

# **UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**

**FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA MINERA Y  
METALURGICA**



**"MEJORAMIENTO DE ACARREO Y TRANSPORTE  
MEDIANTE DISPATCH EN CERRO VERDE"**

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

**PRESENTADO POR:  
MARCELINO ENRIQUE VICOS VENTURA**

**Lima – Perú**

**2009**

# INDICE

	Pág
AGRADECIMIENTO	i
DEDICATORIA	ii
INTRODUCCIÓN	iii
RESUMEN	iv
<b>CAPITULO I: ASPECTOS GENERALES</b>	<b>1</b>
1. VISION	1
2. MISIÓN	
3. POLITICAS	3
4. UBICACIÓN	4
5. ACCESIBILIDAD	5
6. RESEÑA HISTÓRICA	6
7. ORGANIGRAMA DE GERENCIA MINA	10
<b>CAPITULO II: GEOLOGÍA</b>	<b>11</b>
1. GEOLOGIA REGIONAL	11
2. GEOLOGIA LOCAL	11
3. ESTRATIGRAFIA	12
4. MINERALIZACIÓN	13
5. MINERALIZACIÓN HIPÓGENA	13

<b>6. MINERALIZACIÓN SUPÉRGENA</b>	<b>14</b>
<b>6.1. ZONA DE ENCAPE LIXIVIADO</b>	<b>14</b>
<b>6.2. ZONA DE ÓXIDOS</b>	<b>15</b>
<b>6.3. ZONA DE ENRIQUECIMIENTO SECUNDARIO</b>	<b>16</b>
<b>6.4. ZONA PRIMARIA</b>	<b>16</b>
<b>6.5. ZONAS TRANSICIONALES</b>	<b>16</b>
<b>CAPITULO III: PROCESOS OPERATIVOS</b>	<b>18</b>
<b>1. OPERACIONES MINA</b>	<b>18</b>
<b>1.1. PERFORACION Y VOLADURA</b>	<b>18</b>
<b>1.2. ACARREO Y TRANSPORTE EN MINA</b>	<b>23</b>
<b>2. OPERACIONES METALURGICAS</b>	<b>25</b>
<b>2.1. CHANCADO</b>	<b>25</b>
<b>2.2. LIXIVIACION</b>	<b>26</b>
<b>2.3. SX/EW</b>	<b>26</b>
<b>3. INSTALACIONES AUXILIARES</b>	<b>27</b>
<b>3.1. ABASTECIMIENTO DE AGUA</b>	<b>28</b>
<b>4. MANEJO DE RESIDUOS, EFLUENTES Y</b>	<b>28</b>
<b>EMISIONES DE LAS OPERACIONES</b>	
<b>5. OPERACIONES CONCENTRADORA</b>	<b>29</b>
<b>CAPITULO IV: CONTROL DEL SISTEMA DISPATCH</b>	<b>31</b>

<b>1. ANTECEDENTES</b>	<b>31</b>
<b>2. GESTION MINERA ACTUAL</b>	<b>33</b>
<b>3. FUNCIONES DEL DESPACHADOR</b>	<b>34</b>
<b>4. TRUCK DISPATCH</b>	<b>36</b>
<b>5. EQUIPAMIENTO</b>	<b>39</b>
<b>6. CONCEPTOS DISPATCH</b>	<b>42</b>
<b>6.1. LPTRUCK</b>	<b>42</b>
<b>6.2. LPEXCAV</b>	<b>43</b>
<b>6.3. TECNOLOGÍA SATELITAL Y GPS</b>	<b>44</b>
<b>6.4. BALIZA VIRTUAL</b>	<b>47</b>
<b>6.5. NIVEL DE CAPACIDAD MÁXIMA</b>	<b>49</b>
<b>6.6. PRIORIDADES DE PALAS</b>	<b>50</b>
<b>6.7. DIGFACTOR</b>	<b>54</b>
<b>7. CICLO DE CARGUIO Y ACARREO</b>	<b>56</b>
<b>7.1. AUTOLLEGADA Y AUTOASIGNACION</b>	<b>61</b>
<b>8. MONITOREO DE LAS OPERACIONES</b>	<b>62</b>
<b>9. CLASIFICACION DE TIEMPOS EN DISPATCH</b>	<b>64</b>
<b>10. KEY PERFORMANCE INDICATORS</b>	<b>66</b>
<b>11. ASIGNACIÓN DINAMICA DE CAMIONES</b>	<b>72</b>
<b>12. CRITERIOS A TENER EN CUENTA EN LA</b>	<b>74</b>
<b>ASIGNACION DINAMICA</b>	
<b>12.1. APLICACIÓN PRÁCTICA</b>	<b>79</b>
<b>CAPITULO V: MEJORAMIENTO DE ACARREO Y TRANSPORTE</b>	<b>81</b>

1. MEJORAMIENTO DE LA PRODUCTIVIDAD EFECTIVA	81
2. MEJORAMIENTO DEL CARGUIO CON HPGPS	85
2.1. ALTA PRECISION EN CARGUIO	86
3. MEJORAMIENTO DE ACARREO Y TRANSPORTE CON FACTOR DE ACOPLAMIENTO	96
4. MEJORAMIENTO DE ACARREO Y TRANSPORTE CON DELTA C	106
5. MEJORAMIENTO DEL CARGUIO Y ACARREO ATRAVEZ DEL SISTEMA DE INFORMACION	113
CAPITULO VI: REQUERIMIENTOS Y BENEFICIOS DEL DISPATCH PARA EL MEJORAMIENTO EL ACARREO Y TRANSPORTE	117
1. REQUERIMIENTOS	117
2. BENEFICIOS	119
CONCLUSIONES	121
RECOMENDACIONES	124
BIBLIOGRAFÍA	126

## AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme la vida. Agradezco a mi esposa Raquel, mi madre Maria Ventura y mi padre Juan Vicos, por ser siempre imagen de amor y apoyo en mi vida y en mi carrera. Agradezco también a mis hermanos Juan, Luz, Gladys y Jessica por ser quienes me apoyaron incondicionalmente toda mi carrera, así como a toda mi familia por ser los pilares que Dios pone en mi historia.

Agradezco a los docentes y amigos de mi alma matter, mi querida Universidad Nacional de Ingeniería, UNI, en quienes pude ver integridad y donación hacia mi persona, transmitiendo en todo momento el conocimiento que solo emana del Padre. Me siento orgulloso de ser egresado de la UNI y de mi querida escuela de minas.

Quiero agradecer muy especialmente a mis dos escuelas en minería y a todas las personas con quienes he tenido oportunidad de interactuar en estas corporaciones, BHPBilliton, Southern Peru Copper Corporation y Freeport Mcmoran. En Southern Peru y Cerro Verde he tenido la suerte de conocer amigos que han marcado mi vida muy positivamente, personas todas que sin saberlo, han sido todos la imagen que Dios ha querido mostrarme para apoyar mi desarrollo profesional y personal. A todos y cada uno les agradezco deseándoles que Dios les devuelva el ciento por uno.

Este trabajo lo dedico a mi esposa Raquel, a mi madre Maria Alfonsa, mi padre Juan, a mi hija Amy, así como a toda mi familia que es lo más bello que Dios me ha podido regalar.

Dedico también este informe a mis Hermanos Hedí, Juan, Gladis, Luz, Ana, Jessica y Jorge y familiares cercanos.

## INTRODUCCION

En la actualidad se esta llevando acabo una revolución de la forma de trabajar en la minería, y esto se debe básicamente al avance de la tecnología que nos permiten disponer de sistemas altamente desarrollados para el control de los procesos. Para mantenerse competitivo en el mercado ya no hace falta solo trabajar fuerte, sino que la tecnología obliga a las empresas a trabajar inteligentemente y esto tiene mucho que ver con capturar, procesar y utilizar mayor cantidad de información para la toma de acción oportuna, es por esto que es importante conocer y entender a que nos referimos con tecnología de control de procesos y como Intellimine Dispatch, repercute directamente en la productividad efectiva de los equipos.

El presente trabajo tiene por objetivo mostrar como Dispatch es parte fundamental del negocio minero basado en el control de las operaciones en forma automática y eficiente mediante una gestión adecuada, demostrando luego el porque es de vital importancia para

una empresa de clase mundial el mantener una adecuada performance de estos sistemas y sus componentes.

## RESUMEN

La crisis mundial y financiera a traído consigo de que las mineras aprovechen al máximo su recurso tecnológico y optimizarlos aplicando nuevos conceptos de minería con el único objetivo de minimizar los costos operativos y aumento de la producción.

Los avances tecnológicos han traído consigo desarrollos en las comunicaciones, en los satélites y en los sistemas de posicionamiento global, etc. (GPS, calculadoras, procesadores, celulares).

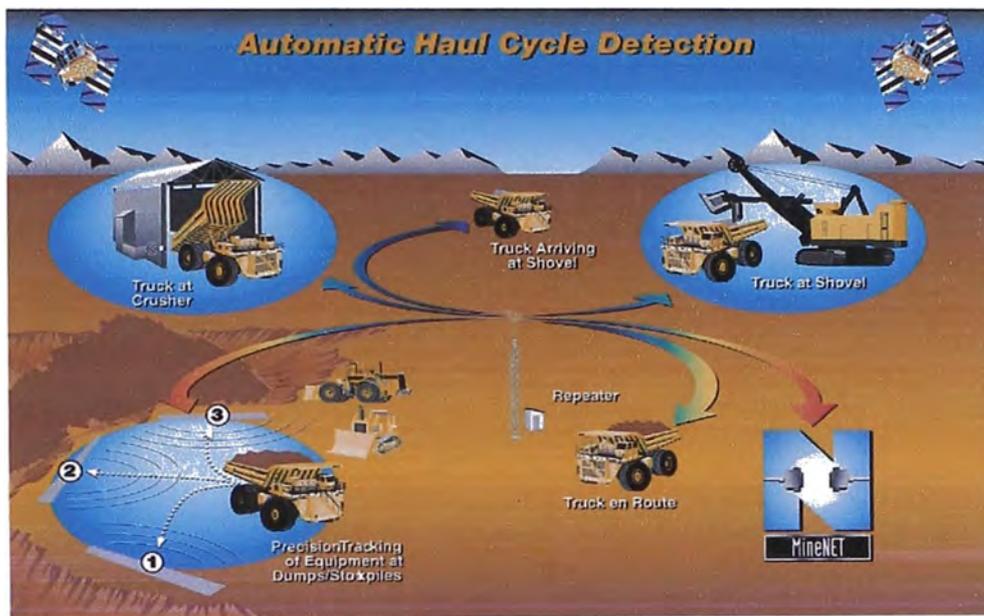
En la actualidad se está llevando a cabo una revolución de la forma de de hacer minería, en la cultura minera misma, y esto se debe básicamente al avance tecnológico que nos permite disponer de sistemas altamente desarrollados para el control de los procesos.

Las nuevas tecnologías obliga a las empresas a trabajar inteligentemente y esto tiene mucho que ver con capturar, procesar y

utilizar mayor cantidad de información para la toma de acción oportuna, es por esto que es importante conocer y entender a que nos referimos con tecnología de control de procesos en nuestro negocio minero y lo trascendental que es mantener esta tecnología trabajando con una buena performance.

Con los precios actuales debido a la crisis financiera que se vive es producir más a menos costo, obliga a los mineros a buscar nuevas formas de lograrlo, **Dispatch** como parte de la tecnología de control de procesos ha demostrado ser el camino más seguro para lograrlo al menor tiempo y con el menor impacto, si se siguen ciertas reglas de negocio; la tendencia pues, es el lograr que los equipos puedan trabajar efectivamente más horas por turno.

Lograr una mina integrada tecnológicamente, donde esta tecnología sea parte de la operación diaria de la minería y en la que las exigencias del usuario final estén vinculadas en el planeamiento y programación de las operaciones unitarias, es a lo que llamamos *tecnología de control de procesos* siendo **Intellimine Dispatch** una herramienta propia de esta tecnología. Pero el reto es diario y esta dado por lograr que se concrete lo que se programa y tenerlo bajo control.



## **CAPITULO I                      ASPECTOS GENERALES**

### **1. LA VISION**

SMCV Se ha propuesto ser la mejor empresa del sector minero: Vamos a ser la empresa de exploración y producción de minerales específicos y productos derivados del metal con menor costo, mayor volumen y mejor calidad.

Vamos a utilizar técnicas creativas de marketing, financieras, gerenciales y tecnológicas, así como los más exigentes estándares de calidad y protección del medio ambiente.

Como resultado vamos a obtener excepcionales beneficios y estímulos para nuestros clientes, accionistas y empleados.

Nosotros rompemos barreras. Hacemos las cosas de un modo diferente, más rápido y mejor. Con nuestro compromiso marcamos la diferencia entre excelencia y mediocridad.

## 2. MISION Y VALORES.

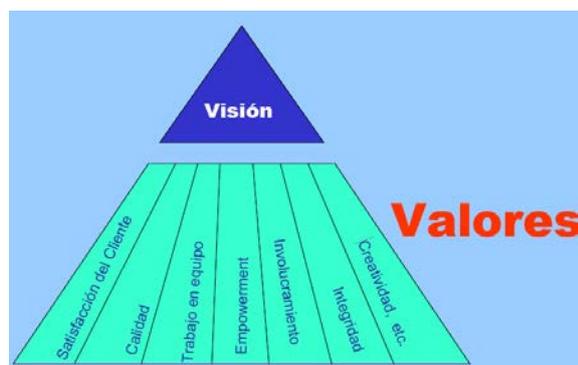
SMCV es uno de las empresas líderes en minería, sistemas y operaciones seccionadas para el mercado de cobre.

Estamos dedicados a entender las necesidades de nuestros clientes y esforzarnos para superar estas necesidades por medio de un constante mejoramiento de nuestros productos, a través de la innovación, creatividad y experiencia operacional.

Estamos dedicados a trabajar con seguridad, proteger nuestro medio ambiente, recursos naturales y a mantener buenas relaciones de negocios.

Los valores son los **cómo** para lograr el **qué** (la visión) **figura 1**.

Figura 1



### 3. POLITICAS

La salud y la seguridad de todos los empleados de SMCV, junto con nuestro compromiso con el medio ambiente, son la mayor prioridad. Nuestro objetivo es que haya cero lesiones en el trabajo y cero enfermedades ocupacionales. Ciertamente, la producción y los costos son críticos para el bienestar de la compañía pero estas consideraciones nunca deben tomar precedencia sobre la seguridad, la salud de los empleados o el medioambiente. Creemos que todas las lesiones y enfermedades ocupacionales se pueden prevenir. Además creemos que las consideraciones de salud y seguridad están integradas y son compatibles con todas las otras funciones de gestión en la organización y que la adecuada gestión de salud y seguridad reforzara la producción y los costos en vez de afectarlos de manera adversa. A todo esto es

“Producción Segura”.

SMCV ha desarrollado una Política Ambiental que hace extensiva a todos sus trabajadores, a través de charlas de inducción y permanente capacitación. Los principales compromisos expresados en esta declaración, que indica, entre otras cosas, que SMCV se compromete a prevenir la contaminación, cumplir con las regulaciones ambientales y establecer un control voluntario aplicable, mejorar continuamente el desempeño ambiental, y cooperar con las comunidades vecinas. En abril del 2001, en el marco de su filosofía corporativa se inició el proceso de

certificación del Sistema de Gestión Ambiental ISO 14001 lográndose la certificación en noviembre del año 2002 y la certificación de seguimiento en octubre del 2003 que ratificó a SMCV como líderes en Medio Ambiente en el mundo.

Una vez implementada la ampliación de las operaciones actuales de Cerro Verde, se procederá a la certificación ISO 14001 para el Sistema de Gestión Ambiental de la planta de beneficio a construir.

#### **4. UBICACIÓN**

Sociedad minera Cerro Verde S.A.A. es una unidad minera de la corporación Freeport-McMoran Copper & Gold y se encuentra ubicada geográficamente en el distrito de Uchumayo Provincia, Departamento y Región de Arequipa, a 30 Km. por carretera asfaltada, al SO de la ciudad de Arequipa, **figura 2**.

Sus coordenadas geográficas se localizan entre los 71° 34' de longitud Oeste y 16° 33' de latitud Sur, con elevaciones que fluctúan entre los 2,200 y los 2,900 m.s.n.m.



Figura 2

**5. ACCESIBILIDAD**

La zona es accesible por dos rutas, mediante la carretera Panamericana antigua que se encuentra asfaltada y tomando un desvío totalmente asfaltado antes de llegar desde Arequipa a la desviación hacia Lima y otra ruta que es la mas corta y que nos conduce a Cerro Verde, es

tomando la ruta a Congata y atravesando el túnel que une Congata con la propiedad minera.

La distancia de la mina a la ciudad de Lima, en línea recta es de aproximadamente 1,000 km. y al puerto de Matarani por carretera de 124 Km. Ambas rutas totalmente asfaltadas. El ferrocarril Arequipa-Mollendo-Matarani, pasa a pocos kilómetros del centro mineros de Cerro Verde.

## **6. RESEÑA HISTÓRICA**

Cerro Verde data desde tiempos incaicos, su color verdoso por el afloramiento de Brocantita en las superficie del cerro principal llamaba mucho la atención y de allí su nombre. "Cerro Verde". Cerro Verde es el depósito de cobre porfirítico conocido más antiguo del Perú y uno de los primeros de Sudamérica.

1868 - 1879 Los hermanos Vicuña de nacionalidad chilena lo explotan como vetas hasta empezar la Guerra del Pacífico.

1881 El depósito es trabajado por pequeños mineros que logran excavar un pozo vertical de 160 m. equipado con winche a vapor.

1905 Carlos Lohman de Arequipa realiza trabajos a pequeña escala.

1916 El señor Braden de EE.UU. ofrece la propiedad del yacimiento a la compañía Anaconda. Luego en 1917 La compañía Andes Exploration Co. of Maine, subsidiaria de Anaconda, realiza una exploración geológica, perforando 64 taladros con una longitud total de 9,853 m. mediante el sistema "Churn Drill".

1944 William Jenks, estudia Cerro Verde recomendando su exploración a la Cerro de Pasco Co.

1952 J. Cabieses, denuncia para la corporación antes mencionada, el SE de Santa Rosa.

1952 - 1955 Newmont Exploration Co. realizó una prospección geofísica al SE de Santa Rosa que culminó con la perforación diamantina de cinco talados con resultados negativos y uno positivo.

1964 - 1967 La compañía Andes del Perú (antes Andes Exploration Co.) realiza 32,000 m. de perforación diamantina.

1967 - 1970 Andes del Perú realiza investigaciones geológicas en el área de Cerro Verde y Santa Rosa. La información técnica obtenida se la llevó consigo al revertir el depósito a propiedad del Estado. A fines de 1970 la propiedad del yacimiento revirtió al Estado, pasando a formar

parte de la Empresa Estatal Minero Perú, la cual inició sus trabajos de exploración en diciembre de ese mismo año.

1971 - 1976 Durante este periodo Minero Perú perforó, en dos etapas, 262 taladros diamantinos con una longitud total de 83,000 m.

1972 F. Castilla y N. Castillo realizan un mapeo detallado de Santa Rosa y Cerro Verde respectivamente. Santa Rosa es reportado como yacimiento económico por geólogos de Minero Perú.

1975 Ralph M. Parsons Co. elabora los estudios de Pre-Factibilidad, Factibilidad e Ingeniería Básica del Proyecto.

1993 CYPRUS CLIMAX METAL COMPANY gana la licitación pública del asiento minero de Cerro Verde.

1994 Sociedad Minera Cerro Verde S. A. subsidiaria de CYPRUS, toma posesión de la propiedad e inicia una agresiva campaña de exploración, perforando 168 taladros con una cantidad total de 40,000 m. perforados.

1995 y 1996 El cambio fundamental en Cerro Verde y el principal aporte con la privatización se da en las políticas de seguridad y medio ambiente, enfocado al cambio de actitud y conducta de los trabajadores

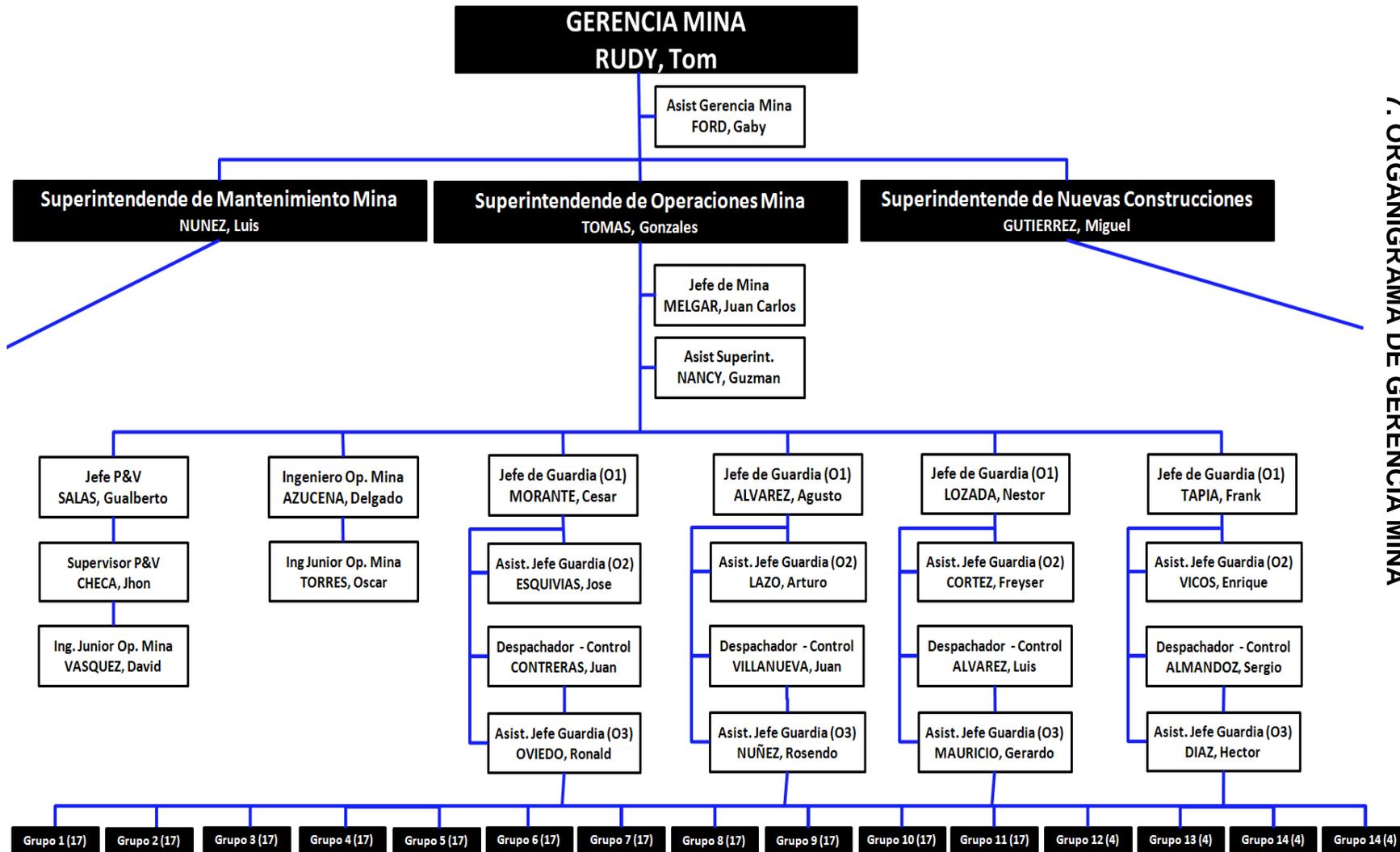
hacia una nueva etapa de trabajo seguro y cuidando el medio ambiente. Así mismo se implementa tecnologías de punta en todos los aspectos y en lo que concierne a mina, se adquiere una versión moderna del software de MINTEC (Medsystem) para diseño de mina. Para el control topográfico de la mina se adquiere un GPS Trimble 4000 SSI convirtiéndose Cerro Verde en la mina pionera a nivel nacional en el uso de estos sistemas.

1999 se adquiere el Sistema Dispatch de Modular alcanzando Cerro Verde un nivel tecnológico acorde con las minas más modernas de cobre en el mundo. En el área de lixiviación se amplía el Pad 2 y se construye el Pad 4 de aproximadamente un millón de metros cuadrados de superficie, dando inicio al proyecto de lixiviación de cobre mas importante del Perú. En este año PhelpsDodge adquiere Cerro Verde.

2004 Se inicia la construcción de la planta de sulfuros que convertirá a Cerro Verde a fines del 2006 en la primera unidad minera en producción de libras de cobre del Perú y de la corporación PhelpsDodge.

2007 Freeport McMoran adquiere la corporación en su totalidad de PhelpsDodge Sudamerica.

7. ORGANIGRAMA DE GERENCIA MINA



## **CAPITULO II**

## **GEOLOGIA**

### **1. GEOLOGIA REGIONAL**

Cerro Verde y Santa Rosa, ubicados a 30 km. al SO de Arequipa, son yacimientos del tipo pórfido de cobre y molibdeno, emplazados en el segmento sur del Batolito de la Costa, Segmento Arequipa, Superunidades Tiabaya y Yarabamba.

