_v(i) + t_D(i) + t_R(i)$
Demoras de pala:	$H_i = E_i - F_{i-1}$
Demoras de camión:	$I_i = E_i - D_i$

Donde  $t_C$ ,  $t_V$ ,  $t_D$  y  $t_R$  son los tiempos de carga, viaje, descarga y retorno respectivamente, para cada viaje de camión, de acuerdo con la base de datos simulados por el procedimiento de Monte Carlo

Se asume en primera instancia, como condición inicial de la simulación, que todos los equipos están inicialmente en el frente de producción, de modo que se inicializa el reloj de control de eventos en cero.

Los resultados finales de la simulación, para diferentes perfiles de acarreo y determinada flota de equipos, se expresna a través de los siguientes indicadores fundamentales:

$$\text{tons/hr} = \frac{\text{Nro. viajes de camion} \times \text{tons/cam}}{\text{Tiempo total de simulacion (hrs)}}$$

$$\text{costo/tons} = \frac{\$/\text{hr (pala)} + n \times \$/\text{hr (camion)}}{\text{ton/hr}}$$

### ***3.5 SOFTWARE MEDSYSTEM (Sistema de Diseño y Evaluación de Minerales)***

CVG. Ferrominera Orinoco C.A. adquirió en 1997 el MedSystem (Mineral Evaluation and Design System), utilizándolo para la evaluación geológico y la planificación de la producción minera de los yacimientos de mineral de hierro que están en proceso de exploración y explotación.

Este software reúne características aplicables a varios procesos mineros que desarrolla esta empresa, en sus distintos puntos de explotación minera. Las múltiples características de este software lo reseña como un sistema de programas de computadoras (paquete computarizado), creado en lenguaje Fortran y desarrollado

por la empresa MINTEC, inc. (MINeral TECcnology, empresa ubicada en Tucson, Arizona, USA.). El mismo ha sido diseñado para tomar datos de sondeos, muestreos subterráneos, barrenos de voladura, entre otros y aplicar esta información en la elaboración de los programas de producción.

Los datos y las operaciones del software los mismos pueden ser clasificados en los siguientes grupos: operaciones con datos de sondeo, operaciones con datos digitalizados, operaciones con compuestos, operaciones de modelamiento, diseño económico de límite de excavación, evaluación del límite de excavación y programas de producción.

### **3.5.1. OPERACIONES CON DATOS DE SONDEOS.**

Gran variedad de datos de sondeos pueden ser almacenados en MedSystem, incluyendo ensayos, litología y códigos geológicos, parámetros de calidad, información para el collar (coordenadas y orientación de la perforación) y datos del fondo de sondeo. La revisión de los valores y consistencia de los datos pueden llevarse a cabo antes de que sean cargados al sistema. Después de haberse almacenado los datos se pueden listar, actualizar, analizar estadística y geoestadísticamente y ser impresos en planos y secciones. Los datos de ensayos pueden entonces transferirse a la siguiente sección lógica de Medsystem, esto es, a las operaciones de compuestos.

### **3.5.2 OPERACIONES CON DATOS DIGITALIZADOS (VBM).**

Los datos digitalizados se usan para definir información geológica en sección o en plano, para definir contornos topográficos, para definir información estructural, diseños de mina y cualquier otra información que pueda ser importante para evaluar un cuerpo mineral. Los datos digitalizados se usan o se generan prácticamente en cada fase de un proyecto, desde los datos del sondeo hasta la programación de la producción.

### **3.5.3 OPERACIONES CON COMPUESTOS.**

Los compuestos son calculados a partir de los datos de sondeos para agrupar los datos originales y facilitar los procesos de sistematización. Los datos compuestos pueden ser generados en Medsystem o generados fuera del sistema y cargados. Dichos datos compuestos pueden ser listados, actualizados, analizados, estadística y geoestadísticamente, e impresos en planos o secciones. Los datos compuestos se pasan a la próxima fase de Medsystem que consiste en el modelamiento del cuerpo mineral.

### **3.5.4 OPERACIONES DE MODELAMIENTO.**

Dentro de Medsystem los yacimientos pueden ser representados en dos tipos de modelos computacionales.: Un modelo 3-D de bloque, para modelar yacimientos de metales básicos, tal como cobre porfirítico y otros yacimientos no mantiformes; y un modelo de manto cuadrulado que se usa para yacimientos en capas, tales como los de carbón. En ambos modelos, los componentes horizontales de un yacimiento son divididos en bloque, el cual comúnmente corresponde a una unidad de producción.

En un modelo 3-D de bloques el yacimiento se divide también verticalmente en bancos, mientras que en un modelo de manto, las dimensiones verticales son función del grosor de los estratos. Para cada bloque en el modelo puede almacenarse una variedad de artículos. Típicamente, un bloque para un modelo 3-D contendrá leyes de mineral, códigos geológicos y porcentajes topográficos, aunque muchos otros parámetros pueden estar presentes. Para un modelo de manto, se requieren la elevación del estrato superior y su grosor, además de otros parámetros, tales como los parámetros de calidad, fondos de mantos, grietas, etc., que en definitiva, pueden ser almacenadas.



Una variedad de métodos pueden ser utilizados para ingresar los datos al modelo. Los datos topográficos y geológicos pueden digitalizarse y ser convertidos en códigos para el modelo, o bien pueden ingresarse directamente como códigos de bloque. Datos de leyes de mineral se estiman comúnmente mediante alguna técnica de interpolación, tal como el inverso de la distancia.

Una vez que el modelo se ha construido, después se puede actualizar, resumir estadísticamente, imprimir en planos o en secciones. El modelo es un requisito necesario en cualquier diseño de límite de excavación o en el proceso de evaluación de éste.

### **3.5.5 DISEÑO ECONÓMICO DEL LÍMITE DE EXCAVACIÓN.**

Este conjunto de rutinas trabaja en bloques enteros desde los modelos en bloques 3-D y se usa, bien sea, la técnica del Cono Flotante o la de Lerchs-Grossmann para diseñar un conjunto de límites de excavación económicamente óptimo. Comúnmente una ley de corte (cutoff grade) o una ley equivalente es usada para seleccionar el material económico. Se ingresan costos, valor neto del producto, ley de corte y talud de la pared del pit. La topografía original es usada como la superficie inicial para el diseño y para generar nuevas superficies que reflejen los diseños económicos. Los diseños pueden ser impreso en planos o secciones y las reservas pueden ser calculadas considerando la ley de corte que se utilizó para el diseño. Con estas reservas también se puede correr un programa sencillo de producción.

### **3.5.6 EVALUACIÓN DEL LÍMITE DE EXCAVACIÓN.**

Se basa en un conjunto de rutinas que se usan para el diseño geométrico de los límites de excavación en los que se incluyen: rampas, expansiones y taludes de pared variables, para mostrar con más precisión un diseño de mina más real. Los límites de excavación diseñados de forma manual también pueden ser ingresados al

sistema para su posterior evaluación. El diseño de los mismos puede ser desplegado en planos o secciones y pueden cortarse con la topografía, si se desea. Las reservas para los límites de excavación se evalúan basándose en bloques parciales y se usan en el cálculo de los programas de producción.

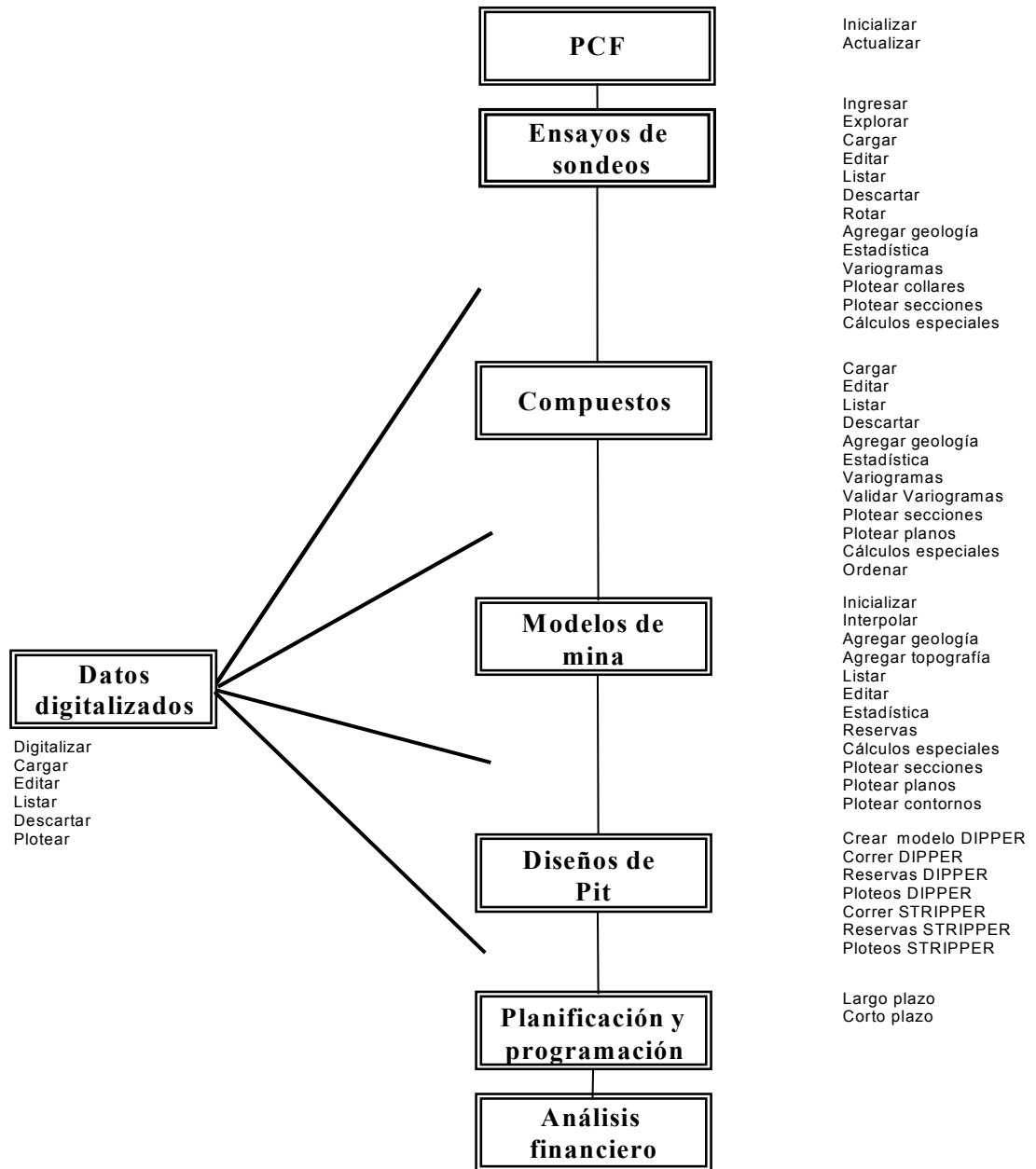
### **3.5.7 PROGRAMA DE PRODUCCIÓN.**

Este grupo de programas se usa para calcular los planes a largo plazo, los cuales se basan en los diseños mineros y cálculos de reservas mediante los programas de planificación de mina.

Los parámetros básicos, que se ingresan para cada período de producción, incluyen capacidad de molienda, capacidad de la mina y leyes de corte. Las funciones disponibles mediante los programas incluyen:

- Cálculo y reporte de producción para cada período, incluyendo producción de molienda según el tipo de mineral, leyes para molienda y desperdicios.
- Preparación de mapas de período de producción.
- Cálculo y almacenamiento de programas de mina anuales para análisis económico.
- Evaluación de las velocidades alternativas de producción y capacidad de mina requerida.

En la ilustración 15 diagrama de tareas para de evaluación minera.

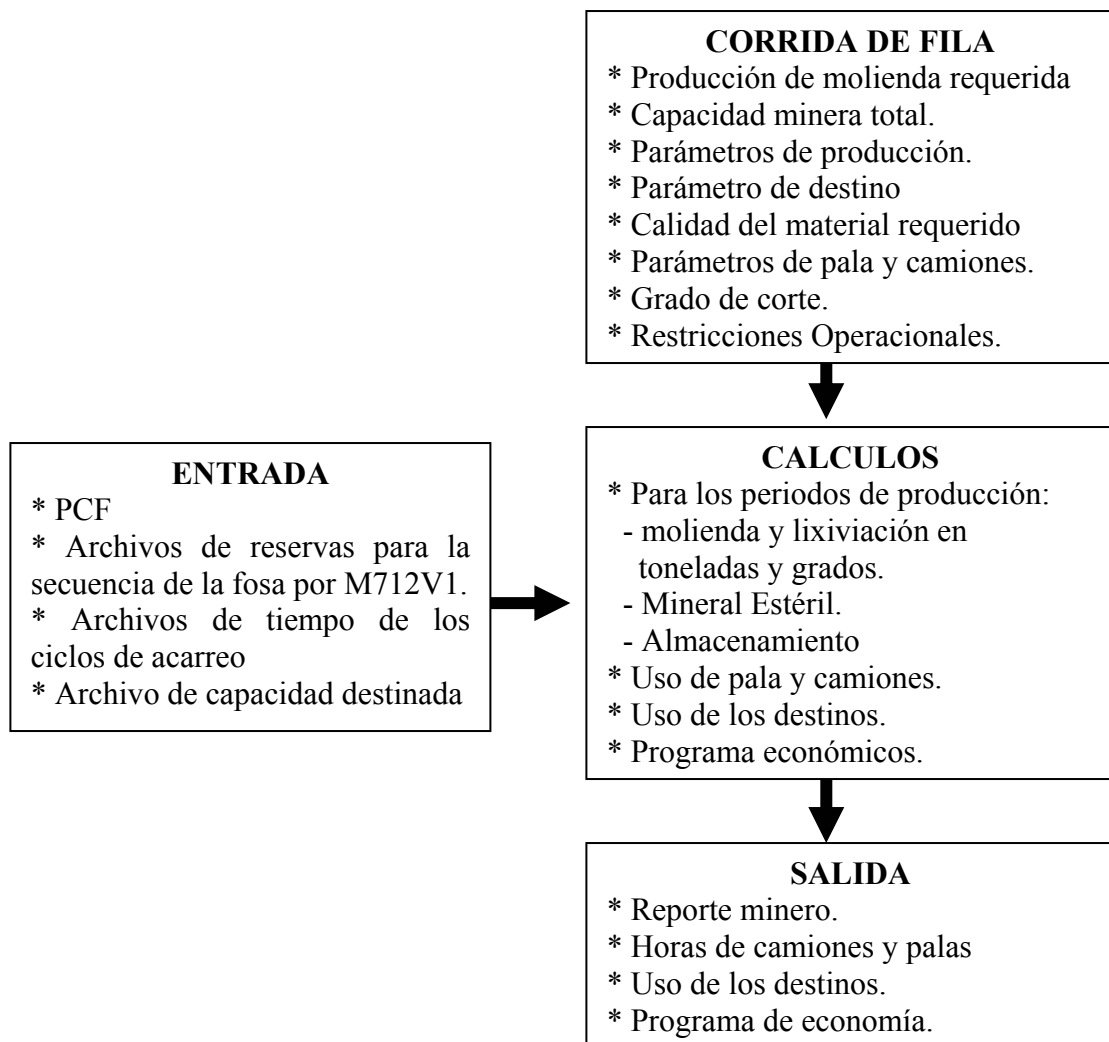


**Ilustración 15 Diagrama de Evaluación Minera**

### 3.6 PROGRAMA M821V1

El programa M821V1 calcula un cronograma para períodos de producción, partiendo de la secuencia de extracción resumida. El reporte emite un programa que satisface 5 pasos dentro de los rangos especificados en su contenido.

La secuencia minera que se encuentra en la corrida del M821V1 del software, está ordenada de tal manera que representan una secuencia lógica de minería y probablemente está relacionada con la finalidad de explotar un banco; si se relacionan geoméricamente el mineral y el estéril estos pueden ser excavados en diferentes tajos sobre bancos superiores.



