

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**  
**Facultad de Ingeniería Geológica Minera**  
**y Metalúrgica**  
**Escuela Profesional de Ingeniería de Minas**



**“CONTROL AUTOMATIZADO EN LA CONSTRUCCION DEL STARTER DAM  
EN SOCIEDAD MINERA CERRO VERDE S.A.A. UTILIZANDO EL SISTEMA DE  
POSICIONAMIENTO GLOBAL GPS”**

**TESIS**

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO DE MINAS**

**PRESENTADO POR:  
LAZO DAMIAN, BERNABE ALCIDES**

**LIMA – PERÚ**

**2006**

## **PREFACIO**

En un mundo saturado de profesiones, se expresa la necesidad de liderazgo personal. Ante esto se podría suponer que se requeriría un especial entusiasmo y optimismo para hacer lo que se desea.

Gracias a esta iniciativa personal y a los conocimientos adquiridos a lo largo de mi vida profesional es que he logrado desarrollar la presente tesis.

En una profunda y larga investigación, con la capacitación y aplicación en Sociedad Minera Cerro Verde, considerando como punto importante el estudio del CONTROL AUTOMATIZADO EN LA CONSTRUCCION DEL STARTER DAM EN SOCIEDAD MINERA CERRO VERDE S.A.A. UTILIZANDO EL SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL GPS, el cual nos permite controlar al detalle y en tiempo real la construcción de la presa, lo que se expresa finalmente en la reducción de costos operativos. Se ha utilizado por primera vez en el Perú, tecnología GPS, en tractores D10, "SISTEMA SITE VISION".

## PROLOGO

El primer sistema de navegación por satélite fue el sistema TRANSIT, el cual permitía conocer la posición de un receptor a partir de conocer la posición del satélite. El éxito de TRANSIT estimulo el Departamento de Defensa estadounidense para estudiar otros sistemas mas avanzados así nació el NAVSTAR es un sistema de radio determinación este sistema proporciona a los usuarios debidamente equipados información con alta precisión sobre posición velocidad y tiempo (PTV) actualmente llamado GPS.

El GPS funciona mediante una red de satélites que se encuentran orbitando alrededor de la tierra. Cuando se desea determinar la posición, el aparato que se utiliza para ello localiza automáticamente como mínimo cuatro satélites de la red, de los que recibe unas señales indicando la posición y el reloj de cada uno de ellos. En base a estas señales, el aparato sincroniza el reloj GPS y calcula el retraso de las señales, es decir, la distancia al satélite. Por Triangulación calcula la posición en que este se encuentra.

El GPS esta diseñado para proporcionar servicio PTV a un numero ilimitado de usuarios en cualquier parte sobre la superficie terrestre, mar, aire y espacio cercano.

Es posible que en el futuro haya un sistema internacional proporcionando servicio de posicionamiento similar al que ofrece el GPS. Este sistema podría ser construido y administrado por un único país o por un consorcio de países, ya que es inconcebible que una entidad comercial pueda construir tal sistema.

Es por eso que el GPS es uno de los mas importantes avances tecnológicos de la ultimas décadas.

## INTRODUCCION

Sociedad Minera Cerro Verde S.A.A. (SMCV) opera una mina de cobre ubicada en el asiento minero Cerro Verde ubicado a su vez en la concesión minera Cerro Verde 1, 2 y 3 en la provincia de Arequipa, departamento y región de Arequipa. En la actualidad, SMCV explota sus reservas mineras constituidas por sulfuros secundarios, a través del tajo abierto Cerro Verde a un ritmo de aproximadamente 180,000 toneladas métricas diarias (TMD) de movimiento total. Dentro de esta cantidad, se extrae aproximadamente 38,000 TMD de mineral de alta ley y 20,000 TMD de mineral de baja ley, 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 son transportados por camiones al puerto de Matarani, desde donde se exportan a mercados internacionales.

Según las reservas actuales de SMCV, el mineral lixiviable se agotaría en el año 2014. Para extraer el cobre de los sulfuros primarios, que constituye un mineral no lixiviable económicamente, se requiere un proceso diferente. Por tal motivo, SMCV tiene planeado la ejecución del “Proyecto de Sulfuros Primarios” que contempla la construcción de una planta concentradora para el procesamiento de dichos sulfuros y la construcción de una PRESA DE RELAVES, ambos ubicados dentro del área de la concesión minera que se viene explotando actualmente.

# CONTROL AUTOMATIZADO EN LA CONSTRUCCION DEL STARTER DAM EN SOCIEDAD MINERA CERRO VERDE S.A.A. UTILIZANDO EL SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL GPS

## INDICE

PREFACIO

PROLOGO

INTRODUCCION

<b>CAPITULO I GENERALIDADES</b> .....	1
I.1 HISTORIA DE LAS OPERACIONES DE CERRO VERDE.....	1
I.2 UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD.....	2
I.3 OPERACIÓN MINERA.....	4
I.3.1 OPERACION MINA.....	4
I.3.2 OPERACIONES AUXILIARES.....	7
I.4 INGENIERIA MINA .....	8
I.4.1 PLANEAMIENTO A LARGO PLAZO.....	8
I.4.2 PLANEAMIENTO A CORTO PLAZO .....	9
I.5 PROCESOS METALURGICOS.....	9
I.5.1 CHANCADO.....	9
I.5.2 PROCESO DE LIXIVIACION.....	10
I.6 SX/EW.....	11
I.6.1 EXTRACCION POR SOLVENTES (SX).....	11
I.6.2 ELECTROPOSICION (EW).....	12
I.7 GEOLOGIA.....	13
I.7.1 GEOLOGIA LOCAL.....	13
I.7.2 GEOLOGIA ESTRUCTURAL.....	15
I.7.3 ALTERACION HIDROTERMAL.....	16
I.8 SISMICIDAD.....	17
<b>CAPITULO II FUNDAMENTO PROYECTO SULFURO PRIMARIO</b> .....	20
II.1 DESCRIPCION DEL PROYECTO DE SULFUROS PRIMARIOS.....	20
II.2 ACTIVIDADES DE LA ETAPA DE CONSTRUCCION.....	21
II.2.1 CONSTRUCCION DE PLANTA CHANCADORA PRIMARIA.....	21
II.2.2 INSTALACION DE FAJA TRANSPORTADORA.....	21
II.2.3 CONSTRUCCION DE CANCHA DE ACOPIO DE MINERAL GRUESO.....	22

II.2.4 CONSTRUCCION DE LA PLANTA DE CHANCADO FINO.....	22
II.2.5 CONSTRUCCION DE LA PLANTA DE MOLIENDA.....	23
II.2.6 CONSTRUCCION DE LA PLANTA DE FLOTACION, FILTRADO Y ALMACENAJE DE CONCENTRADOS.....	24
II.3 PRESA DE RELAVES.....	25
II.3.1 SISTEMA DE CORTAFUGA Y DE RECOLECCION DE FILTRACIONES.....	26
II.3.2 PRESA DE RELAVES SIN CONTROL AUTOMATIZADO.....	27
<b>CAPITULO III PLAN DE MANEJO AMBIENTAL.....</b>	<b>29</b>
III.1 PLAN DE MEDIDAS DE MITIGACIÓN.....	31
III.1.1 PROTECCIÓN AMBIENTAL ACTUALES.....	30
III.1.2 IMPACTOS SOBRE LA TOPOGRAFÍA.....	30
III.1.3 IMPACTOS SOBRE LOS SUELOS.....	31
III.1.4 IMPACTOS SOBRE LA CALIDAD DEL AIRE.....	32
III.1.5 IMPACTOS SOBRE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	34
III.1.6 IMPACTOS SOBRE LAS AGUAS SUPERFICIALES.....	36
III.1.7 IMPACTOS SOBRE LA FLORA Y VEGETACIÓN.....	36
III.1.8 IMPACTOS SOBRE LA FAUNA.....	37
III.1.9 IMPACTOS SOBRE EL PAISAJE.....	41
III.1.10 IMPACTOS SOBRE LOS RECURSOS ARQUEOLÓGICOS.....	42
III.2 PLAN DE MONITOREO AMBIENTALES.....	43
III.2.1 METEOROLOGIA.....	44
III.2.2 CALIDAD DE AIRE.....	45
III.2.3 AGUA SUPERFICIAL.....	46
III.2.4 AGUA SUBTERRANEA.....	47
III.2.5 FAUNA SILVESTRE.....	49
III.2.6 GEOTECNICO.....	51
III.3 PLAN DE EMERGENCIAS Y CONTINGENCIAS.....	52
<b>CAPITULO IV FUNDAMENTO DE LA TEORIA SATELITAL GPS.....</b>	<b>54</b>
IV.1 FUNCIONAMIENTO DE LOS SATELITES.....	54
IV.1.1 CONTROL DEL GPS.....	55
IV.1.2 USUARIOS DEL GPS.....	56
IV.1.3 SEÑALES DE LOS SATELITES.....	56
IV.1.4 MEDIDAS DE CODIGO Y DE FASE.....	56
IV.1.5 ¿COMO FUNCIONA EL SISTEMA GPS?.....	57

IV.1.5.1 TRIANGULACIÓN.....	57
IV.1.5.2 MIDIENDO LA DISTANCIA A LOS SATÉLITES.....	59
IV.1.5.3 CONTROL PERFECTO DEL TIEMPO.....	60
IV.1.5.4 CONOCER DONDE ESTÁN LOS SATÉLITES.....	62
IV.1.5.5 CORRIGIENDO ERRORES.....	63
IV.2 OTROS SISTEMAS DE NAVEGACION POR SATELITES.....	66
IV.2.1 GLONASS.....	66
IV.3 CONCEPTO DEL TSC1.....	68
IV.3.1 CONCEPTOS DE LEVANTAMIENTOS GPS.....	68
IV.3.2 TECNICAS TOPOGRAFICAS GPS.....	69
IV.3.3 TECNICAS PARA TAREAS TOPOGRAFICAS GPS.....	71
IV.3.4 PREPARACION PARA LEVANTAMIENTOS GPS.....	72
IV.3.5 OPERACIONES DE TRABAJO.....	73
IV.3.6 REPLANTEO GPS.....	74
IV.4 SISTEMA SITE VISION.....	74
IV.4.1 HARDWARE DEL SISTEMA SITE VISION.....	75
IV.4.2 DISENOS Y FONDOS.....	82
IV.4.3 ZONAS A EVITAR.....	82
IV.5 DISPATCH.....	83
IV.5.1 GPS SOPORTE DEL DISPATCH.....	83
IV.5.2 COMPONENTES DEL DISPATCH.....	83
IV.5.3 PROGRAMACION LINEAL.....	86
<b>CAPITULO V APLICACIÓN DE LA TECNOLOGIA DE CONTROL DE PROCESO EN LA</b>	
<b>CONSTRUCCION DEL STARTER DAM.....</b>	<b>87</b>
V.1 CONTROL MEDIANTE EL SOFTWARE TRIMBLE SURVEY CONTROLLER TSCI.....	87
V.2 TECNOLOGIA GPS EN SISTEMA SITE VISION.....	90
V.3 TECNOLOGIA GPS EN DISPATCH.....	92
<b>CAPITULO VI ANALISIS DE RESULTADOS.....</b>	<b>94</b>
VI.1 CUADRO COMPARATIVO GPS vs. METODO CONVENCIONAL.....	94
VI.2 DIAGRAMA CAUSA EFECTO (ISHIKAWA).....	95
VI.3 APORTE DEL GPS EN LA CONSTRUCCION DE LA PRESA DE RELAVES.....	98
VI.4 AHORRO UTILIZANDO SITE VISION.....	99
<b>CAPITULO VII CONCLUSIONES.....</b>	<b>100</b>
<b>CAPITULO VIII RECOMENDACIONES.....</b>	<b>103</b>
<b>CAPITULO IX</b>	
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>104</b>
<b>CAPITULO X ANEXOS.....</b>	<b>105</b>

## CAPITULO I GENERALIDADES

### I.1 HISTORIA DE LAS OPERACIONES EN CERRO VERDE

Los primeros indicios de la extracción de mineral de cobre de la mina de Cerro Verde datan de 1868, cuando el mineral era embarcado directamente a Gales para la recuperación de los metales, y en el año 1916 Anaconda adquirió la propiedad. En 1970 Minero Perú, una empresa de propiedad del gobierno, compró la mina e inició las operaciones modernas de trabajos mineros y tratamiento de mineral. Estas operaciones incluían la extracción de mineral de dos áreas de tajo abierto (Cerro Verde y Santa Rosa), el manejo de tres plataformas de lixiviación (pads) y pozas de colección de una solución de cosecha (PLS), una planta SX/EW para producir 33,000 TMA de cátodos de cobre de alta pureza, una planta concentradora con una capacidad de 3,000 TMD de mineral y las instalaciones de servicios auxiliares. Los pads originales 1, 2 y 3, fueron construidos por Minero Perú a fines de los años setenta con una poza de colección cada una. Los revestimientos de los pads fueron de cemento asfáltico PEN 60-70 mezclado con látex. Estos pads fueron usados para lixiviar mineral de óxidos y mixtos a un tamaño de  $\frac{3}{4}$ ". Dichas operaciones se llevaron a cabo entre 1976 y 1993, período en el cual se procesaron más de 80 millones de toneladas de mineral y se produjeron alrededor de 411,000 toneladas de cobre electrolítico. El 1° de junio de 1993, la unidad minera Cerro Verde pasa a ser Sociedad Minera Cerro Verde S.A. En noviembre de ese año, el gobierno peruano decidió privatizar la Mina Cerro Verde; siendo adquirida por Cyprus Climax Metals Company (CCMC) el 18 de marzo de 1994.

Los pads 2A, 2B, 2C y 2D fueron construidos entre 1994 y 1996 para la lixiviación de material aglomerado finamente chancado. Estos pads, conocidos colectivamente como 2X, fueron construidos con tuberías de colección de solución y revestimientos de HDPE. La construcción del pad 4 se completó en 1996 e inició sus operaciones ese mismo año.

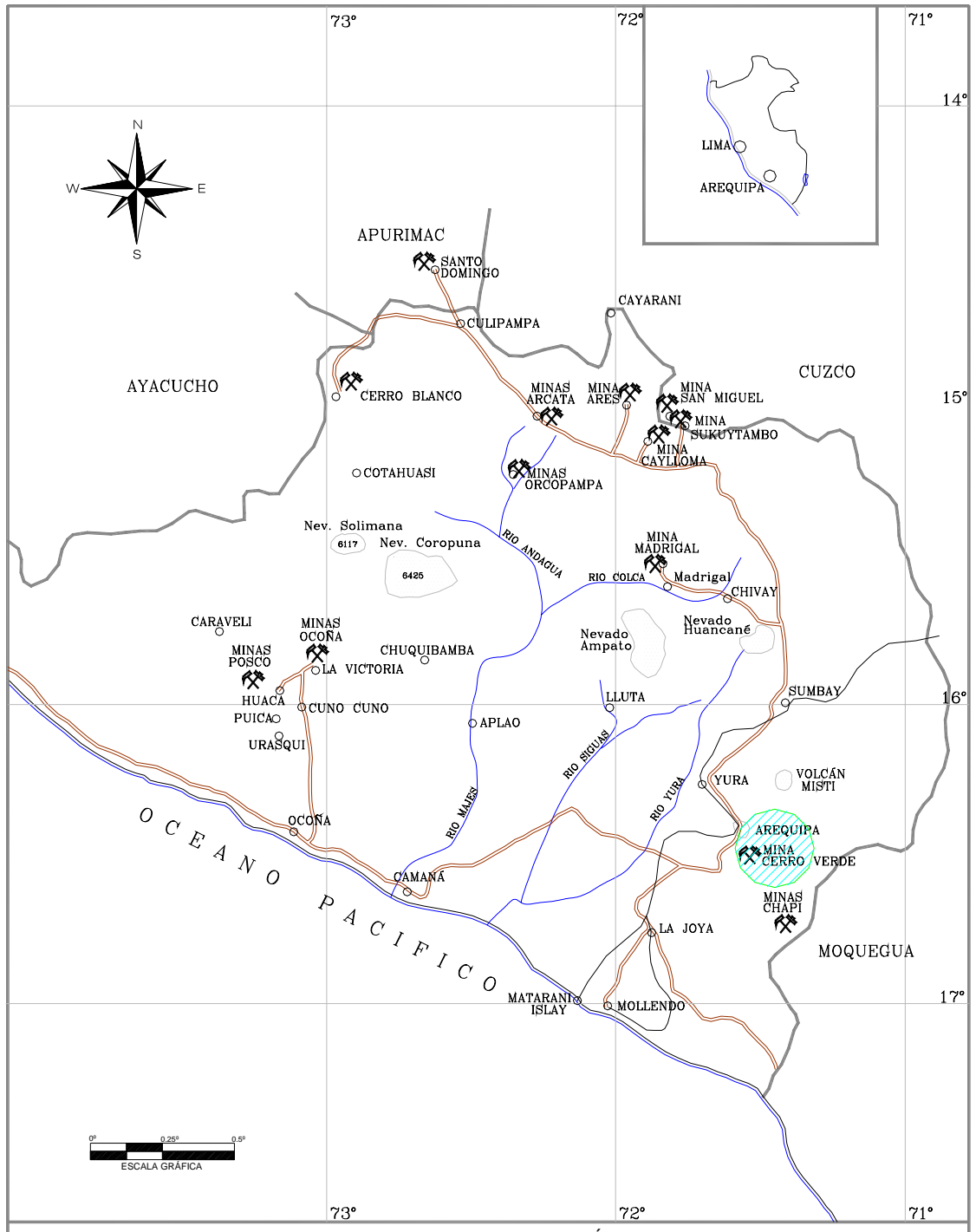


Este pad tiene una capacidad de diseño de aproximadamente 177 millones de toneladas, posee una base impermeabilizada de HDPE y VFPE y tiene un sistema de drenaje con tuberías corrugadas y perforadas. A fines del año 1999, Phelps Dodge Corporation adquirió Cyprus Clímax Metals Company siendo hasta la fecha el accionista mayoritario.