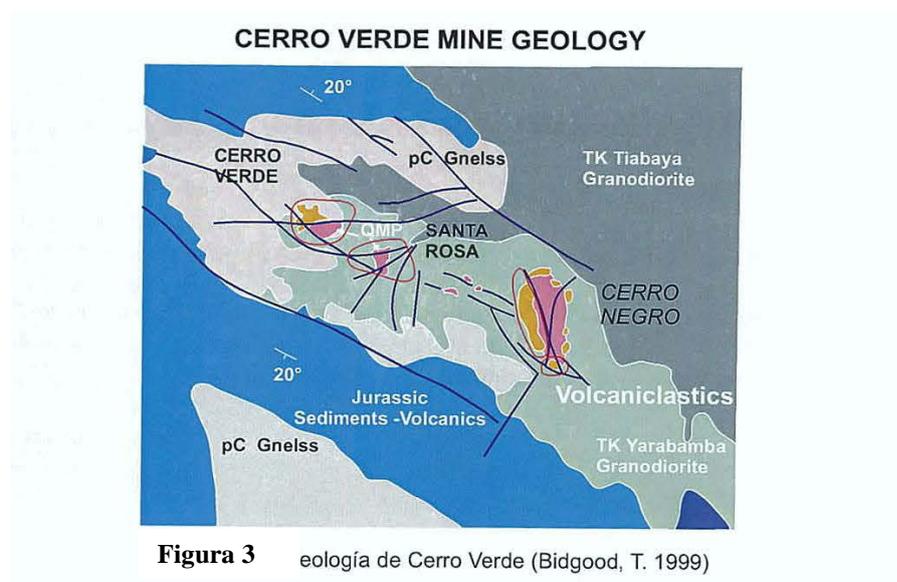
### **2. GEOLOGIA LOCAL**

Localmente se tiene rocas plutónicas intruidas por rocas subvolcánicas porfiríticas de composición calco-alcalina, las mismas que también han intruido a rocas metamórficas, volcánicas y sedimentarias, con edades que van desde el Precámbrico hasta el Terciario inferior. Remanentes de ignimbritas, cenizas y arenas volcánicas, corresponden a los últimos eventos ocurridos en el área.

Las rocas plutónicas que engloban a los pórfidos subvolcánicos, genéticamente relacionados a los depósitos de cobre porfirítico de Cerro Verde y Santa Rosa, conforman el complejo intrusivo conocido como “La Caldera”, estos pórfidos están alineados según una dirección NO-SE, que es la misma de la Cordillera de los Andes. Fisiográficamente, presentan una topografía madura con cerros redondeados de baja altura, quebradas secas y drenaje dendrítico.

### 3. ESTRATIGRAFIA

Dentro del área que comprende el presente estudio afloran rocas ígneas, intrusivas y extrusivas, metamórficas y sedimentarias que abarcan en tiempo geológico desde el Precámbrico hasta el Reciente, **Figura 3 y 4**



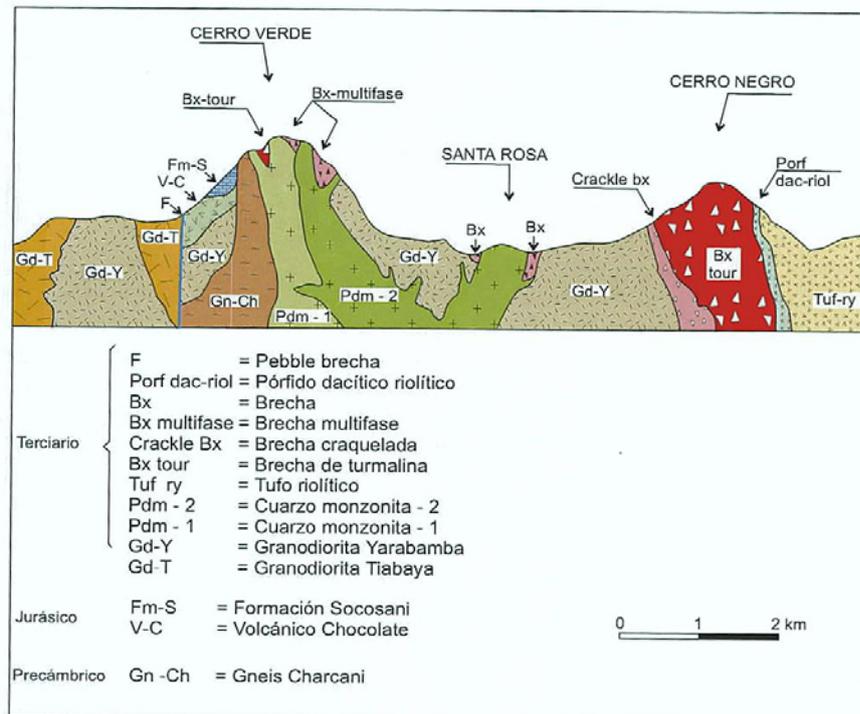


Figura 4

#### 4. MINERALIZACION

La mineralización y alteración de los depósitos de Cerro Verde y Santa Rosa, es típica de los depósitos de cobre porfirítico, tal como lo describen en su trabajo Lowell y Gilbert (1970). En Cerro Verde, la mineralización económica se encuentra preferentemente asociada a la granodiorita Yarabamba (54%); el resto se reparte entre los pórfidos(22%) y el Gneis Charcani (24%), según datos publicados por Perea *et al.* (1983). Esta mineralización económica está relacionada con la alteración filica.

#### 5. MINERALIZACIÓN HIPÓGENA

La mineralización hipógena corresponde a los minerales primigenios. Los sulfuros más importantes son pirita y calcopirita, en menor proporción ocurren: molibdenita, enargita, cobres grises, como también bornita y covelita primarias; otros **sulfuros primarios** como la esfalerita y galena tienen una ocurrencia esporádica. Otros sulfuros primarios presentes en esta zona son molibdenita, bornita, tetraedrita, galena, esfalerita y calcosita mayormente diseminados.

Los principales minerales hipógenos en **Santa Rosa** son pirita y calcopirita con los siguientes minerales accesorios: galena, esfalerita, molibdenita y tenantita. Esporádicamente se presentan mackinawita, cubanita, pirrotita y bornita. La enargita y la luzonita se presentan muy raramente.

## **6. MINERALIZACIÓN SUPÉRGENA**

De arriba hacia abajo estas zonas son: zona de encape lixiviado, zona de oxidación, zona de enriquecimiento secundario, zona de transición y zona primaria.

### **6.1. ZONA DE ENCAPE LIXIVIADO**

Es la capa o zona superior que está caracterizada por la ocurrencia de limonitas (hematita, jarosita, goetita, turgita entre otros), arcillas y alunita supérgena; así como minerales primarios relativamente estables: cuarzo y turmalina. La formación de esta zona, ha sido influenciada por una fuerte permeabilidad de la roca tanto primaria como secundaria de la parte superior de ambos depósitos. La presencia de sulfuros y sulfatos primarios, también jugó un importante papel en su formación, tal como lo postulan Cedillo *et al.* (1979).

## **6.2. ZONA DE ÓXIDOS**

Está genéticamente relacionada a la formación de la zona lixiviada y se ha desarrollado hacia los bordes de esta, se caracteriza por la presencia de óxidos y sulfatos de cobre con valores económicos. El principal mineral es la brocantita, acompañada por calcedonia, alunita, jarosita, antlerita, melanterita, crisocola y cuprita; ocasionalmente también ocurren: malaquita, neotosita, cobre nativo y silomelano.

En Cerro Verde, se distinguen dos subzonas: la subzona de “pitch de cobre” caracterizada por contener una mezcla de óxidos de cobre, fierro y manganeso, estuvo ubicada al Este.

### **6.3. ZONA DE ENRIQUECIMIENTO SECUNDARIO**

Este proceso de deposición mineral ocurre cerca a la superficie y es una consecuencia de los procesos de oxidación en el cual las soluciones ácidas residuales lixivian los metales y los llevan hacia abajo, reprecipitándolos y enriqueciendo los sulfuros minerales ya existentes (pirita y calcopirita), formando nuevos sulfuros con mayor contenido de cobre (calcosita y covelita). La pirita ha sido reemplazada en diversos grados por calcosita y se piensa que en la evolución genética de los sulfuros secundarios estos han sufrido, en ciertas áreas, migración lateral del cobre.

En Santa Rosa está constituida principalmente por calcosita, covelita y en menores cantidades por bornita y digenita.

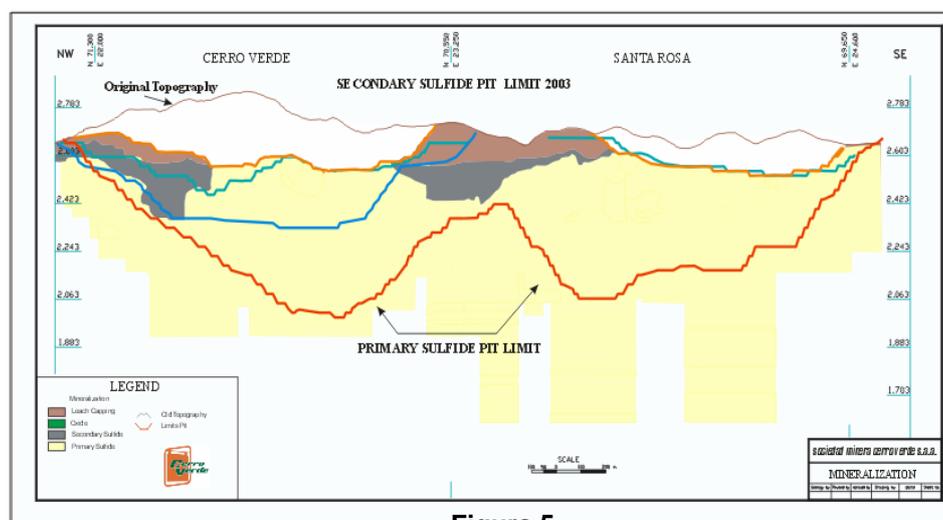
### **6.4. ZONA PRIMARIA**

Constituye la zona mas profunda del yacimiento, donde prácticamente no hubo influencia de los procesos supérgenos. Los sulfuros ocurren aquí finamente diseminados y en venillas; como en todas las zonas, aquí también las brechas son las que contienen más cobre que otras rocas (Cedillo 1982).

### **6.5. ZONAS TRANSICIONALES**

Están clasificadas así las zonas cuya mineralogía está constituida por una mezcla de minerales de zona lixiviada y minerales de zona enriquecida (conocida también como “zona de mixtos”) o minerales enriquecidos y minerales primarios (zona transicional propiamente dicha) según sea el caso.

En Cerro Verde se observan zonas con mineralización “mixta”, esto es mineralización de zona lixiviada, óxidos de fierro principalmente, y mineralización de la zona enriquecida pirita, calcosita y covelita. Por debajo de la zona de sulfuros secundarios, se ha desarrollado en muchos casos, una zona conocida como zona de sulfuros transicionales, constituida por sulfuros de origen supérgeno y sulfuros de origen hipógeno. En Santa Rosa la zona de sulfuros transicionales, por debajo de la zona de sulfuros enriquecidos, no es típica, su mineralización se presenta finamente diseminada, **Figura 5**.



**Figura 5**

## **CAPITULO III**

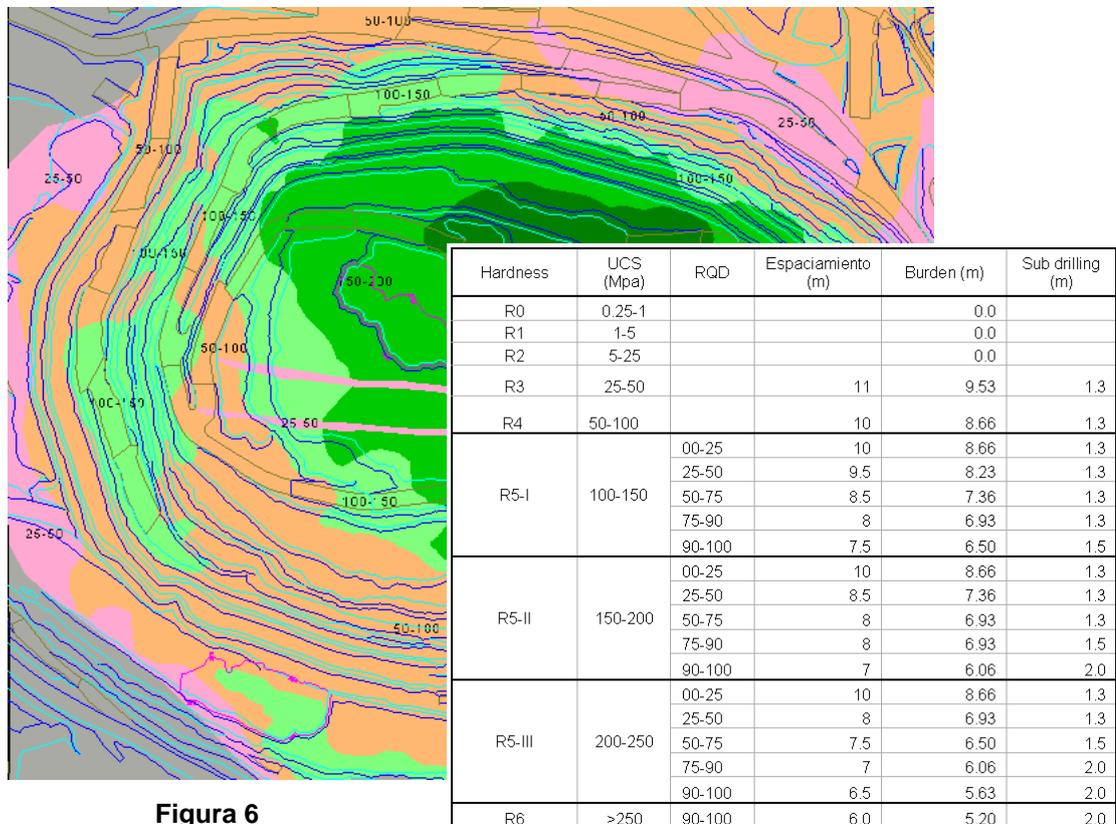
## **PROCESOS OPERATIVOS**

### **1. OPERACIONES MINA**

#### **1.1 PERFORACION Y VOLADURA**

Dado el recurso de mineral en mina Cerro Verde, Personal del departamento de Perforación Voladura está compuesto 23 personas, de las cuales el Jefe de Departamento de Perforación y Voladura, Asistente de jefe de Perforación y Voladura, Supervisor de campo de perforación y 20 operadores de perforadoras. Se cuenta con 2 perforadoras Ingersoll Rand DM-M2 para diámetros de perforación de 9" a 11" con profundidad máxima de perforación de 20m. y columna de perforación Multi-pass; 2 Perforadoras Pit Viper 721 para diámetros de perforación de 7 5/8" a 11" con profundidad máxima de perforación de 16.7m. Y columna de perforación Single-pass. Y se cuenta con una perforadora Roc L8 Down the hole para precortes de 5" de diámetro.

Con la Información existente, de características geomecánicas de la roca e índice de la dureza el departamento de perforación y voladura en base a modelos teóricos, formulas matemáticas y la experiencia en el trabajo se define la malla de perforación que son triangular equilátera, **Figura 6**.



**Figura 6**

La voladura en Cerro Verde lo realiza la empresa Orica Mining Service, lo cual realiza el proceso de carguío, tapado de taladros, ejecución de disparos e incluye todo el su personal requerido para la

mezcla de agentes de voladura, así mismo cuenta con 2 camiones fabrica de explosivo modelo AUGER sin capacidad de bombeo solo para llenado por tornillo/gravedad; 1 camión fabrica de explosivos modelo QUADRA con equipo de vaciado y capacidad de bombeo para ANFO y ANFO pesado; 2 silos de emulsión vertical de 44TM y 51 TM de capacidad; 1 bomba para emulsiones marca BOWIE de 3' de descarga. Y por Cerro Verde se tiene un silo de nitrato de 18 TM.

Orica se encarga de suministrar todo los materiales equipo y personal calificado requerido para la conexión y amarre de las voladuras; asistencia remota (SURB) para detonación de retardos electrónicos; administración del polvorín así como los consumos y stock de accesorios y agentes de voladura; realiza el transporte, almacenaje, manipuleo y control de insumos de voladura; prestación de asistencia técnica con el objetivo de optimizarla la fragmentación de la roca y el control de daños sobre el macizo rocoso.

El diseño de secuencia de voladura y perfil de carguío varía según el tipo de roca y el tipo de taladros, lo cual se detalla gráficamente para taladros de producción, **Figura 7 y 8**.

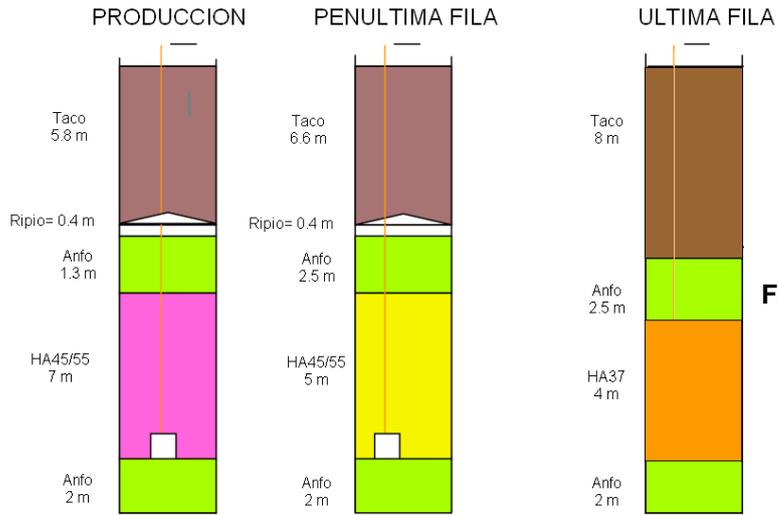


Figura 7

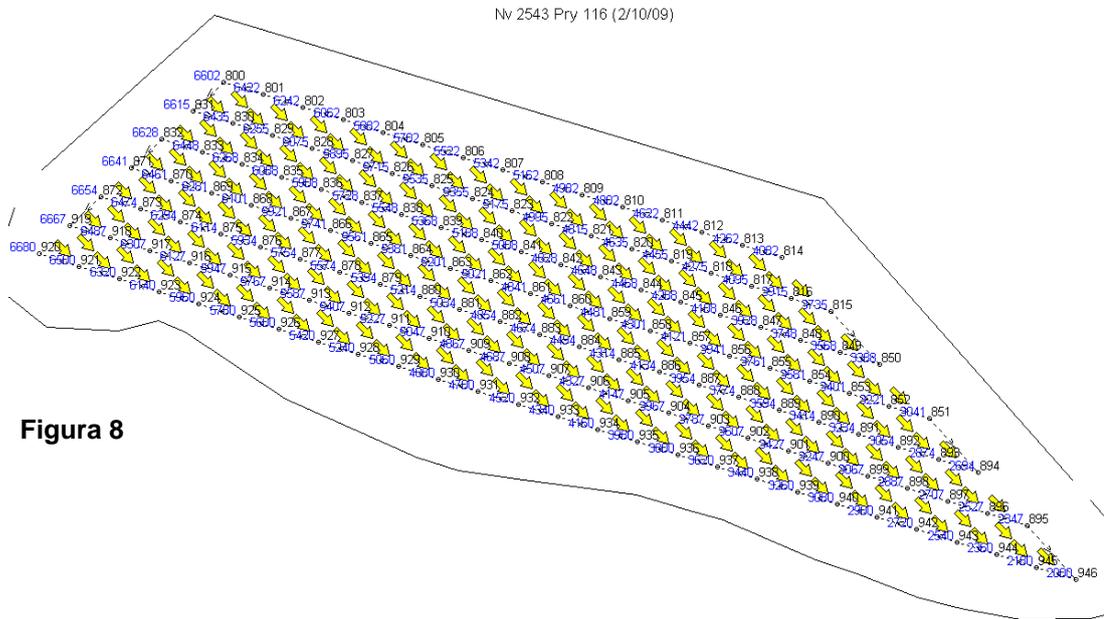


Figura 8

Finalmente se realizan evaluación de la voladura por el departamento de perforación y voladura, lo cual se encarga de tener un reporte de todos las voladuras efectuados indicando la cantidad de taladros, **Tabla 1**, el perfil de carguío de cada taladro, tipo de explosivo, tipo de roca, fecha, nivel del banco, grafico de secuencia de salida de voladura, el taco, presencia de agua, consumo

explosivos por voladura, altura de cada taladro, etc. Así mismo se realizan evaluaciones de fragmentación de la roca, **Figura 9**.

MES	EXPLOSIVOS (KG.) TOTAL		TONELAJE		Kg/TM	
	Real	Forecast	Real	Forecast	Real	Forecast
Enero	1,481,309	1,871,317	9,598,443	7,575,135	0.15	0.25
Febrero	1,199,362	1,744,296	6,389,787	6,845,597	0.19	0.25
Marzo	1,322,134	1,873,883	6,789,297	7,361,319	0.19	0.25
Abril	1,423,841	1,946,167	8,888,427	7,799,011	0.16	0.25
Mayo	1,481,288	2,106,018	7,593,947	8,837,402	0.20	0.24
Junio	1,819,770	2,128,162	8,530,022	9,075,325	0.21	0.23
Julio	1,781,066	2,062,473	9,217,954	8,800,476	0.19	0.23
Agosto	1,877,343	2,047,077	9,259,578	8,627,842	0.20	0.24
Setiembre	2,041,564	1,917,187	9,414,973	7,903,238	0.22	0.24
<b>Total</b>	<b>14,427,676</b>	<b>17,696,579</b>	<b>75,682,427</b>	<b>72,825,346</b>	<b>0.19</b>	<b>0.24</b>

Tabla 1

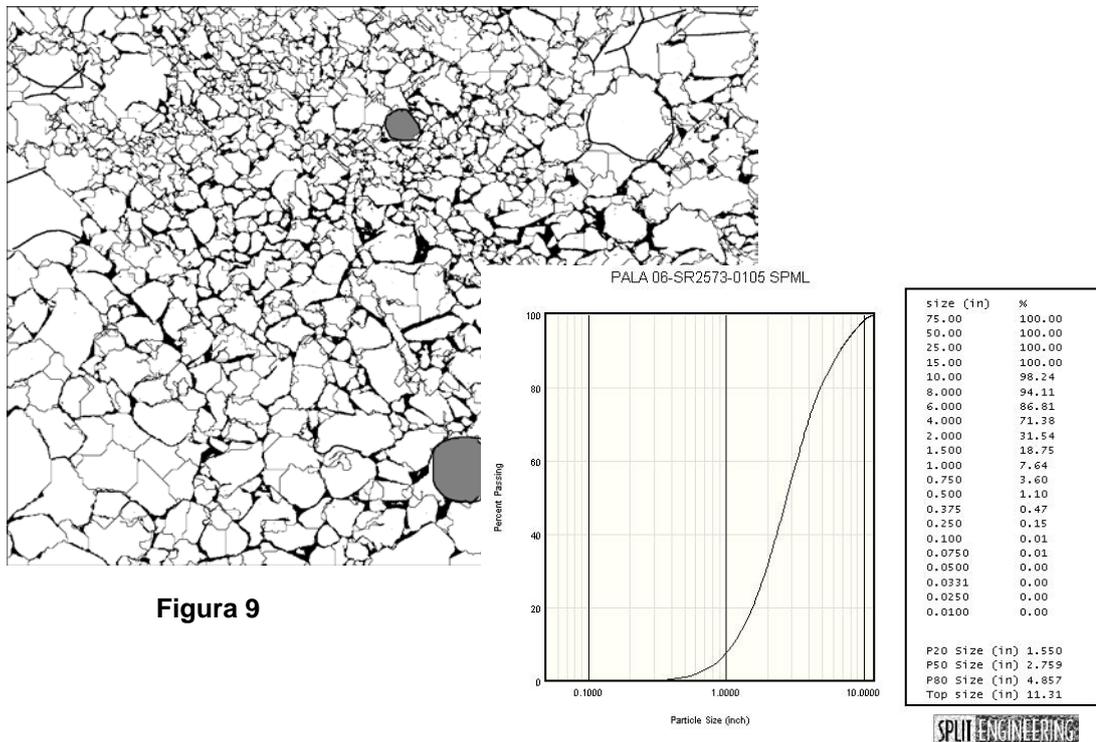


Figura 9

## 1.2 ACARREO Y TRANSPORTE EN MINA

En la actualidad, SMCV explota sus reservas mineras constituidas por sulfuros secundarios y primarios, a través del tajo abierto Cerro Verde a un ritmo de 310,194 toneladas métricas diarias (TMD) de movimiento total. Dentro de esta cantidad, para concentradora 108,000 TMD de mineral de sulfuro primario de alta ley lo cual es procesado mediante la planta concentradora; los sulfuros primarios de mediana ley y baja ley son extraídos a los depósitos de 4ML y 4BL respectivamente; 40,000 TMD de mineral de alta ley de sulfuros secundarios, y 20 000 TMD de mineral de baja ley de sulfuro secundario, y los procesa mediante lixiviación en pilas, para producir en su planta de extracción por solventes y circuito electrolítico (SX/EW), cobre electrolítico de alta pureza en forma de cátodos. Los cátodos de cobre y los concentrados de cobre son transportados por camiones al puerto de Matarani, desde donde se exportan a mercados internacionales.

Las operaciones unitarias realizadas para la extracción de material consisten en cuatro etapas: perforación, voladura, carguío y acarreo, además de las operaciones auxiliares que se vienen realizando. Los camiones llevan distintos tipos de material a su respectivo destino: desbroce al botadero, mineral de baja ley

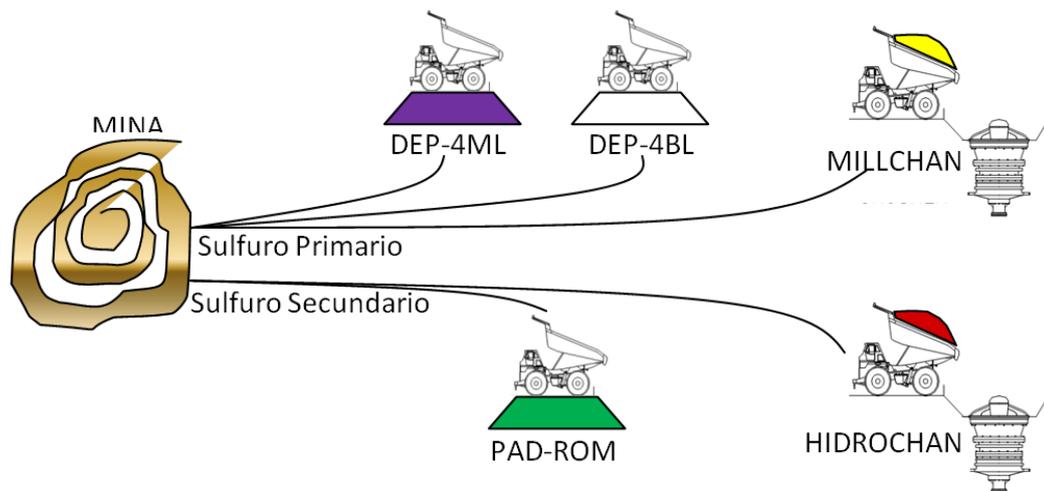
directamente de la mina (ROM) al pad ROM de lixiviación, y mineral de alta ley al chancado MILLCHAN e HIDROCHAN.