El módulo M821V1, de planificación minera, funciona en base a una serie de datos de entrada, los cuales se indican a continuación:

1.- el archivo de reserva es reagrupado en dos clases de escombros o estéril (código 11 y 12) y 10 clases de mena (código del 1 al 10).

2.- El proceso de planificación consiste en:

a.- Encontrar un modelo de minería factible que cumpla con los objetivos de producción y las restricciones operacionales al examinar sistemáticamente todos los bancos y fases de expansión minera posible.

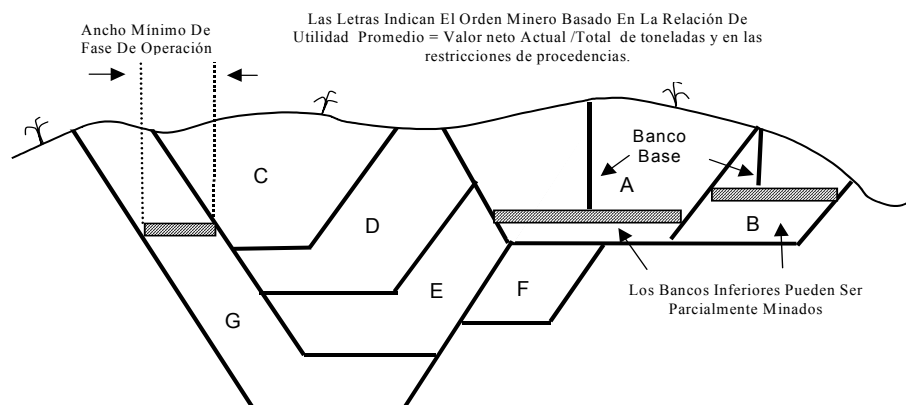
b.- Calcular los equipos de carga y acarreo mediante la simulación de la remoción de la mena y el escombros.

c.- Calcular los costos de operación y beneficio para los pasos antes señalados.

d.- Elegir una solución óptima entre todas las soluciones factibles.

3.- Determinar el modelo de minería entre todos los bancos y fases de expansión operativos para un período.

Un modelo factible se observa en la ilustración 16. En este se calcula el uso de la escombrera, las palas, los camiones y su valor económico.



**Ilustración 16 Configuración Minera Factible**

Una posible solución se define en un modelo que compruebe el adecuado uso de palas y camiones disponibles para la escombrera. Los costos son calculados para cada solución factible. Cada solución es candidata a ser la solución óptima para el periodo actual.

4.- Verificar si la remoción de estéril y mena es viable para el modelo de minería mediante la simulación de la operación de carga y acarreo.

5.- Después de una solución factible, es determinado el tiempo de carga y acarreo disponibles. Donde los costos de operaciones son calculados, basándose en el destino del mineral a las diferentes recuperaciones y procesamientos.

### **3.6.1 SOLUCIÓN ÓPTIMA A LA SIMULACIÓN**

- Los gastos operacionales y horas disponibles de palas y camiones pueden ser cambiadas, entre cuatro intervalos diferentes de tiempos, para reflejar la situación del equipo en distintas fases.
- Extender los depósitos para simular el trayecto actual y el ambiente del depósito de escombros. La extracción del depósito de escombros está basada sobre un porcentaje del depósito predefinido para cada destinatario, en otras palabras, si un destino cercano alcanza su extensión de capacidad de la escombrera, el material tiene que ir a un destinatario B, mucho más lejos, con la capacidad extensa del depósito. Solamente después de todos los destinos con las conexiones alcanzadas sus capacidades respectivas de la extracción del depósito de desechos pueden los materiales ser depositada en el destino A otra vez en cualquier periodo.
- El depósito puede ser especificado como disponible o no disponible, o debe recibir descarga hasta un cierto período predefinido..

- Tipos múltiples de materia (ejemplos: mineral, escombros, depósitos, acopio etc.) puede ser enviados a destinos diferentes .

## **CAPITULO IV ANÁLISIS DE REQUERIMIENTOS DE EQUIPOS**

La empresa Ferrominera Orinoco C.A. para cumplir con el plan quinquenal del período 2004 – 2008, ha ido mejorando la operación de los equipos de carga y acarreo de los diferentes yacimientos que actualmente se encuentran en explotación, lo cual ha incidido en un mayor rendimiento del tiempo efectivo y del acarreo mismo, permitiendo prever que se pueda alcanzar las metas de producción para dicho quinquenio.

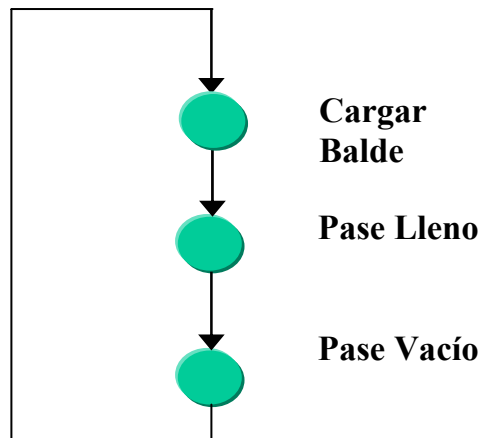
### ***4.1 INDICADORES OPERATIVOS DE LOS EQUIPOS***

Los indicadores operativos de los equipos son aquellos parámetros que se toman en cuenta, para calcular los diferentes cálculos del rendimiento y capacidad de las operaciones de carga y acarreo de los equipos asignados en las minas en explotación. Algunos de esos parámetros se describen a continuación:

#### **4.1.1 CICLO DE EXCAVACIÓN**

El ciclo de excavación es la duración de la operación del equipo de carga, cuando procede a realizar todas las fases de excavación y llenado de los camiones y constituye un conjunto repetitivo de actividades operativas. Este ciclo está basado en el tiempo, calculado para los diferentes factores que pueden incidir en la operación, tales como: factores climáticos, operativos y mecánicos y, además, los factores vinculados con la calidad del mineral de producción. (Ver ilustración 17). Esta operación de carga comprende tres fases, las cuales son:





**Ilustración 17 Diagrama de Excavación**

***Carga del Balde:***

Se refiere a la actividad que realiza el equipo de excavación; se inicia cuando los dientes del balde tocan el mineral en el frente de producción, y termina cuando, ya cargado el balde, la pala empieza a realizar el movimiento para descargar.

**Pase Lleno:**

Comienza cuando, ya cargado el balde, el equipo ejecuta el movimiento para descargar en el camión y termina cuando deposita el mineral en el camión.

**Pase Vacío:**

Se inicia cuando, ya depositado el mineral en el camión, el equipo realiza el movimiento para cargar en el frente de producción, y termina cuando los dientes del equipo tocan el mineral para el próximo ciclo de carga.

Los resultados obtenidos experimentalmente para el ciclo de excavación, de acuerdo con los diferentes tipos de excavación, considerando la influencia de los factores climáticos, operativos y mecánicos, que influyen en la excavación del mineral, son los siguientes:

**Tabla 12 Tiempo del ciclo de excavación**

TIPO DE EXCAVACIÓN	TIEMPO DEL CICLO DE EXCAVACIÓN (seg/ciclo)	
	Pala 10yd <sup>3</sup> .	Pala 14yd <sup>3</sup>
Blando	37,74	41,89
Duro	51,54	40,78

Fuente: Elaboración Propia

#### 4.1.2 TIEMPO EFECTIVO

Es el tiempo real de operaciones efectivas en un turno de trabajo. En FMO, según el informe de estándares de minas, emitido por el departamento de Ingeniería Industrial, este parámetro fue calculado restando a las 8 horas de trabajo de un turno todas aquellas demoras o tiempos muertos del sistema productivo, a fin de obtener el tiempo productivo real, necesario para los diferentes cálculos de capacidades productivas. Esta estimación fue verificada en varios turnos de trabajo durante el tiempo de esta investigación.

También se pudo observar, en los diferentes turnos de trabajo en la mina, que la información obtenida en el Informe de Estándares de Minas, se ajusta a los tiempos observados durante la operación rutinaria en CVG Ferrominera Orinoco C.A.

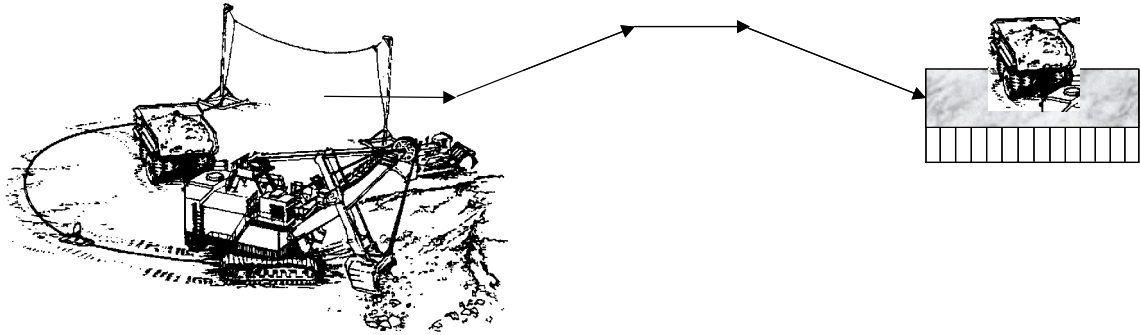
3 turno / día      →      8 horas cada turno

Tiempos muertos	{	Inicio de turno	15mín
		Tiempo antes de comida	15mín
		Comida	30mín
		Tiempo después de comida	15mín
		Fin de turno	15mín
		TOTAL:	90 mín. = 1,5 hr.

Tiempo efectivo = 8 – 1,5 = 6,5 hr/turno.

### 4.1.3 TIEMPO DE ACARREO

El tiempo de acarreo es aquel intervalo de tiempo que tarda un camión en ser cargado, ir a descargar, hacerlo y regresar para volver a ser cargado (Ver ilustración 18). Esta duración está condicionada a los siguientes aspectos:



**Ilustración 18 Ciclo de acarreo**

- *Distancia de acarreo*; es la distancia del recorrido del camión desde el punto de carga hasta la descarga en los muelles para el caso de los camiones de 90Ton en el cerro San Isidro, la descarga a la Planta de Trituración de Los Barrancos (PTLB), para el caso de los camiones de 170 ton, tanto proveniente de San Isidro como de Los Barrancos.

- *Perfiles de acarreo*: es la representación longitudinal del acarreo en cuanto así el camión va a nivel, subiendo o bajando, tanto cargado como vacío; los perfiles de acarreo de los diferentes camiones.

- *Muestreo de los tiempos de acarreo*, son los datos de tiempos de recorrido para por intervalos de distancias recorridas por los equipos de acarreo cada 50 y 100 metros, para los camiones de 90Ton y 170ton respectivamente.

Los datos para el cálculo de los tiempos de acarreo, de acuerdo a las distancias y los perfiles que son considerados para cada flota de camión, se han obtenido de acuerdo al promedio de los valores tomados en campo, para establecer de este modo los tiempos estándares aplicados en este estudio; además de los tiempos de

ciclos de las diferentes flotas de camiones, según el yacimiento del cual se extrae el mineral, todos estos datos se presentan en las tablas 13 a la 15.

**Tabla 13 Tiempos de carga para cada camión de acuerdo al equipo de carga**

<b>TIEMPOS (mín.)</b>		
<b>CAMIONES</b>	<b>CARGA</b>	
	<b>PH(14yd<sup>3</sup>)</b>	<b>BE(10yd<sup>3</sup>)</b>
<b>LH</b>	2,07	3,72
<b>CAT/KOM</b>	4,44	-----

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 14 Tiempos de descarga y viaje para cada camión**

<b>TIEMPOS (mín)</b>		
<b>CAMIONES</b>	<b>DESCARGA</b>	<b>VIAJE</b>
<b>LH</b>	0,43	14,3
<b>CAT/KOM</b>	1,04	10,12

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 15 Tiempo de ciclo para cada yacimiento de acuerdo con los perfiles establecido**

<b>TIEMPO CICLO TOTAL (min.)</b>			
<b>MINA</b>	<b>LH</b>		<b>CAT/KOM</b>
	<b>PH</b>	<b>BE</b>	<b>PH</b>
<b>SAN ISIDRO</b>	16,80	18,45	32,00
<b>LOS BARRANCOS / LAS PAILAS</b>	16,90	-----	15,60

Fuente: Elaboración Propia

#### **4.1.4 EQUIPOS MINEROS**

Los equipos mineros básicos son aquellos que en una explotación minera, cumplen con la función de extraer y transportar el mineral. Estos equipos están

agrupados por flotas y las mismas poseen ciertas especificaciones técnicas, que corresponden a la información del fabricante y expresan las condiciones particulares de la operación. Los datos están actualizados para Diciembre 2003 y corresponden a estadísticas emitidas por la Superintendencia de Mantenimiento.

***Camiones LECTRA HAUL***

La flota esta compuesta por 15 camiones y tiene el propósito de acarrear el mineral TEU (run of mines, Todo en Uno) desde los frentes de explotación hasta los muelles, donde se descarga el mineral de modo directo a los vagones.

Modelo:	MARK-24	Rendimiento Estándar:	290 ton/hr
Capacidad Nominal:	100 ton	Capacidad Efectiva:	90 ton
Disponibilidad Mecánica:	70%	Factor de llenado:	0,9

***Camiones CATERPILLAR***

La flota está formada por 5 camiones, y tiene el diseño de acarrear el mineral TEU, desde los frentes de explotación hasta la PTLB ó los muelles de descarga, donde un cargador recoge lo descargado por los camiones y cargará los vagones.

Modelo:	789-B	Rendimiento Estándar:	300 ton/hrs
Capacidad Nominal:	180 ton	Capacidad Efectiva:	170 ton
Disponibilidad Mecánica:	80%	Factor de llenado:	0,94

***Camiones KOMATSU***

La flota actual es de 6 camiones y tiene el propósito de acarrear el mineral TEU (run of mines) desde los frentes de explotación hasta la PTLB, ó eventualmente adyacente a los muelles de descarga, donde un cargador recoge para cargar los vagones en una operación de remanejo de material.

Modelo:	738-E	Rendimiento Estándar	310 ton/hrs
Capacidad Nominal:	180ton	Capacidad Efectiva:	170 ton
Disponibilidad Mecánica:	80%	Factor de llenado:	0,94

### ***Pala P & H***

La flota actual esta conformada por 5 palas, las mismas cumplen con la finalidad de excavar el frente volado y cargar los diferentes equipos de acarreo con dicho mineral.

Modelo:	2100-BLM	Serial:	J-16790
Capacidad:	14yd <sup>3</sup>	Rendimiento Estándar:	710 ton/hrs
Disponibilidad Mecánica:	75%		

### ***Pala BUCYRUS ERIE***

La flota esta compuesta por 3 palas, las mismas cumplen con el objetivo de excavar el frente volado y cargar los diferentes equipos de acarreo con dicho mineral.

Modelo:	190-B	Serial:	133770
Capacidad:	10yd <sup>3</sup>	Rendimiento Estándar:	700 ton/hrs
Rendimiento Estándar	70%		

## ***4.2 METAS DE PRODUCCIÓN***

Para el quinquenio 2004 – 2008, la empresa CVG-FMO se ha trazado una planificación con cifras de producción que son el resultado de las proyecciones de la demanda del mercado por la Gerencia de Comercialización y Ventas, utilizados por toda las Gerencias de la empresa, como es el caso de la Gerencia de Minería. Estas proyecciones de las demandas del mercado se orientan a dictar los lineamientos, para satisfacer las exigencias de los diferentes clientes en los productos que sean requeridos.

Las tablas 16 y 17 se muestran de manera general, para el período de estudio desglosado año a año, las demandas estimadas del mercado y la producción de mineral TEU (Todo En Uno) requerido para generar dichos productos, estos son producidos por la mina San Isidro, Los Barrancos y Las Pailas. En las tablas se encuentra la estimación de los despachos de productos y la producción de las minas

en el quinquenio 2004 – 2008. La demanda total para el quinquenio es de 92.970 ton, lo cual requiere una producción de minas 88.383 ton, de las cuales 8.973 ton son gruesos y el resto producto finos, tal como lo muestran las siguientes tablas.