El 6 de diciembre de 1999, Sociedad Minera Cerro Verde S.A.A. se adecua a la Ley General de Sociedades, convirtiéndose en una Sociedad Anónima Abierta, cuyas acciones se cotizan en la actualidad en la Bolsa de Valores de Lima.

## **I.2 UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD**

El asiento minero Cerro Verde se encuentra ubicado a 30 km de la ciudad de Arequipa, a una altitud de 2 700 msnm, en los distritos de Uchumayo y Yarabamba, provincia de Arequipa. El acceso al asiento minero Cerro Verde se realiza a través de dos carreteras. Una de las cuales es una carretera asfaltada de 30 km de largo que viene desde Arequipa hasta las instalaciones del asiento minero y es usada como acceso principal a la mina. La otra es una carretera de 100 km de largo que viene desde la costa. Esta última es de acceso restringido en un tramo de 12 km y se utiliza actualmente como vía para el transporte de los cátodos de cobre hacia el puerto de Matarani.



UBICACIÓN MINA: CERRO VERDE

## I.3 OPERACIÓN MINERA

### I.3.1 Operación mina

Actualmente, SMCV explota sus reservas mineras constituidas por sulfuros secundarios, a través del tajo abierto Cerro Verde a un ritmo de aproximadamente 180,000 TMD de movimiento total.

Dentro de esta cantidad, se mina aproximadamente 38,000 TMD mineral de alta ley y aproximadamente 20,000 TMD de mineral de baja ley o ROM y 3,400 TMD de sulfuro primario, La relación de desbroce / mineral se presenta a una razón de 2,1:1,0. Actualmente no se explota el tajo Santa Rosa, debido a que el mineral lixiviable de este tajo se ha agotado. El yacimiento Cerro Negro está programado para iniciar su explotación en el año 2007. Las características y la viabilidad del proyecto de sulfuros primarios no están relacionadas con la explotación del depósito de Cerro Negro.

La extracción de material de la mina se lleva a cabo usando bancos de 15 metros de altura; Las operaciones realizadas para la extracción de material consisten en cuatro etapas:

Perforación, voladura, carguío y acarreo, además de las operaciones auxiliares.

**Perforación:** La perforación es la etapa inicial en las operaciones mineras el cual consiste en la perforación de taladros de voladura de acuerdo a un diseño de malla.

En Sociedad Minera Cerro Verde la profundidad de los taladros son de 15 metros de longitud con una sobreperforación de 1 a 1,5m con un diámetro de taladro de 11 pulgadas.

La perforación se realiza a través de tres perforadoras Ingersoll Rand DM-M2, siendo el sistema de perforación del tipo Rotación y Trituración y una perforadora Atlas Copco ROC L8.

**Voladura:** El proceso de voladura se emplea para fragmentar la roca y permitir su excavación. Los taladros perforados son cargados para la voladura con ANFO. El ANFO es una mezcla de nitrato de amonio (94%) y petróleo (6%) en cantidades estequiométricas definidas.

La mezcla se realiza en un camión fábrica dotado de controles electrónicos para regular dicha mezcla. Posterior a la preparación, se obtiene una muestra para ser llevada al laboratorio químico y verificar los porcentajes. La mezcla de los dos elementos se realiza justo en el momento previo a que ésta caiga al taladro perforado. Por lo tanto el explosivo en la práctica recién se forma dentro del taladro.



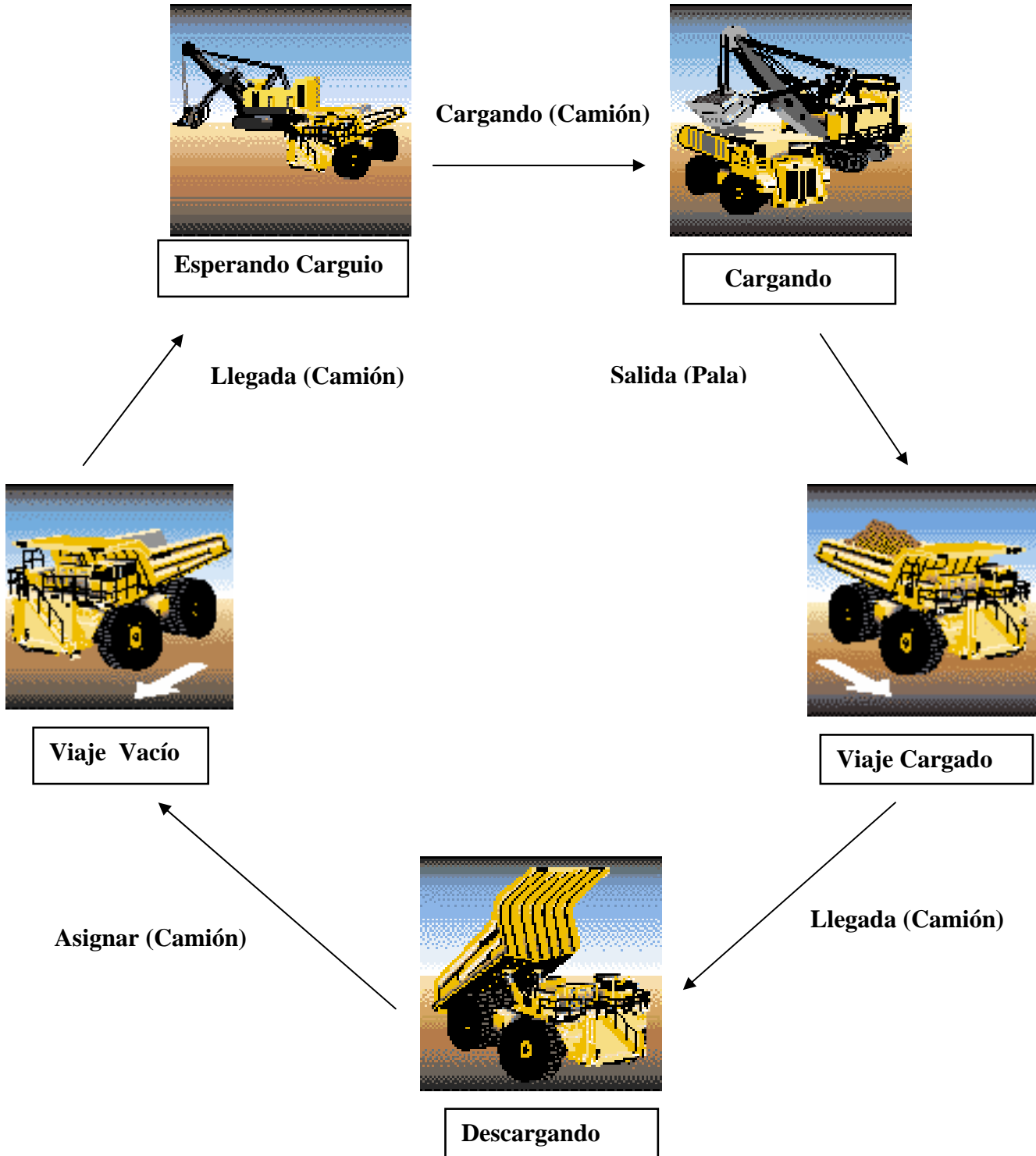
### **Perforadora Ingersoll Rand DM-M2 N°8**

**Carguío:** La roca fragmentada es cargada mediante palas eléctricas de 25 y 44 yardas cúbicas en camiones CAT de 180 Y 240 TN. Las palas cuentan con el sistema Dispatch de Alta Precisión, el que permite llevar continuamente el control de la ubicación de la máquina y su posición en relación con los cuerpos de mineral y desbroce.

**Acarreo:** Se hallan en operación 16 camiones CAT 789 de 180 TM y 3 camiones CAT 793 de 240 TM capacidad. Los camiones llevan distintos tipos de material a su respectivo destino: desbroce al botadero, mineral directo de mina sin chancar (ROM) al pad ROM de lixiviación, y mineral de alta ley al chancado.

El sistema Dispatch dirige a los camiones para controlar precisamente el movimiento de equipo, el destino del material y su eficiencia.

## ACCIONES Y EVENTOS DE CICLO DE ACARREO





**Camión CAT 789 N°. 51**

### **I.3.2 Operaciones auxiliares:**

Se utilizan equipos para el mantenimiento de carreteras, mantenimiento de botaderos, limpieza de frentes de carguío, regadío de carreteras y frentes, construcción de plataformas, bermas, construcción de la presa de arranque, construcción de carreteras y caminos, etc.



**Cisterna regando frente de carguo Pala 9**

## **I.4 INGENIERÍA MINA**

Los trabajos planificados por Ingeniería Mina son ejecutados coordinadamente por Operaciones Mina.

Para la explotación de la mina se desarrollan en Ingeniería Mina proyectos alternativos con planeamientos a largo, mediano y corto plazo, utilizando programas computarizados de tecnología de punta.

**I.4.1 Planeamiento a largo plazo:** Es el área encargada de los programas de minado a largo plazo determinando los límites de minado económicos del tajo con sus fases de minado hasta el cierre de mina en base a la información de exploraciones, realizando también el requerimiento de equipos y sus disponibilidades para cumplir con dichos planes mediante informes llamados Budget (vida de la mina, tonelaje a minar por año, desmonte, leyes promedio por año, límites de minado o pushback, número de equipos, ángulo de taludes, diseño de botaderos, etc).

Desarrollando:

- ✍ Optimización del Límite Final
- ✍ Diseño de Fases de Minado
- ✍ Secuencia de Minado

Todos estos en base a los modelos de mina en el cual los tajos son representados por bancos con polígonos que se van expandiendo de un nivel al siguiente y los modelos financieros para planificar, presupuestar y evaluar económicamente el diseño siendo el juez la maximización del Valor Presente Neto.

**I.4.2 Planeamiento a corto plazo:** consiste en el trabajo diario y semanal del minado, teniendo muy en cuenta los procedimientos de seguridad del personal que labora y el control ambiental.

El sistema de muestreo del detritus de los taladros de perforación permite obtener información completa para determinar las zonas de mineral y desbroce facilitando de esta forma zonificar áreas para la explotación selectiva.

La topografía de la mina y los pads se efectúa con equipos GPS que son instrumentos de gran versatilidad con un sistema satelital.

El control operativo y el despacho de camiones se efectúa con un sistema computarizado satelital (dispatch) lo que permite llevar un adecuado control del destino de los materiales extraídos de la mina.

## **I.5 PROCESOS METALÚRGICOS**

### **I.5.1 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 la chancadora opera a un promedio de 38,000 TMD. El mineral proveniente de la mina en camiones de 180 TM y 240 TM, es descarriado en la chancadora primaria. La chancadora primaria alimenta a un sistema de fajas que transporta el mineral a la pila de material grueso con una capacidad total de 90,000 toneladas (20,000 toneladas vivas). Una correa alimenta a dos chancadoras cónicas



secundarias. El material que sale de las chancadoras secundarias alimenta al circuito de las chancadoras terciarias. El producto triturado que se obtiene 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 refino (solución con bajo contenido de cobre obtenida del proceso de extracción por solventes).

### **I.5.2 Proceso de lixiviación**

Una faja de aproximadamente 3,2 km de largo, transporta el mineral aglomerado hacia la plataforma de lixiviación pad 4. Fajas portátiles llevan el material aglomerado de la faja transportadora a una faja apiladora radial sobre el pad 4. El material es colocado 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.

Actualmente, los Pads 1, 2A, 2B y 2D están conectados y operan como un solo pad grande para lixiviar mineral ROM de baja ley. El pad 2C también es usado para tratar ROM, pero no está conectado a los otros pads. Estos pads actualmente acomodan al 25% del mineral minado y producen aproximadamente el 10% de la producción de cobre de Cerro Verde. El material ROM es depositado en bancos de 10 metros de altura y lixiviado con solución refino proveniente de la planta de extracción por solventes (SX) por 360 días. La solución es colectada en las pozas 1 y 2 y bombeada al pad 4 como una solución intermedia o de avance de lixiviación.

Los pads 2 y 3 son lixiviados para la producción de cobre residual. En estos pads no se ha colocado mineral fresco desde 1994, sin embargo conjuntamente con el cobre residual del pad 1, constituyen el 5% de la producción de cobre de Cerro Verde. Todo el mineral aglomerado es colocado en el pad 4 y lixiviado por 230 días. Este pad actualmente produce cerca del 85% de la producción de cobre de Cerro Verde. La solución de lixiviación consiste de una mezcla de raffinate de la planta SX y la solución de avance de los otros pads. La solución lixiviada o PLS es colectada en la poza 4 y bombeada a lo largo de 4 km hacia la planta SX.

El flujo normal de cosecha (PLS) hacia la planta es de aproximadamente 17,500 gpm utilizando 3 tuberías de HDPE de 22 pulgadas. Las tuberías están equipadas con alarmas de pérdida de presión y son monitoreadas con el sistema de control de PLC. El sistema de lixiviación actualmente tiene una capacidad adicional para 138 millones de toneladas de mineral; 38 millones sobre los pads de ROM y 100 millones sobre el pad 4.

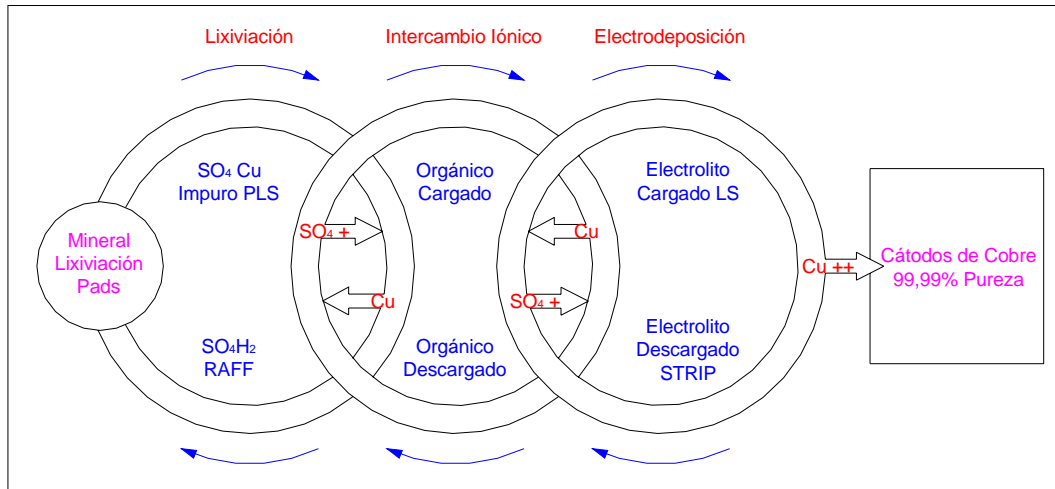
## **I.6 SX/EW**

### **I.6.1 Extracción por Solventes (SX)**

La solución cosecha (PLS) obtenida del pad 4 es dirigida ya sea a la poza de almacenamiento de PLS localizada en el área de la planta de extracción por solventes, de ahí es bombeada a la planta de extracción por solventes. La planta de extracción por solventes consta de 2 etapas, la etapa de extracción y la etapa de reextracción. En este circuito se obtiene dos productos, una solución pura rica en cobre que va a la planta de electrodeposición y una solución impura en cobre con alta acidez conocida como refino que es bombeada de retorno a lixiviación. La etapa de extracción, que con el uso de un reactivo orgánico específico para el cobre, purifica la solución de sulfato de cobre impura proveniente de la lixiviación (cosecha o PLS) obteniéndose una solución orgánica cargada en cobre y otra solución acuosa impura descargada de cobre y enriquecida en ácido (refino), que regresa a la lixiviación. La fase de reextracción descarga el cobre de la solución orgánica cargada que proviene de la primera fase de extracción con el uso de una solución electrolítica descargada en cobre y cargada en ácido (stripp), recuperándose el reactivo orgánico descargado en cobre que regresa a la primera fase de extracción por solventes para cargarse nuevamente en cobre y otra solución cargada de cobre que se dirige hacia los filtros de arena y antracita, el mismo que es almacenado posteriormente en un tanque y posteriormente enviada al circuito de electrodeposición.

La planta original consta de 4 módulos o trenes, cada uno con tres celdas de extracción y dos de reextracción. En 1996, se introdujo una nueva configuración conocida como series paralelas, que permitió duplicar el flujo de cosecha a 12,000 gpm logrando un incremento notable en producción de cobre.

Posteriormente se implementó un quinto módulo el cual consta de dos celdas de extracción y dos de reextracción y tiene una capacidad para tratar 6,600 gpm adicionales, con una eficiencia de extracción de 94%.



**Flujo Extracción por Solventes**

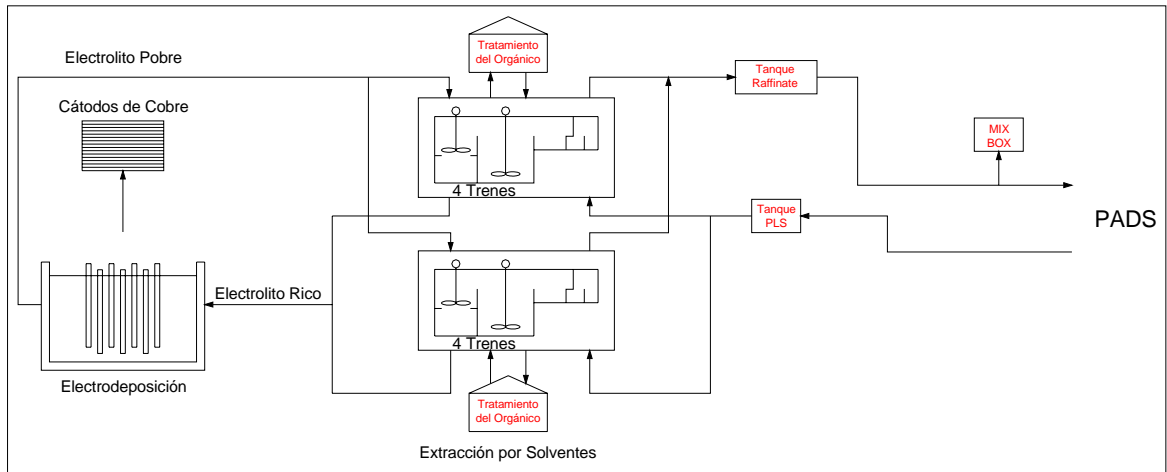
### I.6.2 Electrodeposición (EW)

La planta de electrodeposición deposita el cobre en forma metálica en cátodos, que constituye el producto final con una pureza de 99,99% de cobre.