SMCV cuenta actualmente con la siguiente flota para sus operaciones de carguío y acarreo:

- 4 Camiones CAT 789B de 180 TM.
- 24 Camiones CAT 793D de 240 TM.
- 3 Palas eléctricas P&H 2800 de 33.6 yd<sup>3</sup>.
- 2 Pala eléctrica P&H 4100 de 54 yd<sup>3</sup>.
- 1 Pala hidráulica O&K RH200 de 27 yd<sup>3</sup> (eléctrica/diesel).
- 2 Cargadores frontales CAT 992.
- 1 Cargadores frontales CAT 994.

El desbroce se realiza con las palas P&H 4100 en la nueva fase de minado lado sur.

Según las nuevas reservas actuales de SMCV, el mineral lixiviable se agotaría en el año 2020. Y el cobre obtenido del sulfuro primario es mediante la planta concentradora, cuya operación se ha evaluado económicamente para 26 años, cabe mencionar que se tiene para 70 años operativa en mina, **Figura 10**.



**Figura 10**

## 2. OPERACIONES METALURGICAS

### 2.1. CHANCADO

El mineral porfirítico extraído de los tajos es enviado al sistema de chancado que consta de tres etapas: chancado primario, pila de almacenamiento, chancado secundario con sus respectivas zarandas tipo “banana” y chancado terciario. Actualmente el sistema de chancado opera a un promedio de 50,000 TMD. El producto triturado con un tamaño de 80%, -3/8” (-9mm), es enviado para alimentar el circuito de aglomeración. La aglomeración se lleva a cabo en 4 aglomeradores de tambor en paralelo. El material es humedecido y aglomerado con ácido sulfúrico y solución rafino (solución con bajo contenido de cobre obtenida del proceso de extracción por solventes).

## **2.2. LIXIVIACION.**

Una faja sobre la superficie de aproximadamente 3,2 Km. de largo, transporta el mineral aglomerado hacia la plataforma de lixiviación Pad 4. El material es distribuido en la plataforma del Pad 4 con un sistema de fajas portátiles y un apilador que lo acomoda en pilas de 6 metros de altura a una gradiente de 3%. Las fajas están equipadas con controles de alineamiento, sobrecarga y controles de velocidad cero conectadas a un sistema PLC, que controla y monitorea todo el proceso.

Todo el mineral chancado y aglomerado es colocado en el pad 4 y lixiviado por 230 días. La solución de lixiviación consiste de una mezcla de raffinate de la planta SX y la solución de avance de los otros Pads.

## **2.3. SX/EW**

La solución de cosecha enriquecida en cobre conocida como PLS obtenida del Pad 4 es dirigida a la poza de almacenamiento de PLS ubicada en el área de la planta de extracción por solventes y de ahí es bombeada a la planta de extracción por solventes.

La planta de **extracción por solventes** consta de las etapas de extracción y de re-extracción. En este circuito se obtiene dos productos, una solución pura rica en cobre que se envía a la planta de **electro deposición** y, una solución impura pobre en cobre con alta acidez conocida como refino, que es bombeada y retornada a lixiviación.

La planta de electro deposición deposita el cobre en forma metálica en cátodos, que constituye el producto final con una pureza de 99,99% de cobre. Actualmente, el nivel de producción en las operaciones de lixiviación, extracción y electro deposición es de aproximadamente 250 TMD de cátodos de cobre.

### **3. INSTALACIONES AUXILIARES**

Además de las instalaciones de proceso, SMCV tiene algunas infraestructuras de apoyo, las mismas que incluyen talleres, almacenes, laboratorios de control de calidad y oficinas administrativas como mantenimiento mina, mantenimiento chancado y el sistema de fajas de transporte de mineral y apilamiento, mantenimiento planta, almacén y tráfico de aduanas, laboratorios químico, metalúrgico y microscopía, metalurgia, geología, prevención de riesgos, medio ambiente y oficinas administrativas que incluye abastecimiento, contabilidad, gerencia, informática o sistemas, recursos humanos y posta de primeros auxilios.

### **3.1. ABASTECIMIENTO DE AGUA**

Actualmente Cerro Verde depende de dos fuentes principales de agua para cubrir sus requerimientos. Estas dos fuentes incluyen las aguas superficiales derivadas del río Chili y el agua subterránea obtenida de los pozos de bombeo de los tajos Cerro Verde y Santa Rosa. El agua proveniente del río Chili es denominada “agua fresca”. Mientras que toda el agua que es bombeada de los pozos en la mina se denomina “agua freática”. SMCV cuenta con los derechos de extracción de agua debidamente constituidos para el aprovechamiento del agua de estas dos fuentes.

## **4. MANEJO DE RESIDUOS, EFLUENTES Y EMISIONES DE LAS OPERACIONES**

Los residuos en Cerro Verde están clasificados en: reciclables, basura y peligrosos, teniendo cada uno de ellos lugares específicos y seguros de disposición según su naturaleza. Los efluentes provenientes del lavado de los equipos pesado y ligero en los talleres son tratados mediante dos baterías de separadores. Estas baterías separan los efluentes por fases agua - aceite. El agua previamente analizada en contenido de hidrocarburos (sin aceites y grasa) es utilizado para el riego mientras que los desechos de grasas y aceite son tratados en una

plataforma impermeable conocida como landfarm para ser sometidos a la acción destructora de los rayos solares. Las aguas servidas generadas son enviadas a las plantas de oxidación ubicadas en la zona de planta industrial. En la zona sur, las aguas servidas son tratadas mediante un sistema Imhoff de descomposición anaeróbica.

Las emisiones de polvo que se generan en las vías de acceso y acarreo son controladas mediante el tratamiento de la base de rodadura con una sustancia humectante, higroscópica y compactadora en la fuente (cloruro de calcio). Luego se realiza el riego con una frecuencia de una vez por día los primeros 5 meses y después se incrementa a dos veces por día usando camiones cisternas de 20 000 galones de capacidad.

En el área de chancado, el polvo es controlado mediante un sistema de inyección agua-aire y un sistema de aspersion de agua en la tolva instalado en la descarga de los camiones de chancado primario, un sistema de inyección agua-aire en la descarga de alimentadores, cambio de dirección de las fajas, zarandas y chancado secundario y terciario.

## **5. OPERACIONES CONCENTRADORA**

El yacimiento de Cerro Verde está constituido por sulfuros secundarios, considerados como minerales lixiviables, y por sulfuros primarios de cobre que constituyen los minerales no lixiviables, es decir

aquellos que no son económicamente rentables si son extraídos mediante un proceso de lixiviación.

La planta concentradora de SMCV permite explotar económicamente los sulfuros primarios a un nivel de procesamiento promedio en planta de 108 000 TMD, para obtener como producto final aproximadamente 10 TMD de concentrados de molibdeno y 2 400 TMD de concentrados de cobre, los cuales son transportados y embarcados en el puerto de Matarani.

El procesamiento y beneficio del mineral incluye una chancadora primaria, un sistema de almacenamiento de mineral grueso, un circuito de chancado secundario convencional con chancadoras de cono y un chancado terciario utilizando chancadoras con rodillos a alta presión HPGR, para la molienda se usa 4 molinos de bolas en circuito cerrado con 4 baterías de ciclones, un circuito de flotación colectiva, un circuito de flotación selectiva (planta de molibdeno), espesado de concentrados y relave, filtración de concentrados, disposición de relaves. La inversión que se realizó en la construcción de la planta concentradora fue US\$ 800 millones.

## CAPITULO IV

## CONTROL DEL SISTEMA DISPATCH

### 1. ANTECEDENTES

En control y/o **gestión tradicional** de las operaciones mineras a tajo abierto se fijaban flotas de camiones a las palas no existiendo interacción en tiempo real con los operadores, el panorama se prestaba siendo difícil identificar los cuellos de botella en los flujos productivos, pues solo se suponían. En la gestión tradicional no existía certeza sobre los orígenes y destinos de los ciclos de transporte, no existía certeza sobre los puntos de carguío y perforación mucho menos sobre el trabajo de los equipo auxiliares, **figura 11**.

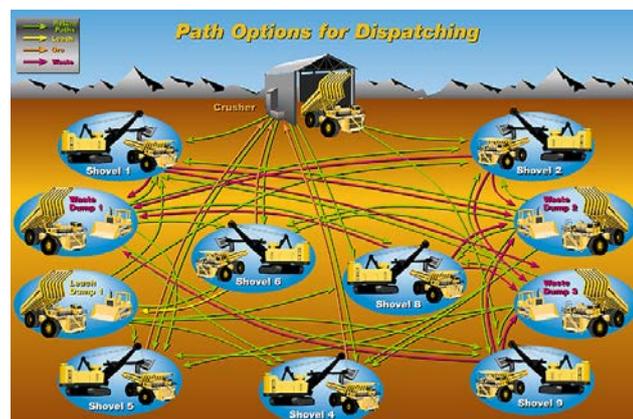


Figura 11

En la gestión tradicional los jefes de guardia no tenían prácticas comunes de control, era muy común la improvisación, era muy difícil identificar las prácticas operativas improductivas, porque la información no se gestionaba en tiempo real. Era muy común que la información se recopilara en cartillas, dependiendo estas de la percepción y atención del operador o de la persona que llenaba estas cartillas.

Los formatos de registro de tiempos y cargas no se llenaban en el momento que ocurría el evento, sino en un tiempo que se disponía para este fin y muchas veces a criterio del operador, teniéndose datos cargados de errores, **figura 12**.

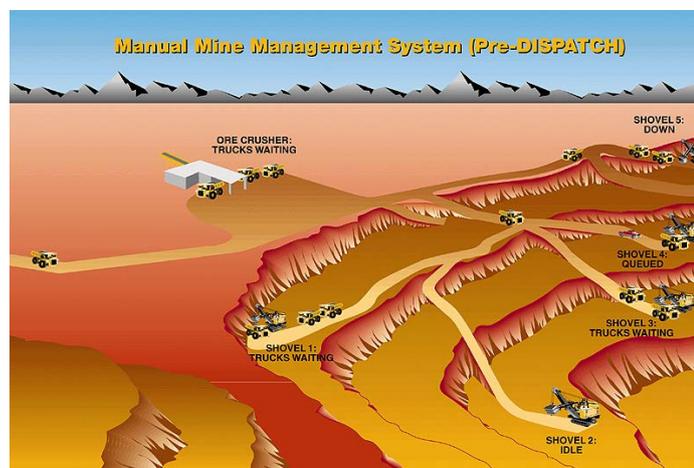
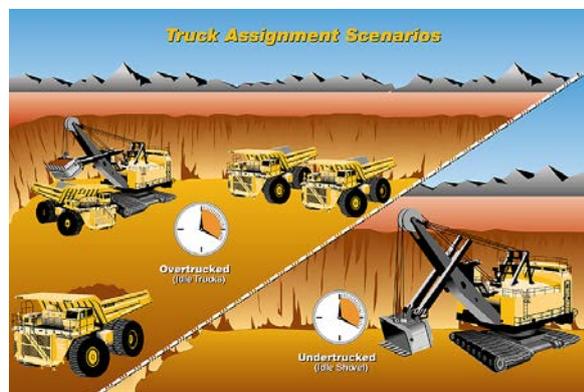


Figura 12

El error humano se incrementaba al digitar la información de las cartillas en sistemas poco funcionales en Excel o Acces; estos sistemas solo administraban los datos y muchas veces eran carentes de controles, dejando el control del cálculo de KPIs y emisión de reportes a personas

que en muchos casos tenían diferentes criterios para interpretar la asignación de un tiempo y para el cálculo.

En la gestión tradicional de las operaciones en la minería superficial era muy común observar escenarios de pala haciendo cola. También podíamos ver comúnmente esperas de camiones por palas y palas por camiones, se consideraban erróneamente como demoras operativas, **figura 13.**



**Figura 13**

En muchos casos el criterio del jefe de guardia era el asignar una determinada flota de camiones a una pala, teniendo solamente el criterio de productividad en función al trajo individual de cada pala, y si existía el criterio de mezclar camiones, pues no se contaba con un criterio tan amplio que les permitiera tomar las mejores dediciones de uso en rutas mas productivas, esto claro según la complejidad de la operación.

## **2. CONTROL MINERA ACTUAL**

La tecnología de control de las operaciones mineras esta representado por los siguientes sistemas: Wemco de Canada, MineStar de Caterpillar, Intellimine Dispatch de la norteamericana Modular, Aquila

que ha sido comprada por Caterpillar y enfocada en la alta precisión para perforación, Site Vision de Trimble para el control de equipos dozers y graders, Caes de Caterpillar con el mismo objetivo que Site Vision, BCM de la alema Bomag para el control de compactación. Los tres primeros tratan acerca de modelos dinámicos de asignación para la flota de acarreo, pero el sistema de despacho de Modular utilizando la **tecnología de control de procesos** ofrece una solución completa y probada para el negocio minero, y es de lo que trataré en adelante.

### **3. FUNCIONES Y RESPONSABILIDADES DEL DESPACHADOR**

El sistema de despacho Dispatch, tiene el siguiente conjunto de funciones y responsabilidades.

1. Mantener una buena configuración del Dispatch, operando el sistema para lograr una eficiente asignación de camiones a las palas, controlando y minimizando los tiempos de cola (tiempo muerto por espera en puntos de carga y descarga); todo esto en tiempo real. Los despachadores han recibido cursos formales de Dispatch y estadística para alcanzar este propósito. Es importante tener un nivel de ingeniería en el despacho.

2. Poseyendo capacidad de liderazgo y muy buena actitud con el personal con el que comparte el turno en la operación, debe de realizar las

comunicaciones de coordinación con el equipo de trabajo tomando acción inmediata que apoye el logro de los objetivos.

3. Mantener y mejorar la eficiencia y productividad de la extracción de la mina, pues tienen la responsabilidad y autoridad de detener o iniciar la operación de palas o camiones cuando sea necesario de acuerdo al plan operativo de la mina. Deberán ser dinámicos y con la capacidad de anticipar y estar preparados ante cambios en la operación por falla de los equipos u otra situación imprevista. Conocen la política gerencial en lo que se refiere a reducción de costos, de tal forma que tomando como base la información de Dispatch apoyan en la optimización de los proceso extractivo; es decir que pueden sugerir el empleo de los equipos que tienen menor costo y los que en resumen proporcionan la mejor performance.

4. Llevar el control de los estados de todos los equipos de la mina (incluyendo el equipo auxiliar, el cual no tiene Dispatch por ahora, todo alimentado manualmente al sistema Dispatch). Esto es de vital importancia ya que a partir de esta información se obtienen las disponibilidades, eficiencia y uso de activos de todo el equipo de mina, la información se emplea para la planificación del mantenimiento programado del equipo. Se consigue la información para los KPIs tanto de Operaciones Mina (Productividad, Tiempos de espera, Velocidades, etc.) como para Mantenimiento (MTBF, MTTR), se proporciona información para llevar a

cabo la planificación minera (Plan anual y Forecast, es decir parámetros para llevar a cabo dicha planificación).

5. Tienen la responsabilidad de mantener las bases de datos de Dispatch con información limpia, clara y precisa de todos los equipos de la mina. Debe de proporcionar diariamente la información detallada de producción, estado de los equipos, e incidentes a la superintendencia de operaciones, con la cual asiste a la reunión diaria de coordinación.

6. Es el asistente principal del Jefe de turno, ya que lo retroalimenta con la información de Dispatch para la toma de decisiones propias de la operación. Tiene la capacidad de reemplazar y asumir la responsabilidad del líder o supervisor de la mina cuando la situación lo amerite. Es un soporte entre las comunicaciones que existen entre los operadores del equipo de mina con el personal de mantenimiento, mina, con la supervisión de perforación y voladura, ingeniería mina, contratistas, etc.

#### **4. TRUCK DISPATCH**

Dispatch es la denominación más conocida para Intellimine. Dispatch empleando tecnología aplicada al negocio minero, interactúa en tiempo real utilizando herramientas matemáticas, informáticas, posicionamiento global, comunicaciones y redes, permitiendo **asignaciones óptimas y automáticas en forma dinámicas** para la flota,

logrando incrementar el tiempo efectivo de trabajo y por ende la productividad efectiva de las flotas de carguio y acarreo.

Se elimina el concepto de asignación fija de camiones a palas, lográndose una interacción en tiempo real entre el sistema, el operador y el despachador; dando paso al control del proceso y programación de las acciones en las operaciones en forma remota. El despachador toma decisiones en tiempo real respecto a la mejora del proceso de extracción, permitiendo recoger información, evaluando, midiendo, analizando, mejorando y controlando el proceso productivo. Con Dispatch los jefes de turno de la mina y mantenimiento pasan a ser administradores de la operación, dejando al despacho mina el trabajo de asignación de equipos y tiempos así como la captura de datos y cálculo de los indicadores claves de desempeño (KPI), ya que se tiene información desde el origen y la gestión de los datos es instantánea, **figura 14**.

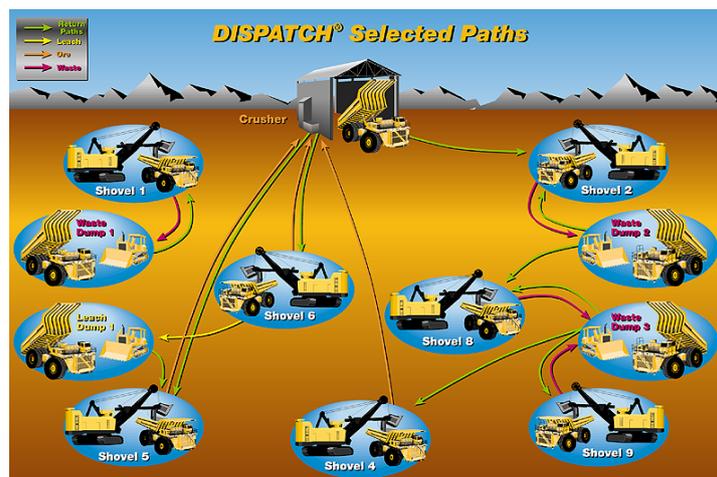


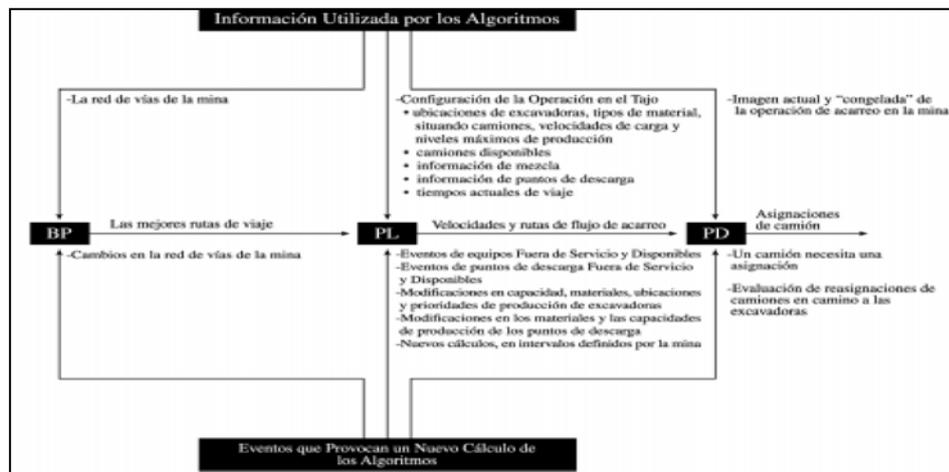
Figura 14

Dispatch trabaja bajo una estrategia de optimización que es un mecanismo automático que consta de **dos fases**, y que utiliza tres modelos matemáticos de programación: La Mejor Ruta (BP), la Programación Lineal (PL), la Programación Dinámica (PD); con el fin de obtener la mayor productividad de camiones posible en la mina. *La Estrategia de Optimización de DISPATCH* (DOS) es pues un mecanismo automático que utilizando los modelos mencionados crea un plan maestro teórico de circuitos optimizados de producción y velocidades de alimentación. DOS utiliza los modelos BP, PL y PD para asegurar que se cumpla dicho plan durante el turno, en tiempo real.

DISPATCH también provee el módulo de Configuración de la Programación Lineal para poder hacer cambios específicos en cuanto a la forma en la cual la PL crea circuitos de producción y velocidades de alimentación. Esto permite mayor flexibilidad para cumplir con los requisitos de producción de la mina. Los objetivos de los planes de minado se ingresan como variables dentro de la PL del sistema, permitiendo tener el control de estos planes en tiempo real. Esta funcionalidad permite cambiar las directivas del planeamiento por algún cambio en el rumbo debido a una estrategia, para que estos tomen efecto desde el momento que se cambia las variables que intervienen en la PL.

La información de la BP (mejor ruta) así como información de ubicación de, match factor pala-camión, velocidades por pendiente cargado y vacío, prioridad de palas, porcentaje de utilización de equipos

de carguio, capacidades en destinos, características de los equipos, restricciones operativas y demás variables; se ingresan a la PL (programación lineal) la que proporcionan velocidades y rutas de flujo de acarreo a la PD (programación dinámica) la que con esta información proporciona las asignaciones, **figura 15**.



**Figura 15**

## 5. EQUIPAMIENTO

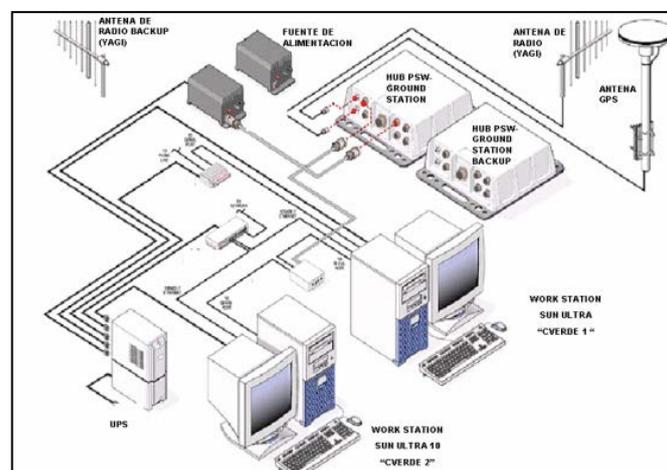
El equipamiento de Intellimine en la revisión D incluye Work Station, con sistema operativo Solaris Versión 5.7 de SUN Microsystems donde se instalan el sistema Dispatch-Intellimine de Modular. Esta aplicación permite crear y almacenar las bases de datos turno a turno de producción, de los estados de los equipos mineros y más información adicional.

Datos de los servidores SUN.

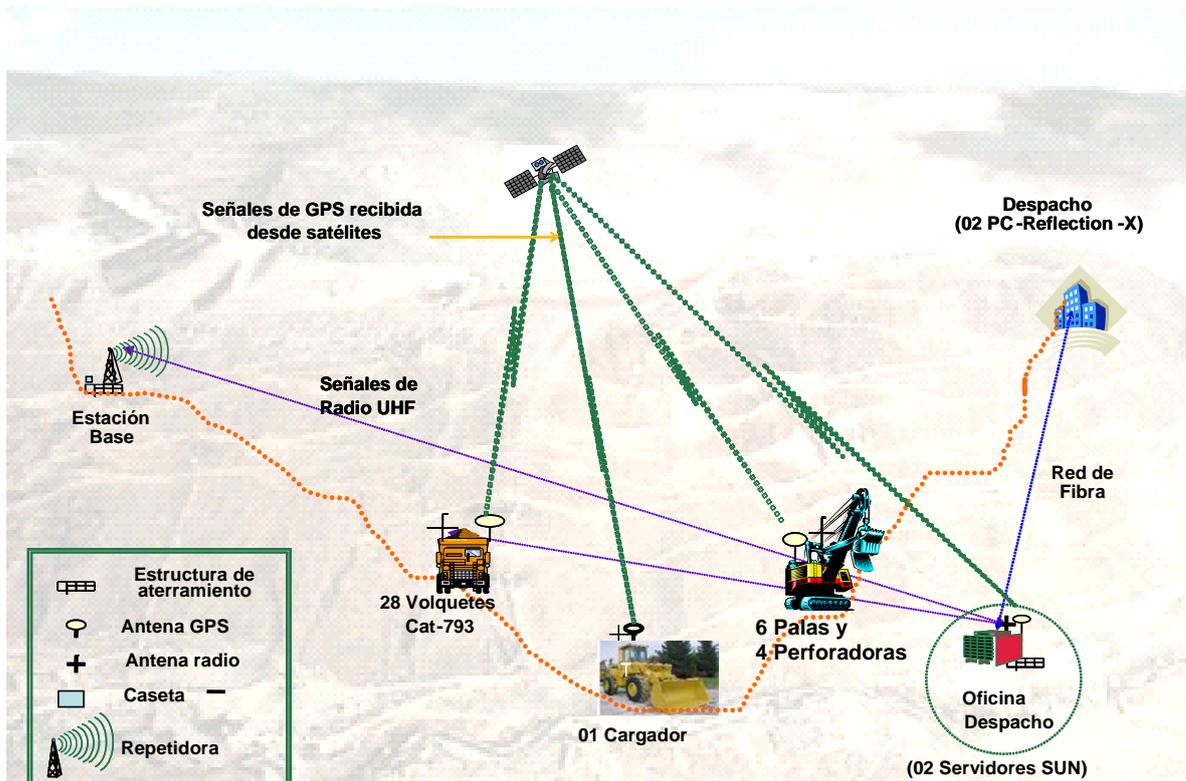
- SUN Solaris 5.7 system V release 4.
- Memoria RAM de 131072 K. ;
- Procesador = ULTRA Sparc-IIi de 333MHz.