**Tabla 16 Estimación del despacho y producción de minas año 2004 – 2008.**

	<i>FCB</i>	<i>FSI</i>	<i>FPF PMH</i>	<i>FPF PTLB</i>	<i>FPF1</i>	<i>GRUESO PTLB</i>	<i>GSI</i>	<i>GCB</i>	<i>TOTAL</i>
<i>Estimación de demanda</i>	3500	22950	34334	13461	6500	-	5660	6565	92970
<i>% de generación de grueso</i>	13	11	8	-	4	-	-	-	-
<i>Producción de mina TEU</i>	3708	25287	37172	13461	6271	2485	-	-	88383
<i>Generación de gruesos</i>	482	2782	2974	0	251	2485	7599	1374	8973

Fuente: Gerencia de Minería, CVG Ferrominera Orinoco CA.

**Tabla 17 Estimación del despacho y producción de minas. Promedio anual.**

	<i>FCB</i>	<i>FSI</i>	<i>FPF PMH</i>	<i>FPF PTLB</i>	<i>FPF1</i>	<i>GRUESO PTLB</i>	<i>GSI</i>	<i>GCB</i>	<i>TOTAL</i>
<i>Estimación de demanda</i>	700	4590	6758	2801	1300	-	1132	1313	18594
<i>% de generación de grueso</i>	13	11	8	-	4	-	-	-	-
<i>Producción de mina TEU</i>	742	5057	7246	2801	1254	577	-	-	17677
<i>Generación de gruesos</i>	96	556	580	0	50	577	1589	270	1860

Fuente: Gerencia de Minería, CVG Ferrominera Orinoco CA

Una vez obtenido el TEU requerido para el cumplimiento de la demanda de los productos estimados para cada año del quinquenio, se realiza una distribución del total de excavación para cada mina, San Isidro, Los Barrancos y Las Pailas, según los diferentes tipos de menas que caracterizan los respectivos yacimientos, y también de acuerdo a la composición química representativa de cada cerro. Los resultados de la excavación necesaria para el quinquenio se pueden ver desde las tablas 18 a la 23:

**Tabla 18 Excavación de minas para el periodo 2004 – 2008.**

Origen	Alto tenor	Bajo tenor friable	Bajo tenor duro	Alto tenor sílice/fósforo	laterita	Total no conforme	Total excavación
San Isidro	39.227	8.449	4.238	7.151	4.090	23.928	63.155
Los Barrancos	50.052	5.272	1.257	21.552	378	29.349	79.401
Las Pailas	6.455	727	237	2.081	183	3.228	9.683
<b>Total</b>	<b>95.734</b>	<b>14.448</b>	<b>5.732</b>	<b>30.784</b>	<b>4.651</b>	<b>56.505</b>	<b>152.239</b>

Fuente: Superintendencia de Minas, CVG Ferrominera Orinoco CA

**Tabla 19 Excavación de minas para el año 2004.**

Origen	Alto tenor	Bajo tenor friable	Bajo tenor duro	Alto tenor sílice/fósforo	laterita	Total no conforme	Total excavación
San Isidro	10.323	919	144	1.436	267	2.766	13.089
Los Barrancos	11.378	1.744	290	519	100	2.653	14.031
Las Pailas	2.259	204	100	283	183	770	3.029
<b>Total</b>	<b>23.960</b>	<b>2.867</b>	<b>534</b>	<b>2.238</b>	<b>550</b>	<b>6.189</b>	<b>30.149</b>

Fuente: Superintendencia de Minas, CVG Ferrominera Orinoco CA

**Tabla 20 Excavación de minas para el año 2005.**

Origen	Alto tenor	Bajo tenor friable	Bajo tenor duro	Alto tenor sílice/fósforo	laterita	Total no conforme	Total excavación
San Isidro	6.739	2.497	1.386	2.440	1.028	7.351	14.090
Los Barrancos	11.241	1.079	227	2.508	75	4.779	16.020
Las Pailas	1.006	0	76	1.048	0	1.124	2.130
<b>Total</b>	<b>18.986</b>	<b>3.576</b>	<b>1.689</b>	<b>5.996</b>	<b>1.103</b>	<b>13.254</b>	<b>32.240</b>

Fuente: Superintendencia de Minas, CVG Ferrominera Orinoco CA

**Tabla 21 Excavación de minas para el año 2006.**

Origen	Alto tenor	Bajo tenor friable	Bajo tenor duro	Alto tenor sílice/fósforo	laterita	Total no conforme	Total excavación
San Isidro	7.058	1.563	664	634	1.237	4.098	11.156
Los Barrancos	8.783	792	205	6.466	69	7.532	16.315
Las Pailas	1.058	34	0	533	0	567	1.625
<b>Total</b>	<b>16.899</b>	<b>2.389</b>	<b>869</b>	<b>7.633</b>	<b>1.306</b>	<b>12.197</b>	<b>29.096</b>

Fuente: Superintendencia de Minas, CVG Ferrominera Orinoco CA

**Tabla 22 Excavación de minas para el año 2007.**

Origen	Alto tenor	Bajo tenor friable	Bajo tenor duro	Alto tenor sílice/fósforo	laterita	Total no conforme	Total excavación
San Isidro	6.539	1.278	768	1.064	933	4.043	10.582
Los Barrancos	9.352	807	210	6.466	60	7.543	16.895
Las Pailas	1.085	26	0	64	0	90	1.175
<b>Total</b>	<b>16.976</b>	<b>2.111</b>	<b>978</b>	<b>7.594</b>	<b>993</b>	<b>11.676</b>	<b>28.652</b>

Fuente: Superintendencia de Minas, CVG Ferrominera Orinoco CA



**Tabla 23 Excavación de minas para el año 2008.**

Origen	Alto tenor	Bajo tenor friable	Bajo tenor duro	Alto tenor sílice/fósforo	laterita	Total no conforme	Total excavación
<b>San Isidro</b>	8.568	2.192	1.276	1.577	625	5.670	14.238
<b>Los Barrancos</b>	9.298	850	325	5.593	74	6.842	16.140
<b>Las Pailas</b>	1.047	463	61	153	0	677	1.724
<b>Total</b>	<b>18.913</b>	<b>3.505</b>	<b>1.662</b>	<b>7.323</b>	<b>699</b>	<b>13.189</b>	<b>32.102</b>

Fuente: Superintendencia de Minas, CVG Ferrominera Orinoco CA

### ***4.3. REQUERIMIENTO DE EQUIPOS MEDIANTE MEDSYSTEM***

Para determinar los requerimientos de los equipos de carga y acarreo mediante la aplicación del software Medsystem, específicamente en el programa M821V1; existente en la empresa y que no se ha comprobado si es pertinente su aplicación para arrojar resultados mas rápidos estudiamos la forma en que este procede así obtuvimos que, se introducen los datos de las flotas de acarreo y carga en el siguiente orden:

- Número de flotas de acarreo y carga respectivamente.
- Descripción de cada flota de acarreo:

Primera línea:

- Nombre y/o identificación de la flota.
- Periodo en el cual comienza a funcionar
- Tipo de material a acarrear
- Capacidad nominal del equipo en MENA
- Capacidad nominal del equipo en estéril
- Disponibilidad mecánica (en FMO es la física)
- Número de equipos que componen a la flota

Segunda línea:

- Horas de uso del equipo
- Disponibilidad física (en FMO uso de disponibilidad)
- Costo (para esta corrida no se toma en cuenta)

- Descripción de cada flota de carga:
  - Primera línea:
    - Nombre y/o identificación de la flota.
    - Periodo a partir del cual se comienza a operar el equipo
    - Tipo de material a excavar.
    - Disponibilidad mecánica.
    - Número de equipos que componen a la flota
  - Segunda línea:
    - Horas de uso del equipo.
    - Disponibilidad física.
    - Costo (no se toma en cuenta para este trabajo).
- Tiempo de carga del equipo en el orden de los camiones

La corrida del programa M821V1 opera de la siguiente manera: de acuerdo a las toneladas a acarrear: primero lee el número de flotas, luego cuando esta no es suficiente para la extracción, procede a utilizar la siguiente flota, y así sucesivamente hasta completar el acarreo total; de igual manera se procede para la excavación, asignada la primera flota de palas anotada en la lista hasta que se usen todas las horas disponibles, sólo después utiliza la siguiente flota de palas.

Luego de realizar la corrida se emite un reporte en el cual se esboza un resumen por flota y período de los equipos de carga y acarreo utilizados, además de las horas de uso. Ver Anexos 2 y 3

Cuando el número de equipos introducidos en el programa no es suficiente para el cumplimiento del plan, la corrida es interrumpida, emitiendo un mensaje de error, es aquí donde se debe comenzar a introducir nuevos datos hasta lograr alcanzar los equipos requeridos para el cumplimiento del plan.

#### **4.3.1. VALIDACIÓN DEL PROGRAMA M821V1**

El programa M821V1 del software Medsystem. Arrojar algunos resultados inesperados en el comportamiento de la flota de palas y camiones, puesto que al introducir los datos de las flotas de carga y acarreo, el programa va seleccionando los equipos en el orden como fueron colocados. Revisa si la primera flota que reconoce cumple con la excavación, de ser insuficiente para las toneladas a extraer, procede a incluir la siguiente flota y así hasta completar la extracción total. Pero si no encuentra datos que le indiquen flotas suficientes para el acarreo del mineral, el programa es interrumpido emitiendo un mensaje de error e indicando que las flotas de acarreo no son suficientes.

El resultado obtenido de las operaciones de carga y acarreo, no son ni reales, ni ideales, debido a que el programa trabaja solo con una flota hasta que las horas disponibles de uso se agotan, sólo en ese momento es cuando utiliza las otras flotas existentes, es decir, no realiza una distribución de los diferentes equipos en toda la minas.

Los cálculos obtenidos por el programa indican que opera con los equipos de carga, es decir, realiza la determinación de flotas requeridas de equipos, para el cumplimiento de los planes, de manera muy generalizada. El programa no realiza realmente asignación de equipos, sino que verifica las flotas, pero de manera simple y no combinada, en tanto que para el caso de CVG-FMO que cuenta con flotas de equipos de carga y acarreo de diferentes especificaciones técnicas, necesita un programa que realice la asignación de equipos de manera combinada, para una distribución mas cercana a lo real.

Como un ejemplo de lo expuesto anteriormente, al introducir los datos requeridos, por el programa se observa en el reporte emitido por la corrida que la manera de operar del programa no es agrupando las diferentes flotas de equipos de carga. De hecho, en el caso de la corrida realizada se obtiene que con una pala de 14

yd<sup>3</sup> se puede cumplir con la extracción programada para ese quinquenio, cuando es evidente que no se puede, debido a que la extracción se hace en diferentes frentes en los diferentes cerros, esto indica que ésta aplicación opera sólo con resultados totales de toneladas a extraer, sin interrelacionar los frentes ni tomándo en cuenta los perfiles de acarreo, ni los ciclos operativos.

El programa posee esta aplicación para ser utilizada en minas donde el frente de explotación es continuo y los equipos de carga y acarreo son una flota única, es decir, tanto los camiones como las palas poseen características técnicas únicas. Siendo esta aplicación no es satisfactoria para CVG-FMO, debido a que la empresa posee flotas de carga y acarreo con características variadas.

En definitiva, esta aplicación M821V1 no es útil para el problema planteado, puesto que:

- No realiza la asignación adecuada de los equipos para las diferentes minas de explotación. El programa asume que es una sola operación integrada.
- No toma en cuenta la distancia y el tiempo de acarreo para dos ciclos diferentes que eventualmente realice el camión (Ej.: destino a muelle y/o PTLB). Solo toma el tiempo de carga de la pala.
- No es confiable ni representativo de la realidad el resultado que emite sobre el cumplimiento del plan.
- No realiza análisis sobre las necesidades de los reemplazos de los equipos.
- No se puede seleccionar cualquier año de inicio para un período de planificación, porque solo acepta como inicio de un plan el año de la última actualización de la base de datos.

El programa M821V1, a pesar de las virtudes que posee para otras aplicaciones probadas con muy buenos resultados en el comportamiento cualitativo y cuantitativo de las minas en excavación, en la aplicación correspondiente a carga y

acarreo parece que fue diseñado para ser utilizado en otras minas con característica diferentes a FMO.

#### **4.4. REQUERIMIENTOS DE EQUIPOS DE CARGA Y ACARREO**

Los requerimientos de los equipos consisten en la determinación del número de unidades que se necesitan para extraer y acarrear el mineral explotado en los diferentes yacimientos, a fin de cumplir con los tonelajes establecidos en los planes de minas.

##### **4.4.1 CÁLCULOS CONVENCIONALES DE EQUIPOS DE CARGA Y ACARREO.**

El criterio de análisis para determinar la flota más conveniente de los equipos de carga y acarreo consiste en seleccionar la opción de menor costo operativo y mayor capacidad de la combinación de pala y camiones.

Para el cálculo se utilizó como base el índice de utilización efectiva (UE) de pala y camión estimado a partir de la disponibilidad mecánica (DM) y asumiendo un tiempo de reserva (stand by) del equipo de 5% (S). De modo que se tiene:

$$UE = DM * (100 - \%S) / 100$$

Para estimar los costos unitarios de la operación de carga y acarreo se consideró los costo estándar de los camiones y palas estimados en la tabla 23:

**Tabla 24 Costo Estándar.**

	<b>PALAS</b>		<b>CAMIONES</b>	
<b>\$/hr.</b>	<b>PH (14yd<sup>3</sup>)</b>	<b>BE (10yd<sup>3</sup>)</b>	<b>LH (90ton)</b>	<b>CAT/KOM (170 ton)</b>
	180	130	120	100

Fuente: Elaboración Propia

Se determinó el número de viajes (n) que realizan u tipo de camión, según los perfiles de acarreo, usando la siguiente ecuación:

$$n(\text{viajes} / \text{horas}) = \frac{60}{t_{\text{CICLO}}} * \%Efic$$

Donde:

$T_{\text{CICLO}}$ : tiempo de ciclo del camión.

$\%Efic$ : porcentaje de eficiencia de la operación.

Por ejemplo, el número de viajes de un camiones de 90 toneladas (Lectra Haul) en la mina San Isidro es:

$$n(\text{viajes} / \text{horas}) = \frac{60}{16,80} * 85\% = 3,04$$

En la tabla 25 se puede, observar el rendimiento, en término de viajes/horas (n), para los diferentes tipos de camiones en cada mina. En el caso de la mina San Isidro este rendimiento dependerá de la pala que realice la carga del camión de 90 ton.

**Tabla 25 Número de viajes de cada tipo de camión.**

<i>1 Camión</i>	<i>Mina San Isidro</i>		<i>Mina Los Barrancos/Las Pailas</i>
LH(90Ton)	BE/2,76	PH/3,04	3,02
CAT/KOM(170Ton)	1,59		3,27

Fuente: Elaboración Propia

Después se calculó el rendimiento del equipo de acarreo, en términos de ton/hr, de acuerdo a la siguiente expresión:

$$ton / hr = n(\text{viajes} / hr) * ton_{\text{CAMION}}$$

Por ejemplo, un cálculo de rendimiento para el caso de los camiones de 90 ton para Los Barrancos / Las Pailas es:

$$\text{ton} / \text{hr} = 3,02 * 90 = 271,21$$

En la tabla 26 se pueden observar los rendimientos para los diferentes acarreo en cada cerro.

**Tabla 26 Rendimiento de los equipos de acarreo (ton/hr).**

<i>Camiones</i>	<i>Mina San Isidro</i>		<i>Mina Los Barrancos/Las Pailas</i>
LH(90Ton)	BE/248,78	PH/273,21	271,60
CAT/KOM(170Ton)	270,94		555,77

Fuente: Elaboración Propia

Al multiplicar el rendimiento por las hr/tunos efectivos y turnos/año, según los esquemas operativos, se determina la capacidad máxima de acarreo por año (ver ecuación)

$$(\text{ton} / \text{año}) = (\text{ton} / \text{hr}) * (\text{hr} / \text{turnos}) * (\text{turnos} / \text{años})$$

Por ejemplo, el caso de un camión de 170 ton en la mina San Isidro, resulta:

$$\text{ton} / \text{año} = 270,94 * 6,5 * 750 = 1.320.820,31$$

En la tabla 27 se pueden ver las capacidades máximas de cada camión, esto de acuerdo a los otros procesos de cada mina, para un camión, en un año.