Este circuito tiene dos secciones, la sección de láminas de arranque y la sección de celdas comerciales. La sección de láminas de arranque produce láminas de cobre que sirven para formar posteriormente los cátodos.

Esta sección cuenta con 22 celdas de 49 ánodos de una aleación plomo-calcio-estaño y 48 cátodos que son planchas de acero inoxidable, donde se deposita el cobre por 24 horas. Estas láminas tienen un peso promedio de 6 kg. La sección de celdas comerciales tiene 230 celdas que cuenta con 50 ánodos y 49 cátodos.

Al inicio del proceso, se usa las láminas iniciales obtenidas en el proceso anterior y después de un período de deposición de 6 días se obtienen cátodos con un peso aproximado de 125 Kg. los cuales son muestreados, pesados y embalados en paquetes para ser exportados. El nivel de producción en las operaciones de lixiviación, extracción por solventes y electrodeposición es de aproximadamente 250 TMD de cátodos de cobre.



**Proceso Extracción por Solventes y Electrodeposición**

**I.7 GEOLOGÍA**

El asiento minero Cerro Verde está emplazado regionalmente en un área constituida por diversos tipos de rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas, con edades geológicas comprendidas entre el Precámbrico y el Cuaternario reciente. El basamento en el área de Cerro Verde está constituido por las unidades litoestratigráficas:

Gneis Charcani, Conglomerado Tinajones, Volcánico Chocolate, Formación Socosani y el grupo Yura, las cuales se encuentran cortadas por las super unidades Granodiorita Tiabaya y Granodiorita Yarabamba, rocas intrusivas del complejo “La Caldera” . Los yacimientos Cerro Verde, Santa Rosa y Cerro Negro son de tipo pórfido de cobre y molibdeno emplazados en el segmento sur del Batolito de la Costa, Segmento Arequipa, Superunidades Tiabaya y Yarabamba.

**I.7.1 Geología local**

A continuación se hace una breve descripción de las principales características de las rocas del área de Cerro Verde, de la más antigua a la más reciente.

El Gneis Charcani del Precámbrico - Paleozoico Inferior, se compone de gneis bandeados de grano medio a grueso con abundante ortosa, cuarzo y biotita. Los

principales afloramientos de Gneis Charcani se ubican en el lado norte, oeste y sur del yacimiento Cerro Verde, y al norte y sur de Santa Rosa.

Sobre el Gneis Charcani, en discordancia angular aflora el Conglomerado Tinajones del Triásico-Jurásico.

El Volcánico Chocolate, del Jurásico inferior, se compone de una gruesa secuencia marrón verdusca, de derrames y tobas volcánicas basáltico-andesíticas intercaladas con calizas y lutitas.

La Formación Socosani, del Jurásico inferior a medio está constituida por una gruesa secuencia gris de calizas, lutitas, areniscas y cuarcitas que suprayacen con ligera discordancia angular a los volcánicos Chocolate.

El Grupo Yura, de edad Jurásico superior a Cretáceo inferior, está constituido por una secuencia de lutitas oscuras carbonatadas, con intercalaciones de cuarcitas pardas en la base, con cuarcitas masivas y calizas en la parte superior.

Las rocas intrusivas cretácico-terciarias, correspondientes a la última de las tres etapas principales de actividad ígnea, están constituidas por una serie de intrusiones pertenecientes al Batolito de la Costa, y que fueron las causantes de la mineralización de los yacimientos de cobre y molibdeno.

El complejo diorita augita, de aproximadamente mayor que 100 millones de años de edad, cuyo afloramiento principal se ubica en la parte noreste, noroeste y suroeste del proyecto Cerro Verde, constituye la periferia o halo metamórfico del Batolito. Este halo se halla muy fracturado e intruido, con relleno de epidota en las fracturas. La Granodiorita Tiabaya, de aproximadamente 78 millones de años de edad de textura equigranular y mineralogía compuesta por plagioclasas, cuarzo y ortosa, aflora al noreste de los yacimientos Cerro Verde, Santa Rosa y Cerro Negro.

La Granodiorita Yarabamba de 68 millones de años es el intrusivo de mayor afloramiento en el área de estudio.

Los pórfidos dacítico - monzonítico Cerro Verde y Santa Rosa, de textura porfirítica es un stock de 58 a 60 millones de años asociado directamente con la mineralización de las rocas encajantes con cobre primario de los yacimientos de Cerro Verde y Santa Rosa. Aflora como pequeños apófisis dentro de la granodiorita Yarabamba, en el área de Cerro Verde, Santa Rosa y Cerro Negro.

Específicamente en el área de las obras proyectadas, afloran principalmente rocas intrusivas superunidades granodioritas de Yarabamba y granodioritas de Tiabaya, gneis Charcani, volcánico Cerro Negro y en menor Porcentaje brechas de Turmalina. En el área de los depósitos de relaves Enlozada, afloran rocas del volcánico Chocolate, conglomerado Tinajones, pegmatitas microgranito, gneis Charcani y granodioritas Tiabaya.

Las rocas cuaternarias recientes, están constituidas por una serie de depósitos de origen eólico, volcánico sub-aéreo, coluvial y aluvial. Estos depósitos se encuentran tanto en las laderas de los cerros, como en los propios canales de drenaje o quebradas.

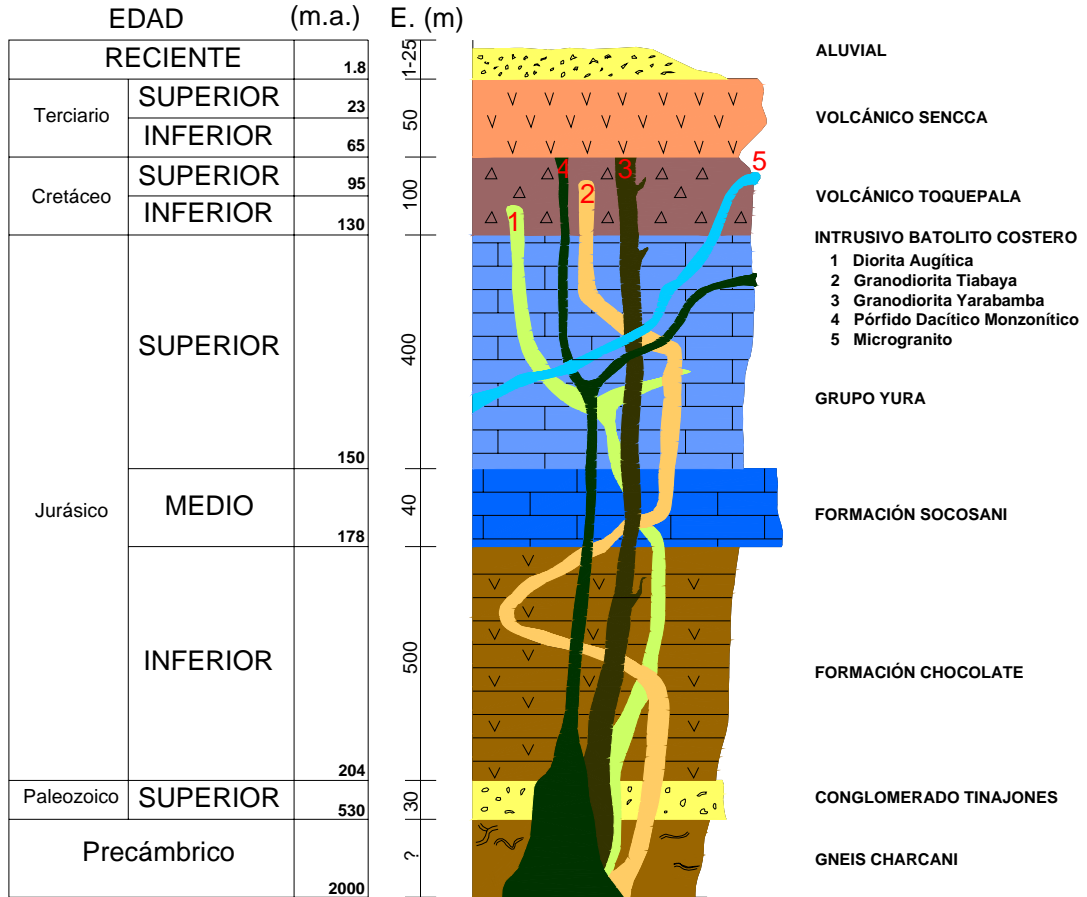
Los depósitos eólicos, sub-aéreos y coluviales compuestos por delgadas capas de arenas, cenizas blanquecinas y clastos angulosos inconsolidados de granulometría y litología heterogéneas, en matriz arenosa. Se encuentran rellenando los lechos de las quebradas con espesores variables. Por sus características de granulometría, permeabilidad y ubicación constituyen importantes conductos para el flujo del agua subterránea.

### **I.7.2 Geología estructural**

El área de estudio ha sido sometida a un intenso fallamiento y fracturamiento en diferentes etapas de su historia geológica especialmente como consecuencia del levantamiento de los Andes y del emplazamiento del Batolito de la Costa. En las minas de Santa Rosa y Cerro Verde se han reconocido un sin número de fallas, especialmente en esta última, las que han tenido un papel muy importante en la formación de los depósitos. Estas fallas que afectan al complejo intrusivo de “La Caldera” sigue el rumbo general Andino NO-SE, habiéndose formado después del emplazamiento de la granodiorita Yarabamba.

Entre estas fallas de nivel regional se puede mencionar la Falla Cenicienta, Falla Variante, Falla Jenks, Falla Tinajones y Falla Yura. Fallamiento y fracturamiento a nivel local revela un importante componente E-O, sistemas NO-SE y NE-SO, estos sistemas de fallas atraviesan el depósito y la de dirección NO han jugado un papel importante en el emplazamiento de los intrusivos mineralizantes; así como en el control de la mineralización primaria en Cerro Verde.

### COLUMNA ESTRATIGRAFICA



#### I.7.3 Alteración hidrotermal

Como es común en estos tipos de depósitos, en Cerro Verde, Santa Rosa y Cerro Negro, también se reconoce un zonamiento concéntrico con los siguientes tipos de alteración (del núcleo hacia fuera): potásica, fílica, argílica avanzada y propilítica. El límite de alteración en superficie en Cerro Verde y Santa Rosa abarca un área de 5 km de largo por 5 km de ancho.

La alteración potásica se distribuye en las partes céntricas y más profundas de los yacimientos, se caracteriza por la presencia de feldespato potásico, en forma de venillas, diseminado y en parches; la biotita se presenta finamente diseminada o en pequeños grumos con cuarzo siempre presente.

Ensamblajes minerales comunes de esta zona son: ortosa más cuarzo y biotita como accesorio; biotita más cuarzo y ortosa como accesorio.

La alteración fílica ampliamente distribuida en los tres yacimientos, se caracteriza por el ensamble cuarzo-sericita, con algo de arcillas; como minerales accesorios suelen ocurrir: biotita, clorita epidota, turmalina, rutilo y esfena; entre los minerales opacos, principalmente: pirita, molibdenita y calcopirita. En general los sulfuros ocurren finamente diseminados, el rutilo se presenta ocasionalmente acompañado por pirita.

La alteración propilítica se presenta en los bordes de los yacimientos, donde las rocas se muestran verdosas por la presencia de cloritas y/o epidota. Como minerales acompañantes se suelen encontrar: rutilo, leucoxeno y albita. En estos ensamblajes la pirita es más abundante que la calcopirita; mientras que la molibdenita sólo ocurre en trazas. Estos sulfuros ocurren principalmente finamente diseminados.

La alteración argílica avanzada se presenta en los bordes de los yacimientos y se caracteriza por la presencia de alunita y pirofilita. La alunita ocurre principalmente en venillas entrecruzadas y por lo general en las zonas superiores de las brechas, a las cuales corta; la acompañan caolinita, cuarzo y sulfuros, generalmente finamente diseminados.

## **I.8 SISMICIDAD**

La región sur oeste del Perú muestra una gran actividad sísmica relacionada a la interacción entre la placa continental con la zona de subducción de la placa de Nazca. Esta interacción origina sismos superficiales en la línea de costa; sismos intermedios y profundos conforme se introduce en el continente; y sismos superficiales en la zona paralela a la cadena volcánica y al este de la línea de costa. En consecuencia, la ciudad de Arequipa se encuentra constantemente sometida a la acción de eventos sísmicos con altas intensidades, que generalmente ocasionan fuertes daños.



Existen tres mecanismos sísmicos básicos que se presentan en el área de Cerro Verde:

- ✍ Los terremotos resultado de la tensión desarrollada de la superposición de las placas de Nazca y Sudamérica. La profundidad de estos terremotos puede variar desde unos pocos kilómetros hasta cientos de kilómetros de profundidad, dependiendo de las características geofísicas de la zona de superposición de las placas.
- ✍ Terremotos debido a fallas que se producen entre las placas de la corteza terrestre y se deben principalmente a la compresión o tensión desarrollada entre las placas como resultado de los movimientos tectónicos. El fracturamiento de la zona de superposición no se extiende siempre hasta la superficie. foco generalmente de poco a moderadamente profundo.
- ✍ Terremotos de origen volcánico, son tenues y se asocian con pequeños a moderados terremotos que resultan de las explosiones volcánicas o con la tectónica volcánica. Para evaluar el riesgo de sismos en Cerro Verde, se hizo una revisión bibliográfica. Del análisis de esta revisión, se observa que la distribución de los epicentros de sismicidad se encuentra definitivamente sobre el área de Arequipa y Cerro Verde. Si bien existen una cantidad de fallas superficiales y profundas en el área, no parecen influir en la sismicidad. Parece no haber una concentración de epicentros o hipocentros que se correlacione con las expresiones superficiales conocidas en los alrededores del proyecto. Más bien, la sismicidad es una combinación de aspectos relacionados a la superficie y a las interplacas, combinados con la actividad de superposición de las placas.

Aproximadamente se conocen 723 sismos con intensidad mayor que 3,5 en la escala de Mercalli Modificada (MM) dentro de un radio de 200 km de la mina Cerro Verde desde el año 1471; y más de 3,000 eventos en la región sur del Perú. En particular el terremoto del 23 de junio de 2001, ocurrido en Arequipa frente a la línea de la costa, produjo muerte y destrucción principalmente en los departamentos de Arequipa, Ayacucho, Moquegua y Tacna; las intensidades máximas en algunas localidades y ciudades próximas a la costa llegaron a VII – VIII en la escala Mercalli Modificada. En Cerro Verde se tuvo daños menores.

Adicionalmente, para el desarrollo del estudio de ingeniería del depósito de relaves se llevó a cabo un estudio de riesgo sísmico de la zona de Cerro Verde, el estudio, que se basa en las características tectónicas de la región, los registros históricos de sismicidad y las características de fuentes sísmicas de la región, desarrolla tanto análisis determinístico como probabilístico y concluye que el Máximo Terremoto Creíble en el área de Cerro Verde es de magnitud 9 y corresponde a períodos de retorno de 2 000 a 3 000 años.

Cabe señalar que en la revisión de sismicidad histórica incluida en el estudio de riesgo sísmico mencionado en el párrafo anterior, se recopilaron datos disponibles tanto de magnitud Richter de algunos eventos como de intensidad Mercalli Modificada en Arequipa.

## **CAPITULO II FUNDAMENTOS PROYECTO SULFUROS PRIMARIOS**

### **II.1 DESCRIPCION DEL PROYECTO DE SULFUROS PRIMARIOS**

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.

Actualmente, Cerro Verde explota el mineral lixiviable y lo procesa a través un sistema convencional de lixiviación en pilas y tecnología de extracción por solventes y electrodeposición. Según las reservas de SMCV, el mineral lixiviable se explotaría hasta el 2014. Para extraer el cobre de los sulfuros primarios (económicamente no lixiviables) se requiere una tecnología de proceso diferente.

El Proyecto de Sulfuros Primarios de SMCV involucra el desarrollo de las instalaciones de proceso, infraestructura y operaciones auxiliares que permitirán explotar económicamente los sulfuros primarios a un nivel de procesamiento promedio en planta de 108,000 TMD para obtener como producto final aproximadamente 10 a 15 TMD de concentrados de molibdeno y 2,400 TMD de concentrados de cobre, los cuales serán transportados y embarcados en el puerto de Matarani. El diseño del procesamiento y beneficio del mineral incluye una chancadora primaria, un sistema de almacenamiento de mineral grueso, un circuito de chancado secundario, un circuito de chancado terciario utilizando chancadoras de rodillos a alta presión (HPGR), un circuito cerrado de molienda con molinos de bolas y 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 en un nuevo depósito y otras obras auxiliares requeridas.

La inversión estimada para este proyecto alcanza aproximadamente los US\$ 800 millones y su operación se ha evaluado económicamente por 26 años.

## **II.2 ACTIVIDADES DE LA ETAPA DE CONSTRUCCIÓN**

La etapa de construcción de las instalaciones está programada para ejecutarse por un período de aproximadamente 24 meses, iniciándose el primer trimestre del 2005. En esta etapa del proyecto, las principales actividades que se desarrollarán corresponderán a:

- Construcción de planta chancadora primaria;
- Instalación de faja transportadora;
- Construcción de cancha de acopio de mineral grueso;
- Construcción de la planta de chancado fino (secundario y terciario);
- Construcción de la planta de molienda;
- Construcción de la planta de flotación, filtrado y almacenaje de concentrados;
- Construcción de las obras de arranque del depósito de relaves; y
- Construcción de instalaciones auxiliares.

### **II.2.1 Construcción de planta chancadora primaria**

La nueva planta chancadora primaria se ubicará aproximadamente a 250 m al noroeste de la actual chancadora primaria de sulfuros secundarios. Las actividades de construcción de esta instalación consideran la preparación y nivelación del terreno, la construcción de los cimientos, de las áreas de descarga de mineral desde camiones, la instalación de las estructuras de soporte y del equipo de chancado propiamente tal, incluyendo buzones de traspaso de mineral. Considera además la instalación de los equipos de operación y control automático de la chancadora y del sistema de control de emisiones de polvo.