Los dos servidores SUN cuentan con todo el hardware e instalaciones para correr Dispatch, según **figura 16**, es decir tienen:

- El Hub de comunicaciones PSW-GROUND STATION y su conexión al servidor.
- El MODEM conectado.
- El tape backup conectado.
- La antena GPS y sus cables de conexión al HUB.
- La antena de comunicaciones radiales (YAGI) y sus cables de conexión al HUB.
- Un sistema de seguridad para descargas de rayos entre los accesorios externos a la oficina y los que están dentro de la oficina.



**Figura 16**



El equipamiento de campo es similar en todos los equipos **figura 17**, y tales como:

- Una consola de interfase grafica del operador (GOIC), que es una pantalla sensible al tacto y que es utilizada como interfase para la interacción con el operador.
- Unidad central de proceso dentro de un concentrador HUB.
- Un receptor de radio UHF configurado con frecuencias de transmisión y recepción otorgadas por el ministerio de transportes y comunicaciones.

- Un receptor GPS marca Ashtech modelo Eurocard en la mayoría de minas que utilizan la revisión D del Dispatch.
- Antena UHF modelo Dipolo marca Sinclair.
- Antena GPS de alta o baja precisión y cantidad dependiendo si es equipo de baja o alta precisión, según **figura 18**.

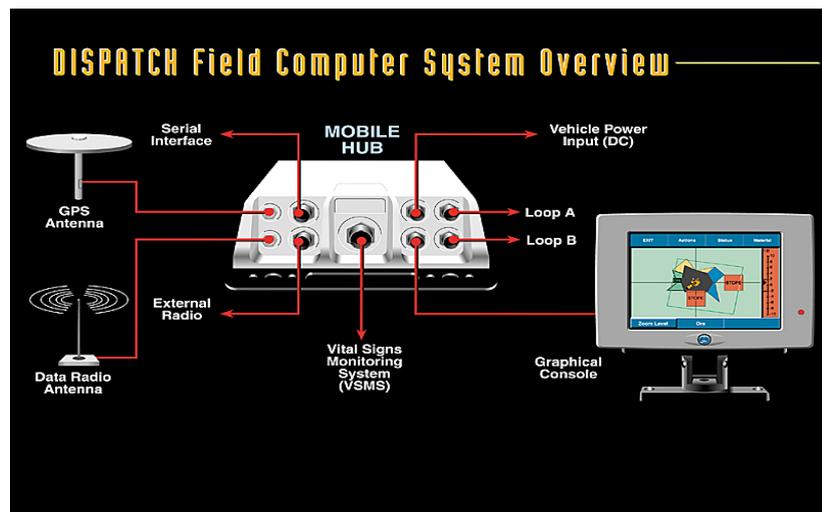


Figura 18

## 6. CONCEPTOS DISPATCH

### 6.1 LPTRUCK

Tipos LPTRUCK son grupos de camiones clasificados según el tamaño del camión y cuando es posible, la velocidad promedio de

carga que dichos tipos de camiones registraron al trabajar en ciertas palas (también clasificadas según tipo) durante un periodo (tres meses por lo menos). El propósito es informarle al modelo de PD qué tipos LPTRUCK tiene su flota de acarreo, de esta forma, cuando el modelo de PL asigna los tipos LPTRUCK a las rutas de PL, la PD sabrá cuáles camiones puede asignar a cuáles rutas, **figura 19**.

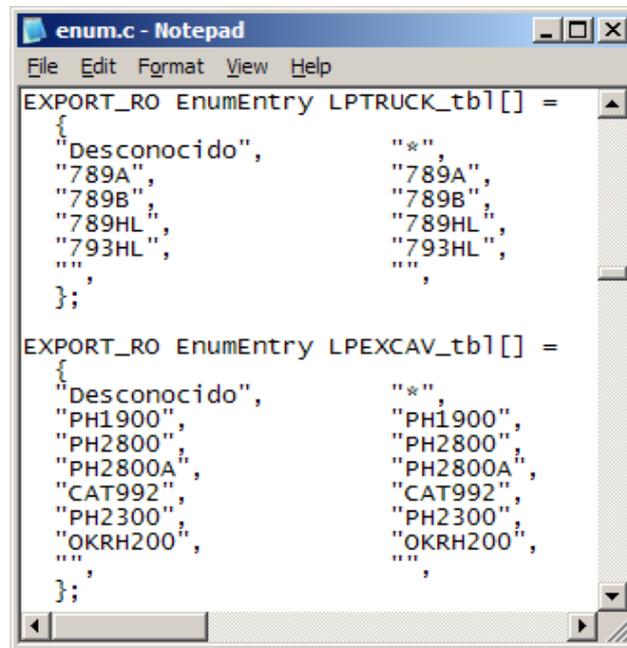
Modulo		Ayuda	
Canion: C123			
Accion	Enviar Mensaje	Asignar a: NINGUNA	
Estado	Razon	Comentario	
Operativo	HRS EFECTIVAS EN MINA	-	
Ley	Material	Panel	
ID: CV2468-047/SPAL-1	Tipo: Sulfuro P A	ID: 123	
Asig. Fija	Restriccion	TKPH	
Excav: P07	CF10	Actual: 0.0	
Dump: -	-	Max: 1350.0	
Region: NINGUNA	-	Tamano Vacio: 146.2	
Ubicacion	Combustible		
Actual: Nodo 1322	Combustible Restante, Litres: 1313		
Proximo(a): Chancador MILLCHAN	Tamano del Tanque, Litres: 1350		
Ultimo GPS: 1322	Percent Remaining: 97.3		
Misc.	Operador		
Tipo: Cat-793D2	Numero (ID) Actual: 00064882		
Size, Tonnes: 237.5	Nombre Actual: ELIAS ROCA		
Cargas Actuales: 5	Numero (ID) Permanente: NINGUNA		
Actual Payload: 230.8	Nombre Permanente: NINGUNA		
Palas Actuales: P07	Grupo: Grupo 5		
Viajes de Retorno que Faltan: -			
Tiempo desde Mantenimiento, Hr: 0.0			
Cisterna/Camion de Capacitacion?: NO			
Factor de Velocidad: 1.0			
Puerto de Radio: -66			
Proxima Accion: Llegada			
Expected Time Min.: 7.2			
Terminar			

Figura 19

## 6.2. LPEXCAV

Quando se deciden añadir una nueva pala a la flota, es necesario asignarle un Tipo LPEXCAV pues con este tipo trabajara la PL. el tipo LPEXCAV se ingresa en la tabla LPEXCAV\_tbl en el

archivo *enum.c*. La PL utiliza los Tipos LPEXCAV para determinar el mejor Tipo LPTRUCK para las rutas de PL, **figura 20**.



```
enum.c - Notepad
File Edit Format View Help
EXPORT_RO EnumEntry LPTRUCK_tbl[] =
{
  "Desconocido",      "*"
  "789A",            "789A",
  "789B",            "789B",
  "789HL",           "789HL",
  "793HL",           "793HL",
  "",                ""
};

EXPORT_RO EnumEntry LPEXCAV_tbl[] =
{
  "Desconocido",      "*"
  "PH1900",           "PH1900",
  "PH2800",           "PH2800",
  "PH2800A",         "PH2800A",
  "CAT992",           "CAT992",
  "PH2300",           "PH2300",
  "OKRH200",         "OKRH200",
  "",                ""
};
```

Figura 20

### 6.3. TECNOLOGÍA SATELITAL Y GPS

La guerra fría del siglo pasado entre los bloques socialista y capitalista representados por el Pacto de Varsovia y la Organización del Tratado del Atlántico Norte, dio origen al espionaje donde la tecnología satelital nació y comenzó a evolucionar. NAVSTAR y GLONASS fueron las tecnologías satelitales que los Estados Unidos y la Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas desarrollaron para el propósito bélico. Hoy en día, después que la guerra fría ha pasado a la historia, la tecnología satelital, ahora abierta para uso civil, es

aplicada al contexto de la tecnología de control de procesos mineros, donde los sistemas de gestión tratan de sacarle el mayor provecho.

Por razones de seguridad, el Departamento de Defensa de los EE.UU. incluye errores en la información que proviene de las señales de satélite de NAVSTAR IV GPS. Como consecuencia, para proveer posicionamiento de baldes de pala de alta precisión, se requiere de una estación base terrenal de referencia para calcular los errores en dichas señales. La estación base terrenal de referencia puede calcular los errores de satélite porque está ubicada en un punto fijo y conoce sus coordenadas exactas de X e Y. Calcula la diferencia entre la ubicación que el satélite dice tener y la ubicación de la estación de referencia y envía las correspondientes correcciones (conocidas como *correcciones diferenciales*) de cada satélite, a las palas. Cada receptor GPS a bordo de las palas usa dichas correcciones diferenciales, junto con la información que está recibiendo de los satélites, para determinar la ubicación real de cada balde.

Es necesario enviar correcciones frecuentemente (por lo menos una corrección cada segundo) a las palas para proveer posicionamiento de alta precisión). Por lo tanto, el sistema usa un canal de radio de 9600 baudios para manejar el volumen elevado de tráfico.

DISPATCH provee informes completos de GPS que permiten monitorear equipo en tiempo real o en forma histórica obteniendo los siguientes beneficios:

- Desplegar la ubicación actual de equipos en forma gráfica, usando el programa de Gráficas de Mina de DISPATCH permitiendo el rastreo completo de equipo móvil. Determinar la ubicación de equipos específicos en tiempo real permite reparar equipos más rápida y eficientemente. Con las huellas del GPS del turno nos aseguramos que los camiones estén botando su material en las ubicaciones correctas, especialmente de noche.

- Se eliminan las balizas físicas para la ubicación de equipos por lo que es posible crear, desactivar, mover y eliminar balizas tomando acción inmediata desde la oficina de la mina.

- Generar un patrón de puntos de GPS para reflejar la actividad de los equipos, **figura 21**, así como generar reproducciones gráficas animadas de la actividad de los equipos para un turno específico o un rango de turnos, permiten a la administración encontrar oportunidades de mejora por la evaluación de la actividad minera.

Baliza Virtual 2111 funciona exitosamente. Los equipos pasan por el área de cobertura de dicha baliza.



Figura 21

## 6.4 BALIZA VIRTUAL

Las balizas son elementos sensores de forma semiesférica (domo). Las balizas virtuales de ubicación (no son balizas físicas) proveen el marco para el rastreo de equipo móvil con el GPS DISPATCH, principalmente camiones. También usa balizas en las palas y en las ubicaciones (como por ejemplo, puntos de comunicación [callpoints], depósitos, chancadoras, botaderos, talleres y estaciones de combustible), **figura 22**.



Figura 22

Las balizas virtuales forman parte de la base de datos de DISPATCH. Cada baliza en la base de datos tiene coordenadas de norte y de este (que corresponden a una pala o ubicación en la mina), un número de identificación y un área de cobertura que rodea la baliza. La información de cada baliza está en la memoria local del equipo móvil y se actualiza frecuentemente a través de la red de radio de DISPATCH (para informarle a los equipos cada vez que se crea, se desactiva, se mueve o se elimina una baliza).

Para que sean válidas las lecturas de ubicación de GPS, es necesario que los receptores (antenas) de GPS en el equipo móvil tengan una vista despejada de por lo menos cuatro satélites GPS. Tres satélites de los cuales obtener coordenadas aproximadas de X, Y y Z y otro para que las coordenadas sean más exactas. Este cuarto satélite compensa la diferencia, en tiempo, entre los relojes atómicos precisos de los satélites y los relojes de los receptores de GPS, figura 23.

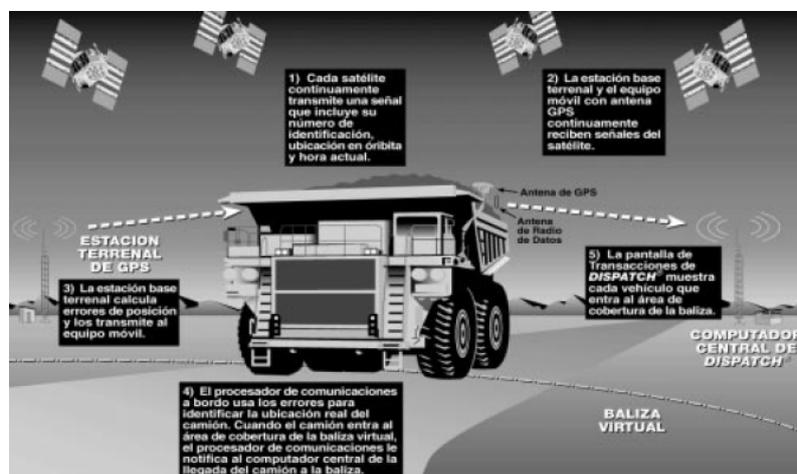


Figura 23

Existen varios tipos de balizas y su uso depende de la funcionalidad que se quiera dar en la operación, **figura 24**.

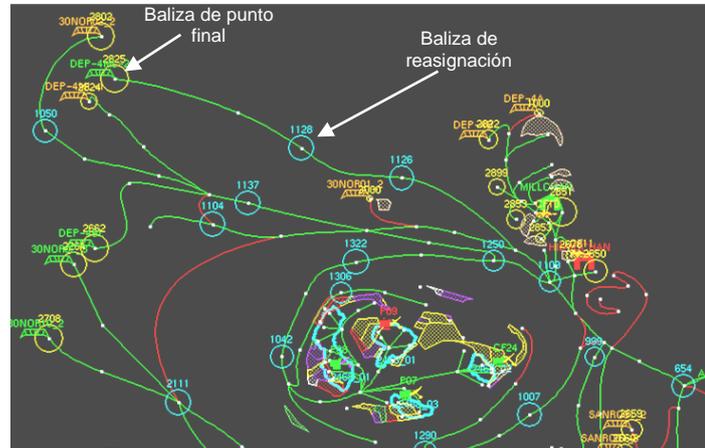


Figura 24

## 6.5. NIVEL DE CAPACIDAD MAXIMA

El nivel de capacidad máxima se refiere al porcentaje máximo de la velocidad de carga de la pala que será alcanzado con la solución de PL. Se decide cuál será dicho porcentaje (de 0% a 150%). Se refiere a la velocidad *actual* de carga de la pala y dicha cifra se calcula con base en el promedio de las últimas (generalmente 4) cargas del camión. Por ejemplo, si la velocidad de carga de la pala es de 3000 toneladas por hora (tph) y se desea que la PL cubra a la pala solamente hasta 2400 tph, podemos asignar como 80% el nivel de capacidad máxima. En ese caso, la PL le asigna una velocidad de carga de 2400 tph en la solución de PL. Para deshabilitar a una pala, se asigna 0% como el nivel de

capacidad máxima. Para crear un superávit de camiones en una pala de alta prioridad, le asignamos 150% como el nivel máximo. Hay que tener muy en cuenta que este porcentaje del nivel de capacidad máxima no se refiere a la meta de producción que queremos para la pala, sino a un límite máximo por debajo del cual debe permanecer la PL. En algunas ocasiones la PL no alcanza a cubrir la velocidad de carga especificada en el nivel de capacidad máxima. Por ejemplo, el nivel de capacidad máxima de la pala puede ser 80% y la PL puede estar cubriendo a la pala en un 60%, debido a un déficit de camiones en la mina.

## 6.6. PRIORIDADES DE PALAS

Cuando hay déficit de camiones, las palas compiten por los camiones (es decir, los recursos de acarreo). Por lo tanto, algunas palas resultan *subalimentadas* (no reciben suficientes camiones para cubrir sus niveles de capacidad máxima) o *no son utilizadas* y esto puede interferir con las metas de producción. Para evitar esto y cumplir con las metas de producción, es necesario que la prioridad de cada pala (Alta, Baja o Normal) esté registrada con la PL, **tabla 2**.

Prioridad	Definición
Alta	La PL favorece a las palas de prioridad Alta. Son las primeras en recibir camiones cuando hay déficit de camiones.
Normal	En la jerarquía de prioridades, las palas con prioridad Normal están por debajo de las que tienen prioridad Alta pero por encima de las que tienen prioridad Baja.
Baja	Las palas de prioridad Baja son las últimas en recibir camiones cuando hay déficit de camiones.

**Tabla 2**

Con esta información, la PL subalimenta a las palas de baja prioridad antes de subalimentar a las de alta prioridad. Los despachadores generalmente clasifican como palas de *alta* prioridad a aquellas que viajan largas distancias y que cargan minerales claves para la producción; además, asignan 100% como el nivel de capacidad máxima para las palas de alta prioridad para asegurar que reciban suficientes camiones. Generalmente se clasifican como palas de *baja* prioridad a aquellas que viajan cortas distancias y que no son tan importantes para la estrategia de la mina.

Solamente es necesario asignar prioridades cuando hay déficit de camiones en la mina, es decir, cuando no hay suficientes camiones disponibles para permitirle a la PL asignar velocidades de alimentación de acarreo y cubrir los niveles de capacidad máxima de todas las palas en la solución de PL. De lo contrario la PL supone que hay una abundancia de camiones y que no sería lógico asignar prioridades. Los niveles de prioridad únicamente permiten asignar prioridades a aquellas palas trabajando con el mismo tipo de material. Por ejemplo, una pala de *mineral* de prioridad Alta tiene prioridad sobre una pala de *mineral* de prioridad Normal. Sin embargo, una pala de *mineral* de prioridad Alta no necesariamente tiene prioridad sobre una pala de *estéril* de prioridad Normal.

Por lo tanto, cuando se utilizan las prioridades, es necesario asignar un **esquema global de prioridades** según el tipo de material para poder clasificar a las palas de mineral por encima de las palas de estéril (o las palas de estéril por encima de las palas de mineral), dependiendo de los requisitos actuales de producción. Por ejemplo, si la operación de estéril es de máxima importancia en cierto momento, es posible establecer el esquema global de prioridades por tipo de material de tal manera que las palas de estéril estén por encima de las palas de mineral en la jerarquía de prioridades.

El esquema global de prioridades según tipo de material se modifica utilizando la opción *¿Usar Prioridad Global de Material?* Dentro de los *Parámetros Global de Programación Lineal*. Esta opción permite configurar los siguientes esquemas globales de prioridades según el tipo de material:

- Mineral igual a Estéril.
- Mineral sobre Estéril.
- Estéril sobre Mineral.

Luego de asignar una prioridad a cada pala y de crear un esquema global de prioridades según el tipo de material, la PL asigna un nivel de prioridad a cada pala. El nivel de prioridad (de 1 a

6) es la prioridad general de dicha pala con base en la siguiente información:

- El esquema actual y global de prioridades según el tipo de material (Mineral igual a Estéril, Mineral sobre Estéril, Estéril sobre Mineral), **tabla3**.

- El tipo de material de la pala (mineral o estéril) y
- La prioridad (Alta, Normal o Baja).

Esquema	Definición
Mineral igual a Estéril	En este esquema, la prioridad de los materiales es equivalente; es decir, ningún material es más importante que el otro. La prioridad Alta está por encima de la prioridad Normal, que a su vez está por encima de la prioridad Baja. Por ejemplo, las palas de mineral y estéril de prioridad Alta tienen la misma prioridad, pero la pala de estéril de prioridad Alta está por encima de la pala de mineral de prioridad Normal.
Mineral sobre Estéril	En este esquema, las palas de mineral tienen prioridad sobre las palas de estéril. Por lo tanto, la jerarquía en importancia y prioridad es: mineral Alta, mineral Normal, mineral Baja, estéril Alta, estéril Normal, estéril Baja. Las palas de estéril de prioridad Baja serían los últimos en recibir camiones si hubiera déficit.
Estéril sobre Mineral	En este esquema, las palas de estéril tienen prioridad sobre las palas de mineral. Por lo tanto, la jerarquía en importancia y prioridad es: estéril Alta, estéril Normal, estéril Baja, mineral Alta, mineral Normal, mineral Baja. Por lo tanto, las palas de mineral de prioridad Baja serían los últimos en recibir camiones si hubiera déficit.

**Tabla 3**

El nivel 1 es el nivel de más alta prioridad y el nivel 6 es el nivel más bajo. Por ejemplo, si el esquema actual y global de prioridades es Mineral sobre Estéril y una pala está trabajando con mineral de prioridad Alta, el nivel de prioridad de dicha pala sería 1.

## 6.7. DIGFACTOR

El factor de excavación es un valor entre 0.0 y 1.0 que expresa la velocidad de carga registrada por cada tipo LPTRUCK (en comparación con otros Tipos LTRUCK) al trabajar en una pala específica durante un periodo extendido (generalmente de tres meses, o más). Los factores de excavación se almacenan en la tabla `digfactor_tbl` que es una matriz que despliega el factor de excavación para cada combinación de pala/Tipo LPTRUCK.

El Tipo LPTRUCK con el promedio más alto con respecto a una pala específica recibe un factor de excavación de 1.0 para dicha pala, lo cual significa que es el mejor Tipo LPTRUCK para la pala. Un Tipo LPTRUCK con una velocidad de carga inferior (con respecto a la pala) recibe un factor de excavación menor, por ejemplo, 0.85. La PL utiliza el digfactor para determinar cuál Tipo LPTRUCK asignar a cuál ruta de PL.

Para generar factores de excavación, el administrador Dispatch corre el informe *Factores/Velocidades Históricas de Excavación* de un periodo de tres meses o más. Para garantizar asignaciones óptimas, los factores de excavación que aparecen en dicho informe son transferidos a la tabla `digfactor_tbl` sin modificación. El Tipo LPTRUCK Desconocido (*Unknown*) tiene un factor de excavación de

1.0, con el fin de permitirle a la PL asignar camiones desconocidos a las rutas de PL. Si se le asigna un factor de excavación de 0.0 a un Tipo LPTRUCK con respecto a cierta pala, dicho Tipo LPTRUCK tendrá una restricción definitiva hacia dicha pala, **figura 25**.

Desc.	P&H1900	P&H2800	P&H2800A	CAT992	P&H2300	O&KRH200	Comentarios
1.00,	1.00,	1.00,	1.00,	1.00,	1.00,	1.00,	/* Desconocido
1.00,	1.00,	1.00,	1.00,	0.47,	1.00,	1.00,	/* Cat789A
1.00,	1.00,	1.00,	1.00,	0.47,	1.00,	1.00,	/* Cat789B
1.00,	0.98,	0.97,	0.97,	0.10,	0.98,	0.91,	/* Cat789HL
1.00,	0.25,	1.00,	1.00,	0.10,	0.89,	0.89,	/* Cat793HL

**Figura 25**

Para determinar si es necesario actualizar el promedio de los factores de excavación de los Tipos LPTRUCK de la flota de camiones, es necesario utilizar la pantalla *Generación de Factores PL de Excavación* para crear un informe Tipo LPTRUCK de los últimos tres meses. Si al comparar los resultados de este informe con el promedio de factores de excavación del tipo LPTRUCK en la tabla digfactor\_tbl, es decir que existe una gran diferencia entre los factores del informe y los factores de la tabla, es función del administrador Dispatch actualizar estos datos en el archivo enum.c y luego realizar el procedimiento para compilar los archivos C para generar los archivos objeto O.

## 7. CICLO DE CARGUIO Y ACARREO.

$$T_C = T_{\text{ESP.EN CARGA}} + T_{\text{CARGA}} + T_{\text{V.CARGADO}} + T_{\text{ESP.DESCARGA}} + T_{\text{DESCARGA}} + T_{\text{V.VACIO}}$$

$f$ (Habilidad operador;  
granulometría; Calidad  
Voladura; Capacidad del  
Equipo de carguio)

$f$ (Vel.Camiones; Dist.  
y Pendientes de Ruta)

$f$ (Disponib.Chancador;  
Granulometría;  
Capacidad Chancadora)

$f$ (vel.Camiones;  
Dist. y pendientes  
de Ruta)

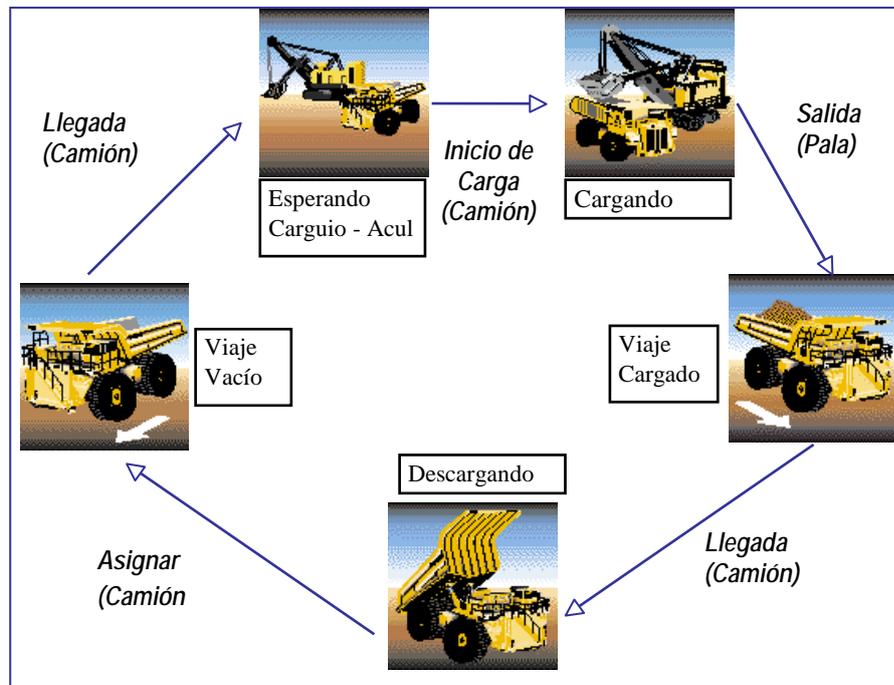
$$T_C = K1 + T_{\text{ESP.EN CARGA}} + T_{\text{ESP.DESCARGA}}$$

Los eventos del **ciclo de acarreo** está compuesto por:

**Tiempo de espera por pala** está referido al tiempo que el camión espera para ser cargado después de que ha llegado al frente de carguio. El tiempo de espera termina cuando la pala ha dado salida al camión anterior. En caso de no haber camión en carga el tiempo de espera se hace cero, generándose el tiempo se aculatamiento (spot) cuando el camión es detectado por la baliza de autollegada de la pala.