**Tabla 27 Capacidad máxima de acarreo (ton/año)**

<i>1 Camión</i>	<i>Mina San Isidro</i>		<i>Mina Los Barrancos/Las Pailas</i>
LH(90 ton)	BE/1.212.804,88	PH/1.331.919,64	2.709.375,00
CAT/KOM(170 ton)	1.320.820,31		1.324.038,46

Fuente: Elaboración propia

La capacidad máxima de cada camión, se multiplica por el número de camiones asignados a la pala para obtener la capacidad total de acarreo, de modo que el número de camiones sea igual o inferior al de saturación. Caso contrario, la capacidad será la de la pala de excavación

En efecto la cantidad de camiones para la cual la capacidad se hace constante se le llama punto de saturación o números de camiones de equilibrio, se calcula mediante la ecuación:

$$n^{\circ} \text{ camiones de saturación} = \frac{t_{CICLO}}{T_{CARGA}}$$

donde:

$t_{CICLO}$ : tiempo de ciclo.

$T_{CARGA}$ : tiempo de carga.

Finalmente, se obtienen el costo directo de carga y acarreo, en términos de \$/ton, para cada combinatoria de 1 pala con N camiones a través de la siguiente ecuación:

$$\$/ton = (hr/turno)_S * (turnos/años) * \left( \frac{\$/hr_{PALA} + (N * \$/hr_{CAMION})}{ton/hr} \right)$$

Con los resultados determinados se obtuvieron los gráficos: “ton/años vs. n° de camiones” y “\$/ton vs. n° de camiones”, para cada una de las combinaciones pala / camión, de acuerdo a los perfiles fijos de acarreo existente para las minas San Isidro y Los Barrancos / Las Pailas. Los casos a evaluados en cada mina fueron:

\*.- Pala BE(10yd3) / Camiones LH(90ton)

\*.- Pala PH(14yd3) / Camiones LH(90ton)



\*.- Pala PH(14yd3) / Camiones CAT-KOM(170ton).

Los resultados obtenidos se muestran a continuación:

**SAN ISIDRO**

**PALA BE (10yd3) / Camiones LH (90 tons)**

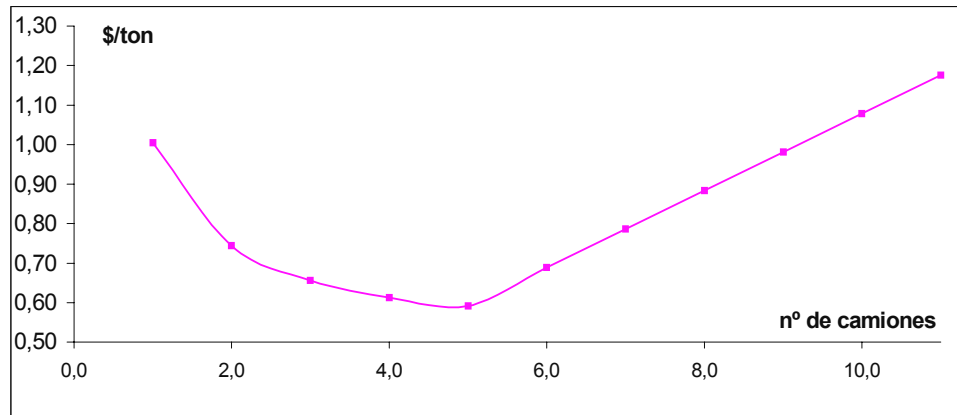
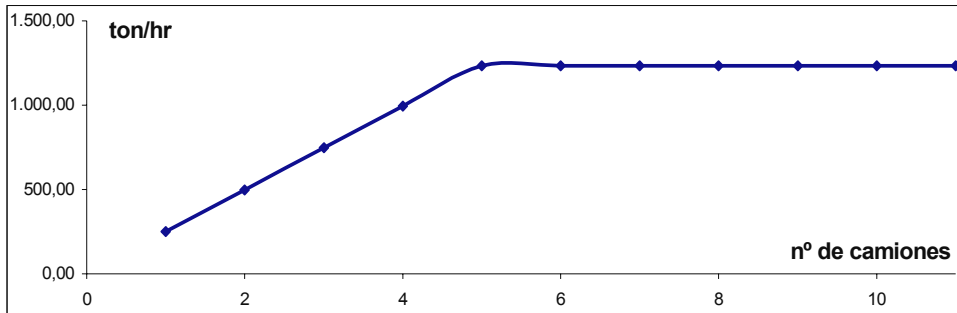
<b>1 Camión LH</b>	nro viajes/hr	2,76
	ton/hr	248,78
	ton/año	1.212.804,88

Ciclo Tot.	16,80
Ef. Op.	85,0%
U.E.	67%
Nº Cam.Sat.	4,96

nº cam. efect.	ton/hr	ton/año	Cam. Req.
1,00	248,78	1.212.804,88	1,50
2,00	497,56	2.425.609,76	3,01
3,00	746,34	3.638.414,63	4,51
4,00	995,12	4.851.219,51	6,02
<b>5,00</b>	<b>1.233,87</b>	<b>6.015.120,97</b>	<b>7,52</b>
6,00	1.233,87	6.015.120,97	9,02
7,00	1.233,87	6.015.120,97	10,53
8,00	1.233,87	6.015.120,97	12,03
9,00	1.233,87	6.015.120,97	13,53
10,00	1.233,87	6.015.120,97	15,04
11,00	1.233,87	6.015.120,97	16,54

nº camiones	\$/ton
1,00	1,0049
2,00	0,7436
3,00	0,6565
4,00	0,6130
<b>5,00</b>	<b>0,5916</b>
6,00	0,6889
7,00	0,7861
8,00	0,8834
9,00	0,9807
10,00	1,0779
11,00	1,1752

**GRAFICAS**



**SAN ISIDRO**

**PALA PH (14yd<sup>3</sup>) / Camiones LH (90tons)**

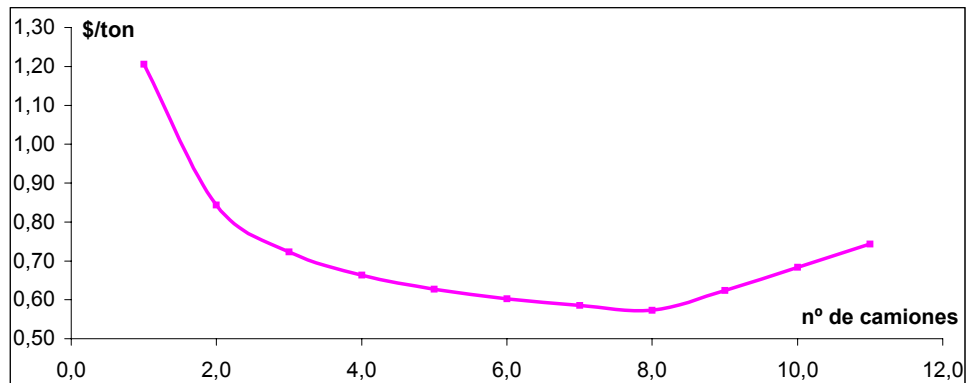
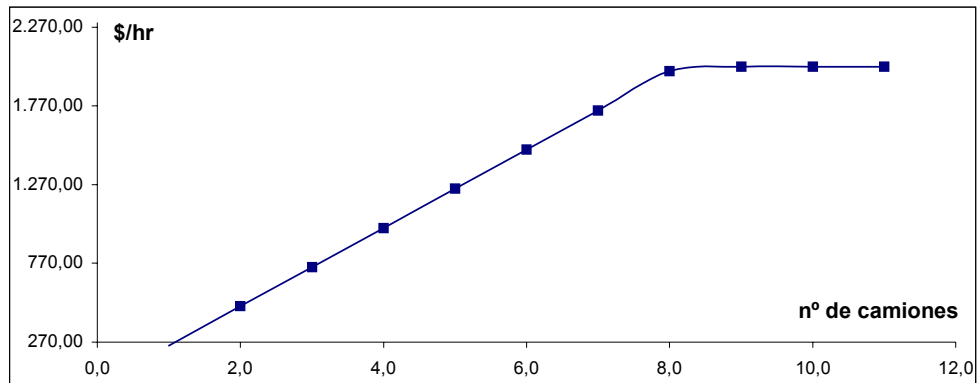
<b>1 Camión LH</b>	nro viajes/hr	3,04
	ton/hr	273,21
	ton/año	1.331.919,64

Ciclo Tot.	16,80
Ef. Op.	85,0%
U.E.	67%
Nº Cam.Sat.	8,12

nº cam. efect.	ton/hr	ton/año	Cam. Req.
1,00	248,78	1.212.804,88	1,50
2,00	497,56	2.425.609,76	3,01
3,00	746,34	3.638.414,63	4,51
4,00	995,12	4.851.219,51	6,02
5,00	1.243,90	6.064.024,39	7,52
6,00	1.492,68	7.276.829,27	9,02
7,00	1.741,46	8.489.634,15	10,53
<b>8,00</b>	<b>1.990,24</b>	<b>9.702.439,02</b>	<b>12,03</b>
9,00	2.019,09	9.843.054,08	13,53
10,00	2.019,09	9.843.054,08	15,04
11,00	2.019,09	9.843.054,08	16,54

nº camiones	\$/ton
1,00	1,2059
2,00	0,8441
3,00	0,7235
4,00	0,6632
5,00	0,6271
6,00	0,6029
7,00	0,5857
<b>8,00</b>	<b>0,5728</b>
9,00	0,6240
10,00	0,6835
11,00	0,7429

**GRAFICAS**



**SAN ISIDRO**

**PALA PH(14yd3)/(CAT/KOM)**

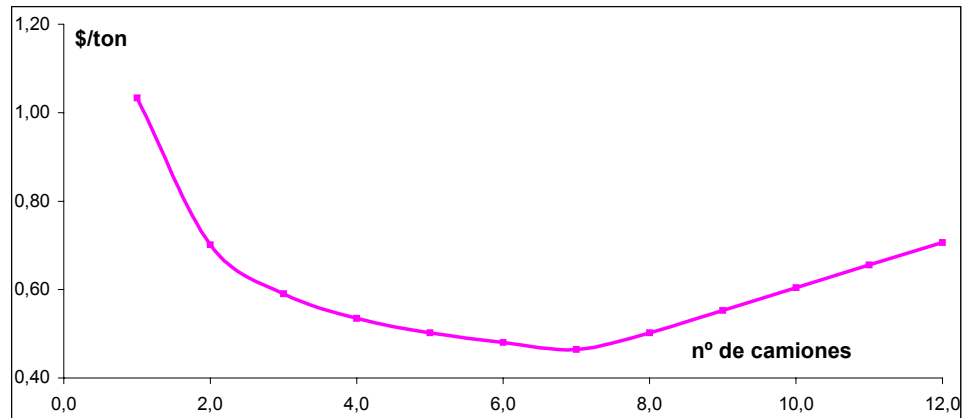
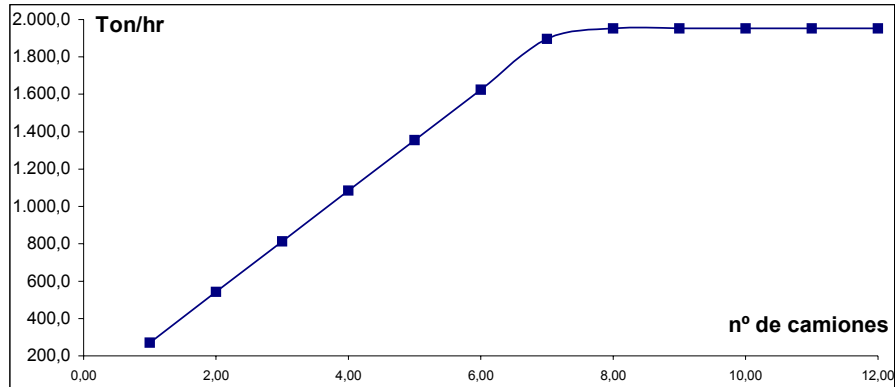
<b>1 camión CAT/KOM</b>	n(viajes/hr)	1,59
	tn/hr	270,94
	tn/año	1.320.820,31

Ciclo Tot.	32,00
Ef. Op.	85,0%
U.E.	76%
N° Cam.Sat.	7,21

n° cam. efect.	ton/hr	ton/año	Cam. Req.
1,00	270,94	1.320.820,31	1,32
2,00	541,88	2.641.640,63	2,63
3,00	812,81	3.962.460,94	3,95
4,00	1.083,75	5.283.281,25	5,26
5,00	1.354,69	6.604.101,56	6,58
6,00	1.625,63	7.924.921,88	7,89
<b>7,00</b>	<b>1.896,56</b>	<b>9.245.742,19</b>	<b>9,21</b>
8,00	1.952,70	9.519.425,68	10,53
9,00	1.952,70	9.519.425,68	11,84
10,00	1.952,70	9.519.425,68	13,16
11,00	1.952,70	9.519.425,68	14,47
12,00	1.952,70	9.519.425,68	15,79

n° camiones	\$/ton
1,00	1,0334
2,00	0,7013
3,00	0,5905
4,00	0,5352
5,00	0,5020
6,00	0,4798
<b>7,00</b>	<b>0,4640</b>
8,00	0,5019
9,00	0,5531
10,00	0,6043
11,00	0,6555
12,00	0,7067

**GRAFICAS**



## LOS BARRANCOS/LAS PAILAS

### PALA BE(10yd3)/LH (90ton)

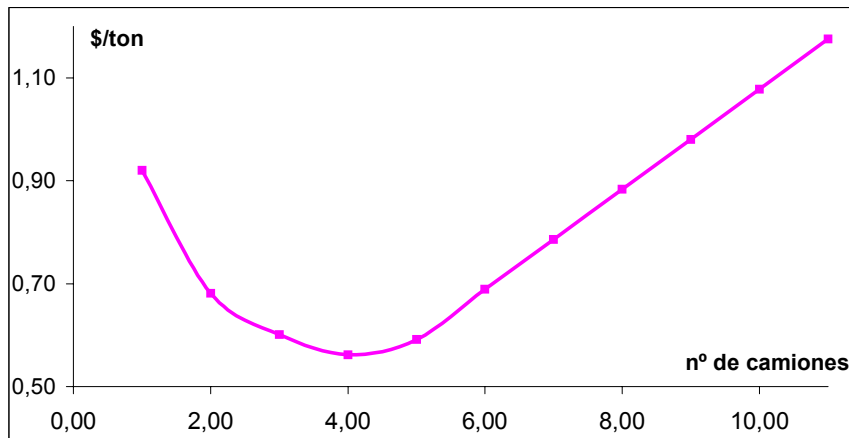
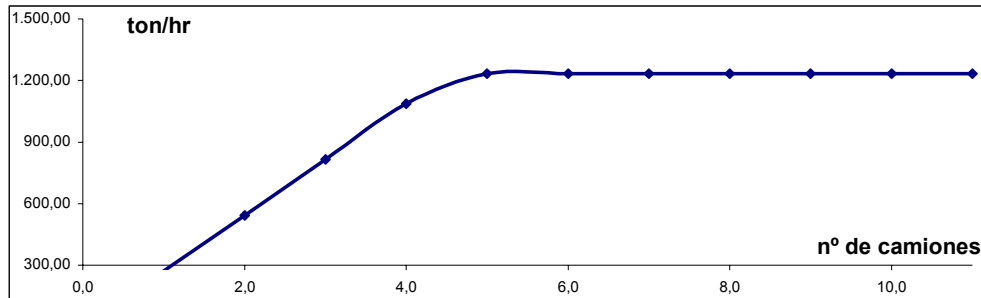
<b>1 camión LH</b>	n(viajes/hr)	3,02
	tn/hr	271,60
	tn/año	1.324.038,46