### **II.2.2 Instalación de faja transportadora**

Para el transporte del mineral desde las instalaciones de la nueva chancadora primaria hasta las instalaciones de la planta de procesos se instalará una faja transportadora. La faja transportadora tendrá en total unos 900 m de longitud, desde la descarga de la chancadora primaria hasta las instalaciones del área de acopio de mineral grueso. Las actividades de construcción de la faja transportadora consideran la nivelación y preparación de la plataforma en donde se instalarán las estructuras de

soporte de la faja; las estaciones de traspaso; y la habilitación de un camino de servicio para el tránsito de vehículos livianos, principalmente de inspección y mantenimiento.

### **II.2.3 Construcción de cancha de acopio de mineral grueso**

La nueva cancha de acopio de mineral grueso se ubicará aproximadamente 900 m al norte de la nueva chancadora primaria y consistirá en una base circular de aproximadamente 68,5 m de radio. La nueva faja transportadora proveniente de la chancadora primaria descargará el mineral en el acopio, el que alcanzará una altura de hasta 44 metros. El mineral será enviado a las etapas posteriores de chancado fino a través de cámaras de recuperación, alimentadores y una faja que se ubicarán bajo la base del acopio.

Esta etapa incluirá la preparación de la base de tierra de la cancha de acopio, la preparación de los túneles de concreto para el traspaso de mineral, que conectarán la base de tierra con el sistema recuperador de mineral, y la instalación de los equipos y sistemas energéticos y de control.

### **II.2.4 Construcción de la planta de chancado fino**

El mineral, después de pasar la etapa de chancado primario, será descargado directamente desde la cancha de almacenamiento de mineral grueso en una sola faja que lo transportará hasta tolvas reguladoras de carga del circuito de chancado secundario.

La planta de chancado fino será construida de estructuras de acero y estará ubicada en una instalación abierta de 70 m x 74 m aproximadamente. Las zarandas y chancadoras de cono serán dispuestas a un lado de la instalación y las chancadoras terciarias con rodillos a alta presión (HPGR) en el otro lado.

Una faja distribuidora (tripper) descargará el mineral proveniente de la etapa anterior en cuatro tolvas reguladoras de carga sobre las zarandas y chancadoras secundarias.

Alimentadores de correa transferirán el mineral de las tolvas a las zarandas de doble piso tipo banana. El mineral de mayor tamaño de la malla de la zaranda será descargado directamente a cuatro chancadoras secundarias de cono.

El producto de las chancadoras secundarias será recirculado en circuito cerrado a la faja de recuperación de la cancha de mineral grueso. El mineral de menor tamaño de la malla de las zarandas descargará en otra faja transportadora para transferirla al circuito de chancado terciario (HPGR).

Otra faja distribuidora (tripper) descargará el mineral con un chancado secundario en cuatro tolvas reguladoras de carga ubicadas sobre las chancadoras con rodillos a alta presión (HPGR). El mineral será transferido de las tolvas a los chutes de los chancadores (HPGR) por cuatro alimentadores.

El producto de las chancadoras terciarias HPGR descargará individualmente en un sistema de fajas transportadoras para transferirlos directamente desde las tolvas (silo) de alimentación a los molinos de bolas. Cada silo estará equipado con una faja alimentadora que lo descargará y transferirá directamente a la zaranda de alimentación al molino. El mayor tamaño de la malla de la zaranda será recirculado a las chancadoras terciarias HPGR, el menor tamaño será descargado directamente e individualmente a cuatro sumideros de alimentación a los molinos de bolas.

Se contará con una faja transportadora bypass de emergencia para que el material de mayor tamaño de la malla de las zarandas pueda ser recirculado temporalmente a los silos de regulación de carga de los molinos de bolas si se presentase alguna necesidad o contingencia operacional en la planta de chancado terciario HPGR.

La construcción de la nueva planta de chancado fino (secundario y terciario) fundamentalmente incluye la preparación de sitio (despeje y nivelación del terreno), construcción de los cimientos y de las estructuras metálicas de soporte donde se instalarán los equipos de proceso mencionados anteriormente, salas de control automático, instalaciones eléctricas, instalación de sistemas de control y supresión de polvo, y sistema de colección de derrames de sumideros para su posterior retorno al circuito con equipo de bombeo.

### **II.2.5 Construcción de la planta de molienda**

Las diferentes secciones del circuito de molienda serán instaladas en un edificio abierto de estructuras metálicas que soportará los puentes de grúa para el servicio de mantenimiento de los molinos y ciclones. Las zarandas estarán en una nave, los

molinos en otra y los ciclones en una tercera nave. Cada nave tendrá una grúa puente adecuada para la instalación y servicio de los equipos que pertenecen a esa nave.

El mineral proveniente del circuito de chancadoras terciarias HPGR alimentará directamente a cada uno de las cuatro zarandas donde será clasificado en fracción fina y fracción gruesa. La fracción fina tendrá la distribución de tamaños adecuada para su posterior procesamiento en el circuito de flotación. La fracción gruesa fluirá dentro de cuatro molinos de bolas para someterse a una molienda y obtener un mineral más fino. La pulpa de mineral de los molinos de bolas será descargada y recirculada a las pozas sumidero de alimentación a los ciclones primarios y luego bombeada al circuito cerrado de las unidades de clasificación en ciclones.

La planta de molienda se ubicará inmediatamente al Nor-Este de la planta de chancado terciario. Las actividades de construcción de esta planta de molienda incluirán fundamentalmente la preparación del sitio (despeje y nivelación del terreno), construcción de los cimientos y de las estructuras metálicas con piso de concreto, dentro de las cuales se instalarán los equipos de proceso mencionados anteriormente, salas de control, tuberías e instalaciones eléctricas.

El piso del área de las instalaciones de molienda será de concreto con pendiente a canaletas y sumideros dotados con bombas de sumidero para interceptar y recircular eventuales derrames de pulpa de mineral al proceso. Esta actividad incluye la construcción y habilitación de tanques adicionales para el almacenamiento de reactivos de proceso que se ubicarán fuera del edificio de molienda y se contará con medidas de seguridad y obras de contención de eventuales derrames.

## **II.2.6 Construcción de la planta de flotación, filtrado y almacenaje de concentrados**

Esta actividad considera la construcción e instalación de equipos de flotación colectiva y selectiva de minerales de cobre y molibdeno. Para albergar estos nuevos equipos se ha seleccionado un área ubicada inmediatamente al oeste de la nueva planta de molienda, que será nivelada y despejada para instalar las celdas de flotación, espesadores, filtros y tuberías.

El área de flotación se dividirá internamente en un área de flotación colectiva, un área de espesado de concentrado mixto, un área de espesado de relaves y un área de flotación selectiva (planta de molibdeno).

El área de flotación colectiva operará a cielo abierto y contará con piso de concreto con pendiente hacia un sumidero en donde se recolectarán los eventuales derrames de concentrados, los cuales serán reincorporados al proceso. El área de flotación selectiva (planta de molibdeno), al igual que el área de filtrado y almacenaje de concentrados de cobre y de moliendo. Tendrán las mismas características del circuito de flotación colectiva.

El almacenaje de concentrados de cobre se efectuará en un edificio cerrado con estructuras metálicas, que tendrá capacidad para almacenar aproximadamente 5,000 toneladas. Esta instalación incluirá también un área de carguío de concentrado en camiones. Asimismo, se destinará un área de emergencia recubierta con asfalto, en caso de eventos de interrupción del transporte de concentrados. Esta área tendrá una capacidad de almacenamiento de 10,000 toneladas de concentrado.

En esta área se ubicarán también los estanques para el almacenamiento y preparación de la cal y reactivos, la que considera un sistema de contención secundaria, alcanzando en total una superficie aproximada de 7,000 m<sup>2</sup>

### **II.3 PRESA DE ARRANQUE**

El depósito de relaves estará ubicado en la cabecera de la Quebrada Enlozada, al noroeste de la planta concentradora. Al final de su vida útil, el depósito tendrá una superficie de aproximadamente 618 ha y una capacidad suficiente para almacenar aproximadamente 874 millones TMS de relaves.

La presa de arranque tendrá un volumen de aproximadamente 7 millones de m<sup>3</sup> y una altura máxima de 85m y será construido de roca de desmonte del tajo compactada utilizando para ello maquinaria pesada apropiada. se eliminará todo el material de suelo suelto superficial en el área de la presa de arranque, con el objetivo de mejorar la condición de fundación. La construcción de la presa de arranque será completada en aproximadamente 17 meses. La presa de arranque será construida con un talud de aguas arriba de 2H:1V y aguas abajo variable 3.5H:1V y 2H:1V con dos bermas de 15m. de ancho.



### II.3.1 Sistemas cortafugas y de recolección de filtraciones

El depósito ha sido diseñado bajo el concepto de descarga cero. Bajo este criterio de diseño, el proyecto incluye componentes para reducir las filtraciones y retornar al depósito aquellas que ocurren. Estos componentes son:

- ✍ Bajo el pie de aguas arriba de la presa de arranque se ubica un muro corta fugas, que penetra 3m dentro de la roca. El objeto de este muro es interceptar las filtraciones, que provienen del área del embalse a través del aluvial y la parte superior de la roca.
- ✍ Un sumidero de recolección de filtraciones aguas abajo de la presa, con un muro corta fugas de inyecciones bajo el. Este muro corta fugas llegará hasta la roca poco fracturada. Este sumidero recogerá el drenaje del underflow de los relaves utilizado, para elevar la presa, las filtraciones capturadas por los subdrenajes de la presa y las filtraciones al subsuelo interceptadas por el muro corta fugas ubicado bajo el sumidero. Toda el agua recolectada en el sumidero será bombeada de regreso al embalse.
- ✍ Inmediatamente aguas abajo del sumidero, se ubican pozos de monitores para medir el nivel del agua y muestrear su calidad, a fin de detectar si ocurre alguna fuga. De detectarse alguna fuga, estos pozos tienen la capacidad de bombear el agua de regreso.
- ✍ Cabe señalar que en toda el área de embalse se depositarán las lamas de los relaves, que poseen baja permeabilidad, así minimizando las filtraciones al subsuelo. Las filtraciones que ocurran serán reducidas aun más en el muro corta fugas ubicado bajo la presa de arranque y las que escapan de este muro serán capturadas aguas abajo en el sumidero de recolección de filtraciones

El muro cortafugas bajo el pie del talud de aguas arriba de la presa de arranque a todo lo ancho de la quebrada. Este muro cortafugas estará ubicado será excavado a través del aluvial hasta un mínimo de 3 metros dentro de la roca. El muro cortafugas será construido excavando una zanja trapezoidal de 10 m ancho en su base, la cual será rellena con material proveniente de un botadero de estéril de la operación actual. Este material tendrá un tamaño máximo de 20 cm y contendrá un 15% de material fino.

El sistema de la recolección de filtraciones bajo el depósito consistirá de sub-drenes tipo dedos y tipo manta, excavados en la superficie de los depósitos naturales aluviales. Los subdrenes consistirán de un material más grueso, separado de las tuberías del sistema de drenaje por una capa de material más fino, En otros sectores del depósito se construirán otros dedos drenantes que serán conectados con la red de sub-drenaje para ayudar en el drenaje del depósito. Se anticipa que una pequeña cantidad de filtraciones atraviese los depósitos aluviales naturales y la zona superficial más permeable del basamento rocoso; esta filtración será recogida en un sumidero a ser construido aguas abajo de la presa de relaves final y enviada de regreso al depósito de relaves. Asimismo, se instalarán los pozos de monitoreo y de bombeo aguas abajo del sistema recolector de filtraciones, para detectar y regresar al sumidero eventuales infiltraciones.

Se considerará la instalación de un pozo adicional de colección de infiltraciones en la Quebrada Tinajones, si las investigaciones durante el diseño de detalle final del depósito indican que estas instalaciones son requeridas.

Adicionalmente, para controlar potenciales filtraciones a través de la caliza y, se tratará su superficie y mediante medidas operacionales se mantendrá la laguna de decantación del depósito lejos de dicha área durante las operaciones.

### **II.3.2 Presa de Relaves sin Control Automatizado**

En estos momentos utilizamos tecnología de punta como es el SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL; cuando no se utilizaba GPS, tenían que trabajar permanentemente 2 topografos, para hacer los levantamientos topográficos, ahora solo trabaja 1 topografo.

Antes el topografo tenia que indicar al tractorista sobre la cota donde esta trabajando, ahora el operador utilizando el SISTEMA SITE VISION, solo tiene que ver en su pantalla la cota donde esta trabajando.



### **CAPITULO III PLAN DE MANEJO AMBIENTAL**

El presente capítulo describe las medidas de manejo de carácter ambiental que considera aplicar SMCV con el propósito que el Proyecto de Sulfuros Primarios se lleve a cabo de manera responsable, sostenible y compatible con el medio ambiente, logrando reducir los eventuales impactos potenciales y dando cumplimiento a las normas ambientales vigentes y a la Política Ambiental de SMCV.

En términos generales la forma de lograr los objetivos anteriores incluye el mejoramiento continuo de las siguientes medidas y herramientas que la empresa viene ejecutando en la actualidad:

- La incorporación de la variable ambiental en los diseños de obras, instalaciones y procesos.
- La ejecución de una política ambiental acorde con la certificación vigente ISO- 14001.
- La aplicación del reglamento interno de seguridad.
- La capacitación y sensibilización continua de los trabajadores respecto a la prevención de riesgos y protección del medio ambiente;
- El control de las actividades productivas y extraproductivas; y
- La disposición y ejecución de un adecuado Plan de Monitoreo, Plan de Prevención de Riesgos y Plan de Contingencias.

Estas medidas y elementos de gestión ambiental forman parte de la actual operación del asiento minero Cerro Verde, lo que ha permitido desarrollar una operación ambientalmente segura y cumplir la normativa vigente.

El objetivo de SMCV es extender la aplicación de estas medidas y elementos de gestión al Proyecto de Sulfuros Primarios. En las secciones siguientes se indican y describen las medidas que son aplicables al proyecto como Plan de Manejo Ambiental.

Las medidas están contenidas en los siguientes planes:

- Plan de medidas de mitigación;
- Plan de monitoreo ambiental;
- Plan de emergencias y contingencias.

### **III.1. Plan de medidas de mitigación**

Este plan describe las medidas consideradas en las etapas de construcción, operación y cierre de la actividad, que servirán para controlar, minimizar o evitar los posibles efectos ambientales adversos del proyecto.

Además se considera en este plan las medidas de mitigación ya incorporadas en la operación actual y que resultan también aplicables al proyecto, para minimizar o evitar impactos asociados a emisiones, residuos e intervención de terrenos, entre otros.

#### ***III.1.1 Medidas de mitigación y protección ambiental actuales***

En las secciones siguientes se resumen aquellas medidas de mitigación y protección ambiental consideradas en la actual operación del asiento minero Cerro Verde, las cuales se harán extensivas al Proyecto de Sulfuros Primarios. Antes de la descripción de las medidas de mitigación se recapitula brevemente cuales son los impactos ambientales por componente ambiental.

Las medidas generales de protección ambiental que aplica SMCV incluyen:

- ✍ El sistema de gestión ambiental certificado por las normas ISO 14001;
- ✍ El reglamento interno de seguridad;
- ✍ La política de Seguridad, Salud y Medio Ambiente;
- ✍ El reglamento ambiental para Contratistas;
- ✍ La circulación de publicaciones internas de la empresa y el desarrollo de instrucciones de medio ambiente y relaciones comunitarias, para todo el personal.
- ✍ La inclusión en los contratos con proveedores y subcontratistas de un reglamento y procedimientos de protección ambiental y prevención de riesgos.

#### ***III.1.2 Medidas de mitigación de impactos sobre la topografía***

Los impactos generados por las actividades del proyecto sobre la topografía están relacionados con la alteración del relieve original, específicamente por el llenado paulatino del depósito de relaves en la quebrada Enlozada, ampliación y profundización de los tajos y ampliación del botadero de desmonte. En el análisis de

impactos, éstos han sido clasificados como de baja relevancia, de intensidad entre media y alta, puntual e irrecuperable. Por lo tanto las medidas de mitigación sobre este componente están enfocados a minimizar dichos impactos en la medida de lo posible.

Las medidas de mitigación contempladas se presentan a continuación:

- ✍ Las obras a realizar serán planificadas de tal manera que se minimicen las áreas a intervenir.
- ✍ Se planificará y controlará la construcción de caminos para el tráfico de camiones, maquinaria pesada y vehículos en general, evitando alteraciones innecesarias de terrenos.
- ✍ Se considera un adecuado criterio de diseño para los taludes del tajo basado en las características geotécnicas del área de tal manera que se asegura la estabilidad de las paredes del mismo.
- ✍ El agua subterránea que pudiera afectar la estabilidad del tajo se drenará durante las operaciones.
- ✍ El diseño de la ampliación del botadero de desmonte de mina en la quebrada Tinajones contempla su construcción a través de bancos mediante el vertimiento desde los camiones, formando taludes. Como los requerimientos de mantenimiento y monitoreo para la etapa de cierre son nulas, es necesario mantener la estabilidad física del botadero. Por esta razón, los taludes promedios serán del orden de 3H: 1V, en su altura promedio.
- ✍ La construcción de la presa de arranque para la disposición de relaves en la quebrada Enlozada contempla un talud general de 2H: 1V y la pendiente final de la presa será de 3,5H: 1V, asegurando la estabilidad íntegra del depósito de relaves.

### ***III.1.3 Medidas de mitigación de impactos sobre los suelos***

Los impactos del proyecto sobre los suelos están vinculados a la pérdida de los mismos como consecuencia del emplazamiento de la infraestructura, llenado paulatino del depósito de relaves y ampliación del botadero de desmonte. El suelo que está inmediatamente debajo de la zona de emplazamiento del depósito de relaves se verá afectado por infiltración de aguas Durante las fases de construcción y

operación, existe la posibilidad de derrame de aceites, hidrocarburos u otros como consecuencia del manejo de equipos. Esta posibilidad de derrame ha sido clasificada en el análisis de impactos como un riesgo ambiental y por lo tanto son abordadas dentro del plan de contingencia.