**Tiempo de aculatamiento** es el tiempo que toma el camión en cuadrarse para ser cargado. Este es un tiempo estimado en función a las acciones de salida del camión anterior en caso de cola y del tiempo de llegada si es que la pala está esperando por camión, con la acción de inicio de carga colocado por el operador al sentir el primer pase de carga. El Operador del camión es quien tiene principalmente incidencia en este tiempo.

**Tiempo de carga** es el tiempo tomado para cargar el camión, pero este tiempo es tomado en Dispatch si tener en cuenta el tiempo que la pala se ha tomado para cargar el primer pase ya que comienza a correr cuando el operador presiona “cargando” al sentir la descarga del primer pase y termina cuando el operador de pala da salida al camión con la interface (pedal). La supervisión debe hacer colocar correctamente la pala en su frente de trabajo. El operador de la pala; es el directamente responsable de cargar rápido y adecuadamente al camión, **figura 26**.



**Figura 26**

**Tiempo de viaje lleno** comienza una vez que el operador de pala ha dado salida al camión luego de cargarlo. El operador del camión tiene incidencia directa en este evento, con un manejo adecuado, velocidad, etc. y también relacionado al entrenamiento que tenga. La velocidad esta

en función del estado del equipo y del estado de la carretera, el equipo auxiliar que trabaja en este mantenimiento de vías, tiene también incidencia en el viaje vacío y viaje lleno.

**Tiempo de espera para descargar** es el exceso de tiempo en el punto de descarga entre la detección del camión por la baliza de auto llegada al botadero y la asignación cuando sale de la baliza del punto de descarga. Esto es posible debido a que el Dispatch guarda un valor promedio de descargas así como se puede manejar el momento mismo de la descarga por medio de sensores que indiquen el momento en que el camión empezó a bascular. Este tiempo es responsabilidad del despacho pues dependen de la asignación de los camiones por una correcta configuración del Dispatch durante el turno.

**Tiempo de descarga** es el tiempo que demora el camión en depositar su carga en el botadero o en la chancadora.

**En los botaderos** el operador del tractor de orugas es el directamente responsable de mantener en las mejores condiciones al botadero, es decir limpio, con buena berma y con un área que no este restringida. El supervisor tiene la responsabilidad de acondicionar- chequear la zona de la descarga y sugerir la estrategia mas adecuada.

**En chancado** el operador del camión con su calidad de actor en la interacción con el personal de chancado así como la supervisión son responsables. El despachador tiene todos los elementos para coordinar con el operador de canchado la estrategia de la frecuencia de la descarga para evitar posibles esperas de camión por la chancadora. El supervisor tiene la responsabilidad de coordinar con el jefe de turno de Chancado, el manejo operativo en el turno. Se debe de evaluar la fragmentación y comparar con la productividad de la chancadora y de la mina.

**Tiempo de viaje vacío** comienza luego que la baliza del punto de descarga a asignado al equipo a un punto de carguio o cuando el operador a puesto asignar después de descargar. Las responsabilidades y oportunidades de mejora son compartidas con el viaje lleno.

Según lo explicado se deduce que es responsabilidad del Dispatch la correcta asignación para no tener esperas por pala ni en puntos de descargas. Otro esquema del ciclo de carguio y acarreo clarificara mejor los eventos del ciclo así como las acciones que se ejecutan para dar inicio y final a cada evento del ciclo, **figura 27**.



**Figura 27**

El **Dispatch** tiene injerencia en los **tiempos de espera** ya que estos están sujetos a la **correcta asignación** producto de la adecuada configuración de los parámetros del sistema en el turno. Es por esto que:

$$\text{TC} = K1 + T \text{ Esp.por pala} + T \text{ Esp.Descarga}$$

El **Ciclo de carguio** consta de dos etapas:

**Tiempo de carga** que es el mismo tiempo que se guarda para cada camión y que es el tiempo tomado para cargar el camión, (Dispatch no tiene en cuenta el tiempo que la pala se ha tomado para cargar el primer pase). Comienza a correr cuando el operador del camión presiona “cargando” al sentir la descarga del primer pase y termina cuando el operador de pala da salida al camión con la interfase (pedal).

**Esperando por camión** comienza cuando el operador de pala da salida al camión que termino de cargar y no hay otro camión que ha llegado al frente de carguio, ya sea por auto llegada o por presionar la acción llegada en su Goic.

Por lo que el ciclo de carguio es:

$$\text{TCcarguio} = T \text{ Carga} + T \text{ Esp. Camión}$$

Donde solo el tiempo de espera por camión es de responsabilidad de una correcta asignación de la flota de acarreo, por lo tanto de responsabilidad del despacho mina.

De los ciclos de carguio y acarreo se desprenden los KPIs primarios y fundamentales de cualquier sistema de despacho:

- Espera de camión por pala.
- Espera de pala por camión.
- Espera de camión en puntos de descarga (chancadora).
- Espera por camión en punto de descarga (chancadora).

### **7.1. AUTOLLEGADA Y AUTOASIGNACION**

Una buena práctica es trabajar con la configuración de balizas para autollegada y autoasignacion. La aplicación del auto llegada y auto asignación de los camiones en Pala y Botadero, se implemento como parte del BIT DE TRANSPORTE en Cerro Verde con la finalidad de buscar un valor standard en cada uno de los eventos del ciclo de acarreo como son:

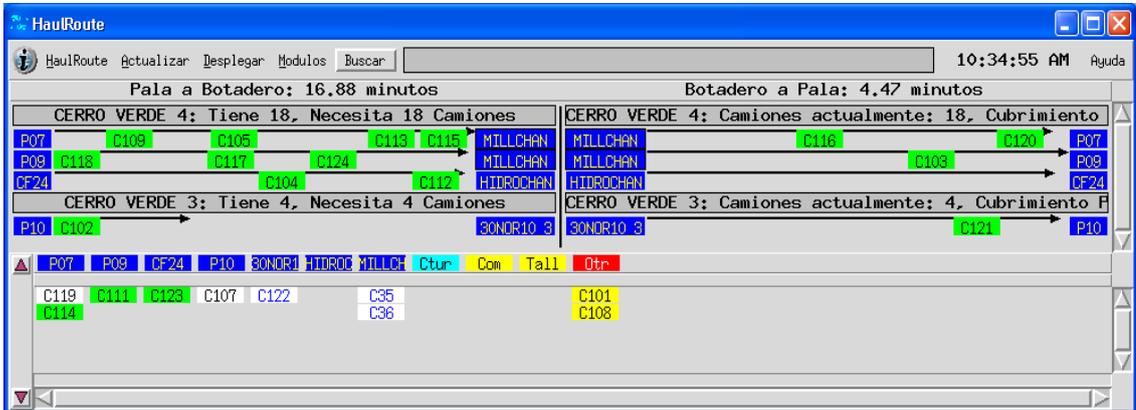
- El tiempo de Viaje Vacío,
- El tiempo de Espera de Camión,
- El tiempo de Acuatamiento,
- El tiempo de Carguío.
- El tiempo de viaje Lleno, y
- El tiempo de Descarga.

Esto ha permitido que nuestros datos por cada evento en el ciclo tengan una menor varianza y mantenernos en los valores óptimos ya que la medida de cada uno de los eventos o elementos se genera de manera automática y con mayor precisión; el único momento durante el ciclo de acarreo que el operador del camión Inter-actua es cuando debe de colocar el inicio del carguío, al momento que la pala descarga el primer cucharón en la tolva. Los demás registros se generan automáticamente.

## **8. MONITOREO DE LAS OPERACIONES**

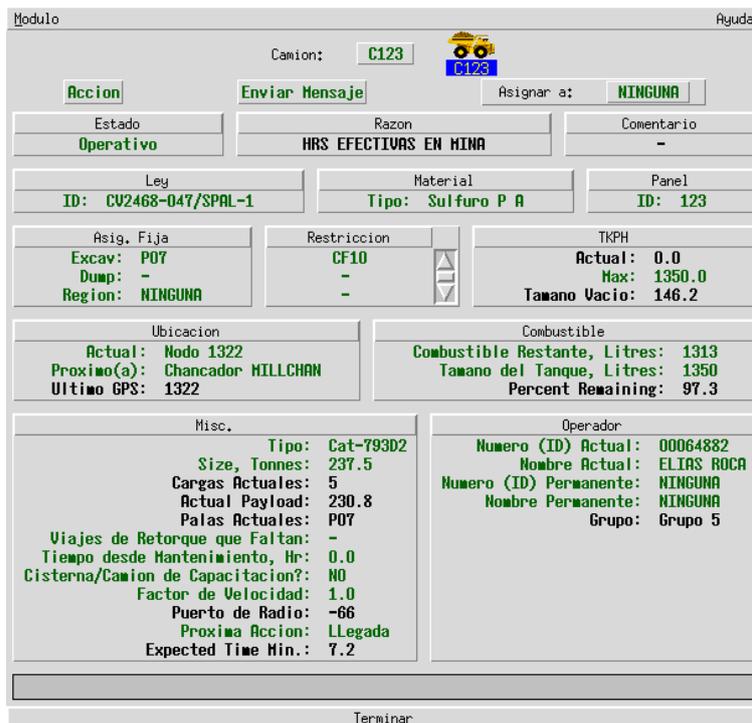
Para monitorear los circuitos de producción en la solución actual de PL, DISPATCH incluye una pantalla denominada la *Ruta de PL*. Es un despliegue de gráficas en línea, a color, que muestra las rutas de PL cargadas y vacías, para cada circuito de producción. También muestra, entre otras cosas, la posición actual de cada camión viajando por las rutas de PL el estado y la ubicación de todo equipo que se encuentra operativo, fuera de servicio, en reserva y en demora en las rutas de PL y en los puntos de destino (por ejemplo, palas, botaderos, talleres, áreas de reabastecimiento de combustible y áreas de cambio de turno). En la pantalla aparecen iconos rectangulares de distintos colores representando a cada equipo. En cada rectángulo aparece el número de identificación del equipo. Los equipos operativos aparecen de azul o de verde, mientras que los equipos en demora aparecen de amarillo (éstos son los colores

predefinidos), los equipos fuera de servicio aparecen de rojo y los equipos en reserva en amarillo, **figura 28**.



**Figura 28**

Si DISPATCH calcula que un camión o pala está demorado en cumplir con una asignación y/o parte del ciclo, el icono de dicho equipo (en pantalla) se convierte en rojo y comienza a encenderse y apagarse intermitentemente para alertarnos de dicha situación, **figura 29**.



**Figura 29**

En cualquier momento del turno el despachador puede consultar datos de cualquier equipo, consultar el tipo de material que carga una determina pala, reasignar camiones por estrategia de las operaciones, enviar mensaje para no congestionar la radio de comunicaciones verbales mediante la siguiente pantalla.

### 9. CLASIFICACION DE TIEMPOS EN DISPATCH

La gestión y clasificación de tiempos es de suma importancia en un sistema de despacho. La gestión de los estados de tiempo en el sistema de despacho de Modular para la correcta asignación de equipos son:

**Operativo** que hace referencia al tiempo que el equipo esta realizando un trabajo y donde el operador ha ingresado la acción de operativo seguido de su registro y el horometro del equipo. Este tiempo es en si el que debería acumular el tiempo de ciclo del equipo. Este tiempo es incluido en el cálculo de la asignación. Se crean como operativos tiempos que se asignan a trabajos especiales o a proyectos que se quiere controlar mediante asignaciones automáticas de tiempo (que trataré en la parte de oportunidades de mejora con el sistema), **figura 30**.

<input type="button" value="Inicio"/> <input type="button" value="Final"/> <input type="button" value="Arriba"/> <input type="button" value="Abajo"/> <input type="button" value="Imprimir"/> <input type="button" value="Actualizar"/> <input type="button" value="Eliminar"/> <input type="button" value="Ayuda"/> <input type="button" value="Salir"/> <input type="button" value="Config"/> <input type="button" value="Select"/>							
DCV UTILERIA DE RAZONES							
Tipo de Razon: <b>Operativ</b>							
CODIGO	CATEGORIA	DESCRIPCION	AUTO	MANT.	DEMOR	DEFECTO?	ELIM
0400	Efectivo	HRS EFECTIVAS EN MINA	-	NO	-	-	Elim
0410	Efectivo	HRS EFECTIVAS CERRO NEGRO	-	NO	-	-	Elim
0501	Efectivo	TRABAJOS PARA CHANCADO CRUSH	-	NO	-	-	Elim
0502	Efectivo	TRABAJOS PARA LIXIVIACION	-	NO	-	-	Elim
0522	Efectivo	CULVERT	-	NO	-	-	Elim
0523	Efectivo	CARRETERA CONCENTRA-KUWAIT	-	NO	-	-	Elim
0524	Efectivo	UTA CONCENTRA TINAJONES	-	NO	-	-	Elim
0550	Efectivo	GEOLOGIA	-	NO	-	-	Elim
0551	Efectivo	PRESA RELAVES	-	NO	-	-	Elim
0552	Efectivo	CONCENTRADORA	-	NO	-	-	Elim

Figura 30

**Demora** hace referencia a las demoras operativas y que pueden ser demoras programadas como demoras no programadas. Este tiempo es tomado en cuenta para el calculo de asignación dinámica ya que a cada demora se le coloca tiempos estimados, de tal forma que la PL toma en cuenta este equipo como operativo una vez que ha pasado el tiempo estimado colocado. Se suele clasificar un tiempo de inspección de equipos que es en si un tiempo corto por inspección de mantenimiento, como demora, para lograr que el sistema tome en cuenta el equipo en inspección luego que pase el tiempo estimado. Claro que este tiempo se asigna en la misma pantalla de estatus para que se cargue al cálculo de los KPIs que afectarán a mantenimiento, **Figura 31**.

Inicio Final Arriba Abajo Imprimir Actualizar Borrar Ayuda Salir Config Select										
DCV UTILERIA DE RAZONES										
Tipo de Razon: Demora										
CODIGO	CATEGORIA	DESCRIPCION	AUTO	TIEMPO MIN	MANT.	DEMOR	DEFECTO?	ELIM		
0452	Demora Operacion	MANTTO. DE LAS OPERACIONES	NO	4	-	-	-	Elim		
0456	Demora Operacion	CAMBIO BROCAS Y BARRENOS	NO	65	-	-	-	Elim		
0457	Demora Operacion	INSPECCION EQUIPO OPERACIONES	NO	6	-	-	-	Elim		
0458	Demora Operacion	CAMBIO DE TURNO	NO	5	-	-	-	Elim		
0459	Demora Operacion	PARADA POR ACCIDENTE	NO	220	-	-	-	Elim		
3510	Manten. No Prog.	INSPECCION EQUIPO MANTTO	NO	5	-	-	-	Elim		
4501	Demora Operacion	CHANCADORA/CHUTE ATORADO	NO	15	-	-	-	Elim		
4502	Demora Operacion	DETECTOR DE METALES	NO	20	-	-	-	Elim		
4504	Demora Operacion	DESALINEAMIENTO DE FAJA	NO	50	-	-	-	Elim		
4506	Demora Operacion	MUESTREO	NO	15	-	-	-	Elim		
4507	Demora Operacion	REFRIGERIO	NO	30	-	-	-	Elim		
4508	Demora Operacion	TRASLADO DE EQUIPO	NO	6	-	-	-	Elim		
4509	Demora Operacion	CHARLAS CAPACITACION ENTRENA	NO	33	-	-	-	Elim		
4510	Demora Operacion	SERVICIO DE EQUIPOS	NO	25	-	-	-	Elim		
4511	Demora Operacion	DISPARO	NO	11	-	-	-	Elim		
4515	Demora Operacion	SOBRE FLUJO	NO	12	-	-	-	Elim		

Figura 31

**Reserva** ocurre cuando un equipo no es programado para trabajar estando este disponible por mantenimiento. También se asignan en Dispatch algunos tiempos operativos y demoras que no se deben tomar en cuenta para la asignación, **Figura 32**.

DCV UTILERIA DE RAZONES							
Tipo de Razon: Reserva							
CODIGO	CATEGORIA	DESCRIPCION	TIEMPO MIN				ELIM
			AUTO	MANT.	DEMOR	DEFECTO?	
0100	No Controlable	INTERRUPCION PROG.DE LA OPERA	-	NO	-	-	Elim
0101	No Controlable	FERIADO DOMINGO NO PROG.	-	NO	-	-	Elim
0200	No Controlable	ACCION DE LA NATURALEZA	-	NO	-	-	Elim
0201	No Controlable	PARADA NO CONTROLABLE	-	NO	-	-	Elim
0202	No Controlable	FALTA ENERGIA	-	NO	-	-	Elim
0203	No Controlable	CONDICIONES CLIMATICAS	-	NO	-	-	Elim
0204	Efectivo	MATRIMONIO	-	NO	-	-	Elim
0453	Demora Operacion	EQUIPO PARADO ESTACIONADO	-	NO	-	-	Elim
0504	Efectivo	TRABAJO IMPRODUCTIVO	-	NO	-	-	Elim
4500	Demora Operacion	FALTA INASISTENCIA OPERADOR	-	NO	-	-	Elim
4545	Demora Operacion	FALTA DE EQUIPO DE CARGUIO	-	NO	-	-	Elim

Figura 32

**Malogrado** hace referencia a los tiempos que son asignados para que mantenimiento realice la gestión de soporte preventiva o correctiva en los equipos. Este tiempo no se incluye en el cálculo de las asignaciones.

**10. KEY PERFORMANCE INDICATORS**

El manejo de KPIs esta basado en la conceptualización corporativa de la distribución de tiempos. La base de esta distribución de tiempos es la definición de cada razón de tiempo, garantizando que el benchmarking entre faenas se realice teniendo los mismos parámetros base.

En SMCV el modelo de distribución de tiempos es como se muestra en la siguiente, **tabla 4**.

			Retrasos de Función Demoras de Operación	Tiempo de funcionamiento (T de producción) Horas Efectivas
		Tiempo de Mantenimiento Demoras de Mantenimiento	Tiempo Disponible (T de operación)	
	Tiempo No Controlable	Tiempo Controlable		
No Programado	Tiempo Programado (antes 363 días y hora 365)			
<b>Tiempo Total (365 Días) Horas Calendarias</b>				

**Tabla 4**

Este modelo se enfoca en el Tiempo de Funcionamiento (horas efectivas) siendo este el tiempo de producción en que el proceso está generando una cantidad de producto medible, a diferencia del tiempo disponible que se presenta como el tiempo de operación. El propósito es maximizar el tiempo de producción, más que el tiempo de operación cuando el equipo puede estar operando pero no produciendo.

**El Tiempo Total** se divide en dos categorías: Tiempo Programado y Tiempo No Programado. Como el Tiempo No Programado (periodo de inactividad del emplazamiento minero) no tiene efecto en SMCV, el **Tiempo Programado** es igual al Tiempo Total.

**El Tiempo Controlable** es el tiempo durante el cual se requieren equipos o personal para realizar las actividades de operación o mantenimiento. Es también conocido en otras faenas como Tiempo Requerido.

**El Tiempo No Controlable** Es el tiempo en 'Standby', el tiempo en que el equipo no es requerido o no está disponible debido a condiciones o motivos que escapan al control directo de la administración del proceso. Por ejemplo: estructura de turnos, disputas laborales, feriado legal, fallas en el servicio que prestan terceros, desastres naturales declarados y otros eventos de fuerza mayor.

Nota: Cuando un proceso o equipo, estando en Tiempo No Controlable desarrolla actividades de operación o mantenimiento, ese tiempo deberá incluirse en el Tiempo Requerido.

Cuando un proceso o equipo es requerido para operar, se considera que está en tiempo de producción o en tiempo de demora (mantenimiento u operación). Los standby programados de equipos también se clasifican en este tiempo.

**Tiempo de funcionamiento** es el tiempo de producción efectiva durante el cual el proceso está generando una cantidad de producto medible, incluyendo aquellas actividades incidentales necesarias para mantener el ciclo de producción del proceso. Las actividades incidentales son aquellas que forman parte del ciclo inmediato, por ejemplo, los metros que debe avanzar una pala para continuar excavando, o el desplazamiento de una perforadora entre una perforación y otra, pero

excluye el traslado de una pala o perforadora a un nuevo frente de trabajo en otro banco.

**Tiempo de Demora** (Downtime) es el período de tiempo durante el cual un ítem no está realizando su función de producción requerida e incluye tanto el tiempo de retrasos de función (demoras operativas) como el tiempo de mantenimiento (demoras de mantenimiento). El tiempo de demora puede ser programado o no programado, de mantenimiento o de operaciones, incluyendo los retrasos debidos a la indisponibilidad de mano de obra, repuestos, instalaciones, movimientos, etc.

El tiempo de detención comienza cuando un ítem ya no está en condiciones de realizar su función requerida. Esto ocurre cuando:

1. El equipo ha fallado.
2. Mantenimiento toma el equipo para realizar el mantenimiento programado.
3. Operaciones esta realizando trabajos para asegurar la integridad de la operación.

El tiempo de detención debido a falla comienza al momento de detectarse la falla. El tiempo de parada incluirá todo el tiempo adicional necesario para alcanzar igual estado dentro del programa de trabajo que al momento de ocurrir la falla. El operador del equipo señala el comienzo

del tiempo de demora al Dispatch. Una vez terminada la actividad, mantenimiento entrega el equipo con una notificación a producción indicando que el equipo está “Disponible”. Producción debe verificar que las reparaciones se hayan completado de forma satisfactoria. Si las reparaciones no están terminadas satisfactoriamente, se registrará una nueva falla, comenzándose un nuevo registro de tiempo de detención.

**Tiempo Disponible** es el período de tiempo durante el cual un ítem está en condiciones de realizar su función requerida y se requiere realizar dicha función. Es el tiempo que tiene operaciones mina par realizar su gestión.

$$= (\text{Tiempo Programado} - (\text{Tiempo en No Controlable} + \text{Demoras de mantenimiento}))$$

$$= (\text{Horas Efectivas} + \text{Demoras Operativas})$$

**% Disponibilidad** es una medida de la cantidad de tiempo de demoras de los equipos, requerido para mantener al equipo disponible. Mide la gestión de mantenimiento. Es el porcentaje del tiempo controlable que mantenimiento ha dado disponible el equipo para la gestión de operaciones.

$$= \frac{(\text{Tiempo Controlable} - \text{Demoras de Mantto.})}{\text{Tiempo Controlable}} = \frac{\text{Tiempo Disponible}}{\text{Tiempo Controlable}}$$

**% de Utilización** es una medida de la utilización del Tiempo Disponible (Tiempo de Funcionamiento + Tiempo de Demora Operativa) durante el cual ocurre el Tiempo de Funcionamiento. La utilización mide la gestión de operaciones mina, indica que tan eficientemente se gestiona el equipo.

$$= \frac{\text{Tiempo de Funcionamiento}}{(\text{Tiempo de Funcionamiento} + \text{Tiempo de Detención del Proceso})} = \frac{\text{Tiempo de Funciona.}}{\text{Tiempo Disponible}}$$

**MTBF** es el tiempo medio entre fallas, una medida promedio de *confiabilidad* para flotas de Equipos. El tiempo entre fallas indica la frecuencia de ocurrencia de las fallas. ¿Cada que tiempo ocurre una falla?

$$= \frac{\text{Suma de Tiempos de Funcionamiento en el período de informe}}{\text{Cantidad total de fallas}}$$

**MTTR** es el tiempo medio de reparación, una medida promedio del Tiempo de Demora por Falla de un Equipo, esto indica qué tan rápido puede devolverse el equipo a producción después de una falla. El tiempo promedio para reparación indica cuanto demora mantenimiento en promedio para reparar una falla. ¿Cuánto se demoran en reparar?

$$= \frac{\text{El Tiempo Total de Detención por Fallas de Equipo en el período de informe}}{\text{Cantidad total de fallas}}$$

**Eficiencia de Activos** Una medida del uso del Tiempo Calendario durante el cual ocurre el Tiempo de Funcionamiento. Es un indicador corporativo para medir que tan eficientemente utiliza la unidad minera CV sus equipos. Sirve para el cálculo de utilidades.

$$= \frac{\text{Tiempo de Funcionamiento}}{\text{Tiempo Calendario}}$$

## 11. ASIGNACION DINAMICA DE CAMIONES

En la Fase 1 de la Estrategia de Optimización de DISPATCH (DOS), el modelo de PL crea una solución de PL de circuitos de producción en términos de rutas de PL y velocidades de alimentación y provee un plan maestro teórico para optimizar la operación de acarreo. En la Fase 2, el modelo PD ejecuta la solución de PL en tiempo real. El modelo de PD asigna camiones disponibles a palas y puntos de descarga con la meta de imponer las rutas de PL y lograr ciertas velocidades de alimentación en dichas rutas. Más detalle en Anexo 1. Hay dos tipos básicos de asignaciones de PD: asignaciones de camiones vacíos y asignaciones de camiones cargados.

Para camiones *vacíos*, la PD:

- Asigna camiones a palas.
- Reasigna camiones en los puntos de comunicación.

- Reasigna los camiones en ruta de una pala fuera de servicio.
- Crea asignaciones fijas entre camiones y palas al *final* del turno.

Para camiones *cargados*, la PD asigna camiones a puntos de descarga.