Ciclo Tot.	16,90
Ef. Op.	85,0%
U.E.	67%
Nº Cam.Sat.	4,54

nº cam. efect.	ton/hr	ton/año	Cam. Req.
1,00	271,60	1.324.038,46	1,50
2,00	543,20	2.648.076,92	3,01
3,00	814,79	3.972.115,38	4,51
<b>4,00</b>	<b>1.086,39</b>	<b>5.296.153,85</b>	<b>6,02</b>
5,00	1.233,87	6.015.120,97	7,52
6,00	1.233,87	6.015.120,97	9,02
7,00	1.233,87	6.015.120,97	10,53
8,00	1.233,87	6.015.120,97	12,03
9,00	1.233,87	6.015.120,97	13,53
10,00	1.233,87	6.015.120,97	15,04
11,00	1.233,87	6.015.120,97	16,54

nº camiones	\$/ton
1,00	0,9205
2,00	0,6812
3,00	0,6014
<b>4,00</b>	<b>0,5615</b>
5,00	0,5916
6,00	0,6889
7,00	0,7861
8,00	0,8834
9,00	0,9807
10,00	1,0779
11,00	1,1752

### GRAFICAS



## LOS BARRANCOS/LAS PAILAS

### PALA PH(14yd3)/LH (90ton)

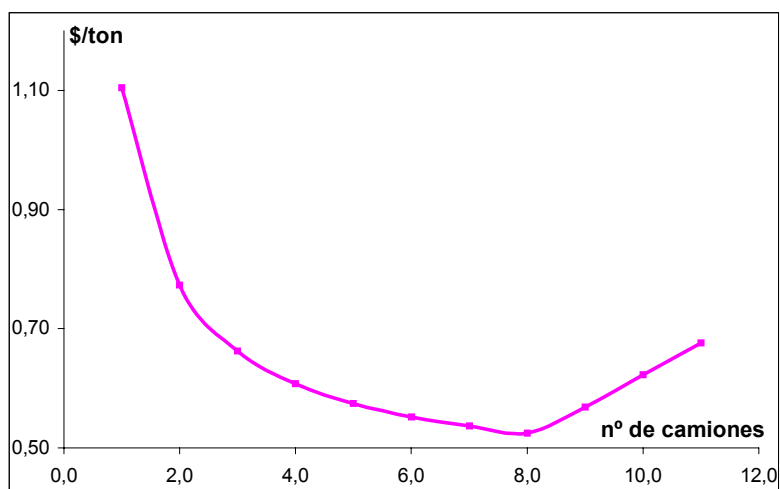
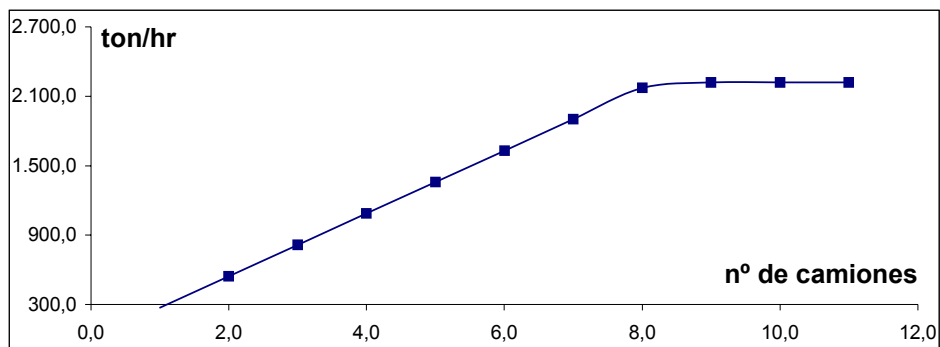
<b>1 camión LH</b>	n(viajes/hr)	3,02
	tn/hr	271,60
	tn/año	1.324.038,46

Ciclo Tot.	0,88
Ef. Op.	85,0%
U.E.	67%
Nº Cam.Sat.	8,16

nº cam. efect.	ton/hr	ton/año	Cam. Req.
1,00	271,60	1.212.804,88	1,50
2,00	543,20	2.425.609,76	3,01
3,00	814,79	3.638.414,63	4,51
4,00	1.086,39	4.851.219,51	6,02
5,00	1.357,99	6.064.024,39	7,52
6,00	1.629,59	7.276.829,27	9,02
7,00	1.901,18	8.489.634,15	10,53
<b>8,00</b>	<b>2.172,78</b>	<b>9.702.439,02</b>	<b>12,03</b>
9,00	2.217,39	9.843.054,08	13,53
10,00	2.217,39	9.843.054,08	15,04
11,00	2.217,39	9.843.054,08	16,54

nº camiones	\$/ton
1,00	1,1046
2,00	0,7732
3,00	0,6627
4,00	0,6075
5,00	0,5744
6,00	0,5523
7,00	0,5365
<b>8,00</b>	<b>0,5247</b>
9,00	0,5682
10,00	0,6224
11,00	0,6765

### GRAFICAS



**LOS BARRANCOS/LAS PAILAS**

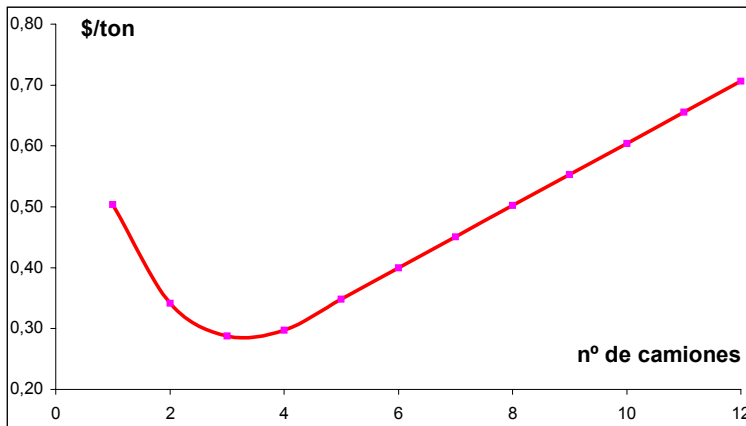
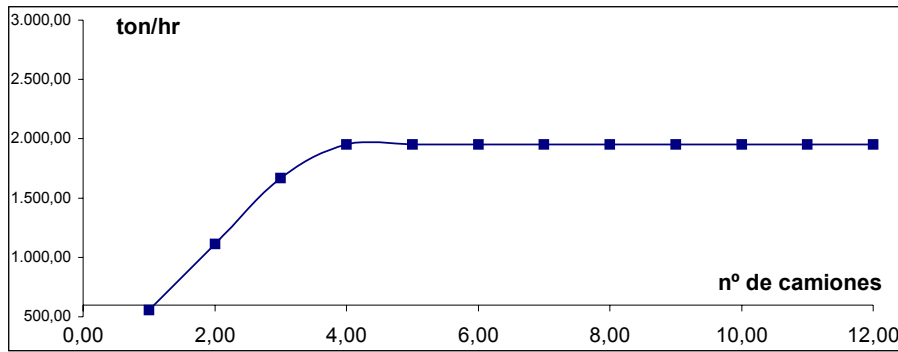
**PALA PH(14yd3)/(CAT/KOM) (170ton)**

<b>1 camión CAT/KOM</b>	n(viajes/hr)	3,27	Ciclo Tot.	15,60
	tn/hr	555,77	Ef. Op.	85,0%
	tn/año	2.709.375,00	U.E.	76%
			Nº Cam.Sat.	3,51

nº cam. efect.	ton/hr	ton/año	Cam. Req.
1,00	555,77	2.709.375,00	1,32
2,00	1.111,54	5.418.750,00	2,63
<b>3,00</b>	<b>1.667,31</b>	<b>8.128.125,00</b>	<b>3,95</b>
<b>4,00</b>	<b>1.952,70</b>	<b>9.519.425,68</b>	<b>5,26</b>
5,00	1.952,70	9.519.425,68	6,58
6,00	1.952,70	9.519.425,68	7,89
7,00	1.952,70	9.519.425,68	9,21
8,00	1.952,70	9.519.425,68	10,53
9,00	1.952,70	9.519.425,68	11,84
10,00	1.952,70	9.519.425,68	13,16
11,00	1.952,70	9.519.425,68	14,47
12,00	1.952,70	9.519.425,68	15,79

nº camiones	\$/ton
1	0,5038
2	0,3419
<b>3</b>	<b>0,2879</b>
4	<b>0,2970</b>
5	0,3482
6	0,3994
7	0,4507
8	0,5019
9	0,5531
10	0,6043
11	0,6555
12	0,7067

**GRAFICAS**



En la tabla 28 se resumen las combinaciones óptimas de cada caso, de acuerdo al criterio de seleccionar la opción de menor costo.

**Tabla 28 Resumen de los casos Evaluados**

<b>RESUMEN</b>					
<b>MINAS</b>	<b>PALA / CAMION</b>	<b>#cam</b>	<b>ton/años</b>	<b>Ton/hrs</b>	<b>\$/ton</b>
<b>SAN ISIDRO</b>	BE(10yd3)/LH(90ton)	5	6.015.120,97	1.233,87	0,5916
	PH(14yd3)/LH(90ton)	8	9.702.439,02	1.990,24	0,5728
	PH(14yd3)/(CAT/KOM)170ton	7	9.245.742,19	1.896,56	0,4640
<b>LOS BARRANCOS / LAS PAILAS</b>	BE(10yd3)/LH(90ton)	4	5.296.153,85	1.086,39	0,5615
	PH(14yd3)/LH(90ton)	8	9.702.439,02	2.172,78	0,5247
	<b>PH(14yd3)/(CAT/KOM)170ton</b>	<b>4</b>	<b>9.579.425,68</b>	<b>1.952,70</b>	<b>0,2970</b>

Fuente: Elaboración Propia

De la tabla resumen se observa que la combinación pala / camión de menor costo unitario es Pala PH / Camión 170 ton (CAT/KOM) en Los Barrancos / Las Pailas, debido a que es el menor costo operativo y la mayor capacidad de producción, de lo anterior se procede a designar equipos, siendo la esta combinación la primera prioridad.

#### **4.4.2. ASIGNACIÓN DE EQUIPOS**

La asignación de equipos, tiene como función establecer la mina de ubicación de los equipos de excavación y, además, definir cuantos camiones serán destinados a cada pala, para satisfacer los requerimientos de producción establecidos en el plan quinquenal de FMO.

De acuerdo al criterio de asignar equipos según el menor costo operativo, se realiza primero la asignación de los equipos a Los Barranco / Las Pailas, a los cuales se han asignados la flota completa de camiones de 170 toneladas y tres palas de 14 yd3, dos estarán siempre operativas y una de repuesto, dando una capacidad total de producción de 19.038.851,35 toneladas en un año. Estos resultados se pueden visualizar en la tabla 29.



**Tabla 29 Asignación de equipos, Los Barrancos – Las Pailas.**

<b>1RA PRIORIDAD</b>					
<b>Pala PH/CAT-KOM Los Barrancos/ Las Pailas</b>					
N° Pala	N° Cam	N° Chof.	\$/ton	tn/año	tn/hr
# 1	5	4	0,2447	9.519.425,68	1.952,70
# 2	5	4	0,2447	9.519.425,68	1.952,70
<b>Total</b>	<b>10</b>	<b>8</b>	<b>0,2447</b>	<b>19.038.851,35</b>	<b>3.905,41</b>

Fuente: Elaboración propia

Posteriormente siguiendo el mismo criterio de asignación se realizó la distribución de equipos al cerro San Isidro, dejando la flota de camiones de 90 toneladas (Lectra Haul) y las dos palas de 14yd<sup>3</sup> restantes. Las capacidades de carga y acarreo en este cerro sería de 15.849.843,75 ton por año; en la tabla 30 se observa la asignación realizada.

**Tabla 30 Asignación según método convencional, mina San Isidro**

<b>2DA PRIORIDAD</b>					
<b>Pala PH/LH San Isidro</b>					
N° Pala	N° Cam	N° Chof.	\$/ton	tn/año	tn/hr
# 1	7	6	0,4798	7.924.921,88	1625,625
# 2	7	6	0,4798	7.924.921,88	1625,625
<b>Total</b>	<b>14</b>	<b>12</b>	<b>0,4798</b>	<b>15.849.843,75</b>	<b>3251,25</b>

Fuente: Elaboración propia

#### 4.4.3. SIMULACION ESTOCASTICA

La simulación estocástica se realizó sólo para aquellos casos predefinidos en la asignación minera anterior; es decir, para Los Barrancos / Las Pailas el caso pala PH (14yd<sup>3</sup>) con camiones de 170 ton (KOM/CAT) y en San Isidro se uso pala PH (14yd<sup>3</sup>) con camiones de 90 ton (LH).

Esta primera respuesta al problema de la asignación de los equipos de carga y acarreo es una importante aproximación que ofrece una primera visión del asunto, pero no refleja una realidad donde intervienen muchos factores aleatorios fuera de control, motivo por el cual se requiere un análisis mas detallado incorporando la aleatoriedad del fenómeno.

Utilizando el Método de Monte Carlo se realizó la simulación de los tiempos de carga, descarga y viaje, los resultados se observan en las tablas 30 al 32; usó una base 1100 tiempos simulados.

**Tabla 31 Parámetros Simulación de San Isidro: pala BE (10yd<sup>3</sup>) y camiones 90 ton**

Tiempos (min)	Carga	Descarga	Viaje
Media	2,0405	0,4355	14,4173
Varianza	0,1600	0,0090	6,0743
Desv. Estándar	0,4000	0,0949	2,4646

Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla 32 Parámetros Simulación de San Isidro: pala PH (14yd<sup>3</sup>) y camiones 90 ton**

Tiempos (min)	Carga	Descarga	Viaje
Media	3,6827	0,4416	14,4491
Varianza	0,4972	0,0369	6,2227
Desv. Estándar	0,7051	0,1920	2,4945

Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla 33 Parámetros Simulación de San Isidro: pala PH (14yd<sup>3</sup>) y camiones 170 ton**

Tiempos (min)	Carga	Descarga	Viaje
Media	2,4134	1,0516	12,2691
Varianza	0,2537	0,0369	6,2227
Desv. Estándar	0,5037	0,1920	2,4945

Fuente: Elaboración Propia.