A continuación se presentan las medidas de mitigación de impactos sobre los suelos.

- ✍ Las obras a realizar serán planificadas de tal manera que se minimicen las áreas a intervenir.
- ✍ Para el cierre del proyecto, se evaluará la necesidad de disponer material de desmonte inerte sobre el botadero de desmonte y depósito de relaves, de modo que se obtenga una cobertura de litosoles de características similares a los suelos originales.
- ✍ Los depósitos de insumos con características de contaminante tendrán estructuras de contención para minimizar la posibilidad de derrames al suelo.
- ✍ Se fomentará la sensibilización de los trabajadores respecto a la prevención de riesgos y protección del medio ambiente y capacitación en el manejo de insumos.
- ✍ De ocurrir derrames de sustancias como aceites, hidrocarburos u otros, se procederá de acuerdo al procedimiento respectivo para la remoción de suelos afectados y su adecuada disposición.

De ocurrir derrames de relaves por fallas en el sistema de disposición de los mismos, se procederá de acuerdo al procedimiento de mitigación para estos casos y se comunicará de inmediato a las Superintendencia de medio ambiente para coordinar el plan de acción posterior.

#### ***III.1.4 Medidas de mitigación de impactos sobre la calidad del aire***

Los impactos de las actividades del proyecto sobre la calidad del aire se relacionan con las emisiones de polvo en los caminos de acceso, operaciones de chancado, molienda, carga y descarga del mineral y desmonte.

A continuación se presentan las medidas de mitigación para reducir los impactos mencionados sobre la calidad del aire.

- ✍ Los caminos y vías de acceso utilizadas durante la etapa de construcción y operación, serán regados con una frecuencia tal que asegure la minimización

de las emisiones de polvo. Asimismo se realizará el tratamiento con productos químicos o higroscópicos que viene siendo utilizado en la actualidad para reducir la frecuencia de riego. Estas vías de acceso de alto tráfico, comprenden principalmente a los sectores de acceso a la mina, botaderos, tajo y zona destinada a la instalación del depósito de relaves.

Para controlar la generación de polvo fugitivo de las carreteras se aplica una solución de cloruro de calcio en varias etapas. La primera etapa es una solución al 30% que se aplica en la pista de tierra que se remueve en un espesor de 10 cm. para después mezclarlo y conformar una pista de rodadura que es compactada por los propios vehículos de tránsito. Durante un mes, no se genera polvo, para después hacer un riego muy superficial para dar oportunidad a que el cloruro de calcio absorba el agua aplicada (el  $\text{CaCl}_2$  es muy higroscópico) y mantenga a la pista superficialmente húmeda. La segunda etapa es la aplicación diaria de agua, mediante un riego con camión cisterna de 20,000 galones de capacidad y con difusores que alcanzan 30 metros de ancho.

- ✍ Implementación de sistemas de supresión de polvo (rociadores y aspersores) en puntos estratégicos de generación de polvo (zona de chancado, faja transportadora, etc.)
- ✍ Para reducir las emisiones de polvo que generen las voladuras, se procederá al riego del material afectado por las mismas luego de realizado el disparo. Esta medida viene llevándose a cabo en la actualidad.
- ✍ Para disminuir las emisiones de polvo durante la disposición de desmontes en el botadero, se procederá a rociar con agua el material estéril en el tajo antes del carguío.
- ✍ Existirá restricción de circular fuera de los caminos establecidos y en el caso de accesos antiguos que mantengan uso, serán clausurados.
- ✍ No se contemplan medidas de mitigación para la operación del depósito de relaves debido a que las emisiones de material particulado como consecuencia de erosión eólica son despreciables ya que gran parte del material fino se encuentra húmedo durante las operaciones. Las superficies



que se vayan secando paulatinamente en el depósito de relaves se podrían consolidar y cementar minimizándose así las emisiones.

- ✍ Para el final de la vida útil del depósito de relaves, durante la fase de cierre, se dispondrá material de desmonte inerte o de préstamo de mayor granulometría con la finalidad de inhibir las emisiones de polvo.
- ✍ El dique de la presa al estar compuesto por material más grueso (arenas) y además compactado, no presenta características que lo hagan propenso a la erosión eólica y consecuente emisión de polvo por lo que no se proponen medidas adicionales de mitigación.

### ***III.1.5 Medidas de mitigación de impactos sobre las aguas subterráneas***

Los impactos generados sobre las aguas subterráneas en la fase de construcción están relacionados con la retención de agua por la implementación del muro cortafugas.

Durante la fase de operación, se espera que existan filtraciones de agua provenientes del depósito de relaves hacia la napa freática localizada inmediatamente por debajo del emplazamiento del depósito.

El diseño del depósito de relaves contempla la minimización de la probabilidad de infiltraciones que puedan afectar el agua subterránea. La fracción más gruesa (arenas), será utilizada en el levantamiento continuo del muro del depósito, mientras la fracción más fina (lamas), será dispuesta al interior de este muro. Las lamas se sedimentarán y consolidarán, constituyéndose en un estrato de muy baja permeabilidad que cubrirá prácticamente la totalidad de la extensión de la zona de disposición.

Los sistemas de mitigación de efectos sobre el agua subterránea incluyen la construcción de pozos de bombeo y muro cortafugas. La eventual infiltración desde los relaves depositados será recogida mediante una red de drenes. Las infiltraciones serán recolectadas en sumideros y bombeadas nuevamente al depósito. El sistema de recolección de filtraciones bajo el depósito consistirá en un dren combinado localizado sobre los depósitos aluviales naturales y los subdrenes en las áreas importantes de drenaje. Los pozos de monitoreo y bombeo serán instalados aguas abajo del sistema colector de infiltraciones para detectar y recoger eventuales infiltraciones, para el caso del botadero de desmonte el material estéril que se

dispondrá tiene características de potencial generador de drenaje ácido. Al respecto, es necesario indicar que debido a que el proyecto considera solo un (1) botadero de material estéril, las posibilidades de manejo selectivo de la roca son limitadas.

Además de lo anterior, el sector en donde se ubicarán el botadero de material estéril presenta una escasa pluviometría y alta evaporación, por lo que no se anticipa presencia de agua (lluvia o escorrentías superficiales) en términos tales que pudieran favorecer la generación de drenaje ácidos de roca desde el botadero. Asimismo, existen botaderos de mineral de sulfuros de baja ley provenientes del minado pasado que después de mas 15 de años de exposición a la intemperie no han mostrado signos de generación de acidez. En lo referido a la posibilidad de impactos en el agua subterránea, es importante notar que como parte del monitoreo actual que tiene implementado SMCV aguas abajo del área del botadero oeste, en la quebrada Tinajones, se instalaron dos pozos para monitorear la calidad del agua en la quebrada.

Después de aproximadamente 10 años de operación del botadero oeste, la calidad del agua subterránea no muestra signos de haber sido impactada y la acidez reportada muestra un pH de características neutras, de aproximadamente 7.

No obstante lo anterior, el modelo HELP utilizado para el cálculo de infiltración de las aguas de lluvias reportó el ingreso de 6,3L/s para un evento de 500 años que corresponde a 106.6 mm de precipitación.

El proyecto considera que las eventuales infiltraciones de aguas de lluvia que pudiesen presentarse en eventos climáticos inusuales son minimizadas a través de la compactación del material estéril depositado en la zona de la meseta del botadero, por el paso de los camiones de alto tonelaje que transportan el material al botadero. El comportamiento de este botadero se mantendrá bajo monitoreo, aguas abajo del mismo, tal como ocurre en la actualidad y como parte del plan de monitoreo del proyecto. Eventualmente y ante signos de infiltraciones que alteren negativamente la calidad de agua subterránea en la cabecera de la quebrada Tinajones, SMCV implementará medidas de control y/o mitigación.

### ***III.1.6 Medidas de mitigación de impactos sobre las aguas superficiales***

El análisis de los impactos del proyecto sobre las aguas superficiales permanentes (río Chili) ha determinado que éstos son no relevantes. Esto principalmente debido a que el proyecto se abastecerá con el agua excedente proveniente del proyecto Pillones. Por lo tanto no se considera necesario la implementación de medidas de mitigación.

Con relación a los impactos a las aguas superficiales esporádicas (escorrentías ocasionales) no se contemplan medidas de mitigación debido a que las potenciales avenidas que se generen en la cabecera de la cuenca de la quebrada Enlozada durante un evento de máxima precipitación estarán contenidas en el mismo depósito de relaves. Por otro lado, aguas abajo del depósito de relaves la reducción de escorrentías disminuirá el potencial erosivo de las aguas que discurren por la quebrada Enlozada. Por tanto, tampoco se han considerado medidas de mitigación.

La quebrada Tinajones no se retendrá aguas superficiales esporádicas, por lo que tampoco se contemplan medidas de mitigación.

### ***III.1.7 Medidas de mitigación de impactos sobre la flora y vegetación***

Los impactos estimados de la actividad sobre la flora y vegetación están relacionados con la pérdida de cobertura vegetal por emplazamiento de infraestructura. Las medidas de manejo y mitigación de este impacto incluyen:

- ✍ Las actividades de construcción, la operación del depósito de relaves (llenado paulatino) y ampliación de botaderos, será planificada de tal forma que se minimice las áreas a intervenir, y de esta manera evitar impactos adicionales sobre la vegetación;
- ✍ En el largo plazo, durante la etapa de cierre, se espera que las áreas afectadas por las obras del proyecto (depósito de relave, botadero de desmonte y planta concentradora) sean rehabilitadas naturalmente (inducción de recolonización de vegetación natural mediante la mejora de condiciones del entorno). Debido a las condiciones áridas del área del proyecto y la escasa cobertura vegetal, no se contempla un plan de revegetación convencional en las áreas afectadas. La mejora de las condiciones del entorno para facilitar la recolonización de

especies xerofíticas, incluye la disposición de material rocoso de tamaño mediano que actúe como núcleos de condensación de la humedad atmosférica (“fenómeno biológico conocido como nodricismo”) y barreras que faciliten la acumulación de suelos someros compuestos por materiales transportados por el viento. La dispersión de propágulos vegetales como semillas y estructuras vegetativas puede darse con relativa facilidad en la zona por el viento (anemocoria) y por animales (zoocoria) de acuerdo con observaciones realizadas durante los estudios de línea base.

- ✍ Se tomarán las medidas pertinentes para coleccionar material vegetal de la especie *Tecoma arequipensis* “huarango arequipeño” con fines de propagación en otras áreas no comprometidas.
- ✍ Debido a la importancia ecológica de la especie *Weberbauerocereus weberbaueri* SMCV viene realizando ensayos con la finalidad de evaluar el éxito de la propagación de esta especie. Los estudios realizados incluyen la recolección de semillas (reproducción sexual) y brazos (material de propagación vegetativa) de la especie y se está diseñando su propagación *in situ* y *ex situ*. Estos estudios establecerán la viabilidad de implementar un plan de reintroducción de la especie en las zonas afectadas para la fase de cierre.

### **III.1.8 Medidas de mitigación de impactos sobre la fauna**

Los impactos sobre la fauna descritos en el capítulo 5 se resumen a continuación:

- ✍ Desplazamiento de individuos a lugares aledaños por intervención de hábitat.
- ✍ Perturbación de fauna por incremento en las emisiones de ruido y vibraciones
- ✍ Incremento del riesgo de accidentes por aumento de la frecuencia vehicular;
- ✍ Perturbación de fauna por incremento de la presencia humana.
- ✍ Posibilidad de ingreso de fauna al depósito de relaves.

Con el fin de reducir efectos adversos sobre la fauna, SMCV aplicará las siguientes medidas, que serán extensibles al Proyecto de Sulfuros Primarios:

- ✍ La zona evaluada comprendida entre la pampa Yarabamba y la quebrada Linga, constituye un corredor de adecuadas condiciones para que el guanaco se desplace a zonas más bajas sin necesidad de utilizar las quebradas

involucradas con el Proyecto de Sulfuros Primarios. Esta zona constituye además una de las rutas actuales del guanaco para realizar sus movimientos interaltitudinales. Estos estudios concluyen que:

- La zona evaluada limitada entre la Pampa Yarabamba y la cabecera de la quebrada Linga presenta actividad de guanacos. Se registraron 12 individuos por observación directa e indicios de actividad como revolcaderos, caminos y bosteaderos.
- La población de guanacos de la zona de Yarabamba se comunica con la quebrada Linga utilizando fondos de quebrada, laderas y cimas de la cadena de cerros ubicada entre la pampa Yarabamba y la cabecera de la quebrada Linga.
- Las evaluaciones sugieren que el guanaco no es muy exigente en cuanto a su dieta, pudiendo alimentarse de variedad de hierbas, arbustos e inclusive de la corteza de cactáceas columnares. Sin embargo presenta preferencias por vegetación arbustiva y herbácea como *Aristida adscensionis*, *Tiquila elongata* y *Tiquila dichotoma*.
- Estudios realizados en zonas aledañas y otras latitudes, confirman que el guanaco es un herbívoro no especializado, pudiendo obtener su alimento de variedad de plantas, inclusive de especies espinosas (cactáceas), pastos, arbustos, líquenes y hongos.
- En el área evaluada no existen fuentes de agua naturales utilizadas por el guanaco. Las fuentes más cercanas son los bebederos instalados por SMCV, en el año 1996, pequeñas filtraciones de agua en la quebrada Huayrondo y el río Yarabamba.
- La distribución de la vegetación está influenciada por características como altitud, exposición al viento y radiación solar, pedregosidad etc. y se han registrado diferencias entre la vegetación de la pampa Yarabamba propiamente dicha, laderas circundantes y partes altas de la cabecera de la quebrada Linga. A pesar de estas diferencias, se estima que el guanaco no presenta preferencias por algún tipo especial de formación vegetal.

Las medidas de mitigación para los impactos indicados precedentemente son:

- ☞ El área identificada como “corredor de migraciones interaltitudinales del guanaco”, ubicada entre la Pampa Yarabamba, la cabecera de la quebrada Linga, y el límite este de la concesión de SMCV, estará fuera del área planificada para el emplazamiento de infraestructura del Proyecto de Sulfuros

Primarios. Esta medida favorecerá la conservación del hábitat del guanaco debido al tránsito y uso de la zona de forma regular por esta especie.

- ✍ Por lo anteriormente señalado, no es necesario presentar medidas especiales para inducir a los guanacos a utilizar esta zona debido a que viene siendo frecuentada por la especie en la actualidad.
- ✍ El área afectada por el proyecto que es utilizada por el guanaco es de aproximadamente 1,000 ha, mientras que la zona evaluada (corredor entre la Pampa Yarabamba y cabecera de la quebrada Linga) presenta un área aproximada de 6,000 ha, las cuales se encuentran dentro de la concesión de SMCV y no será alterada por ninguna infraestructura ni actividad del Proyecto de Sulfuros Primarios.
- ✍ SMCV continuará con la distribución de agua a los bebederos de guanacos durante la operación. Estos bebederos fueron instalados en el año 1996 como una actividad ambiental antes del PAMA con la finalidad de mejorar la calidad del hábitat del guanaco. Existen siete bebederos en la cabecera de la quebrada Linga, tres en la cabecera de la quebrada Siete Vueltas y 2 en la cabecera de la quebrada San José. Para abastecer el agua, semanalmente se llena un tanque de 2,500 galones de capacidad ubicada en el divorcio de aguas y se distribuye por gravedad a cada bebedero mediante un sistema de tuberías con reguladores. Los bebederos presentan un revestimiento plástico interno, tienen un diámetro de 1 metro y una profundidad aproximada de 40 cm. Alrededor de los bebederos existe vegetación arbustiva.
- ✍ Debido a la pérdida de revolcaderos o lugares de acicalamiento y confort del guanaco por el emplazamiento del depósito de relaves, se trasladará el material del que están constituidos (depósitos de cenizas) de las áreas a intervenir del fondo de la quebrada Enlozada, a lugares cercanos a la cabecera de la quebrada Linga.
- ✍ Para disminuir la probabilidad de ingreso de fauna al depósito de relaves se emplearán medios disuasivos para ahuyentar a los guanacos de las cercanías del depósito de relaves. Para tal fin bastará con la presencia humana en los sitios de mayor posibilidad de incursiones, tomando en cuenta la presencia y antigüedad de huellas, fecas, revolcaderos. Asimismo se alertará a los

operarios para que inicien maniobras disuasivas como movimientos corporales y vociferaciones en el caso de detectarse la presencia de individuos en las inmediaciones del depósito. Las maniobras disuasivas incluyen el acercamiento al lugar de incursión en los bordes del depósito, teniendo cuidado especial en desviar a los grupos familiares de guanacos o individuos solitarios hacia las partes altas de la quebrada Enlozada. Los guanacos prefieren evitar las incursiones humanas, por lo que se considera efectivo realizar estas acciones.

- ✍ Aún cuando es poco probable el ingreso de fauna a las partes húmedas y sumergirse en el depósito, se capacitará a un grupo de operarios sobre técnicas de rescate de fauna en el caso ocurra ingreso de guanacos o zorros a estas zonas. Estarán disponibles en todo momento, implementos para realizar estas labores de rescate, como redes, lazos con pértiga, cuerdas y dispositivos de largo alcance con tranquilizantes.
- ✍ Existe prohibición total de labores de caza y en general de cualquier acción que pueda afectar a la fauna o sus hábitats, inclusive para los trabajadores de empresas contratistas.
- ✍ Se capacitará a los operarios, conductores y contratistas sobre la fragilidad de un ecosistema desértico y la importancia de realizar las operaciones teniendo en cuenta la política ambiental de SMCV de reducir la posibilidad de ocurrir impactos. El manejo de vehículos se realizará no sólo teniendo en cuenta todas las precauciones para evitar accidentes sino también teniendo presente la importancia de no disturbar a la fauna (reglamentación sobre velocidad de conducción, emisión de ruidos como sirenas, bocinas, etc). Se colocarán señales de precaución para el manejo cuidadoso en las zonas usadas por la fauna, especialmente guanacos.