Antes de iniciar la tarea de generar asignaciones de camión, la PD necesita obtener la siguiente información del modelo de PL:

- Las rutas de PL que están en la solución actual de PL.
- Las velocidades de alimentación del material para cada ruta de PL.
- El Tipo LPTRUCK para cada ruta de PL

La PD también debe tener en cuenta la siguiente información:

- Debido a que se generan asignaciones en respuesta a solicitudes de camiones en tiempo real por medio de la red telemétrica de radio, éstas deben ser generadas rápidamente. (La PD es ideal para esta tarea porque es ejecutable en menos de un segundo, asegurando así que los camiones no permanezcan mucho tiempo en los puntos de descarga o en las palas esperando la siguiente asignación.)

- La llegada secuencial de camiones debe realizarse apropiadamente. Es decir, el enviar camiones a palas y puntos de

descarga en el *momento adecuado* es igual de importante que enviar el *número apropiado* de camiones.

- Es necesario encontrar un equilibrio entre la tarea de cumplir con las velocidades de alimentación calculadas por la PL y el uso de los recursos de acarreo y excavación (es decir, cumpliendo con los Tipos LPTRUCK y manteniendo al mínimo el tiempo de los camiones en cola y viajando).

Con el objetivo que el modelo de PD operar eficientemente, se tiene que evitar asignaciones fijas entre camiones y palas, puntos de descarga y regiones. También se tiene que evitar poner restricciones entre camiones, palas y tipo de material. Al calcular la solución de PL, la PL no tiene en cuenta las asignaciones fijas y restricciones. Por lo tanto, es posible lograr la mejor solución de PL si éstas no son utilizadas. Antes de crear la asignación, la PD evalúa si el camión será asignado al área de abastecimiento de combustible o si está programado para recibir mantenimiento. Las asignaciones de combustible y mantenimiento, las cuales DISPATCH genera automáticamente, tienen precedencia sobre las asignaciones de la PD. El anexo 6 trata al detalle la vía de asignación de un camión vacío.

## **12. CRITERIOS A TENER EN CUENTA EN ASIGNACION DINAMICA**

- La prioridad del trabajo del despachador es parar y levantar equipos cuando esto es necesario. Si se requiere y es necesario se deben parar camiones, **El objetivo es producir más con menos costo.**

- Las prioridades al inicio de turno (y durante el turno) se configuran modificando en forma adecuada la capacidad de los equipos de carguio en combinación con las prioridades de estos equipos. La capacidad de los botaderos y de equipos de carguio se puede regular para ajustar el envío de camiones. Hay que tener cuidado con las capacidades de los equipos de carguio que tienen prioridad uno.

- Cuando se requiere mantener o configurar una mezcla de materiales, se “juega” con la capacidad de los botaderos (destinos).

- Después de que el sistema esta estabilizado en dinámico, se puede variar las capacidades de los botaderos y palas para cumplir con los objetivos. Uno de los objetivos principales que tiene que perseguir el despachador es mantener el número de camiones actual y del LP igualados. Si estos dos números no se encuentran iguales, es decir por ejemplo si el número de camiones actual es mayor que el del LP, el sistema repartirá proporcionalmente los camiones. **El sistema dinámico necesita que estos dos números se mantengan iguales para que funcione correctamente.** Si la diferencia es por fraccionas, chequear el trabajo y la estrategia de minado, de acuerdo a ello se debe evaluar parar

equipos o no. Si el número de camiones actuales y de LP se encuentran igualados, se puede aumentar la capacidad de destinos y/o palas para incrementar los camiones, se tiene que mantener estos números iguales. Esto logrará que aumentemos la producción sin menguar la correcta asignación dinámica. Una buena práctica es botar en destinos alejados.

- Si se tiene un equipo de carguio A que se encuentra trabajando con un destino, el cual no es utilizado por otro equipo de carguio, y es prioridad utilizar este equipo (o botar en el destino asociado), se tiene que bajar la capacidad a los otros equipos de carguio para forzar que se le envíe camiones al equipo de carguio A. Se tiene que tener cuidado de respetar las prioridades y no bajar demasiado o no bajar nada a los equipos con primera prioridad.

- Se tiene que tener cuidado cuando se desee poner en stand by los camiones en sus destinos. Primero tienen que poner asignar luego de descargar y recién se puede poner en stand by, de lo contrario no reconoce la carga. Esto puede realizarlo más rápidamente el despachador si se desea que no se demore el stand by de estos equipos. El mismo trato se debe dar a los camiones que entren a refrigerio.

- En el cambio de turno en dinámico, se puede colocar menos tiempo a la demora por cambio de turno, de tal manera que los camiones se dirijan a los equipos de carguio aun antes que el operador ha llegado.

Esto evita que los camiones sean asignados a otros equipos de carguio donde no deberían ir y mantiene el mismo flujo de camiones para cada equipo de carguio. En Antamina se redujo el tiempo de espera por cambio de guardia de 10 a 5 minutos para esto.

- Hay que tener en cuenta que luego de realizados cambios en los parámetros del sistema, este tarda aproximadamente 20 minutos en regular el flujo, se tiene que esperar a que el sistema se “pare”, de lo contrario lo único que se lograra es “marear” al sistema.

- Si dos palas están trabajando muy cercan (en el mismo nivel por ejemplo) y una tiene cola de camiones y a la otra le faltan camiones, se puede realizar asignación manual de los camiones en cola, y de esta forma mejorar el trabajo.

- Mientras el *Starved Shovels* (necesidad de palas) en el LP requiera mas porcentaje (%) y se pueda aumentar mas capacidad en los botaderos, entonces podemos aumentar mas camiones, siempre cuidando que el numero de camiones actuales y de LP se encuentran igualados.

- No se originan trastornos en camiones actuales y camiones de LP por movimiento de los equipos de carguio (demora operativa). El trastorno se origina al variar el material y si se varia el destino asociado, según esto se tendría que “jugar” con las capacidades de los destinos. Si se piensa

realizar un movimiento de equipo más largo del que se pueda manejar (mucho tiempo), entonces se puede trasladar el equipo de carguio deshabilitándolo primero. Enseguida se tienen que subir las capacidades de los demás equipos de carguio para que los camiones que estaban asignados al equipo de carguio en movimiento, se asignen a los otros equipos. Cuando el equipo ha llegado y se pone operativo, se pueden volver a bajar las capacidades que se subieron a los otros equipos de carguio y de esta manera restablecer el flujo anterior.

En el movimiento de equipos de carguio se tiene que considerar:

1. Si se tuviera certeza que el equipo de carguio que se esta trasladando (deshabilitado) se utilizará cuando llegue a su destino y si los otros equipos de carguio ya estuvieran con 100% de capacidad (no pueden recibir mas camiones), entonces tenemos que poner en stand by los camiones que estaban asignados al equipo de carguio en movimiento y tendrían que ubicarse en el lugar donde trabajará el equipo de carguio.

2. Si los otros equipos de carguio tienen capacidad para recibir mas camiones y se les aumenta de capacidad para seguir utilizando los camiones del equipo de carguio en movimiento, se tienen que tener en cuenta que algunos minutos (5 – 10) antes que el equipo de carguio que se traslada deshabilitado llegue a su destino, se tiene que bajar la capacidad de los equipos de carguio que antes subimos (cuando

comenzó el movimiento de la pala) y seguidamente se tienen que pasar de deshabilitado a operativo el equipo de carguio en traslado, pero se le mantienen en demora operativa. Al llegar a su destino, se le saca de demora operativa al equipo de carguio logrando un ahorro en el tiempo de traslado del equipo de acarreo. Esto se realiza si se mantiene la misma cantidad de camiones que cuando se inicio el traslado del equipo de carguio, ya que si hubiera overtruck a lo mejor no se requiera bajar la capacidad a los otros equipos de carguio.

### 12.1. APLICACION PRÁCTICA

Un caso práctico que el sistema contempla y que se corre en algunas rutas y dependiendo del destino y tipo de material que se mina:

- Se tiene la pala 6 con prioridad 1 en tajo Santa Rosa, y la pala 9 con prioridad 3 en tajo Cerro Verde. La pala 6 Santa Rosa a Dep. 4BL y la pala 9 con mineral a PAD 1 que se encuentran cercano al Pit santa Rosa y cerca a pala 6, **figura 33**.

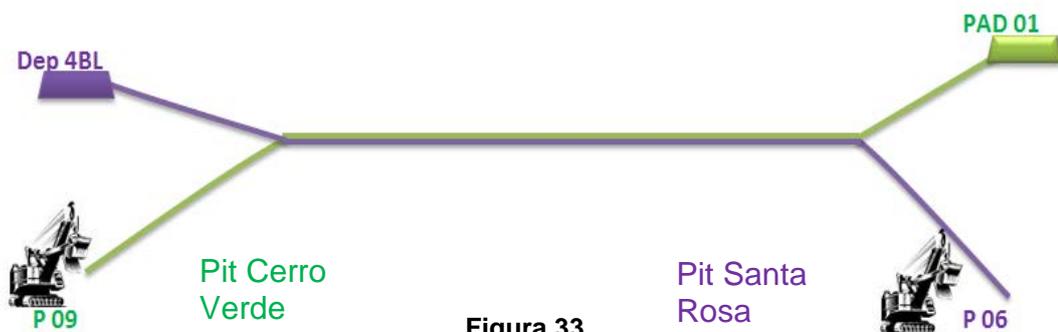


Figura 33

- Se subió la prioridad de la pala 9 ya que prácticamente utilizaba el mismo circuito (parte) de la pala 6.
  
- Para forzar el envío de camiones a la mezcla de camiones de la pala 6 y pala 9, se bajo la capacidad de los otros equipos de carguio así como sus prioridades. Esto sin descuidar las prioridades de la producción.
  
- Se logro que los camiones que salían de la pala 9 al PAD 1, al regresar ingresen a la pala 6 vacíos y suban con mineral al Dep. 4BL y luego retornen al nivel de la pala 9. De esta manera se utiliza en un buen tramo camiones llenos en ida y vuelta. Esto eleva la utilización (productividad efectiva) del equipo así como se mejora la producción.

## **CAPITULO V      MEJORAMIENTO DE CARGUIO Y ACARREO MEDIANTE EL DISPATCH**

### **1. MEJORAMIENTO DE LA PRODUCTIVIDAD EFECTIVA**

Los beneficios que involucra la tecnología son difíciles de calcular, porque ellos implican cambios en los procesos. La historia nos demuestra que cuando la tecnología es implementada adecuadamente, se traduce en beneficios que mejoran directamente la rentabilidad. Estos beneficios se pueden clasificar en directos e indirectos, pero es difícil identificarlos antes de implementarlos, por lo general se descubren con el tiempo.

Es un error el querer justificar este tipo de sistemas por un ahorro en la mano de obra en las áreas estadísticas, topográficas y administrativas. Lo que se debe tener muy en cuenta es que la cantidad de trabajo no desaparece, sino que se transforma, pues lo que desaparece son los trabajos de recopilación pero aumentan considerablemente los trabajos de control, de la misma manera ocurre con los tipos de profesionales y

perfiles de trabajo. Con estos sistemas ya no es un objetivo el obtener datos y no se gastan recursos extras para esto, ya que estas herramientas entregan mas información que la esperada, por lo tanto los esfuerzos están centrados en controlar y analizar los procesos.

El éxito que hace la diferencia entre las minas que poseen esta tecnología, esta centrado en aceptar que la aplicación en si generará cambios en la forma de trabajar y que este cambio debe ser administrado responsablemente por la gerencia. El sistema tiene su fundamento en disminuir los tiempos de espera tanto de la pala como del camión afectando directamente a la **productividad efectiva** del equipo ya que los equipos trabajan más eficientemente.

En función que se entienda que el sistema trabaja básicamente para disminuir las esperas de los equipos como producto de una buena asignación dinámica, entonces entenderemos la importancia de mantener corriendo óptimamente todos los elementos que componen este sistema como parte de una tecnología de control de procesos. La mejora de Acarreo y transporte mediante el Dispatch, con la tecnología que eso amerita (que es en el tema de este trabajo), tiene su base en la sustentación teórica que conlleva a entender como esta tecnología logra aumentar la productividad efectiva de nuestras flotas de carguío y acarreo cuando la plataforma tecnológica funciona eficientemente.

A continuación se explica como la mejora en la productividad efectiva de la flota de camiones es directamente proporcional a la mejora del uso del tiempo de ciclo por la disminución del tiempo de espera, razón de ser del truck Dispatch. Los números utilizados son solo con fines explicativos:

$$T_C = T_{\text{ESP.EN CARGA}} + T_{\text{CARGA}} + T_{\text{V.CARGADO}} + T_{\text{ESP.DESCARGA}} + T_{\text{DESCARGA}} + T_{\text{V.VACIO}}$$

$f(\text{Habilidad operador; granulometría; Calidad Voladura; Capacidad del Equipo de carguio})$

$f(\text{Vel. Camiones; Dist. y Pendientes de Ruta})$

$f(\text{Disponib. Chancador; Granulometría; Capacidad Chancadora})$

$f(\text{vel. Camiones; Dist. y pendientes de Ruta})$

$$T_C = K1 + T_{\text{ESP.EN CARGA}} + T_{\text{ESP.DESCARGA}}$$

$$T_C = K1 + T_{\text{ESP.EN CARGA}} + T_{\text{ESP.DESCARGA}} = 23 \text{ min.} \quad 3.0 / 23$$

$$T_{\text{ESP.COLA}} = 2.7 + 0.3 = 3.0 \text{ min.} \quad 13\%$$

$$\# \text{Ciclos/Hr} = 60 / 23 \text{ min/ciclo} = 2.61 \text{ ciclos/Hr.Ef.}$$

$$\text{F.C. Promedio de la Flota} = 222.5 \text{ Ton/Cam. (Ponderado)}$$

$$\begin{aligned} \text{Rendimiento Flota Promedio} &= 222.5 \text{ Ton/Ciclo cam.} \times 2.61 \text{ ciclos/Hr.Ef.} \\ &= 580.7 \text{ Ton/Hr.Ef.} \end{aligned}$$

$$\uparrow 3\% \text{ Ton/Hr.Ef.} = \# \text{ Ton/Ciclo} \times \uparrow 3\% \text{ Ciclos/Hr.Ef.}$$

$$K2 \quad f(\text{Tam.Tolva; Granulometría; Densidad Mat.})$$

$$\uparrow 3\% \quad \# \text{ Ciclos/Hr.Ef.} = 60 / \downarrow 3\% \quad T_c$$

$$\downarrow 3\% \quad T_c = \downarrow 3\% (K1 + T_{\text{ESP.EN CARGA}} + T_{\text{ESP.DESCARGA}}) = 23 \text{ min.}$$

$$T'_c = 23 \times 0.97 = 22.31 \text{ min./ciclo} \quad \rightarrow \quad \Delta T_c - T'_c = 0.70 \text{ min./ciclo}$$

$$T_{\text{ESP.EN CARGA}} = 2.70 \text{ min./ciclo} \quad \Rightarrow \quad 90 \%$$

$$T_{\text{ESP.DESCARGA}} = 0.30 \text{ min./ciclo} \quad \Rightarrow \quad 10 \%$$

$$T_{\text{ESP.TOTAL}} = 3.0 \text{ min./ciclo}$$

$$\Rightarrow \quad \Delta T_c - T'_c = 0.70 \text{ min./ciclo}$$

$$\Rightarrow \quad \Delta T_{\text{ESP.EN CARGA}} = 0.70 \times (90 \%) = 0.63 \text{ min./ciclo}$$

$$\Rightarrow \quad \Delta T_{\text{ESP.DESCARGA}} = 0.70 \times (10 \%) = 0.07 \text{ min./ciclo}$$

$$T'_{\text{ESP.EN CARGA}} = 2.7 - 0.63$$

$$\sim 2.07 \text{ min./ciclo (TARGET)}$$

$$T'_{\text{ESP.DESCARGA}} = 0.3 - 0.07 \sim 0.2 \text{ min./ciclo (Total)}$$

$$T'_{\text{ESP.CHANCADO}} \sim 1.2 \text{ min./ciclo (TARGET)}$$

## 2. MEJORAMIENTO DE CARGUIO CON HPGPS

ProVision es el producto de Modular para dar soluciones de alta precisión GPS a equipos de carguío, perforación y equipos auxiliares.

Los elementos fundamentales de Provision:

**El servidor principal.** El servidor Intellimine interactúa con HPGPS mediante las siguientes funcionalidades:

- Interfaz con área de Planificación para recibir:

Polígonos.

- Recibir y guardar información de equipo:

Coordenadas X, Y, Z, posiciones de carga, baldadas, ángulo, etc.).

- Despliegue de movimientos de equipo en tiempo real e histórico.

- Generación de Reportes.

**El Hub.** Captura información de posición de las dos antenas GPS. Envía al Goic periódicamente las posiciones de las dos antenas GPS y procesa las correcciones diferenciales.

**El Goic.** La consola de interfase grafica (GOIC) muestra los movimientos en tiempo real y envía a Dispatch información para la

recreación del movimiento, proporcionando información de la carga (Posiciones, ángulos, baldadas, etc.) así como de perforación.

La información que se despliega en el Goic es:

- Posición de la pala respecto a los polígonos de material.
- Diferencia entre cota actual y deseada.
- Línea de avance.
- Tipo de material que se está cargando.

## **2.1. ALTA PRECISION EN CARGUIO**

El sistema mejora el desempeño de las palas con respecto al control de mineral, porque se encarga de confirmar que los operadores de pala siempre estén cargando en los polígonos indicados. Esto resulta en una mayor precisión de la contabilidad y mezcla de cargas, y reduce la probabilidad de que se lleve una carga costosa de material al destino equivocado. Con este sistema, los datos de la elevación de los bancos e información de los polígonos de la mina, incluyendo los límites del polígono (coordenadas X e Y) y tipo de material, son enviados a las palas por medio del canal de radio para ser guardados en la memoria del equipo. Con dicha información es posible precisar la ubicación y tipo de material minado para mantener la pala en la elevación correcta y seguir el movimiento

de la pala. Para esto, el sistema utiliza un receptor GPS marca ASHTECH (trabaja con NAVSTAR IV Y GLONASS), diseñado para mantener un nivel específico. El computador central monitorea y captura los datos en tiempo real y los utiliza para generar informes. La Consola Gráfica (GOIC) instalada en cada pala despliega los polígonos específicos del banco en el cual está trabajando la pala y el operador puede ver dicha información. Durante el turno, aparece un icono (*dibujo*) de pala en la Consola Gráfica, el cual gira a como la pala se mueve; dicha consola resalta los bloques que se están excavando y los puntos de extracción en cada bloque. Esto le permite al operador de la pala excavar con precisión y moverse de bloque en bloque sin la necesidad de guiarse por estacas.

El sistema despliega (en pantalla) el polígono en el cual la pala está minando, junto con los puntos precisos de extracción en dicho polígono. Para realizar esto, el sistema:

- Continuamente toma lecturas de GPS (coordenadas X e Y) en tiempo real, para obtener la posición exacta del balde de la pala. Para esto, usa dos *receptores GPS* instalados en la pala, junto con datos de por lo menos *cuatro satélites* en órbita alrededor de la tierra y datos de *corrección diferencial* transmitidos desde una estación base terrenal de referencia de GPS.

- Compara las posiciones del balde de la pala con las coordenadas de los polígonos, y resalta el polígono específico en el cual está excavando la pala. Si el balde no se encuentra en ningún polígono, el sistema resalta el polígono mas cercano.

- Determina cuáles de las posiciones de balde son puntos de extracción (mediante el análisis de los datos de GPS que cambian según la acción de la pala, es decir, si está moviendo, girando, excavando o cargando) y muestra en pantalla dichos puntos de extracción en el polígono.

Las mismas pantallas gráficas (de polígono y puntos de extracción) que ve el operador desde la pala, aparecen en una estación de trabajo en la oficina de la mina, en tiempo casi-real. También puede verse dicha pantalla *después* del turno, con las reproducciones gráficas de GPS. Luego los datos son transferidos al paquete de planeación Minesight con el fin de determinar el avance de la extracción, actualizar el modelo de la mina e importar los polígonos de los bloques al sistema DISPATCH.

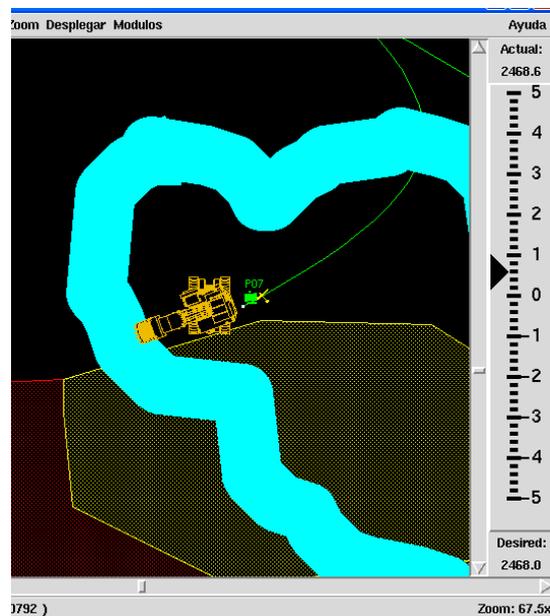


Figura 34

Cuando una pala comienza a excavar en un bloque diferente, el operador de dicha pala especifica el número de identificación del bloque en su GOIC. Esto le permite al sistema hacer seguimiento del material cargado en los camiones. También es posible configurar el sistema para que registre, automáticamente, cuando una pala pasa de un bloque a otro, lo cual automatiza aun más el proceso de extracción, **figura 34**.

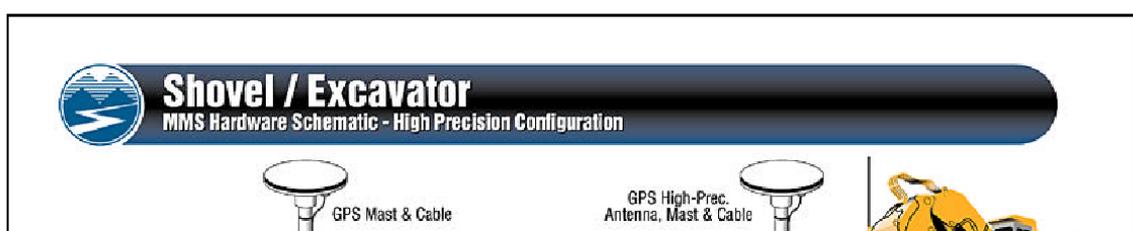
Cada GOIC también despliega una barra de elevación que indica si la elevación del piso esta por encima o por bajo en relación a la elevación deseada para dicho banco, la cual es representada

por un “0.” El operador de la pala puede ajustar el nivel mientras excava. Esto es especialmente importante para mantener el nivel apropiado, ya sea para mantenerlo plano o para inclinarlo por razones de drenaje o para seguir el cuerpo del depósito. El GOIC generalmente está configurado para mostrar la barra de elevación en pantalla, en forma continua, **figura 35**.



**Figura 35**

El siguiente gráfico muestra el hardware de alta precisión para la revisión D del sistema Intellimine Dispatch para los equipos de carguío, **figura 36**.



Las funciones principales de HPGPS (ProVision) son:

- Proveer al operador de la pala de una vista en tiempo real del área local del equipo.
- Proveer al operador del movimiento en tiempo real de la pala en relación con los polígonos.
- Mostrar al operador la diferencia entre la elevación actual y la deseada.
- Desplegar el movimiento en tiempo real en Computador Central.
- Desplegar el movimiento histórico en Computador Central.

- Guardar información acerca de ciclos de carga y líneas de avance.