Luego se procedió a simular para los diferentes casos de números de camiones (1, 2, 3, ..., 11) asignados a una pala; estos cálculos se basaron en los promedio estadísticos de 100 ciclos de operación simulados aleatoriamente. Una vez simulados todos los ciclos operativos, se calculan las ton/hrs, \$/hr y los costos de operaciones (\$/ton), a través de las siguientes ecuaciones:

$$\text{Ton / hr} = \frac{\text{Ton}_{-}\text{cam} * \text{Efic. Oper} * 100}{\text{Tiempo total}}$$

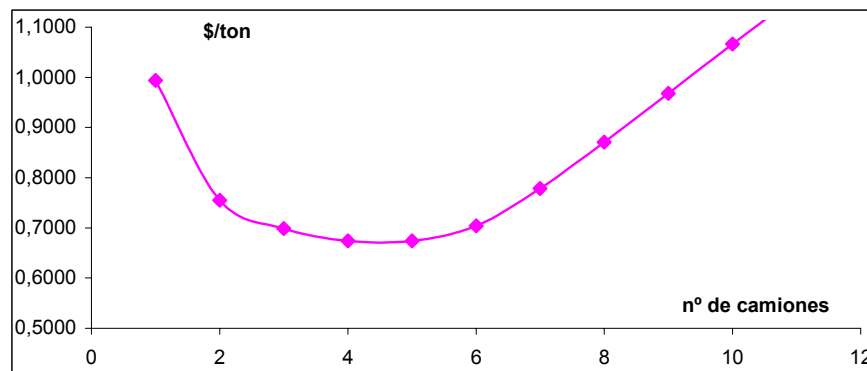
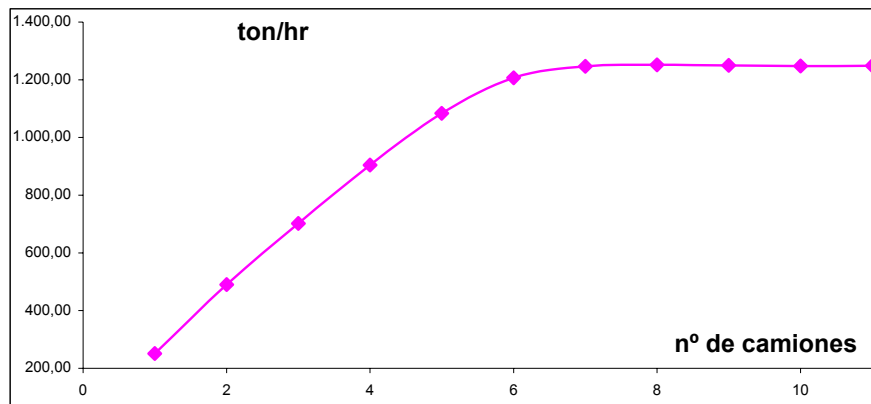
$$\$/hr = \text{Costo Horario Pala} + (n^{\circ} \text{ de camiones} * \text{Costo Horario Camión})$$

$$\text{Costo Operación} (\$/ton) = \frac{\$/hr}{ton/hr}$$

Los resultados obtenidos de la simulación se muestran a continuación:

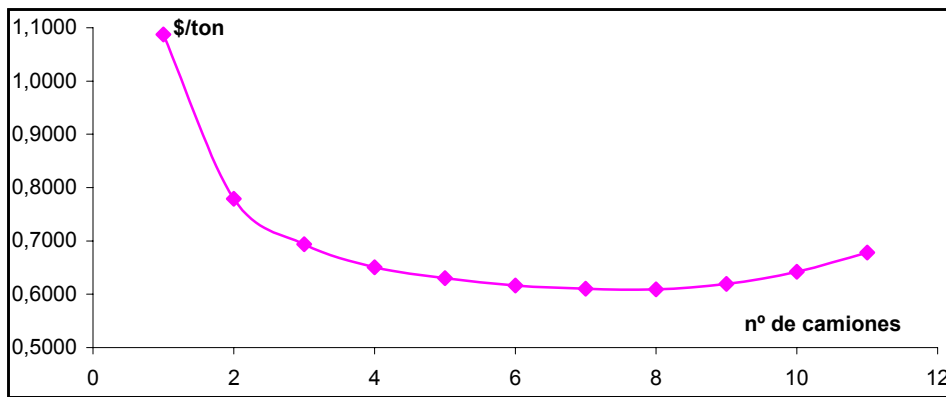
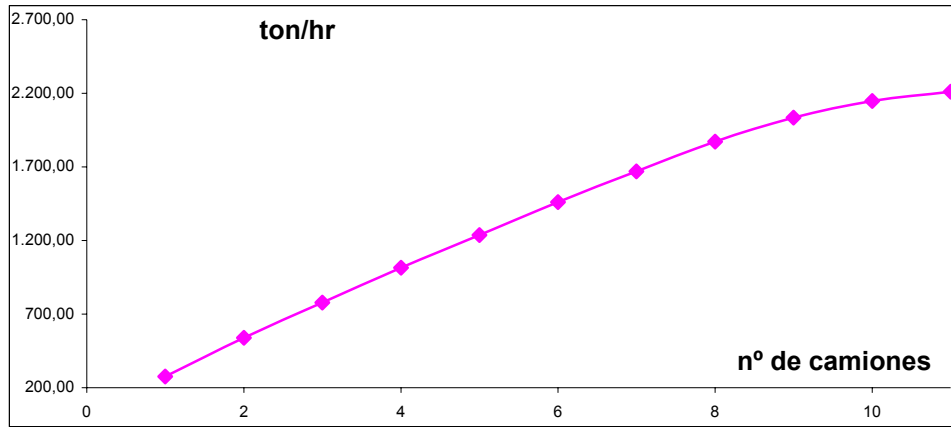
**Pala BE / camiones 90ton Mina San Isidro**

Camiones	Promedio de Tn/Hr	Promedio de \$/Hr
1	251,54	0,9939
2	490,00	0,7551
3	701,45	0,6986
4	904,71	0,6742
<b>5</b>	<b>1.083,51</b>	<b>0,6737</b>
6	1.207,16	0,7041
7	1.246,60	0,7781
8	1.251,37	0,8710
9	1.250,10	0,9679
10	1.247,23	1,0664
11	1.248,70	1,1612



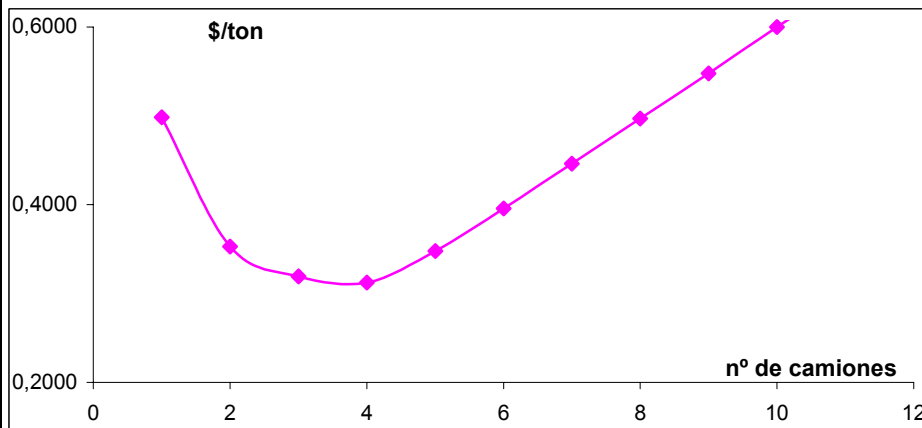
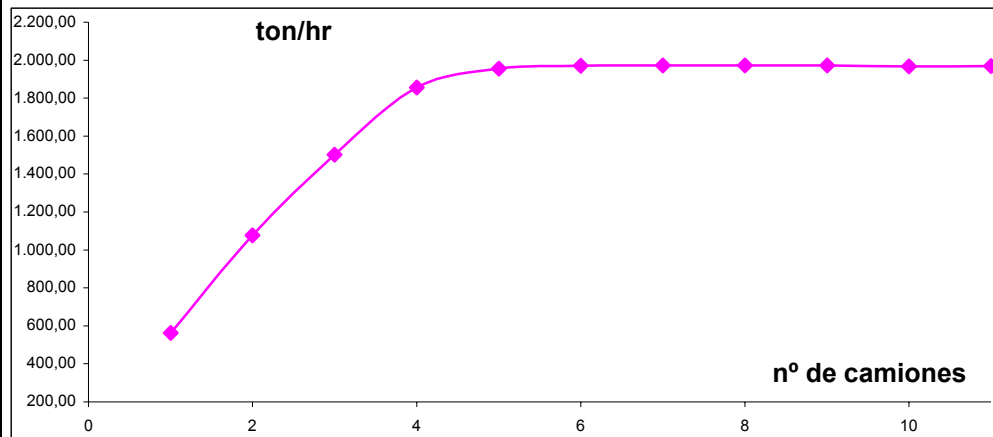
**Pala PH / camiones 90ton Mina San Isidro**

Camiones	Promedio de Tn/Hr	Promedio de \$/Hr
1	275,96	1,0871
2	539,10	0,7791
3	778,31	0,6938
4	1.014,68	0,6505
5	1.237,66	0,6302
6	1.460,55	0,6162
7	1.670,31	0,6107
<b>8</b>	<b>1.871,14</b>	<b>0,6093</b>
9	2.034,74	0,6192
10	2.148,32	0,6424
11	2.211,10	0,6784



**Pala PH / camiones 170ton Mina Los Barrancos / Las Pailas**

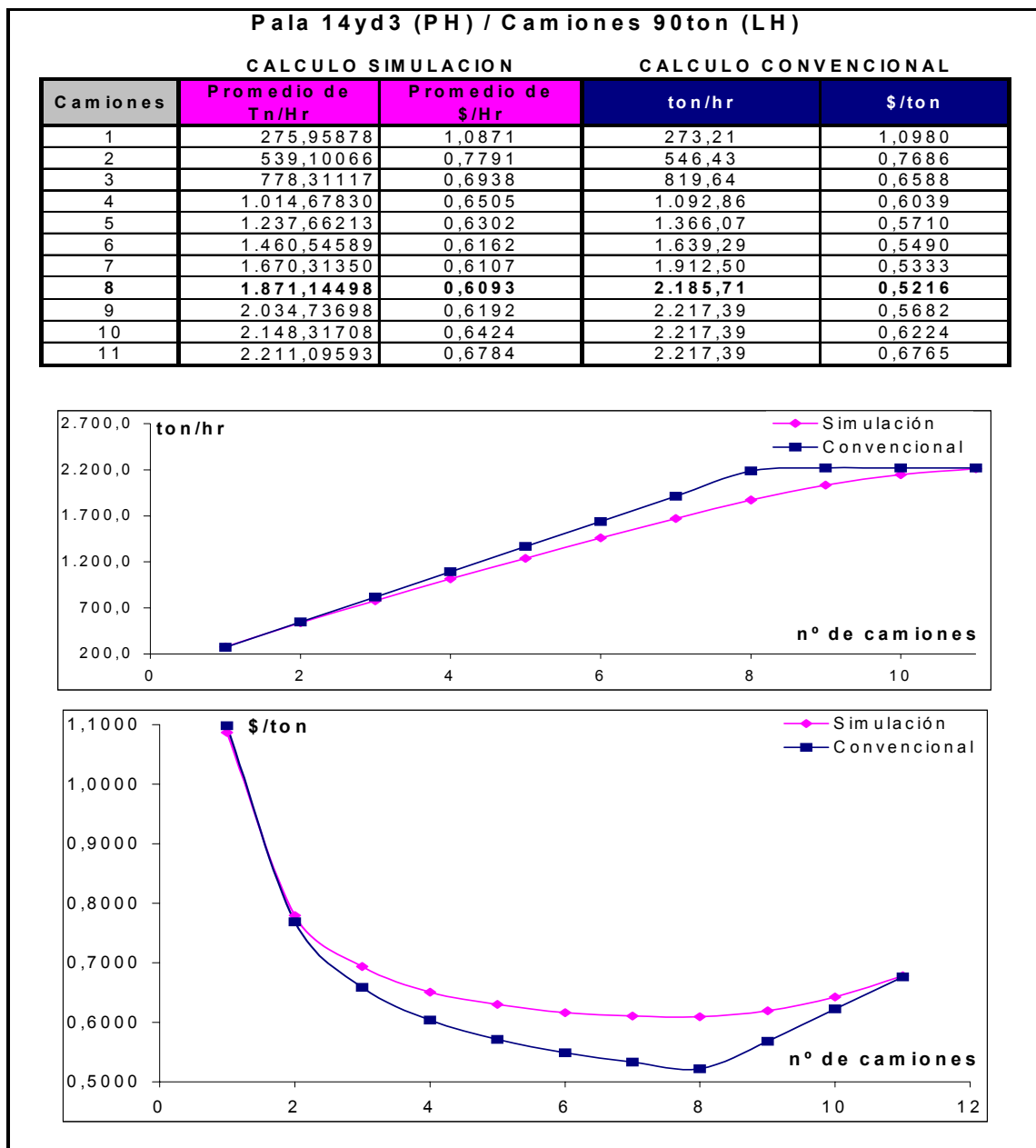
Camiones	Promedio de Tn/Hr	Promedio de \$/Hr
1	561,84	0,4984
2	1.077,21	0,3528
3	1.502,54	0,3195
<b>4</b>	<b>1.855,65</b>	<b>0,3126</b>
5	1.955,57	0,3477
6	1.971,22	0,3957
7	1.972,24	0,4462
8	1.971,77	0,4970
9	1.971,81	0,5477
10	1.966,88	0,5999
11	1.968,96	0,6501



#### 4.4.4. COMPARACIÓN ENTRE AMBOS METODOS

Al comparar los rendimientos de una pala con diferente número de camiones asignados (1, 2,..., 11) se observa que el cálculo con el procedimiento determinístico convencional entrega resultados algo optimista con respecto a los obtenidos con la simulación. De manera general los resultados son similares para cada caso estudiado, tal como lo indican los resultados se muestran a continuación:

Mina San Isidro

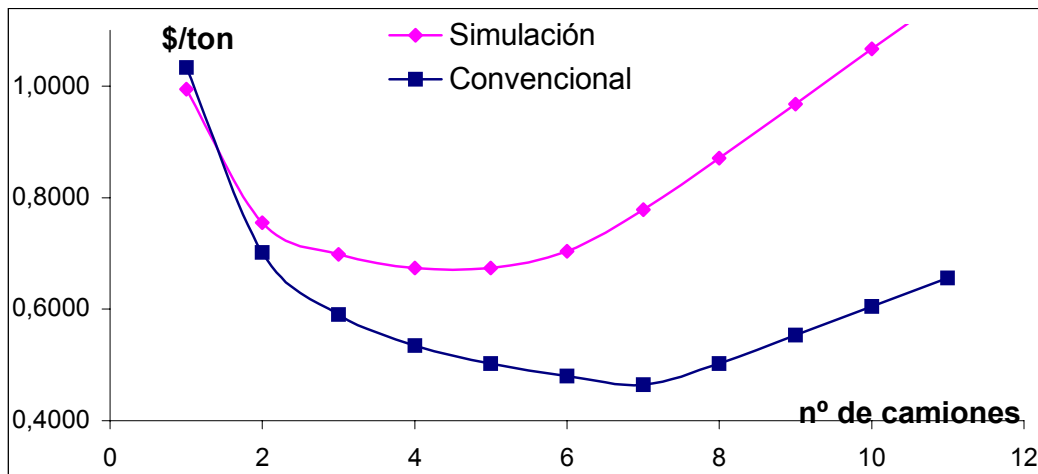
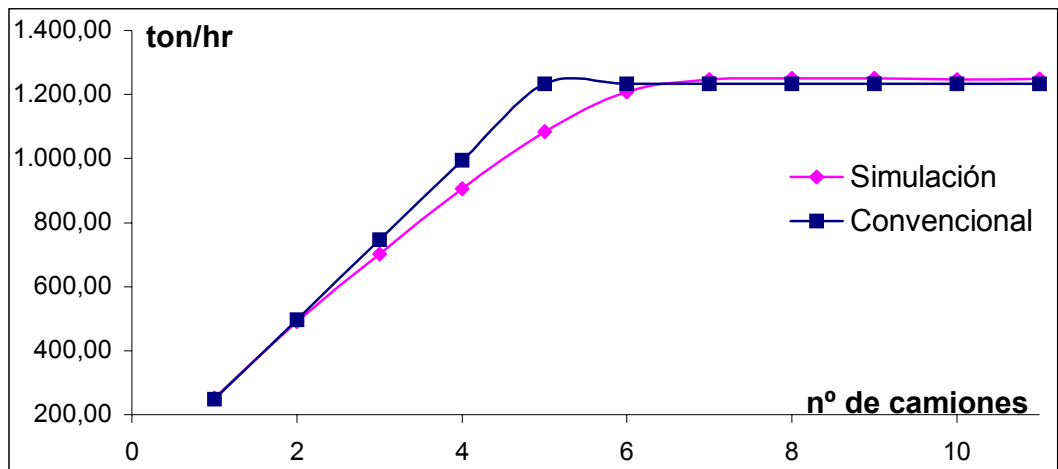


## Pala BE (10yd<sup>3</sup>) / Camiones LH (90ton)

### CALCULO SIMULACION

### CALCULO CONVENCIONAL

Camiones	Promedio de Tn/Hr	Promedio de \$/Hr	ton/hr	\$/ton
1	251,54	0,9939	248,78	1,0334
2	490,00	0,7551	497,56	0,7013
3	701,45	0,6986	746,34	0,5905
4	904,71	0,6742	995,12	0,5352
<b>5</b>	<b>1.083,51</b>	<b>0,6737</b>	<b>1.233,87</b>	<b>0,5020</b>
6	1.207,16	0,7041	1.233,87	0,4798
7	1.246,60	0,7781	1.233,87	0,4640
8	1.251,37	0,8710	1.233,87	0,5019
9	1.250,10	0,9679	1.233,87	0,5531
10	1.247,23	1,0664	1.233,87	0,6043
11	1.248,70	1,1612	1.233,87	0,6555