De acuerdo con los estudios realizados en la línea base, se reportaron individuos de *Liolaemus insolitus*, especie que se encuentra bajo la categoría de situación indeterminada (INRENA, 1999).

Con el fin de mitigar potenciales impactos de los individuos que ocupen las áreas que serán afectadas por el emplazamiento de la infraestructura del proyecto, se propone:

- Identificar otras áreas similares al área que será afectada, en cuanto a características de hábitat (vegetación, lugares de abrigo, etc.). Se recomiendan los siguientes lugares: cabecera de la quebrada Linga, parte media de la quebrada Tinajones y la quebrada Huayrondo.

- Luego de identificar estas áreas, se procederá a capturar a los individuos de *Liolaemus insolitus* que se encuentren en el área que será afectada. Los individuos capturados serán reubicados en las áreas que se identificaron previamente. La captura se realizará en forma manual (movimiento de piedras) y se efectuará una búsqueda en toda el área afectada. Esta captura se realizará en horas de la mañana, debido a que la actividad de estos individuos es mínima a estas horas; lo que facilitará la captura y evitará dañar estos ejemplares. Es importante indicar que durante la captura posiblemente se encuentren individuos de otras especies tales como *Phyllodactylus gerrhopygus* “geko” y *Microlophus peruvianus* “lagartija peruana” los que también serán reubicados.

### **III.1.9 Medidas de mitigación de impactos sobre el paisaje**

El impacto sobre el paisaje está asociado a la alteración del entorno natural. En el caso del Proyecto de Sulfuros Primarios, la construcción y operación del depósito de relaves, planta concentradora, botaderos y tajos constituyen una modificación del paisaje.

Debido a que el cambio al paisaje no puede ser mitigado, no se consideran medidas de mitigación. El área de cambio paisajística estará limitada a unas 1,000 ha aproximadamente. Sin embargo las medidas contempladas en la mitigación de impactos sobre otros componentes ambientales como topografía, suelos y vegetación, tienen implicancias en la calidad visual del entorno.

Las medidas de mitigación contempladas para reducir estos impactos se presentan en forma general a continuación:



- ✍ Las obras a realizar serán planificadas de tal manera que se minimicen las áreas a intervenir.
- ✍ Se planificará y controlará la construcción de caminos para el tráfico de camiones, maquinaria pesada y vehículos en general, evitando alteraciones innecesarias de terrenos.
- ✍ Se considera un adecuado criterio de diseño para los taludes del tajo, botaderos y depósito de relaves basado en las características geotécnicas del área de tal manera que se asegura la estabilidad de las estructuras.
- ✍ De ocurrir derrames de relaves por fallas en el sistema de disposición de los mismos, se comunicará de inmediato a la Superintendencia de medio ambiente para definir el plan de acción respectivo.
- ✍ En el largo plazo, durante la fase de cierre, se espera que el paisaje en las áreas afectadas por las obras del proyecto (depósito de relave, botadero de desmonte y planta concentradora) se adapte naturalmente a las condiciones aledañas (inducción de recolonización de vegetación natural mediante la mejora de condiciones del entorno).

#### ***III.1.10 Medidas de mitigación de impactos sobre los recursos arqueológicos***

Debido a la naturaleza del impacto neutro de las actividades de construcción del proyecto sobre los recursos arqueológicos, no se contemplan medidas de mitigación, sin embargo y pese a contar con el CIRA, durante la ejecución de excavaciones o movimientos de tierra, se tendrá mucho cuidado, entrenando al personal que haga estas labores, en el respeto a los restos culturales y de presentarse algún hallazgo arqueológico en las áreas de trabajo, se detendrán inmediatamente las faenas o actividades que se estén realizando en el lugar. El hecho se comunicará al INC y se requerirá la elaboración de un plan de acción, el cual será presentado a la autoridad para su revisión y aprobación. Si por alguna razón fuese necesario intervenir áreas que no cuenten con el respectivo CIRA, SMCV procederá a realizar los trámites necesarios para la obtención del mismo, antes de iniciar cualquier trabajo en esa área.

### III.2 Plan de monitoreo ambiental

En este capítulo se presenta en forma resumida el Plan de Monitoreo Ambiental de SMCV actualmente vigente, el cual se hace extensivo a las instalaciones y operaciones del Proyecto de Sulfuros Primarios. En los casos específicos en que se hace necesario incorporar sitios o parámetros adicionales para cubrir aspectos puntuales del proyecto, se indica el correspondiente alcance adicional al programa actual.

El plan de monitoreo continuará durante toda la operación del proyecto. No obstante, el presente plan ha sido definido para el período de construcción y los primeros dos años de operación del proyecto. Al cabo de este tiempo se evaluará el plan de monitoreo a la luz de los resultados obtenidos, y se definirá la necesidad de incorporar modificaciones, las cuales serán previamente analizadas y acordadas con la autoridad pertinente para su aprobación.

El criterio para considerar la duración de este monitoreo se sustenta en que los componentes biológicos y/o físicos pueden presentar cambios en el tiempo, lo que determinará un ajuste tanto en la frecuencia, lugares de monitoreo, parámetros, etc. El objetivo del monitoreo es hacer un seguimiento a los componentes mencionados, pues la información que nos genere el monitoreo nos permitirá hacer ajustes en la operación del proyecto con el fin de minimizar los impactos adversos al ambiente. SMCV en previsión a estos posibles cambios de los componentes definirá la necesidad de incorporar modificaciones al plan y de esta manera continuar con el monitoreo.

Los objetivos del plan de monitoreo son los siguientes:

- ✍ Conocer el efecto real causado por las emisiones y trabajos del proyecto, a través de mediciones en los componentes ambientales señalados más adelante.
- ✍ Verificar la efectividad de las medidas de mitigación propuestas.
- ✍ Verificar el cumplimiento de las normativas ambientales aplicables.
- ✍ Detectar de manera temprana cualquier efecto no previsto y no deseado, de modo que sea posible controlarlo definiendo y adoptando medidas o acciones apropiadas y oportunas.

El Programa de Monitoreo Ambiental es la realización de los objetivos presentados en el Plan de Monitoreo Ambiental. En esta sección indicamos los puntos de monitoreo por cada componente ambiental, sus frecuencias de monitoreo, las metodologías y parámetros en cada estación.

El programa de monitoreo específico para cada componente se base en los siguientes factores:

- ✍ Parámetros: corresponden a las variables físicas, químicas y/o biológicas que son medidas y registradas para caracterizar el estado y evolución de los componentes ambientales.
- ✍ Estaciones de monitoreo: corresponden a los lugares de medición y control seleccionados para cada componente ambiental.
- ✍ Metodología: se refiere a la metodología de medición y de análisis de la información en cada caso.
- ✍ Frecuencia: se refiere a la periodicidad con que se efectúan las mediciones, toma de muestras y/o análisis de cada parámetro.

El programa de monitoreo en el área del proyecto considera los siguientes componentes ambientales:

- Meteorología
- Calidad del aire
- Aguas Superficiales
- Aguas Subterráneas
- Fauna Silvestre
- Geotecnino

### ***III.2.1 Meteorología***

#### ***Parámetros***

El monitoreo actual de las condiciones meteorológicas considera la determinación de los siguientes parámetros:

- Precipitación
- Temperatura del aire
- Presión barométrica

- Humedad relativa
- Evaporación y radiación solar
- Velocidad y dirección del viento

### ***Estaciones de monitoreo***

SMCV opera y registra datos meteorológicos en la estación Cerro Verde Sur de monitoreo permanente, ubicada en la parte sur de los tajos Cerro Verde y Santa Rosa (223000 E, 8169317 N y 2 687.70 msnm).

### ***Metodología***

La estación Cerro Verde Sur opera automáticamente un equipo de recopilación de datos meteorológicos marca Met One Instruments, modelo SKB Keyboard Display. La información es recogida periódicamente mediante una computadora personal, luego de lo cual se procesa y sintetiza, de acuerdo con las necesidades de la operación. El responsable de la toma de datos meteorológicos es la Superintendencia de medio ambiente de SMCV.

## ***III.2.2 Calidad del aire***

### ***Parámetros***

El monitoreo de calidad del aire, considera la determinación de los siguientes parámetros:

- Concentración atmosférica de material particulado fracción respirable (PM<sub>10</sub>).
- Contenido de Plomo (Pb), Arsénico (As) y cobre (Cu) en el material particulado.

### ***Estaciones de monitoreo***

Existen dos estaciones de monitoreo de calidad del aire, la estación Norte ubicada en la cabecera de la quebrada Enlozada (8171393.70 N, 224711.80 E y 2681.60 msnm) y la estación Sur, ubicada al sur de los tajos Cerro Verde y Santa Rosa (8169491.40 N, 222261.45 E y 2768.47 msnm).

### ***Metodología***

Para las mediciones de material particulado se utiliza un muestreador de alto volumen. Específicamente para el PM<sub>10</sub>, se utiliza un cabezal para partículas de diámetro inferior a 10 µm (partículas respirables). La estación Sur adicionalmente registra el contenido de metales mediante un muestreador de alto volumen marca Graseby Andersen. Los resultados son comparados con los límites de PM<sub>10</sub> y Pb establecidos en la R.M. N°315-96-EM que indica niveles de emisión máximos permisibles de 350 y 0,50 g/m<sup>3</sup> respectivamente, como media aritmética anual. La estación Norte se deberá analizar por Pb y As.

### ***Frecuencia***

El contenido de PM<sub>10</sub> es monitoreado cada tres días durante todo el año. La concentración de metales y SiO<sub>2</sub> se mide una vez al mes. Las mediciones se hacen sobre la base de registros de 24 horas en la estación Norte.

### ***Monitoreo adicional para el proyecto***

Se incluirá un punto adicional de medición de calidad del aire en el centro poblado más cercano ubicado en la dirección predominante del viento (inmediaciones del distrito de Jacobo Hunter). Este punto de monitoreo proporcionará los datos necesarios de línea base y la variación en el tiempo de los parámetros de calidad del aire y medirá los siguientes parámetros:

- Concentración atmosférica de material particulado fracción respirable (PM<sub>10</sub>);
- Contenido de cobre (Cu) en el material particulado.

Los resultados serán comparados con los límites de calidad ambiental de PM<sub>10</sub> establecidos en el D.S. 074-2001-PCM.

### ***III.2.3 Agua superficial***

#### ***Parámetros***

El monitoreo de agua superficial actual considera la determinación de los siguientes parámetros:

- Calidad del agua
- Caudales

### ***Calidad del agua***

La calidad de las aguas superficiales se monitorea considerando los parámetros del D.L. 17752 Ley General de Aguas Clase III, agua para riego de vegetales de consumo crudo y bebida de animales. Los parámetros de calidad del agua a considerar son los siguientes: pH, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, temperatura, acidez, alcalinidad, TSD, ST, TSS, metales totales y nutrientes. El objetivo de este punto de monitoreo es determinar la calidad del agua que ingresa al asiento minero.

### ***Caudales***

Se deberá contar con los datos del caudal (volumen de agua por unidad de tiempo) en el río Chili, generados por el SENAMHI – Arequipa.

### ***Estaciones de monitoreo***

El monitoreo de calidad de las aguas superficiales se realiza actualmente en el Río Chili en la estación M-19, la Bomba 1 del abastecimiento de agua para la mina (8180045 N, 221262 E, 2085 msnm).

### ***Metodología***

Calidad del agua El muestreo, la preservación de las muestras y los análisis de laboratorio se realizan según el Protocolo de Monitoreo de Calidad de Agua (MEM 1994).

### ***Frecuencia***

El monitoreo de la calidad de las aguas superficiales en la estación M-19 se lleva a cabo mensualmente.

## ***III.2.4 Agua subterránea***

### ***Parámetros***

El monitoreo de agua subterránea actual considera la determinación de los siguientes parámetros:

-Nivel de la napa freática.

-Parámetros generales (pH, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, temperatura, acidez, alcalinidad), TSD, ST, TSS, metales totales y sulfatos.

### ***Metodología***

Para evaluar la calidad del agua subterránea, no existen en el país actualmente estándares ni límites máximos permisibles que permitan establecer una comparación y determinar su calidad en función de ello. Por tal motivo, se propone en este Estudio de Impacto Ambiental que el análisis de datos de calidad de agua subterránea se realice mediante el cálculo de intervalos de confianza para las medidas de tendencia central (media y mediana) de los parámetros evaluados (parámetros generales, contenido de metales, etc.). Los resultados de este análisis permitirán establecer la variabilidad natural de estos factores (rangos de oscilación de valores) y valores máximos que indiquen un límite aceptable de variación para detectar condiciones inusuales. El nivel de la napa freática se mide mediante el empleo de un piezómetro.

### ***Frecuencia***

El monitoreo de la calidad de las aguas subterráneas se lleva a cabo mensualmente.

### ***Monitoreo adicional para el proyecto***

Se debe considerar un punto de monitoreo de agua subterránea en niveles altitudinales inferiores a la presa de relaves en la quebrada Enlozada. Este punto estará ubicado a una distancia no mayor a 200 metros del límite de la presa de relaves y estará conformado por una pareja de pozos, el primero para monitorear aguas en los depósitos aluviales y el segundo para aguas subterráneas más profundas. Los parámetros a considerar son los siguientes: pH, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, temperatura, acidez, alcalinidad, TSD, ST, TSS, metales totales y nutrientes.

### ***III.2.5 Fauna Silvestre***

El objetivo del programa de monitoreo de fauna es desarrollar la capacidad para detectar los cambios en el ecosistema por efecto de las actividades propias del

proyecto. Samson y Knopf (1996) indican que un programa de monitoreo debe servir para 1) proveer estimaciones tempranas del cambio de un ecosistema hacia otro ecosistema, 2) relacionar las actividades de manejo que se implementan sobre un ecosistema con el ecosistema mismo, tanto en el corto como en el largo plazo y 3) indicar cambios en la capacidad de un ecosistema para generar productos.

La aproximación mencionada es válida sólo si es posible asumir que en ausencia de los efectos del proyecto el ecosistema no exhibiría ningún cambio, suposición que casi nunca puede ser asumida en entornos como los nuestros en donde existe una fuerte estocasticidad o impredecibilidad ambiental.

Este programa de monitoreo propone un área de control en la que se registren las mismas variables o parámetros que se registran en las demás zonas del monitoreo. De este modo, una estimación de la magnitud de los impactos se tendrá al comparar los registros de los sitios que están dentro del área de influencia directa del proyecto con los que correspondan al área de control.

### ***Parámetros***

El monitoreo de la fauna comprenderá los siguientes parámetros:

- Evaluación del uso de hábitat y presencia del guanaco *Lama guanicoe*
- Evaluación cuantitativa de avifauna
- Evaluación cualitativa de mamíferos y reptiles

### ***Estaciones de monitoreo***

Los sitios de monitoreo y la asignación de áreas control y áreas impactadas se detallan a continuación:

- Parte alta de la quebrada Enlozada: Comprende la zona entre la cabecera de la quebrada Enlozada y la estación de bombeo cercana a la carretera Arequipa – Cerro Verde. (área impactada por la construcción del depósito de relaves)
- Parte media de la quebrada Enlozada: Comprende la zona entre la estación de bombeo cercana a la carretera Arequipa – Cerro Verde y el túnel de Uchumayo (Área Control).



-Parte alta de la quebrada Tinajones: Comprende las zonas ubicadas entre las cercanías de las oficinas de SMCV y el desvío de la carretera Arequipa - Cerro Verde hacia la quebrada Enlozada (Área Impactada por la ampliación de botaderos).

-Parte media de la quebrada Tinajones: Comprende la zona ubicada entre el desvío de la carretera Arequipa - Cerro Verde hacia la quebrada Enlozada y el punto de intersección entre el fondo de quebrada y el límite del área de concesión de SMCV por su lado oeste (Área Control).

-Área comprendida entre la Pampa Yarabamba y la cabecera de la quebrada Linga.

### ***Metodología***

Estimación de la diversidad biológica de la avifauna Para estimar la diversidad biológica de la avifauna se empleará el índice de Shannon – Wiener. El monitoreo de avifauna se realizará con una frecuencia de dos veces por año (época seca y época lluviosa).

Evaluación cualitativa de mamíferos y reptiles Los mamíferos y reptiles se monitorearán mediante observación directa y registro de evidencias como fecas, huellas, etc. En el caso de avistamientos de guanacos, pumas y zorros, éstos irán acompañados del respectivo número de individuos.

### ***Monitoreo de guanaco***

De acuerdo con la “Evaluación Preliminar del Uso de Hábitat del Guanaco (*Lama guanicoe*) en la zona comprendida entre la Pampa Yarabamba y la Cabecera de la Quebrada Linga”, la respuesta poblacional del guanaco a la eliminación y bloqueo de zonas de alimentación por las distintas fases del Proyecto de Sulfuros Primarios será evaluada mediante un plan de monitoreo que implementará SMCV.

Las conclusiones de dicho estudio indican que en la zona evaluada existe presencia y uso de hábitat por parte del guanaco y constituye una adecuada alternativa para su desplazamiento a zonas más bajas sin necesidad de utilizar las quebradas involucradas con el proyecto de Sulfuros Primarios. El monitoreo tendrá como escenario las zonas descritas a continuación:

Pampa Yarabamba, zona comprendida entre la pampa y la cabecera de la quebrada Linga, quebrada Siete Vueltas y Cerro Negro, partes altas y medias de las quebradas Huayrondo, Enlozada y Tinajones y cabecera de la quebrada San José.

### ***Metodología***

Registrará el número de individuos avistados, rutas de desplazamiento caracterizadas por la presencia de huellas, bosteaderos y revolcaderos recientes.

### ***Frecuencia***

El monitoreo se realizará en forma anual, coincidiendo con la época de parición es decir a mediados de diciembre – enero.

### ***III.2.6 Monitoreo geotécnico***

El monitoreo geotécnico se realiza en el botadero de desmonte y la presa de relaves para monitorear la estabilidad de los taludes en estas instalaciones. El monitoreo se realizará mediante la medición de piezómetros. Cuatro piezómetros serán instalados en la presa de relaves.

### ***Parámetros***

El parámetro para monitorear en los piezómetros es la presión de poros.