En la figurase observa el bucket point que hace referencia a la posición del balde cuando carga, creándose en base a esta información círculos con centro en el centro de la pala y radio la distancia de este centro al bucket. Las líneas tangentes a estos círculos es conocido como digline o línea de avance, **figura 37 y 38.**

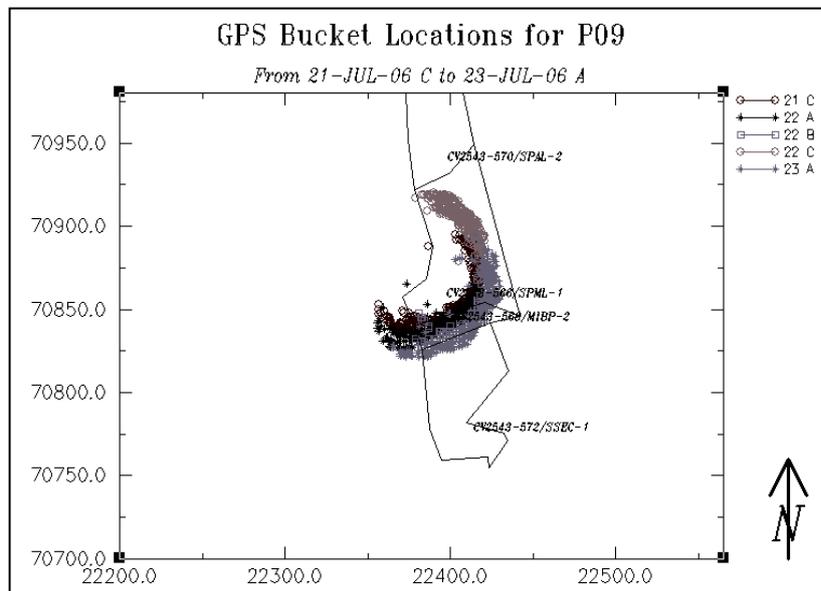


Figura 37

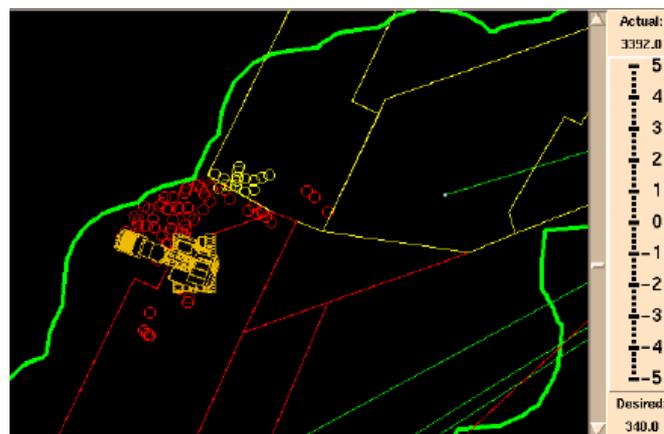
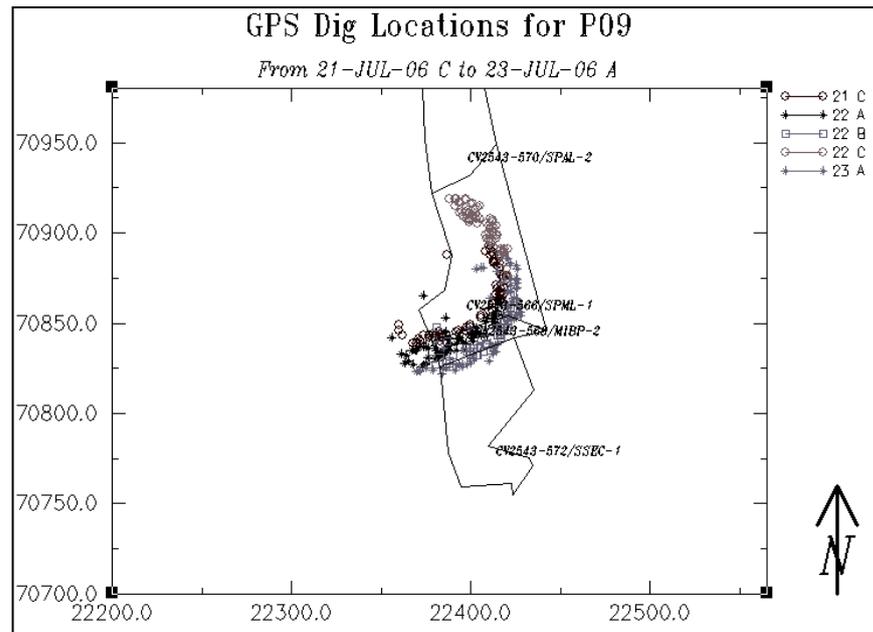


Figura 38

El digpoint es el punto de carga de cada camión y se genera cuando el la pala termina de cargar al camión, pero la mayor precisión para el avance se obtiene al generar el digline con los puntos de balde (bucket), **figura 39**.



**Figura 39**

Con Intellimine ProVision se puede tener el control de los equipos de alta precisión, pudiendo monitorear en tiempo el polígono que se esta minando, el control de piso, la precisión y cobertura satelital, así como se puede comparar datos de cotas en diferentes momentos, **figura 40**.

KEYPAD													
Inicio	Final	Arriba	Abajo	Imprimir	Actualizar	Remover	Ayuda	Salir	Config	Select			
Utilidad en tiempo real para el estado de equipos Provision													
Pala	Reset Hub	Diseño Actual	Estado	Cambiar Manual/Automat	Calidad GPS	Material	Operador	-- Elevación --		Dif. Elev.	Reset Goic	Cabina # Cal.	Posterior # Cal.
q2_P06	no?	ManualFlatBench	Operativo	Cha?	Manual Ok	SR2528-302/SPML-1	SR2528-302/SPML-1	2528,4	2528,0	0,4	no?	8 0,03	6 0,04
q2_P07	no?	ManualFlatBench	Operativo	Cha?	Manual Ok	none	CV2438-027/SPAL-1	2438,6	2438,0	0,6	no?	8 0,01	8 0,03
q2_P09	no?	ManualFlatBench	Operativo	Cha?	Manual Ok	none	CV2423-002/SSEC-1	2422,4	2423,0	-0,6	no?	6 0,04	6 0,03
q2_P10	no?	ManualFlatBench	Operativo	Cha?	Manual Ok	CV2663-300/DESH-1	CV2663-300/DESH-1	2662,4	2663,0	-0,6	no?	8 0,03	9 0,02
q2_P11	no?	ManualFlatBench	Operativo	Cha?	Manual Ok	CV2453-048/SPAL-1	CV2453-048/SPAL-1	2452,7	2453,0	-0,3	no?	6 0,02	6 0,03
q2_P12	no?	ManualFlatBench	Operativo	Cha?	Manual Ok	none	CV2663-309/DESH-1	2663,1	2663,0	0,1	no?	8 0,01	8 0,01

Figura 40

Los beneficios de ProVision en palas son:

- Control dilución.
- Mejora certeza del carguío.
- Disminuye perdidas mineral.
- Control pisos.
- Control secuencia de extracción.
- Control avance al instante.

La instalación y calibración de Provision se debe realizar con teodolito y se debe seguir un esquema que luego es ingresado a los archivos de configuración correspondientes en Dispatch. Las medidas del balde se deben ajustar hasta llegar a un óptimo por cada pala y que genere el digline con menos error, **Figura 41**.

```

x crttool - /usr/local/bin/bash
Inicio Final Arriba Abajo

#include_next <HpExcav/Goic/GpsHpExcav.cfg>

minSigma 50
minSigmaZ 50
xOrigin 71:35:07.000W
yOrigin 16:32:24.000S
geoUndulation 1602
loadanddumpmaxradius 300
numberofantennas 2

#if #device(P06) || #device(206)
definoloc n:center;x:0;y:830;z:0
definoloc n:bucket;x:0;y:3709;z:0
defineant n:cabin;x:601;y:1039;z:1193;h:1;i:0
defineant n:back;x:1;y:0;z:894;h:1;i:1
#endif
    
```

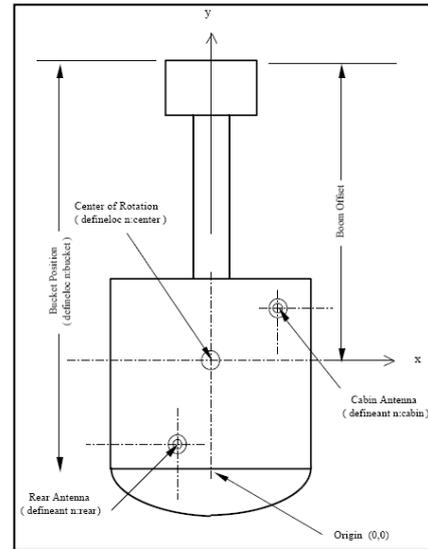


Figura 41

El flujo de datos del sistema de alta precisión de equipos de carguío se esquematiza en las siguientes figuras 42 y 43.

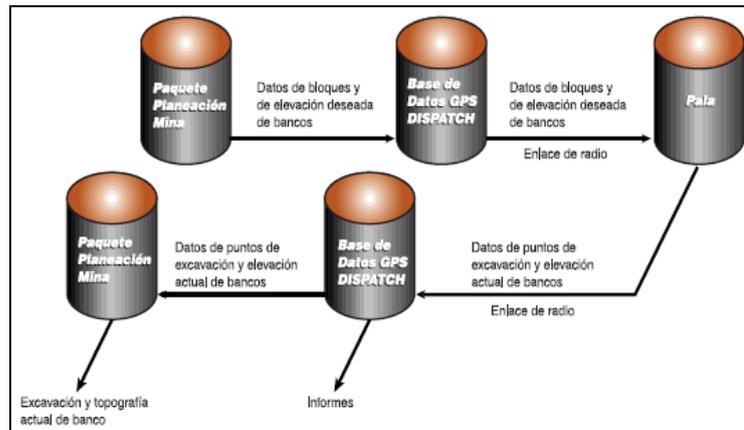


Figura 42

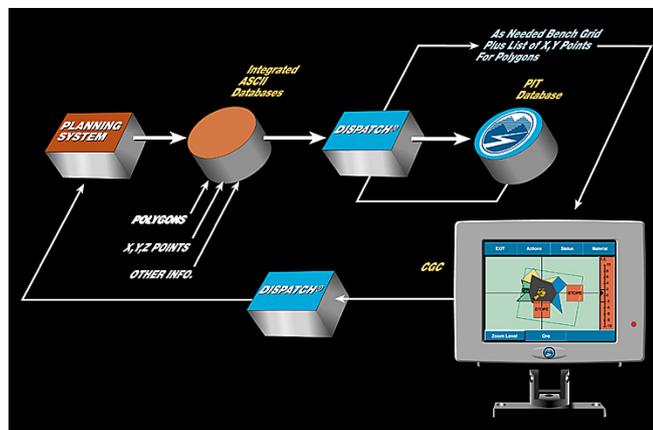


Figura 43

### 3. MEJORAMIENTO DE CARGUIO Y ACARREO CON FACTOR DE ACOPLAMIENTO

Otra parte interesante es la determinación del número total de volquetes que debe ser asignado a cada unidad de carga; esto es lo que se trata de resolver mediante el “Factor de Acoplamiento (Match Factor)”. Supóngase que para un determinado trabajo se tienen los siguientes datos:

N = Número total de volquetes. (Camiones)

n = Número total de unidades de carga. (Palas)

T = Tiempo de ciclo de cada volquete. (Ciclo camión).

t = Tiempo de ciclo de cada pase.

x = Número de volquetes por unidad de carga.

p = Número de pases necesarios para llenar un volquete.

El cociente entre el tiempo total del ciclo del volquete T, y el tiempo de carga de éste, “p.t”, da el número de volquetes necesarios “x”, por cada unidad de carga.

$$x = \frac{T}{p \cdot t} \qquad X = \frac{t \text{ carreo}}{t \text{ loading}}$$

Si se multiplica esta expresión por el número de equipos de carga, “n”, se tiene:

$$x.n = \frac{T.n}{p.t}$$

Como “x.n” es el número total de volquetes, resulta.

$$N.p.t = n.T \qquad \frac{N.p.t}{n.T} = 1$$

Al primer miembro de esta expresión se le denomina “Factor de Acoplamiento”.

$$FA. = \frac{N.p.t}{n.T} = \frac{n^{\circ} \text{ total de volquetes}}{n^{\circ} \text{ total de cargadoras}} \times \frac{\text{ciclo de carga del volquete}}{\text{ciclo del volquete}}$$

Se puede considerar que “t” y “T” son valores constantes, en cuanto a valores medios, si bien dependen de las condiciones de trabajo, de las características de cada máquina y de la eficiencia del operador.

$$FA = \frac{N \times t_{\text{carga}}}{n \times t_{\text{acarreo}}}$$

El número de baldes por volquetes, “p”, es un número medio constante, que se debe determinar y mantener en función del trabajo concreto que se realiza.

En lo referente al número de unidades de carga, “n”, la producción requerida obliga inmediatamente al número adecuado de ella para obtenerla, partiendo de que se tiene decidido el modelo y prevista su producción aproximada.

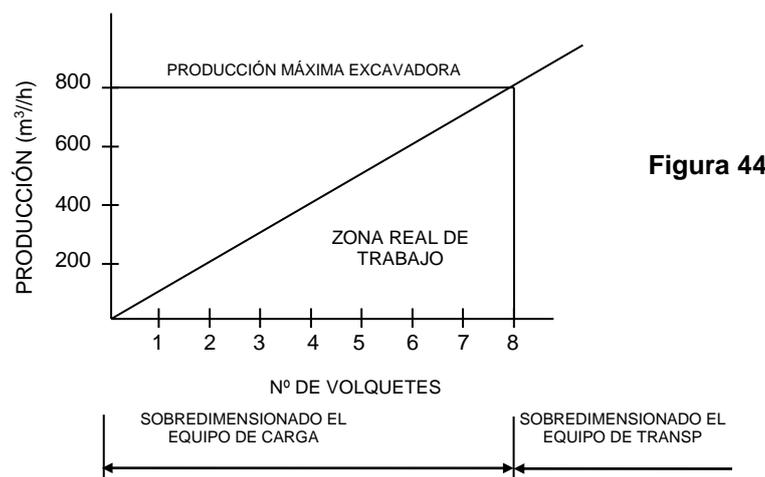
En cuanto al número total de volquetes, “N”, se determina asignando al Factor de Acoplamiento su valor óptimo, esto es 1, despejando dicho valor a continuación:

$$\frac{N \cdot p \cdot t}{n \cdot T} = 1$$

Luego:

$$N = \frac{n \cdot T}{p \cdot t} = \frac{N^{\circ} \text{ palas} \cdot T \text{ ciclo camión}}{N^{\circ} \text{ pases} \cdot t \text{ ciclo} \times \text{pase}} = \frac{Tc \cdot n}{Tc \cdot p}$$

Este número de volquetes, en teoría, absorberá la producción estimada por el equipo de carga. La representación gráfica de este resultado se muestra, **figura 44**:



Pero la curva de producción real, se detalla en la figura inferior, va siempre por debajo de la teórica, y se necesitarán más volquetes si se

quiere llegar a obtener la producción máxima de la unidad de carga, lo que es debido a varias causas:

Volquetes de diferentes capacidades o en distinto estado de conservación.

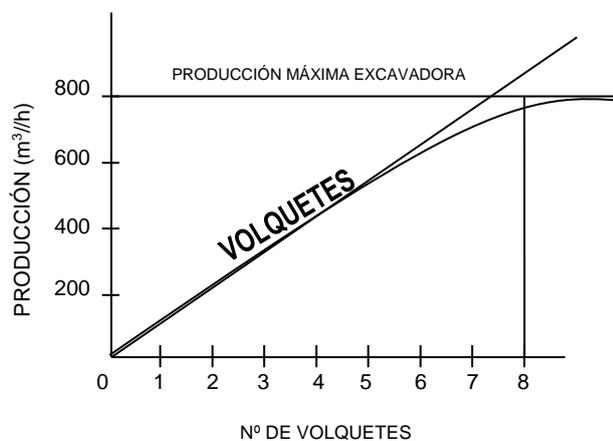
Estrechamiento en zonas de carga, descarga y pistas de transporte.

Espaciamiento diferente entre los volquetes.

Por ello, es preciso marcar un objetivo, ya que son dos las posibilidades existentes:

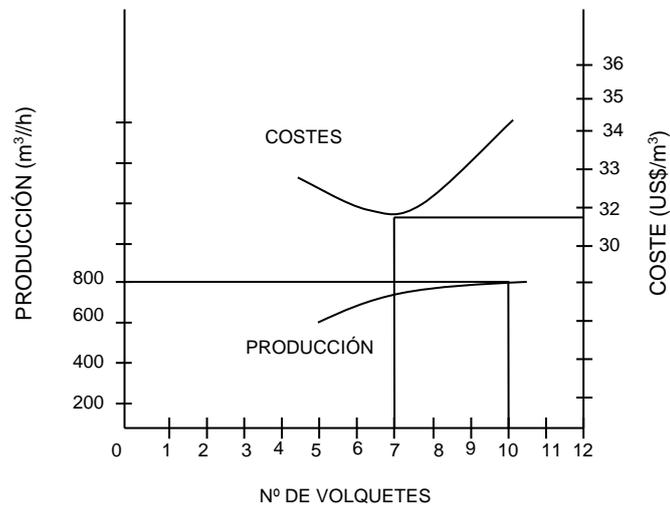
Máxima producción (Condicionada por el tiempo limitado de la operación minera).

Mínimo coste (Limitación de tipo económico), **Figura 45.**



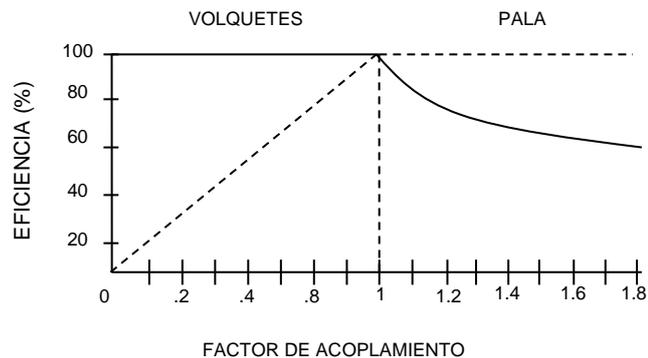
**Figura 45**

Naturalmente, los equipos que persiguen estos fines, no coinciden, tal y como se ve en la siguiente figura donde se muestra la máxima producción y el mínimo costo, **figura 46**.



**Figura 46**

Por último, en la siguiente figura se muestra la variación de la eficiencia en función del factor de acoplamiento para las unidades de carga y transporte, en función del grado de desacoplamiento, **figura 47**.



**Figura 47**

Así, para un FA=1, el acoplamiento es perfecto. Si es menor de 1, existirá un exceso de la capacidad de carga y, por lo tanto, la eficiencia

del transporte es del 90%, mientras que la de la carga es menor. Por el contrario, si el Factor de Acoplamiento es mayor de 1, la eficiencia de la carga es del 100%, y la del transporte, por lo tanto, será menor.

A continuación se ve un ejemplo práctico cabe mencionar que los valores son promedios ponderados, ya que se tiene Palas y camiones Mixtos.

A continuación se detalla un ejemplo con datos hipotéticos para el desarrollo del factor de Acoplamiento

### **Ejemplo:**

Se trata de cargar mineral bien volada y se cuenta de 5 palas eléctricas con cucharón de 44 t de capacidad y 28 volquetes de 220 t. Con este material, la pala consigue ciclos de 0,583min, con un factor de llenado del 90%, mientras que el ciclo volquete tarda en carguío, recorrido y descarga 17.48 min.

Entonces, el volquete se llena con  $\frac{220t}{44t} = 5 \text{ pases}$  y con estos cinco

pases la carga es de  $5 \times 44 = 220t$

Por lo tanto, se toma este valor como carga media del volquete.

Los datos de partida son, entonces, los siguientes:

Número de palas.....n =5

Número de volquetes.....N=28

Ciclo de la pala .....t=0,583min.

Número de pases.....p=5

Ciclo del volquete (14.56+0,583x5) .....T=17.48 min.

Para este caso concreto se tiene un Factor de Acoplamiento igual a:

$$FA = \frac{N \cdot p \cdot t}{n \cdot T} = 0.93386$$

$$(28 \times (0.583 \times 5)) \div (5 \times 17.48) = 0.93386 \approx 1$$

Lo que significa que para esta situación hay déficit de camiones. Si se quiere saber el número máximo de volquetes que debe usarse, basta con hacer FA=1.

Entonces:

$$N = \frac{n \cdot T}{p \cdot t} = \frac{5 \times 17.478}{5 \times 0.583} = 29.97 \text{ volquetes}$$

Y el número de volquetes por pala sería:

$$N_1 = \frac{T}{p \cdot t} = \frac{17.478}{5 \times 0.583} = 5.995 \text{ volquetes por cada equipo de carga}$$

Obsérvese que para la determinación del equipo no ha sido preciso saber las producciones de la pala y los volquetes, aunque su cálculo sea muy sencillo.

Bien, para el valor óptimo del FACTOR DE ACOPLAMIENTO se ha obtenido un valor de N-29.97 volquetes, es evidente que habrá que optar entre 29 y 30 para ello, ahora es necesario considerar las producciones de carga y transporte., si se quiere conseguir la máxima producción o el mínimo coste.

La producción de carga de una unidad sería:

$$\text{Pr od. Pala} = \frac{60}{t} \cdot C = \frac{60}{0,583} \cdot 44t = 4528t / h$$

El equipo completo de carga:

$$P_c = 5 \times \text{Pr od. Pala} = 22,640t / h$$

Por otro lado, la producción en transporte es:

$$\text{Pr od. volquete} = \frac{60}{T} \cdot p \cdot C = \frac{60}{17.478} \times 5 \times 44 = 755,24t / h$$

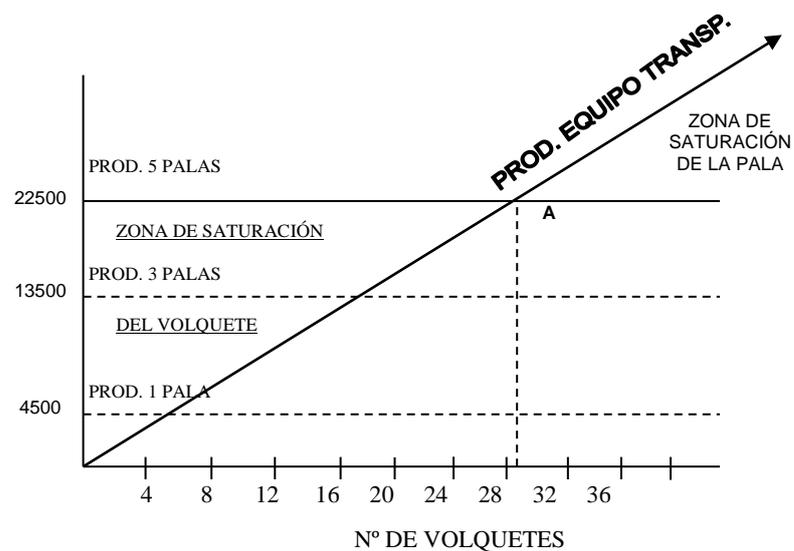
Si se suponen unos costos horarios de 265 US\$ para la pala y de 244 US\$ para el volquete, se puede confeccionar la siguiente tabla, en la que se refleja cómo van variando las producciones, el Factor de

Acoplamiento y los costos según se van incorporando sucesivas unidades de transporte, **tabla 5**.

Equipo	Costo Horario Total (US\$/h)	Produccion t/h	Factor de Acoplamiento	Costo Unitario(US\$/t)
5palas y 20 volquetes	6.205	15.104	0,67	0,411
5palas y 21 volquetes	6.449	15.859	0,70	0,407
5palas y 22 volquetes	6.693	16.615	0,73	0,403
5palas y 23 volquetes	6.937	17.370	0,77	0,399
5palas y 24 volquetes	7.181	18.125	0,80	0,396
5palas y 25 volquetes	7.425	18.880	0,83	0,393
5palas y 26 volquetes	7.669	19.635	0,87	0,391
5palas y 27 volquetes	7.913	20.391	0,90	0,388
5palas y 28 volquetes	8.157	21.146	0,93	0,386
5palas y 29 volquetes	8.401	21.901	0,97	0,384
5palas y 30 volquetes	8.645	22.656	1,00	0,382
5palas y 31 volquetes	8.889	23.412	1,03	0,380
5palas y 32 volquetes	9.133	24.167	1,07	0,378
5palas y 33 volquetes	9.377	24.922	1,10	0,376

**Tabla 5**

Representando gráficamente los valores se obtiene, **figura 48**.



**Figura 48**

Como se ve, la producción del equipo de carga es sólo función del número de cargadoras, mientras que la producción del equipo de transporte crece linealmente con el número de volquetes. Los puntos de intersección con las líneas horizontales permiten determinar el número de unidades de transporte ideal para los casos de una, dos o tres palas.

La máxima producción del conjunto la marca el equipo de carga, por lo que, por encima y a la derecha de punto "A", la pala está saturada y los volquetes esperan, mientras que, por debajo y a la izquierda, es la pala la que tiene tiempos muertos.

Como se ha visto, el número ideal de volquetes era 29.97; es obvio que hay que elegir 29 ó 30. La decisión se toma 28 debido a que el flujo de mineral a Hidrochan es menor al rendimiento de una Pala Eléctrica, **figura 49.**

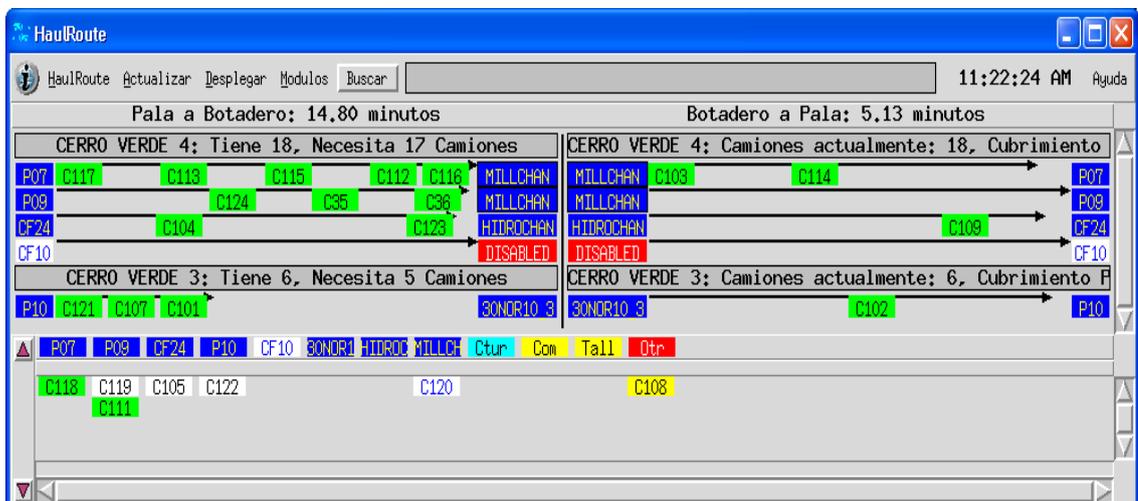


Figura 49

#### 4. MEJORAMIENTO DE CARGUIO Y ACARREO CON DELTA C

El concepto de Delta C, esta relacionado con la eficiencia en el acarreo y carguío, en la evaluación permanente de cada uno de los eventos del ciclo de acarreo (carguío, viaje lleno, descarga, esperas, etc.) y en la búsqueda de oportunidades que nos permitan hacer mas eficiente el ciclo de acarreo.

**Delta “C”** representa en las operaciones de la mina, el mejoramiento continuo en el ciclo de acarreo. La corporación esta en busca de la reducción de costos y enfocada a los procesos que tengan mayor incidencia en reducirlos; aplicando la regla del 80/20. Los costos de acarreo y carguío comprenden el 54 % del costo total de la operación minera; de tal manera que al alcanzar una buena eficiencia en el ciclo de acarreo, lograremos mantener bajos nuestros costos de operación por cada tonelada minada y cada libra de cobre producida.