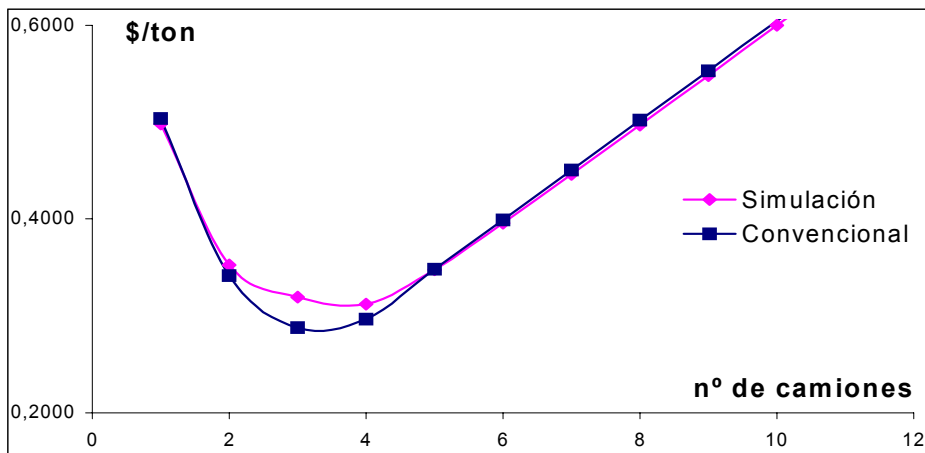
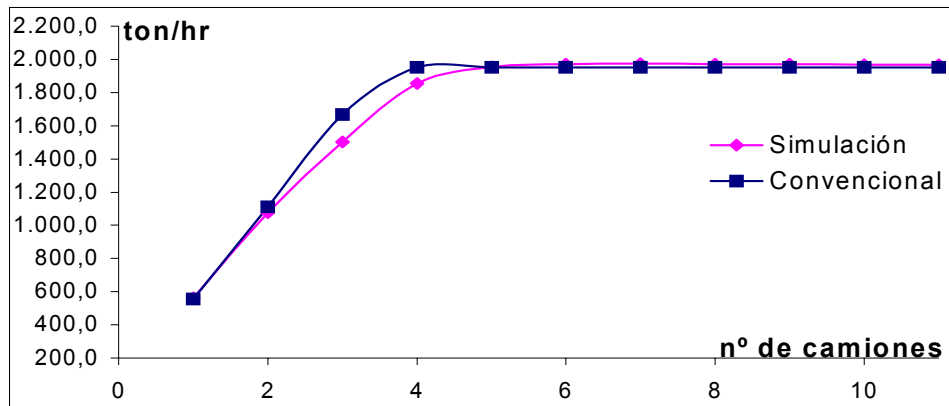




**Pala 14yd3 (PH) / Camiones 170ton (KOM/CAT)**

**CALCULO SIMULACION CALCULO CONVENCIONAL**

Camiones	Promedio de Tn/Hr	Promedio de \$/Hr	ton/hr	\$/ton
1	561,84	0,4984	555,77	0,5038
2	1.077,21	0,3528	1.111,54	0,3419
3	1.502,54	0,3195	<b>1.667,31</b>	<b>0,2879</b>
<b>4</b>	<b>1.855,65</b>	<b>0,3126</b>	<b>1.952,70</b>	<b>0,2970</b>
5	1.955,57	0,3477	1.952,70	0,3482
6	1.971,22	0,3957	1.952,70	0,3994
7	1.972,24	0,4462	1.952,70	0,4507
8	1.971,77	0,4970	1.952,70	0,5019
9	1.971,81	0,5477	1.952,70	0,5531
10	1.966,88	0,5999	1.952,70	0,6043
11	1.968,96	0,6501	1.952,70	0,6555



De comparación gráfica se puede comentar que los rendimientos, expresados en tons/hr, según sea en número de camiones asignado a la pala, son menores con los obtenidos con el método convencional, puesto que en este último caso los eventos operativos están idealizados asumiendo una sincronización que no es realista.

De hecho, en la práctica operativa se producen tanto demoras de pala esperando a camiones, como demoras de camiones esperando para ser cargados por la pala. Los resultados serán coincidentes, o casi iguales, para el caso de un solo camión asignado a la pala y, para el caso extremo, cuando muchos camiones en ambos casos saturan completamente la pala.

La simulación estocástica expresa resultados más realistas, puesto que la operación no funciona como un reloj perfectamente engranado, más bien la variabilidad de la duración de los eventos operativos actúa en contra de la eficiencia operativa. De hecho, la operación de carga más rápida no representa eventualmente un mejor ciclo de acarreo, pero un retraso tiene una suerte de efecto dominó.

En las gráficas del costo unitario \$/ton versus. n° de camiones, la curva del cálculo convencional esta por debajo de la obtenida con la simulación, mostrando extremos mas súbitos; sin embargo, las curvas obtenidas por la simulación estocástica, representativas de un mayor costo unitario directo de las operaciones, son definitivamente más realistas.

De lo anterior se demuestra que el método convencional de estimación de rendimiento y costos operativos es sólo una primera aproximación, válida para un acercamiento al problema, pero mientras mayor sea la presencia de la aleatoriedad del fenómeno operativo, mayor será el impacto y la diferencia con los resultados anteriores,

Esta influencia de la aleatoriedad en un aspecto importante, puesto que los ciclos siempre tendrán una variabilidad debido a las diferencias de condición mecánica de los equipos, distintas habilidades de los operadores, variaciones en las condiciones de clima, distintas condiciones de las pistas de acarreo, variables dificultades que ofrece la roca para su excavación, etc

#### 4.4.5. ANÁLISIS COMBINATORIO

En base a los resultados antes obtenidos se puede hacer una estimación del rendimiento de carga y acarreo de una pala con determinado camiones fijos asignados, por ejemplo: 1 pala con 5 camiones. Además, se sabe que una flota de equipos tendrá determinada disponibilidad mecánica que determina cierto nivel de utilización efectiva del equipo, por ejemplo: una flota de 10 unidades con una utilización efectiva de 80% permite disponer en promedio de 8 unidades.

Sin embargo, siguiendo el ejemplo anterior, eventualmente habrán disponibles mas que el promedio de unidades, es decir: 9 ó 10, pero en tal caso no habrán operadores del equipo, sobrarán equipos. Por el contrario, en las oportunidades que sólo estén disponibles menos equipos que el promedio, o sea: 7, 6,..., entonces sobrarán operadores de los equipos.

Similar al caso de cuando se lanzan varias monedas y se pueden calcular las probabilidades de obtener cierto número de caras o sellos, se plantea también el problema de combinatoria de camiones disponibles mediante la distribución de probabilidades binomial:

$$P(m) = \frac{n!}{(n-m)! * m!} * p^m * q^{n-m}$$

Donde:

$p$  = probabilidad de éxito, equipo disponible (utilización efectiva esperada)

$q$  = probabilidad de fracaso, equipo no disponible ( $q = 1 - p$ )

$n$  = flota total

$m$  = número disponible de equipo

En éste análisis combinatorio se asumen las probabilidades estimadas como la frecuencia de ocurrencia operativa para el número de camiones considerado. Dependiendo del número de operadores disponibles será la cantidad de equipos que en definitiva estarán operando.

En base a los equipos de la flota que realmente estén operativos se calcula, tomando los resultados de la simulación estocástica, el rendimiento (ton/hr) y el costo operativo (\$/ton) de cada caso. Finalmente, para el conjunto de combinaciones que se presentan para una pala se obtiene el resultado de las ton/año y \$/ton de carga y acarreo.

De hecho, los totales de la capacidad y costo, de cada caso de pala, son deducidos mediante la suma-producto de los mismos, con respecto a la frecuencia de ocurrencia, lo cual da como resultado un promedio ponderado. Las tons/hr son multiplicadas por hr/turnos y turnos/año para obtener las ton/año.

Los resultados que se visualizan a continuación, corresponden al caso de la mina San Isidro donde se realizó el análisis combinatorio a los camiones de 90 toneladas para cada tipo de pala:

**Analisis Combinatorio**

Flota: 15 Camiones LH

Pala: BE 10 yd3

Utiliz Efect. = 0,67

Nro Cam Disp. m	Frecuencia P(m)	Chof. Op. N	San Isidro		
			Cap (ton/hr)	Costo (\$/ton)	
15	0,25	10	2.467,74	0,5916	
14	1,82	10	2.467,74	0,5916	
13	6,27	10	2.467,74	0,5916	
12	13,38	10	2.467,74	0,5916	
11	19,77	10	2.467,74	0,5916	
10	21,42	10	2.467,74	0,5916	
9	17,59	9	2.228,99	0,6023	
8	11,14	8	1.990,24	0,6130	
7	5,49	7	1.741,46	0,6348	
6	2,10	6	1.492,68	0,6565	
5	0,62	5	1.233,87	0,5916	
4	0,14	4	995,12	0,6130	
3	0,02	3	746,34	0,6565	
2	0,00	2	497,56	0,7436	
1	0,00	1	248,78	1,0049	
0	0,00	0	0,00	0,00	
<b>Totales</b>	100,00	9,31	2.302,10	0,60	
			Tons/año =	11.222.723,67	3.531,45

**Análisis Combinatorio**  
**Flota: 15 Camiones LH**  
**Pala: PH 14 yd<sup>3</sup>**

Utiliz. Efect. = 0,67

Nro Cam Disp. m	Frecuencia P(m)	Chof. Op. N	San Isidro	
			Cap (ton/hr)	Costo (\$/ton)
15	0,25	12	3.278,57	0,5412
14	1,82	12	3.278,57	0,5412
13	6,27	12	3.278,57	0,5412
12	13,38	12	3.278,57	0,5412
11	19,77	11	3.005,36	0,5600
10	21,42	10	2.732,14	0,5710
9	17,59	9	2.458,93	0,5875
8	11,14	8	2.185,71	0,5216
7	5,49	7	1.912,50	0,5333
6	2,10	6	1.639,29	0,5490
5	0,62	5	1.366,07	0,5710
4	0,14	4	1.092,86	0,6039
3	0,02	3	819,64	0,6588
2	0,00	2	546,43	0,7686
1	0,00	1	273,21	1,0980
0	0,00	0	0,00	0,0000
<b>Totales</b>	100,00	9,94	2.716,72	0,56

Tons/año = 13.244.027,11      3.281,81

En el caso de Los Barrancos / Las Pailas se realizó el análisis combinatorio con los camiones de 170 toneladas y las palas de 14 yd<sup>3</sup>, obteniendo así las toneladas por año que puedo extraer para este caso y el costo unitario operativo.

Flota: 11 Camiones Komatsu/Caterpillar  
 Pala: PH 14 yd3

**ANALISIS DE CAMIONES**

Utiliz. Efect.= 0,76

Nro Cam Disp. m	Frecuencia P(m)	Chof. Op. N	Los Barrancos/Las Pailas	
			Cap (ton/hr) Ton/hr	Costo (\$/ton) N.Cam
11	4,89	8	3.905,41	0,59
10	16,97	8	3.905,41	0,59
9	26,80	8	3.905,41	0,59
8	25,39	8	3.905,41	0,59
7	16,03	7	3.620,01	0,58
6	7,09	6	3.334,62	0,58
5	2,24	5	2.223,08	0,79
4	0,50	4	1.952,70	0,2970
3	0,08	3	1.667,31	0,2879
2	0,01	2	1.111,54	0,3419
1	0,00	1	555,77	0,5038
0	0,00	0	0,00	0,0000
<b>Totales</b>	100,00	7,61	3.769,62	0,59

Tons/año = 18.376.912,21      2.895,49

**ANALISIS DE PALAS PH**

Utiliz. Efect.= 0,8

Nro Cam Disp. m	Frecuencia P(m)	Chof. Op. N	Los Barrancos/Las Pailas	
			Cap (ton/hr) Ton/hr	Costo (\$/ton) N.Cam
3	51,20	2	3.769,62	0,5939
2	38,40	2	3.769,62	0,5939
1	9,60	1	1.952,70	0,2970
0	0,80	0	0,00	0,0000
<b>Totales</b>	100,00	1,89	3565,04	0,56

Tons/año = 17.379.578,20

#### 4.4.6. ASIGNACION DE EQUIPOS MINEROS

Una vez evaluada las diferentes opciones se realiza la asignación de equipos mineros a las minas en producción para verificar si cumplen con los requerimientos establecidos en el plan quinquenal considerado en esta investigación. De los resultados obtenidos en los diferentes métodos evaluativos se tiene que:

Para Los Barrancos / Las Pailas se realiza la asignación de 3 palas de 14yd<sup>3</sup> (PH) con 2 operadores de pala y 11 camiones de 170 toneladas (KOMASUT / CATEPILLER) con 8 chóferes. Se obtiene una capacidad promedio de carga y acarreo de 17.379.578,20 toneladas, similar a la requerida en el plan quinquenal; adicionalmente hay necesidad de agregar más días operativos al año (sábados) para cubrir pequeñas diferencias de capacidad, estos resultados se observan en las tabla 34.

**Tabla 34 Esquema propuesto para el plan quinquenal.**

AÑOS	TON/AÑO	DIAS HABILES	DIAS EXTRAS	% CAP
2004	17.560.000,00	250	2,60	101,0
2005	18.150.000,00	250	11,08	104,4
2006	17.940.000,00	250	8,06	103,2
2007	18.070.000,00	250	9,93	104,0
2008	17.864.000,00	250	6,97	102,8

Fuente: Elaboración Propia

Para el cerro San Isidro se ha asignado dos palas PH de 14yd<sup>3</sup> y dos pala BE de 10yd<sup>3</sup>, además se considera toda la flota de camiones LECTRA HAUL de 90 toneladas. Los resultados se muestran en la tabla 35.

**Tabla 35 Asignación de equipos mineros para el Cerro San Isidro**

PALA	TN/AÑO	\$/TON	FRECUENCIA
2BE/15LH-10CHOF	11.222.723,67	0,60	20,00%
2PH/15LH-12CHOF	13.244.027,11	0,56	80,00%
<b>PROMEDIO</b>	<b>12.839.766,42</b>	<b>0,57</b>	

Fuente: Elaboración Propia



En la tabla 36 se observa la capacidad anual requerida para el cumplimiento del plan quinquenal, donde se visualizan los días extra (sábados) para aquellos años que lo requirieran y el porcentaje de capacidad con respecto al tonelaje anual determinado.

**Tabla 36 Esquema propuesto para el plan quinquenal. Mina San Isidro.**

<b>AÑOS</b>	<b>TON/AÑO</b>	<b>DIAS HABLES</b>	<b>DIAS EXTRAS</b>	<b>% CAP</b>
2004	13.089.000,00	250	4,85	101,9
2005	14.090.000,00	250	24,34	109,7
2006	11.156.000,00	250	0,00	86,9
2007	10.582.000,00	250	0,00	82,4
2008	14.238.000,00	250	27,22	110,9

Fuente: Elaboración Propia

## CONCLUSIONES

Analizado los diferentes aspectos desarrollados sobre los requerimientos de equipos de carga y acarreo para los frentes de explotación que actualmente tiene CVG Ferrominera Orinoco C.A., en los cerros San Isidro, Los Barrancos y las Pailas, y considerando que el máximo aprovechamiento de su flota se revertirá en ganancias que van en beneficios de la empresa y del país en general, se concluye:

- La empresa ha venido cumpliendo con las demandas contraídas con la producción a través de los ciclos de excavación en los tiempos efectivos y de acarreo contando con los equipos mineros
- El rendimiento que actualmente tiene la empresa no es el ideal porque se ha demostrado que se puede dar cumplimiento a metas similares al plan quinquenal a entera satisfacción, sin necesidad de trabajar prácticamente todos los sábados y domingos como ocurre cotidianamente.
- A pesar que se creía que con la utilización del programa M821V1 se podría resolver el problema de requerimientos de equipos de carga y acarreo, se demostró que para el tipo de explotación que se cumple en CVG Ferrominera Orinoco este módulo no se adecua, ni al esquema de operaciones ni a la secuencia de extracción del mineral de la empresa.
- Al realizar una comparación del método de cálculo convencional, para determinar los requerimientos de equipos de carga y acarreo, con el modelo de simulación estocástica, se obtuvieron resultados confiables que arrojan con gran precisión los requerimientos de flota de pala y camión para el cumplimiento de la planificación a largo plazo.