### ***Estaciones de monitoreo***

Piezómetros estarán instalados en el aluvio de cimiento y el terraplén de relaves. Los piezómetros serán del tipo de alambre vibrador para que los conductores de lectura puedan colocarse en zanjas que se extiendan hasta estaciones de lectura fuera del área de construcción. Se establecerán cuatro piezómetros en el trazo del terraplén de relaves, en las que se instalarán piezómetros tanto en el cimiento como en el terraplén.

### ***Metodología***

Los piezómetros tipo alambre vibrador se monitorean utilizando la comparación de datos a través de la etapa de construcción y operaciones. En el evento que los datos muestran la saturación del punto de monitoreo, medidas de corrección será implementada. En el evento que los datos muestran una disminución de presión en los poros, significa que la punta del piezómetro se está secando. Monitoreo será realizado mensualmente.

### ***Informe de resultados***

Actualmente SMCV entrega informes trimestrales de calidad del aire y semestrales de calidad del agua superficial al MEM con los resultados y conclusiones de los monitoreos respectivos. En el caso del monitoreo adicional de aguas subterráneas, se deberá entregar trimestralmente los resultados del análisis de calidad del agua y nivel de la napa freática.

### **III.3 Plan de emergencias y contingencias**

SMCV cuenta con un Plan de Emergencias (Anexo W) para ser ejecutado en situaciones tales como incendios, movimientos sísmicos, derrames químicos, derrumbes, explosiones no programadas, emergencias médicas y accidentes vehiculares.

El plan de emergencias incluye instrucciones claras y precisas de procedimiento y comunicación en caso de emergencias y de las responsabilidades del personal, del Comité de Operaciones de Emergencia y de las Brigadas de Emergencia. Asimismo, el plan define e identifica las áreas críticas, las mismas que están incluidas en:

- Operaciones Mina
- Chancado y Aglomeración
- Lixiviación
- Planta Industrial
- Mantenimiento de Equipo Pesado

Se prevé que durante la ejecución del proyecto, este Plan de Emergencias existente mantendrá su vigencia en todas las operaciones actuales y se hará extensivo a las actividades del Proyecto de Sulfuros Primarios. El Plan de Emergencias deberá definir e incluir las áreas críticas en:

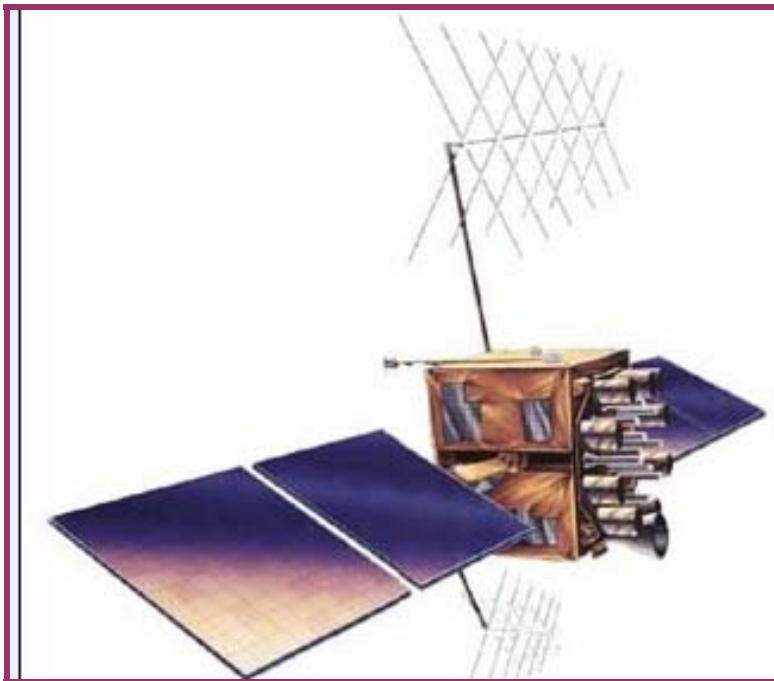
- Planta concentradora
- Depósito de relaves
- Ruta de transporte de concentrados al puerto de Matarani

Durante la ejecución del proyecto se deberá ampliar el plan de contingencias a los concentrados y materiales peligrosos involucrados en el proceso. El plan de contingencias deberá delinear específicamente planes de acción que serán implementados si ocurre una situación en la que el entorno inmediato sea expuesto a riesgos ambientales, materiales y personales.

## **CAPITULO IV**

### **FUNDAMENTO DE LA TEORIA SATELITAL GPS**

El Sistema de Posicionamiento Global GPS, es un procedimiento de ubicacion basado en satélites que el Ministerio de Defensa de los Estados Unidos opera y controla para beneficio de los usuarios civiles y militares.



**Satelite NAVSTAR**

#### **IV.1 FUNCIONAMIENTO DE LOS SATÉLITES**

Existen 27 satélites (SVs) NAVSTAR operativos en el espacio. Estos orbitan la Tierra cada doce horas a una altitud de alrededor de 12.600 millas (20.200 km). Los satélites se encuentran agrupados en seis órbitas, cada uno inclinado a 55 grados con respecto al Ecuador.

Cada satélite transmite señales de radio que están marcadas con códigos de identificación únicos. Los relojes atómicos de alta precisión a bordo de los satélites controlan la generación de dichas señales y códigos.

### IV.1.1 Control del GPS

El Ministerio de Defensa de los Estados Unidos controla el sistema utilizando cuatro estaciones de control en tierra y una estación principal:

- Las estaciones de control siguen continuamente a los satélites y proporcionan dichos datos a la estación principal, tenemos a los siguientes: Ascensión- Atlántico Sur, en Diego García - Índico, Kwajaleim - Pacífico Occidental y Hawaii - Pacífico Oriental.
- La estación principal de control (MCS) está situada en la Base Aerea en Falcon AFB en Colorado Spring. Calcula las correcciones para sincronizar los relojes atómicos a bordo de los satélites. También revisa la información orbital. La estación principal envía dichos resultados a las estaciones de carga.



**ESTACIONES DE CONTROL**

### **IV.1.2 Usuarios del gps**

Los civiles, así también como los militares, utilizan las señales GPS. Todo aquel que tenga un receptor GPS podrá utilizar el GPS.

Al principio, los receptores GPS se usaban principalmente para determinar posiciones y para navegar. En la actualidad, los receptores GPS se están utilizando para una serie sin precedentes de tareas topográficas precisas en tierra, mar y aire.

### **IV.1.3 Señales de los satélites y receptores gps**

Cada satélite transmite dos códigos únicos. El primero y más sencillo se denomina el código C/A (adquisición grosera). El segundo código se denomina el código-P (preciso). Dichos códigos están modulados en dos ondas portadoras, L1 y L2. La onda L1 lleva los códigos C/A y P, en tanto que la onda L2 lleva únicamente el código-P. Los receptores GPS están clasificados como de frecuencia simple o de frecuencia doble. Los receptores de frecuencia simple observan la onda portadora L1, mientras que los receptores de frecuencia doble observan ambas ondas portadoras, L1 y L2.

### **IV.1.4 Medidas de código y de fase**

Las posiciones se resuelven mediante la trilateración después de determinar la distancia a cada satélite visible. Las distancias se miden usando el código o la fase de la onda portadora.

Existe una diferencia de tiempo entre el momento en que se genera el código en el satélite y cuando se lo recibe en la antena GPS. Las medidas de código hacen que se pueda registrar esta diferencia de tiempo. Las medidas se multiplican por la velocidad de la luz, permitiendo determinar la distancia.

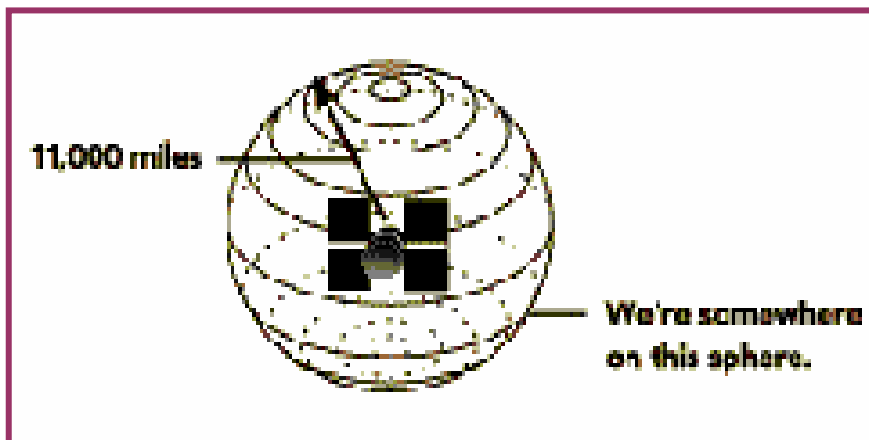
Los receptores GPS de categoría topográfica miden la diferencia de fase de la onda portadora. Se conocen las longitudes de las ondas L1 y L2, por lo que las distancias se determinan añadiendo la diferencia de fase al número total de ondas que aparecen entre cada satélite y la antena.

La determinación del número total de ciclos entre la antena y el satélite se conoce como la búsqueda de la ambigüedad de los números enteros. Para las mediciones con posprocesamiento que requieren una precisión de orden centimétrico, el entero se determina durante el posprocesamiento. Para los levantamientos en tiempo real que necesitan una precisión de orden del centímetro, el entero se determina durante la inicialización.

## IV.5 ¿COMO FUNCIONA EL SISTEMA GPS?

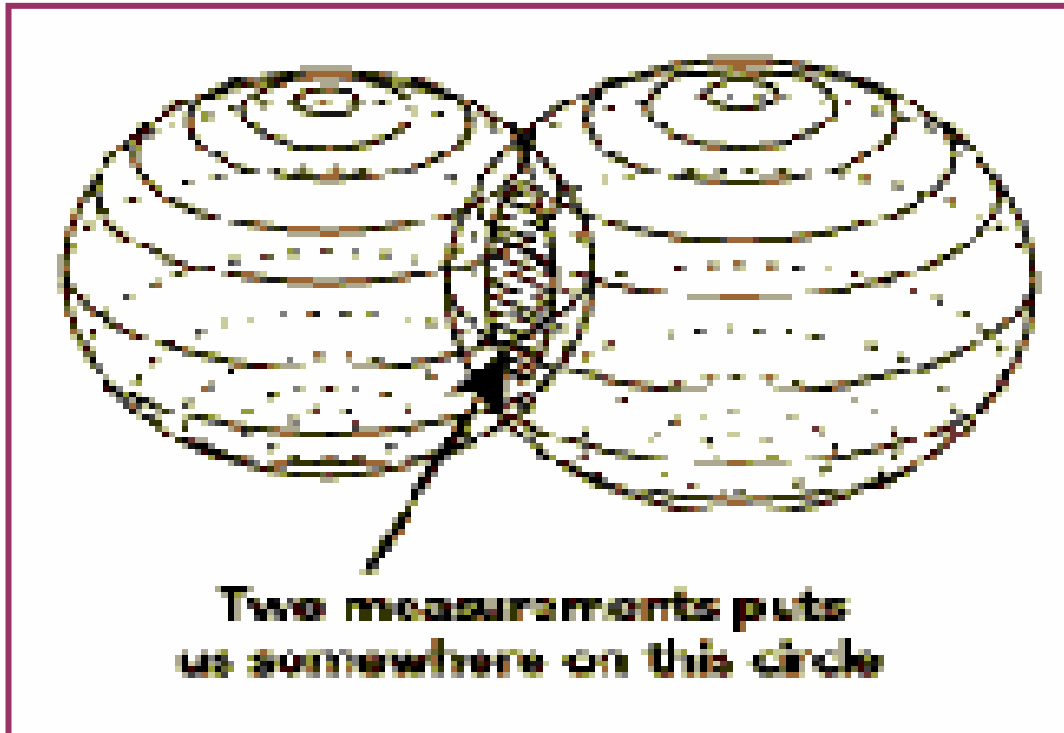
### IV.5.1 Triangulación

- ✚ Nuestra posición se calcula en base a la medición de las distancias a los satélites.
- ✚ Matemáticamente se necesitan cuatro mediciones de distancia a los satélites para determinar la posición exacta.
- ✚ En la práctica se resuelve nuestra posición con solo tres mediciones limitamos nuestro posicionamiento a solo dos puntos posibles. Para decidir cual de ellos es nuestra posición verdadera, podríamos efectuar una nueva medición a un cuarto satélite. Pero normalmente uno de los dos puntos posibles resulta ser muy improbable por su ubicación demasiado lejana de la superficie terrestre y puede ser descartado sin necesidad de mediciones posteriores.

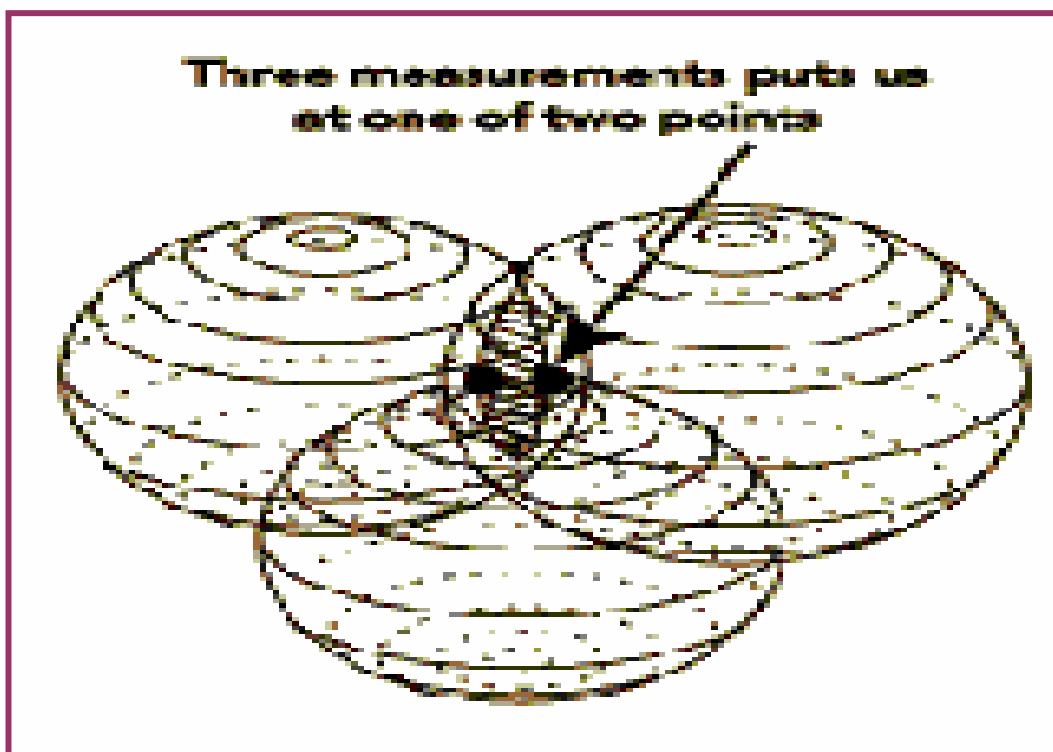


**Estamos en algún punto de la Esfera**





Dos mediciones nos ubica en algun lugar de la periferia de este circulo.



Uno de estos 2 puntos en nuestra ubicación exacta.

### IV.5.2 Midiendo las distancias a los satélites

Sabemos ahora que nuestra posición se calcula a partir de la medición de la distancia hasta por lo menos tres satélites. Pero, ¿cómo podemos medir la distancia hacia algo que está flotando en algún lugar en el espacio?. Lo hacemos midiendo el tiempo que tarda una señal emitida por el satélite en llegar hasta nuestro receptor de GPS.

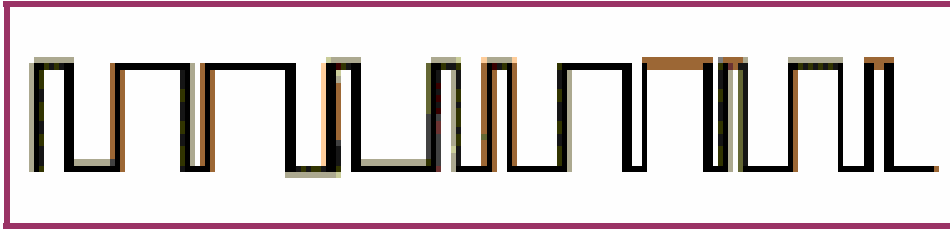
En el caso del GPS estamos midiendo una señal de radio, que sabemos que viaja a la velocidad de la luz, alrededor de 300,000 km por segundo.

Nos queda el problema de medir el tiempo de viaje de la señal (Que, obviamente, viene muy rápido).

- ✚ La distancia al satélite se determina midiendo el tiempo que tarda una señal de radio, emitida por el mismo, en alcanzar nuestro receptor de GPS.
- ✚ Para efectuar dicha medición asumimos que ambos, nuestro receptor GPS y el satélite, están generando el mismo Código Pseudo Aleatorio en exactamente el mismo momento.
- ✚ Comparando cuanto retardo existe entre la llegada del Código Pseudo Aleatorio proveniente del satélite y la generación del código de nuestro receptor de GPS, podemos determinar cuanto tiempo le llevó a dicha señal llegar hasta nosotros.
- ✚ Multiplicamos dicho tiempo de viaje por la velocidad de la luz y obtenemos la distancia al satélite.

### ¿Un Código Aleatorio?

- Este Código Pseudo Aleatorio es una parte fundamental del GPS. Físicamente solo se trata de una secuencia o código digital muy complicado. O sea una señal que contiene una sucesión muy complicada de pulsos "on" y "off", como se pueden ver:



### **Código Pseudo Aleatorio**

La señal es tan complicada que casi parece un ruido eléctrico generado por el azar. De allí su denominación de "Pseudo-Aleatorio".

Hay varias y muy buenas razones para tal complejidad. La complejidad del código ayuda a asegurarnos que el receptor de GPS no se sintonice accidentalmente con alguna otra señal. Siendo el modelo tan complejo es altamente improbable que una señal cualquiera pueda tener exactamente la misma secuencia.