Antes de implementarse **Delta “C”**, se controlaban las etapas del ciclo de acarreo con el **Factor K**, que comparaba el ciclo real con el ciclo esperado usando para el ciclo esperado los valores históricos promedio. Este Indicador solo entregaba un valor que era la diferencia entre el ciclo real y el ciclo esperado, con lo cual era difícil conocer y analizar en que parte del ciclo de acarreo había excepciones u oportunidades de mejora.

Esto ha sido modificado y ahora estamos empleando los valores óptimos en cada evento del ciclo de acarreo que son propios del equipo de la mina (palas y camiones) con lo que buscamos alcanzar o superar estos valores.

### **Concepto de Delta “C”.**

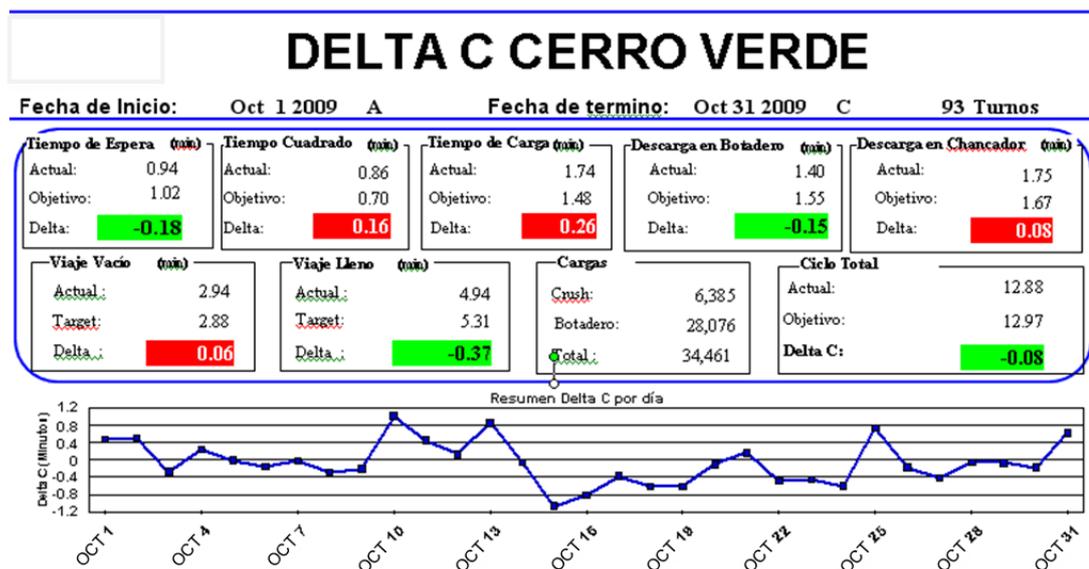
- Es la comparación de todos los eventos reales del ciclo de acarreo con los eventos óptimos. **Este ciclo óptimo incorpora los valores de las velocidades de los camiones para cada tipo de pendiente de acuerdo al manual de Caterpillar y los tiempos de carguío se obtienen de los manuales de las palas P&H.**

- Es la eficiencia de la Operación de Acarreo y carguío de la mina. Sin dejar de lado el continuo apoyo que brindan los operadores con el equipo auxiliar, ya que nuestras carreteras, botaderos, pisos de las palas requieren de un permanente mantenimiento.

- Es el resultado del trabajo en equipo del personal involucrado en la operación minera; promoviendo la participación de los operadores para identificar oportunidades de mejora en las áreas de trabajo, y en los equipos.

- EL valor de DELTA “C” del ciclo de acarreo debe ser **“CERO”** ó menor que **“CERO”**. Lo que significa que si es cero o menor que cero, nuestro ciclo sería mejor que el óptimo.

- Es el delta del ciclo de acarreo que nos permite ver nuestro desempeño en las operaciones de movimiento de materiales en la mina, **figura 50**.



**Figura 50**

Los beneficios que se están obteniendo por la implementación de Delta C son:

- Permite el logro de los ahorros en los gastos de la operación minera.
- Se Identifica rápidamente excepciones en el ciclo del acarreo, lo que nos permite actuar para corregir los posibles causas de las excepciones.

- Dividen el ciclo de acarreo en segmentos, lo que permite evaluar componentes críticos.

- Identifica las oportunidades específicas del entrenamiento o de la condición.

- Permite hacer Benchmarking Interno y global (a nivel de las diferentes minas de Phelps Dodge).

- Permite cuantificar los resultados, así como la posibilidad de usar para un determinado periodo de trabajo solo la flota necesaria.

- Es usado para el cálculo de requerimiento de camiones, en donde se van a emplear siempre los valores de diseño de palas y camiones.

- Proporciona la forma de poder evaluar a cada operador de pala y de camión de manera individual, de tal manera que se le pueda retroalimentar en forma inmediata.

- Proporciona a Dispatch la información necesaria para poder configurar la PL y lograr ahorros en la operación sin menguar en la productividad y la producción.

Que se esta logrando con el Delta C:

- El tiempo de carguío se ha mejorado en función del menor uso de las palas chicas, además nos da la posibilidad de que el camión tenga un mayor trabajo efectivo (evitando que se encuentre cuadrado mucho tiempo cuando carga en las palas chicas), transformando este tiempo estático en un trabajo dinámico; puede estar viajando cargado, vacío,

descargando, aculatándose para un nuevo viaje, etc. Se tenía un costo muy alto con las Palas Chica 2300; es decir cuesta dos tercios veces más que usar una pala 2800 y 4 veces más que usar una pala 4100. El costo horario del camión es de 244 dólares. El costo de un camión en base solo al tiempo de carguío, cuando lo carga una pala 2300 cuesta el doble que cuando se le carga con una pala 4100 y 1.5 veces cuando se le carga con una pala 2800.

- Las carreteras de la mina se vienen mejorando continuamente tanto en el mantener una misma pendiente de acuerdo al perfil de acarreo, lograr los anchos operativos, limpieza permanente por caída de rocas desde las tolvas, peraltes adecuados, etc.

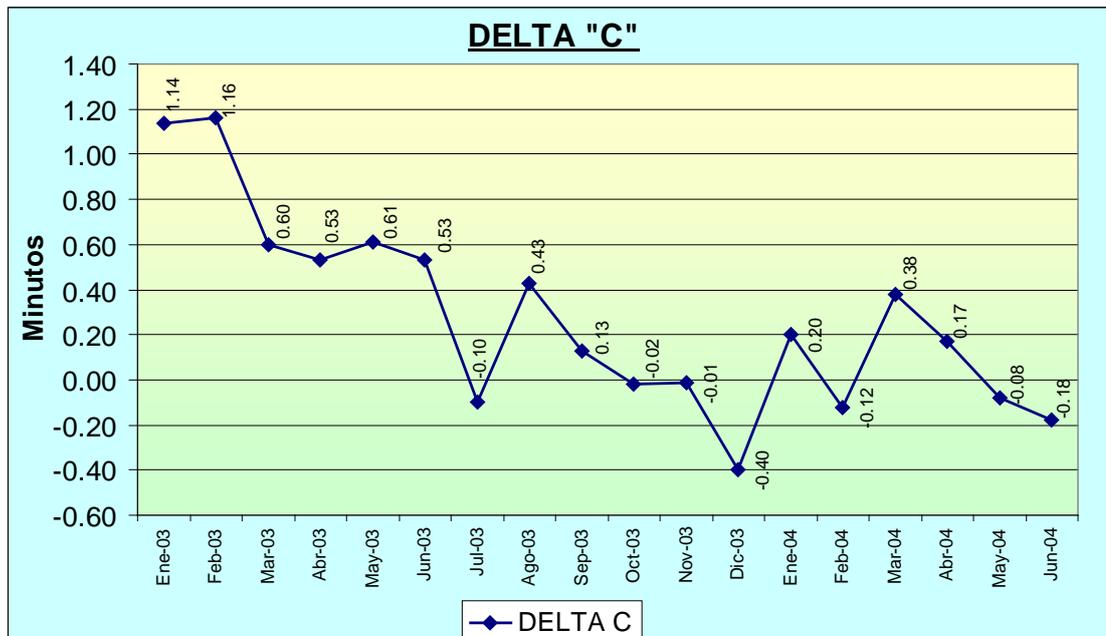
- Dar capacitación a todo el personal involucrado con la finalidad de que conozcan los conceptos, los planes y el compromiso de la mejora continua a través del Delta "C".

- Hacer el plan de requerimiento de camiones usando el Delta "C", posibilitando el parquear algunos camiones ya que al mejorar la performanse en cada parte del ciclo, puede reducirse la flota actual de camiones, dando como resultado un ahorro en el gasto operativo.

- Mejoramiento del área en las zonas de descarga (Botaderos y Chancadora) para obtener menores tiempos de descarga.

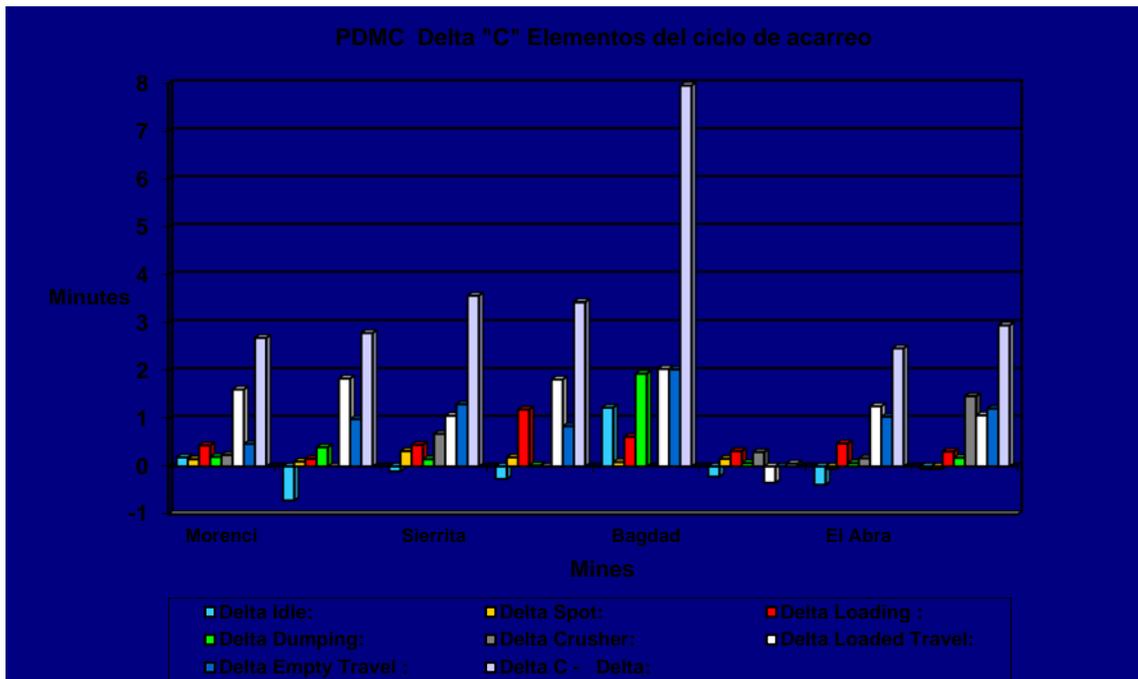
Participan en el Delta C todas las personas que laboran en la operación minera sin excepción alguna. Es de vital importancia crear compromiso en los operadores de pala y camión de donde se obtiene los

datos a medir, y en los operadores de equipo auxiliar quienes hacen posible que las rutas presenten las mejores condiciones para el continuo recorrido de los camiones, **figura 51**.



**Figura 51**

En el siguiente gráfico, se observa que Cerro Verde tiene el menor delta “C” de toda la corporación, significa que estamos en la mejor ubicación para alcanzar el ciclo óptimo o en otras palabras que la eficiencia en el ciclo de acarreo está muy cercana al óptimo en nuestra mina; es decir que tenemos menos horas improductivas de toda la flota de camiones y palas que las otras minas de PDMC, **figura 52**.



**Figura 52**

## 5. MEJORAMIENTO DEL CARGUIO Y ACARREO ATRAVEZ DEL SISTEMA DE INFORMACION

Intellimine contempla un lote de reportes por defecto cuando se instala el sistema, sin embargo estos reportes se pueden modificar como también se pueden generar otros para cubrir las necesidades de la operación. Para el desarrollo de estos reportes se emplea FORMS, que es la programación estándar de Modular para crear reportes e interfaces con el usuario. Los reportes proveen un recuento histórico de turnos anteriores, del turno actual, y/o de un grupo de turnos. Modular también presenta reportes e interfaces en TCL, que es un lenguaje con características gráficas que proporcionan bondades más amigables a los objetos que se generan con este lenguaje. Es muy común que se utilicen objetos en C donde se definan parámetros que luego interactúan en los reportes. Por lo que estos reportes tienen características de herencia, que permite rehusar código en otros reportes mediante la declaración de las cabeceras en C, **figura 53**.

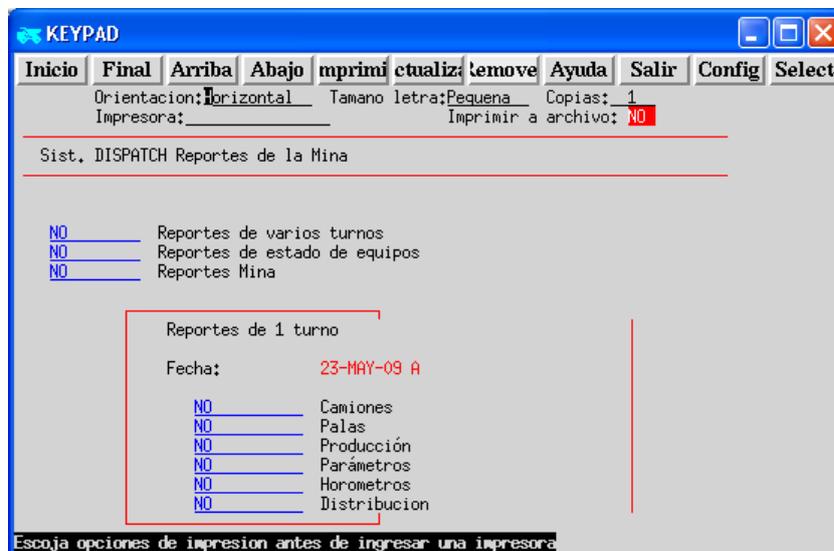
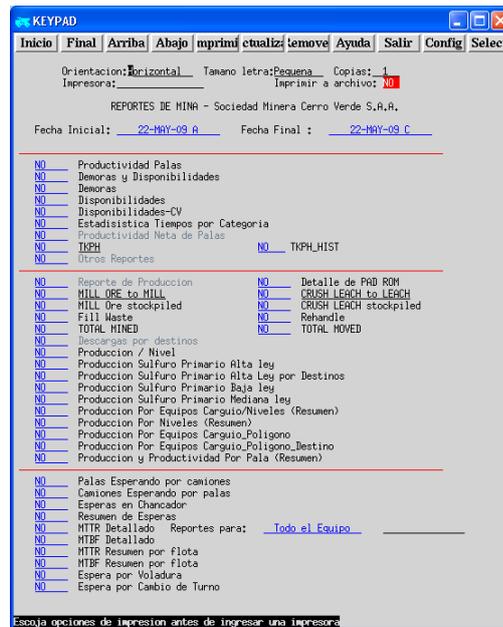


Figura 53

El *despachador* y demás personal de operaciones de la mina utilizan estos reportes a diario para monitorear la operación minera y, simultáneamente, para incrementar la productividad y reducir costos operacionales, **figura 54**.



**Figura 54**

El Sistema de Archivos Virtuales de DISPATCH (DVF) es una librería basada en UNIX, diseñada para formar parte del sistema de administración minera DISPATCH de Modular Mining Systems. Es una herramienta de conversión de datos que permite tener acceso a datos de producción de DISPATCH que pueden ser migrados a un servidor con DBMS SQLServer u ORACLE, para luego usando una herramienta de programación se pueda desarrollar una solución para la realidad de la mina.

Lo cual se tienen reportes programados en tiempo real de alimentación de mineral por hora, ley y el tonelaje acumulado para los tipos de chancado Millchan e Hidrochan, **figura 55 y 56.**

TONELAJE - LEY PALAS POR HORA HIDROCHAN										
23-MAY-09 A a las 15:18:37 con Grupo 5										
Pala	Total	08:30:00	09:30:00	10:30:00	11:30:00	12:30:00	13:30:00	14:30:00	15:30:00	
CF10	4779	1947	2301	531	0	0	0	0	0	0
Ley	0,658	0,658	0,658	0,658	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Acumulado		1947	4248	4779	4779	4779	4779	4779	4779	4779
P08	11077	0	0	1458	2685	2899	1926	2110	0	0
Ley	0,725	0,000	0,000	0,673	0,673	0,673	0,761	0,866	0,000	0,000
Acumulado		0	0	1458	4143	7042	8967	11077	11077	11077
Total	15856	1947	2301	1989	2685	2899	1926	2110	0	0
Ley	0,705	0,658	0,658	0,663	0,673	0,673	0,761	0,866	0,000	0,000
Acumulado		1947	4248	6237	8922	11821	13746	15856	15856	15856

Figura 55

TONELAJE - LEY PALAS POR HORA MILLCHAN										
23-MAY-09 A a las 15:18:37 con Grupo 5										
Pala	Total	08:30:00	09:30:00	10:30:00	11:30:00	12:30:00	13:30:00	14:30:00	15:30:00	
CF10	5133	0	0	1062	1239	2124	798	0	0	0
Ley	0,635	0,000	0,000	0,635	0,635	0,635	0,635	0,000	0,000	0,000
Acumulado		0	0	1062	2301	4425	5133	5133	5133	5133
CF24	4222	1871	1180	0	0	0	0	0	0	1172
Ley	0,598	0,598	0,598	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,598
Acumulado		1871	3050	3050	3050	3050	3050	3050	3050	4222
P07	26005	3049	2976	4204	1403	4097	3972	3366	2937	0
Ley	0,748	0,748	0,748	0,748	0,748	0,748	0,748	0,748	0,748	0,748
Acumulado		3049	6025	10230	11633	15730	19702	23068	26005	26005
Total	35360	4920	4156	5266	2642	6221	4680	3366	4109	0
Ley	0,714	0,651	0,705	0,725	0,635	0,703	0,731	0,748	0,705	0,705
Acumulado		4920	9076	14342	16984	23205	27885	31251	35360	35360

Figura 56

Al mismo tiempo la supervisión aprovecha la información en su equipo móvil (camioneta de supervisión) como un equipo auxiliar, cabe mencionar el Goic de Camioneta de supervisión tiene configuración diferente especial donde se muestran el HaulRoute; flujo de alimentación de la Concentradora indicando leyes, dureza,

solubilidad en acido y Estado general de las Palas y Camiones, como nombre operador, ubicación, destino, material de carga, cantidad de viaje etc, **figura 57 y 58.**



Figura 57



Figura 58

## **CAPITULO VI REQUERIMIENTOS Y BENEFICIOS PARA EL MEJORAMIENTO DEL ACARREO Y TRANSPORTE**

### **1. REQUERIMIENTOS**

Los requerimientos para el logro de las expectativas son:

- Organización del despacho mina con nivel de ingeniería en todos sus componentes.
- Preparación de la sala de control.
- Elaboración de un programa de Inducción.
- Conceptualización del sistema y definición de indicadores por proceso (KPIs) que se medirán automáticamente con Intellimine.
- Definición de alcances y expectativas.
- Programa de entrenamiento impartido por personas con experiencia probada en el negocio del control de procesos mineros. Tanto para los despachadores, Supervisión, como para la administración.

- Involucramiento por medio de facilitadores o responsables por proceso.

- Administración de cambio responsable que elabore una matriz de riesgo por cada proceso de cambio y que mantenga controlados estos riesgos.

- Definición de planes de recuperación en caso de desastre así como planes de contingencia.

Para asegurar la continuidad operativa óptima de la **tecnología de control de procesos** (Intellimine, Dispatch, HpGps, Signos Vitales, etc.) se requiere tener presente los siguientes puntos, pues de lo contrario estos sistemas se degradan:

- 99% de disponibilidad, mediante un servicio de mantenimiento en mina altamente especializado.

- Buen uso del Sistema (Operadores, despachadores, Jefes de Turno).

- Despachador mina dedicado a la optimización de los equipos de carguío y transporte.

- Staff de soporte (Cerro Verde & Modular) en coordinación permanente.

## 2. BENEFICIOS

Los alcances y expectativas que se concretan como beneficios con Intellimine se puede ver en:

- Mejorar en la productividad en carguío y acarreo.
- Controlar la operación minera, controlando y asignando de forma óptima y automática la flota de acarreo, teniendo conocimiento de las ubicaciones, actividades y estatus de equipos de mina pudiéndolos controlar.
- Información de las operaciones y cálculo de KPIs de operaciones y mantenimiento (disponibilidad, utilización, MTBF, MTTR, etc.) en tiempo real permitiendo tener control de la operación, utilizando para esto un sistema integrado de información que nos permita elaborar planeamientos reales.
- Control en línea y tiempo real del avance de minado, así como control de pisos y proyectos obteniendo calidad en el carguío mejorando el trabajo de ore control pudiendo tener control de mezclas en línea y en tiempo real.
- Disminución la dilución y pérdida de mineral.
- Permite realizar el carguío aun en malas condiciones climáticas.
- Mejoramiento en la utilización de equipos de apoyo.
- Apoya en el desarrollar mejores prácticas operativas.

Otros beneficios:

- Integración a otros sistemas de monitoreo.
- Apoyo en la reducción de otras demoras operativas (tiempo cambio de turno, refrigerio, voladura, combustible, movimiento de equipos, etc.).
- Control de uso y costo de neumáticos (TKPH).
- Control Online de tiempos en los equipos auxiliares.
- Llenado en línea de check list para la toma de acción oportuna.

## CONCLUSIONES

La tecnología de control de procesos permite desarrollar sistemas avanzados de automatización, el reto es que estos sistemas permitan cumplir con el planeamiento.

Dispatch permite obtener asignaciones optimas y dinámicas de forma automática para la flota de camiones, para esto Dispatch presenta un plan de optimización donde interactúan algoritmos matemáticos que requieren de inputs lo mas reales posibles para arrojar outputs óptimos.

La tecnología GPS es una herramienta fundamental para que el Dispatch pueda trabajar con balizas virtuales de localización y así poder optimizar asignaciones.

La buena aplicación del criterio y teoría de Factor Acoplamiento es fundamental para el buen rendimiento de equipos de carguío y aumento de la Utilización de los equipos de carguío y acarreo.

Los algoritmos de Dispatch trabajan para tratar de eliminar los tiempos de espera de las flotas de carguío y acarreo, estos tiempos constituyen los KPIs primarios del Dispatch. Una mejora porcentual del tiempo de ciclo por esta mejora, redundará en el mismo porcentaje en la productividad efectiva de los camiones.

Las oportunidades que se presentan por tener datos y cálculos de KPIs en tiempo real, brindan muchas posibilidades para la operación. Dispatch presenta herramientas muy potentes para la gestión de la información.

Es importante que el Despachador asuma un rol proactivo en la operación, teniendo principal oportunidad de ser actor principal en las mejoras de los procesos unitarios.

Las herramientas de programación pueden ofrecernos muchas oportunidades al enlazarlas a un DBMS y obtener módulos que apoyen al control efectiva del sistema.

El trabajar comparando la performance con valores óptimos de los fabricantes de equipo, permite que el DELTA C sea una herramienta muy potente para mejorar la gestión de las operaciones y encontrar oportunidades de sacar mejor provecho a un sistema de Despacho.

El Dispatch apoya a la supervisión en la mejor gestión de las demoras operativas como son: El cambio de turno, el refrigerio, combustible, disparo, etc. El solo hecho de poder medirlas y monitorearlas permite su control.

Dispatch almacena gran cantidad de información que necesita ser analizada para encontrar oportunidades.

Mientras mas controles automáticos en el sistema, mejor se podrá gestionar los tiempos y menos error humano acarreará.

## RECOMENDACIONES

La principal recomendación para que el Dispatch opere eficientemente, es asegurando que se cuente con personal de mantenimiento del sistema, completamente involucrado con los objetivos de la empresa.

La disponibilidad del sistema debe estar por el 98% para asegura que se obtengan los mejores beneficios y oportunidades con el sistema.

Se tiene que garantizar una capacitación de alto nivel de los despachadores Supervisores y de la administración para asegurar el buen uso del sistema.

Se recomienda que todos los integrantes del Dispatch tengan nivel de ingeniería, esto con el objetivo que se entienda los objetivos del sistema.

Es muy recomendable que se involucre a la administración en planes de entrenamientos conducentes a alentar desarrollos dentro del sistema que obtengan mejoras sustentables en el tiempo.

El compromiso de la gerencia general de la empresa es esencial para que el Dispatch pueda tener un rol muy importante dentro de las mejoras de la operación. Es muy importante definir desde un inicio los roles y responsabilidades de todos las áreas que interactuarán con el Dispatch.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Carmona, Carlos (2006), "Gestión en Dispatch".  
Publicaciones de Modular Mining System, Santiago de Chile.
2. Cordova, Jesús (2005), "Manual Práctico de Administración Dispatch".  
Publicación del autor.
3. Mora Escobar, Hector (2004), "Programación Lineal".  
Editorial de la facultad de ciencias, Universidad Nacional de Colombia.
4. Chung Ching, Augusto (2003), "Ingeniería Económica"  
Editorial de la Universidad San Agustín.
5. Carmona, Carlos (2002), "Administración Avanzada".  
Publicaciones de Modular Mining System, Santiago de Chile.
6. Mahiu, Jhonatan (2001), "Usando Dispatch ", Vol. 1 y 2.  
Publicaciones de Modular Mining System, Tucson, E.U.A.
7. Hardley G. (1962), "Lineal Programming".  
Addison Wesley. Reading, Massachuset.