- La asignación de los equipos de carga y acarreo con mejor rendimiento y capacidad, en consecuencia con el menor costo operativo, de acuerdo al perfil de acarreo establecido en Los Barrancos – Las Pailas, es la flota de camiones de 170 toneladas con pala PH de 14 yd<sup>3</sup>, siendo 17.379.578,20 tons/año la capacidad estimada de carga y acarreo para esta mina.
- Para el Cerro San Isidro se deben utilizar palas de 14 yd<sup>3</sup>, dejando como repuesto dos palas de 10 yd<sup>3</sup>, y asignar todos los camiones Lectra Haul (capacidad 90 toneladas), para operar con el muelle de vagones. La capacidad estimada de carga y acarreo en este caso es 12.839.766,42 ton/año.

## RECOMENDACIONES

Conociendo las necesidades que tiene CVG Ferrominera Orinoco CA (FMO) de agilizar y optimizar los equipos de carga y acarreo que conforman su flota en los diferentes frentes mineros para aumentar su productividad con el uso adecuado de un programa ideal, es que recomendamos:

- Eliminar la practica de operar rutinariamente los fines de semana como días extraordinarios, salvo situaciones de verdadera emergencia.
- Adquirir otro software que permita manejar toda la información pertinente al modelo de carga y acarreo aplicado en FMO.
- Actualizar los estándares de minas de acuerdo a las nuevas flotas de equipos y destinos de descarga. Reflejar lo que debe ser y no lo que ha sido.
- Aumentar la capacidad de los muelles de descarga en el Cerro San Isidro, con el fin de sustituir la flota de camiones de 90 toneladas por camiones de mayor capacidad.
- Realizar un estudio a detalle sobre los reemplazos de los equipos de minas.

## BIBLIOGRAFIA

- ÁREA DE PLANIFICACIÓN Y DESARROLLO DE MINAS. *“Manual de Organización”*. C.V.G Ferrominera Orinoco C.A. Ciudad Piar. Estado Bolívar.
- ÁREA DE PLANIFICACIÓN Y DESARROLLO DE MINAS. *“Manual de Procedimientos y Fundamentos de Trabajo: Descripción de la Organización, Funciones, Actividades y Cargos”*. Ciudad Piar. Estado Bolívar.
- C.V.G. Ferrominera Orinoco C.A.: *“Manual de Organización”*. Jefatura de Area Geología.
- CUMMINS, ARTHUR. (1973). *“SME Mining Engineering Handbook”*. Vol\_2. New York. USA.
- CHACON, Edgard. (1997). *“Técnicas de Operaciones de Minería de Superficie”*. Tomo 1 y 2. Maracaibo.
- FMO. (1997). *“Estándares Operativos Mina”*. Cda. Piar.
- GERENCIA DE CALIDAD. *“Manual de Aseguramiento de La Calidad”*. C.V.G Ferrominera Orinoco C.A. Ciudad Piar. Estado Bolívar.
- GERENCIA DE INGENIERIA. FMO. (2001). *“Equipos Requeridos para el Plan de Producción 2002 – 2006”*. Ciudad Piar.
- GERENCIA DE MINERÍA. (1996 – 2000). *“Informe de Gestión”*. C.V.G. Ferrominera Orinoco C.A.
- GERENCIA DE MINERIA. FMO. (2001). *“Informe Justificativo para la Adquisición de Equipos Mineros”*. Cda. Piar.
- GERENCIA GENERAL DE OPERACIONES. FMO. (2003). *“Correspondencia del 31/09/2003”*. Ciudad Piar.
- MINTEC, Inc. (1999). *“M821V1 Long Range Schedulin for Open Pit Mines”*. USA.
- PLANIFICACION Y DESARROLLO DE MINA. FMO. (2003). *“Disponibilidad de Equipos Mineros Mayo 2003”*. Cda. Piar.

PLANIFICACION Y DESARROLLO DE MINA. FMO. (2003). ***Informe Anual de Capacidad de Equipos Mineros***". Cda. Piar.

SUPERINTENDENCIA DE MANTENIMIENTO. (2003). ***Disponibilidad Física Año 2003***". Cda. Piar.

VILLANUEVA, Alex. (2002). ***Guía de Laboreo a Cielo Abierto***". Caracas.

VILLANUEVA, Alex. (2002). ***Guía de Operaciones Minera***". Caracas.

Revistas Interna de CVG Ferrominera Orinoco CA.

Consulta a las siguientes paginas Web:

[www.ausmin.com.au](http://www.ausmin.com.au)

[www.csun.edu](http://www.csun.edu)

[www.geocities.com](http://www.geocities.com)

[www.google.com](http://www.google.com)

[www.komatsu.com](http://www.komatsu.com)

[www.lectrahaul.com](http://www.lectrahaul.com)

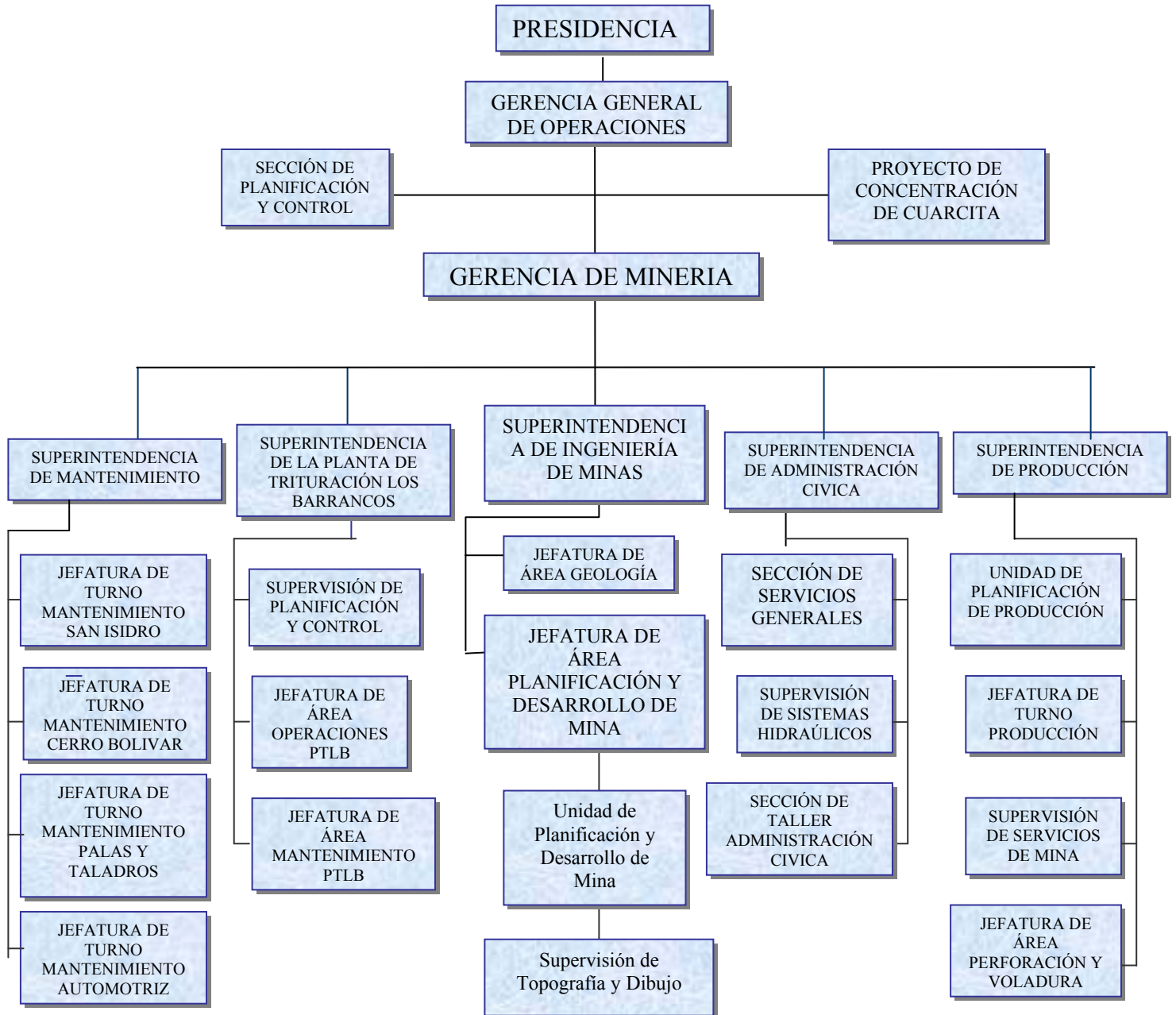
[www.projectware.com.au](http://www.projectware.com.au)

[www.uoc.edu](http://www.uoc.edu)

[www.caterpillar.com](http://www.caterpillar.com)

## **ANEXOS**

## ANEXO 1 Estructura Organizativa de la Gerencia de Minería





## ANEXO 2 Datos de Entrada al Programa M821V1

Run821 - WordPad  
 Archivo Edición Ver Insertar Formato Ayuda

Counter New 10 Occidental N X S

```

U
alt5.scd 110 5 680 15 27 0
35 35 35 35 35 35 35 35
0 0 0 0 0 0 0 0
0
alt6.scd 110 5 680 15 27 0
35 35 35 35 35 35 35 35
0 0 0 0 0 0 0 0
0
MCO
35 35 35 35 0 0 35 35 35 35

3 3 / number of truck fleets, shovel loading units
LH 1 0 90. 90. 8 / camiones LH
39520 95 0
CAT 1 0 170. 170. 95. 14 / camiones CAT
72800 100 0
KOM 1 0 180. 180. 95. 16 / camiones KOM
83089 100 0
P14 1 0 90. 2 / palas
3640 95 0
P25 2 0 95. 2 / palas
9240 90 0
P10 1 0 65. 3 / palas
1136 85 0
0.60 0.65 1.00 / P14 VS TRUCK fleets
0.40 0.40 .65 / P25 VS TRUCK fleets
2.00 2.00 1.10 / P10 VS TRUCK fleets
2002-ALL / PERIOD ID 1
8 22573 1.0 0 99999 0 50000 260 1 3 5 6 3 4 0 0 0 0 0 0 12 / PERIOD REQUIREMENT - TONS
0 0 0 0 0 / PERIOD REQUIREMENT - QUALITIES
2003-ALL / PERIOD ID 2
8 26283 1.0 0 99999 0 50000 260 1 3 5 6 3 4 0 0 0 0 0 0 0 / PERIOD REQUIREMENT - TONS
0 0 0 0 0 / PERIOD REQUIREMENT - QUALITIES
2004-ALL / PERIOD ID 3
8 23463 1.00 0 99999 0 50000 260 1 3 5 6 3 4 0 0 0 0 0 0 0 / PERIOD REQUIREMENT - TONS
0 0 0 0 0 / PERIOD REQUIREMENT - QUALITIES
2005-ALL / PERIOD ID 4
9 18402 1.00 0 50000 0 50000 260 1 3 5 6 3 4 0 0 0 0 0 0 0 / PERIOD REQUIREMENT - TONS
0 0 0 0 0 / PERIOD REQUIREMENT - QUALITIES
  
```

NUM

Para obtener Ayuda, presione F1

### ANEXO 3 Reporte Emitido por el Programa M821V1

RUN# 7158. Page 32 METL 821V1 Date 04202004 Time 18:01:13

---

PROYECTO SI

\* LONG RANGE SCHEDULE FOR CVG FERROMINERA C.A.

#### SUMMARY OF TRUCKS USED

---

PERIOD-ID	PERIOD#	LH	CAT	KOM
2002-ALL	1	12.00	11.00	9.12
2003-ALL	2	12.00	11.00	12.59
2004-ALL	3	12.00	11.00	10.02
2005-ALL	4	12.00	11.00	9.68
2006-ALL	5	12.00	11.00	7.36

#### SUMMARY OF LOADERS USED

---

PERIOD-ID	PERIOD#	P14	P25	P10
2002-ALL	1	0.73	0.00	0.00
2003-ALL	2	0.84	0.00	0.00
2004-ALL	3	0.76	0.00	0.00
2005-ALL	4	0.75	0.00	0.00
2006-ALL	5	0.68	0.00	0.00



# ANEXO 5 Simulación de los ciclos Operativos

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	CL	CT	CN	CO	CP	CQ	CR	CS	CT	CU	
1	Datos del camión:		Toneladas=	170,00	Pala PH	180 \$/HR																	
2	Eficiencia operativa:			85,00%	Camión 170	100 \$/HR																	
3	<b>CICLO PARA UN CAMION</b>																						
4	CICLO CAMION		Llegada	0	Inicio de Carga	0	Fin de Carga	0	Demora Pala Espera Camión														
5	1	1	1	0	0	3,5939	12,9082	0	9,31437														
6	2	1	1	12,9082	12,908	16,366	24,9826	0	9,31437														
7	3	1	1	24,9826	24,983	30,018	44,5728	0	8,62876														
8	4	1	1	44,5728	44,573	49,66	59,6697	0	14,5544														
9	5	1	1	59,6698	59,67	63,887	73,1936	0	10,0094														
10	6	1	1	73,1936	73,194	77,348	86,8798	0	9,3066														
11	7	1	1	86,8798	86,88	91,559	105,0306	0	9,53153														
12	8	1	1	105,031	105,03	109,89	122,9394	0	13,4721														
13	9	1	1	122,939	122,94	127,89	142,7932	0	13,0508														
1087	<b>CICLO PARA 11 CAMIONES</b>																						
1088	CICLO CAMION		Llegada	0	Inicio de Carga	0	Fin de Carga	0	Demora Pala Espera Camión														
1089	5	4713	4751,7	4756,3	4766,3	4766,3	4766,3	0	38,688424														
1090	6	4717,61	4756,3	4760,8	4774,55	4774,55	4774,55	0	38,651273														
1091	7	4726,85	4760,8	4764,6	4775,09	4775,09	4775,09	0	33,955336														
1092	8	4727,83	4764,6	4769,7	4781,3	4781,3	4781,3	0	36,7861														
1093	9	4732,59	4769,7	4774,4	4782,01	4782,01	4782,01	0	37,123367														
1094	10	4737,46	4774,4	4779	4788,74	4788,74	4788,74	0	36,948756														
1095	11	4743,18	4779	4783,3	4795,52	4795,52	4795,52	0	35,816899														
1096	2	4750,96	4783,3	4787,1	4797,57	4797,57	4797,57	0	33,311137														
1097	3	4755,73	4792,2	4796,9	4804,5	4804,5	4804,5	0	36,479166														
1098	4	4760,59	4796,9	4801,5	4811,22	4811,22	4811,22	0	36,304555														
1099	5	4766,31	4801,5	4805,8	4816,49	4816,49	4816,49	0	35,172789														
1100	6	4774,55	4805,8	4810,1	4816,49	4816,49	4816,49	0	31,224609														
1101	7	4775,09	4810,1	4815,4	4826,56	4826,56	4826,56	0	35,020857														
1102	8	4781,3	4815,4	4821,7	4831,46	4831,46	4831,46	0	34,053759														
1103	9	4782,01	4821,7	4825,9	4839,49	4839,49	4839,49	0	39,678688														
1104	10	4788,74	4825,9	4829,9	4845,55	4845,55	4845,55	0	37,160889														
1105	11	4795,52	4829,9	4835,3	4843,68	4843,68	4843,68	0	80,728022														
1106	Tiempo Total (hr)								1,98896														
1107	Promedio de Tr/Hr								1,28000														
1108	Promedio de \$/Hr								0,6501														
1109	Costo de Operación (\$/ton)								103,33187														
1110	Tiempo total de espera Camion-Pala (min)								36,82774														
1111	Tiempo total de espera Pala-Camión (min)								0,00														
1112	NUM																						