Dado que cada uno de los satélites tiene su propio y único Código Pseudo Aleatorio, esta complejidad también garantiza que el receptor no se confunda accidentalmente de satélite. De esa manera, también es posible que todos los satélites transmitan en la misma frecuencia sin interferirse mutuamente. Esto también complica a cualquiera que intente interferir el sistema desde el exterior al mismo. El Código Pseudo Aleatorio le da la posibilidad al Departamento de Defensa de EEUU de controlar el acceso al sistema GPS.

#### **IV.5.3 Control Perfecto del Tiempo**

Si la medición del tiempo de viaje de una señal de radio es clave para el GPS, los relojes que empleamos deben ser exactísimos, dado que si miden con un desvío de un milésimo de segundo, a la velocidad de la luz, ello se traduce en un error de 300 km!

Por el lado de los satélites, el timing es casi perfecto porque llevan a bordo relojes atómicos de increíble precisión.

¿Pero que pasa con nuestros receptores GPS, aquí en la tierra?

Recordemos que ambos, el satélite y el receptor GPS, deben ser capaces de sincronizar sus Códigos Pseudo Aleatorios para que el sistema funcione.

Por suerte los diseñadores del sistema GPS encontraron una brillante solución que nos permite resolver el problema con relojes mucho menos precisos en nuestros GPS. Esta solución es uno de los elementos clave del sistema GPS y, como beneficio adicional, significa que cada receptor de GPS es en esencia un reloj atómico por su precisión.

El secreto para obtener un timing tan perfecto es efectuar una medición satelital adicional.

Resulta que si tres mediciones perfectas pueden posicionar un punto en un espacio tridimensional, cuatro mediciones imperfectas pueden lograr lo mismo.

Esta idea es fundamental para el funcionamiento del sistema GPS, pero su explicación detallada excede los alcances de la presente exposición. De todos modos, aquí va un resumen somero:

Una medición adicional remedia el desfasaje del timing.

Si todo fuera perfecto (es decir que los relojes de nuestros receptores GPS lo fueran), entonces todos los rangos (distancias) a los satélites se intersectarían en un único punto (que indica nuestra posición). Pero con relojes imperfectos, una cuarta medición, efectuados como control cruzado, NO intersectará con los tres primeros.

De esa manera la computadora de nuestro GPS detectará la discrepancia y atribuirá la diferencia a una sincronización imperfecta con la hora universal.

Dado que cualquier discrepancia con la hora universal afectará a las cuatro mediciones, el receptor buscará un factor de corrección único que siendo aplicado a sus mediciones de tiempo hará que los rangos coincidan en un solo punto.

Dicha corrección permitirá al reloj del receptor ajustarse nuevamente a la hora universal y de esa manera tenemos un reloj atómico en la palma de nuestra mano.

Una vez que el receptor de GPS aplica dicha corrección al resto de sus mediciones, obtenemos un posicionamiento preciso.

Una consecuencia de este principio es que cualquier GPS decente debe ser capaz de sintonizar al menos cuatro satélites de manera simultánea. En la práctica, casi todos los GPS en venta actualmente, acceden a más de 6, y hasta a 12, satélites simultáneamente.

Ahora bien, con el Código Pseudo Aleatorio como un pulso confiable para asegurar la medición correcta del tiempo de la señal y la medición adicional como elemento de sincronización con la hora universal, tenemos todo lo necesario para medir nuestra distancia a un satélite en el espacio.

Pero, para que la triangulación funcione necesitamos conocer no sólo la distancia sino que debemos conocer dónde están los satélites con toda exactitud.

#### **IV.5.4 Conocer Donde Están los Satélites en el Espacio**

¿Pero, cómo podemos saber donde están exactamente? Todos ellos están flotando a unos 20.000 km de altura en el espacio.

Existen 27 satélites (SVs) NAVSTAR operativos en el espacio. Estos orbitan la Tierra cada doce horas a una altitud de alrededor de 12,600 millas (20,200 km). Los satélites se encuentran agrupados en seis órbitas, cada uno inclinado a 55 grados con respecto al Ecuador.

La altura de 20,000 km es en realidad un gran beneficio para este caso, porque algo que está a esa altura está bien despejado de la atmósfera. Eso significa que orbitará de manera regular y predecible mediante ecuaciones matemáticas sencillas.

La Fuerza Aérea de los EEUU colocó cada satélite de GPS en una órbita muy precisa, de acuerdo al Plan Maestro de GPS.

En tierra, todos los receptores de GPS tienen un almanaque programado en sus computadoras que les informan donde está cada satélite en el espacio, en cada momento.

Las órbitas básicas son muy exactas pero con el fin de mantenerlas así, los satélites de GPS son monitoreados de manera constante por el Departamento de Defensa.

Ellos utilizan radares muy precisos para controlar constantemente la exacta altura, posición y velocidad de cada satélite.

Los errores que ellos controlan son los llamados errores de efemérides, o sea evolución orbital de los satélites. Estos errores se generan por influencias gravitacionales del sol y de la luna y por la presión de la radiación solar sobre los satélites.

Estos errores son generalmente muy sutiles pero si queremos una gran exactitud debemos tenerlos en cuenta.

Una vez que el Departamento de Defensa ha medido la posición exacta de un satélite, vuelven a enviar dicha información al propio satélite. De esa manera el satélite incluye su nueva posición corregida en la información que transmite a través de sus señales a los GPS.

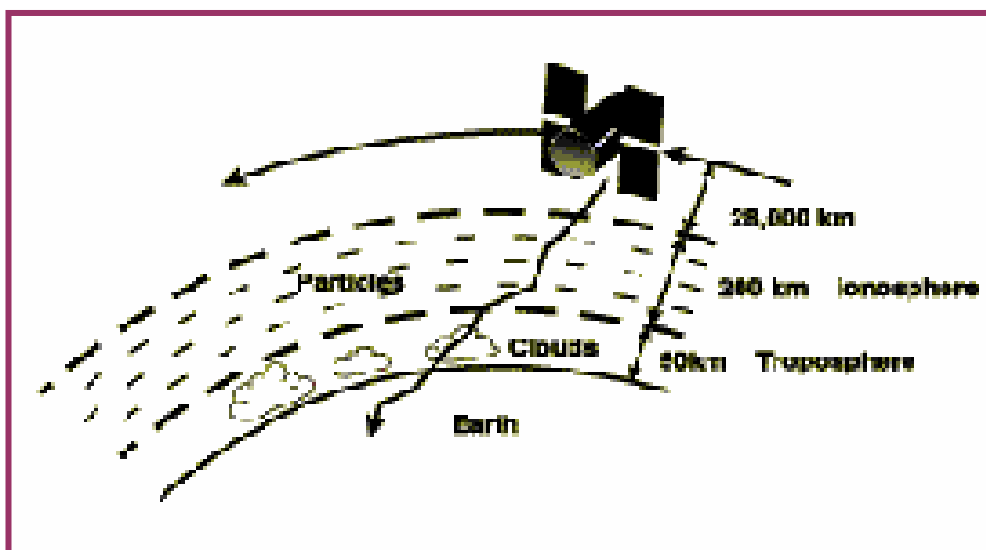
Esto significa que la señal que recibe un receptor de GPS no es solamente un Código Pseudo Aleatorio con fines de timing. También contiene un mensaje de navegación con información sobre la órbita exacta del satélite.

#### IV.5.5 Corrigiendo Errores

Para aprovechar al máximo las ventajas del sistema un buen receptor de GPS debe tener en cuenta una amplia variedad de errores posibles. Veamos que es lo que debemos enfrentar.

#### Un rudo viaje a través de la atmósfera

En primer lugar, una de las presunciones básicas que hemos estado usando a lo largo de este trabajo no es exactamente cierta. Hemos estado afirmando que podemos calcular la distancia a un satélite multiplicando el tiempo de viaje de su señal por la velocidad de la luz. Pero la velocidad de la luz sólo es constante en el vacío.



Ubicación del Satélite en el Espacio

Una señal de GPS pasa a través de partículas cargadas en su paso por la ionosfera y luego al pasar a través de vapor de agua en la troposfera pierde algo de velocidad, creando el mismo efecto que un error de precisión en los relojes.

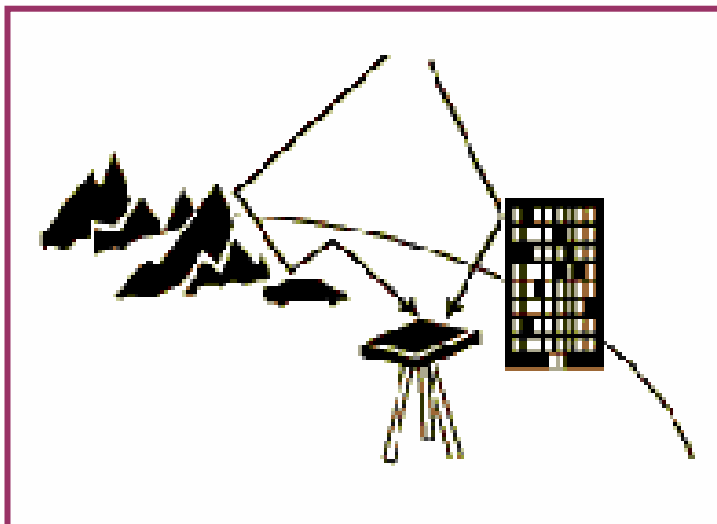
Hay un par de maneras de minimizar este tipo de error. Por un lado, podríamos predecir cual sería el error tipo de un día promedio. A esto se lo llama modelación y nos puede ayudar pero, por supuesto, las condiciones atmosféricas raramente se ajustan exactamente el promedio previsto.

Otra manera de manejar los errores inducidos por la atmósfera es comparar la velocidad relativa de dos señales diferentes. Esta medición de doble frecuencia es muy sofisticada y solo es posible en receptores GPS muy avanzados.

### **Un Rudo Viaje sobre la tierra**

Los problemas para la señal de GPS no terminan cuando llega a la tierra. La señal puede rebotar varias veces debido a obstrucciones locales antes de ser captada por nuestro receptor GPS.

Este error es similar al de las señales fantasma que podemos ver en la recepción de televisión. Los buenos receptores GPS utilizan sofisticados sistemas de rechazo para minimizar este problema.



**Rebote de la Señal**

## **Problemas en el satélite**

Aún siendo los satélites muy sofisticados no tienen en cuenta minúsculos errores en el sistema.

Los relojes atómicos que utilizan son muy, pero muy, precisos, pero no son perfectos. Pueden ocurrir minúsculas discrepancias que se transforman en errores de medición del tiempo de viaje de las señales.

Y, aunque la posición de los satélites es controlada permanentemente, tampoco pueden ser controlados a cada segundo. De esa manera pequeñas variaciones de posición o de efemérides pueden ocurrir entre los tiempos de monitoreo.

## **Algunos ángulos son mejores que otros**

La geometría básica por sí misma puede magnificar estos errores mediante un principio denominado "Dilución Geométrica de la Precisión", o DGDP. Suena complicado pero el principio es simple.

En la realidad suele haber más satélites disponibles que los que el receptor GPS necesita para fijar una posición, de manera que el receptor toma algunos e ignora al resto.

Si el receptor toma satélites que están muy juntos en el cielo, las circunferencias de intersección que definen la posición se cruzarán a ángulos con muy escasa diferencia entre sí. Esto incrementa el área gris o margen de error acerca de una posición.

Si el receptor toma satélites que están ampliamente separados, las circunferencias intersectan a ángulos prácticamente rectos y ello minimiza el margen de error.

Los buenos receptores son capaces de determinar cuáles son los satélites que dan el menor error por Dilución Geométrica de la Precisión.

## **¡Errores Intencionales!**

Aunque resulte difícil de creer, el mismo Gobierno que pudo gastar 12.000 Millones de dólares para desarrollar el sistema de navegación más exacto del mundo, está degradando intencionalmente su exactitud. Dicha política se denomina "Disponibilidad Selectiva" y pretende asegurar que ninguna fuerza hostil o grupo terrorista pueda utilizar el GPS para fabricar armas certeras.

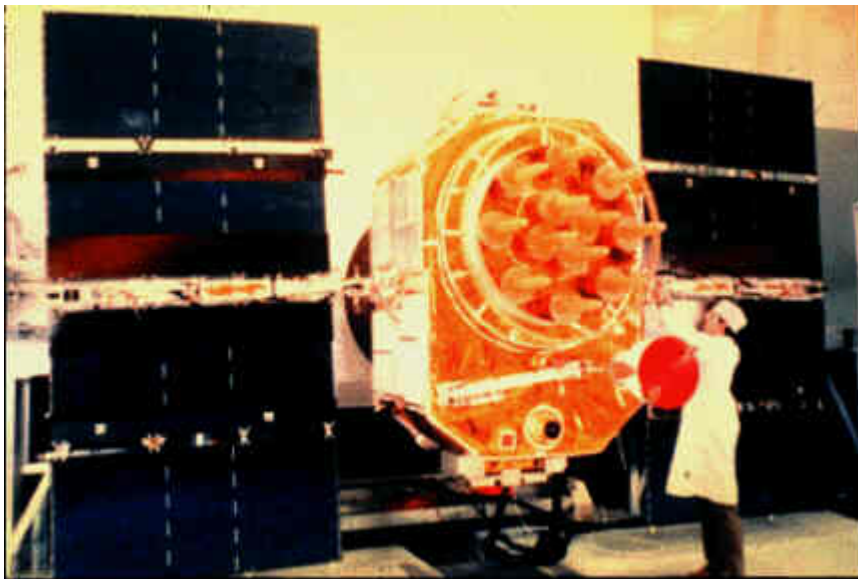


Básicamente, el Departamento de Defensa introduce cierto "ruido" en los datos del reloj satelital, lo que a su vez se traduce en errores en los cálculos de posición. El Departamento de Defensa también puede enviar datos orbitales ligeramente erróneos a los satélites que estos reenvían a los receptores GPS como parte de la señal que emiten.

Estos errores en su conjunto son la mayor fuente unitaria de error del sistema GPS. Los receptores de uso militar utilizan una clave encriptada para eliminar la Disponibilidad Selectiva y son, por ello, mucho más exactos.

## **IV.2 OTROS SISTEMAS DE NAVEGACION POR SATELITE**

### **IV.2.1 GLONASS (Global Navigation System)**



**SATELITE GLONASS**

La contrapartida rusa al GPS lleva el nombre Global Navigation Satellite System (GLONASS) y es operacional desde el 18 de Enero de 1996, día en el que los 24 satélites estaban operativos y en comunicación al mismo tiempo. Actualmente, tras varios esfuerzos se ha conseguido construir receptores que puedan recibir señales pertenecientes a los dos grupos de satélites GLONASS y GPS. Existe por supuesto un gran interés en incorporar los satélites GLONASS al sistema debido al

incremento potencial del número de satélites visibles simultáneamente. Como ha sido destacado anteriormente, cuanto mayor es la cantidad de satélites disponibles al mismo tiempo, más rápidas, mejor y más fiables son las técnicas de posicionamiento. Hoy en día las expectativas se centran en un nuevo sistema de gran interés: el GNSS (Global Navigation Satellite System) integrado por los dos grandes sistemas.

La tabla siguiente presenta una breve comparación entre las características de GPS y GLONASS:

	GPS	GLONASS
	<b>Satélites</b>	
n° de satélites	24	11 Actualmente
n° de planos orbitales	6	3
satélites/plano orbital	4	8
inclinación orbital	55°	64.8°
excentricidad nominal	0	0
radio orbital	26560 km	25510 km
periodo orbital	11h 58min	11h 15min
	<b>Señales</b>	
separación señales	CDMA	FDMA
portadora	L1: 1575.42 Mhz L2: 1227.60 Mhz	L1: 1602.56-1615.5 Mhz L2: 1246.43-1256.5 Mhz
código C/A (L1)	1.023 Mhz	0.511 Mhz
código P (L1,L2)	10.23 Mhz	5.110 Mhz

### **IV.3 CONCEPTO DEL MANEJO DEL TRIMBLE SURVEY CONTROLLER (TSC1)**

La computadora de campo Trimble Survey Controller consiste en el software Trimble Survey Controller version 7.7 que se ejecuta en el colector de datos System Controller (TSC1) de Trimble.



#### **COLECTOR DE DATOS DEL TSC1**

##### **IV.3.1 Conceptos de levantamientos GPS**

Los levantamientos GPS requieren la observación simultánea de los mismos cuatro (o más) satélites por parte de por lo menos dos receptores GPS. A pesar de poder utilizar más de dos receptores para algunos levantamientos, este manual se limita a comentar el uso de dos: el receptor base y el receptor móvil.

El receptor base está ubicado en un punto de control conocido para la duración del levantamiento. Se mueve al receptor móvil a los puntos a medir o replantear. Cuando los datos de estos dos receptores se combinan, el resultado es un vector tridimensional entre la base y el móvil. Este vector se denomina línea base.

Se podrán utilizar diferentes técnicas de observación para determinar la posición del receptor móvil con respecto a la base. Dichas técnicas se clasifican de acuerdo con el momento en que una solución se hace disponible:

- Las técnicas en tiempo real utilizan una radio para transmitir observaciones de la base al móvil para la duración del levantamiento. A medida que se completa cada medición, la solución se resuelve.
- Las técnicas con posprocesamiento necesitan que los datos se almacenen y resuelvan algún tiempo después de haber completado el levantamiento.

Por lo general, la técnica elegida dependerá de factores tales como la configuración del receptor, la precisión requerida, los límites de tiempo y si se necesitan resultados en tiempo real.

Se podrán utilizar diferentes técnicas de observación para determinar la posición del receptor móvil con respecto a la base. Dichas técnicas se clasifican de acuerdo con el momento en que una solución se hace disponible:

- Las técnicas en tiempo real utilizan una radio para transmitir observaciones de la base al móvil para la duración del levantamiento. A medida que se completa cada medición, la solución se resuelve.
- Las técnicas con posprocesamiento necesitan que los datos se almacenen y resuelvan algún tiempo después de haber completado el levantamiento.

Por lo general, la técnica elegida dependerá de factores tales como la configuración del receptor, la precisión requerida, los límites de tiempo y si se necesitan resultados en tiempo real.

#### **IV.3.2 Técnicas topográficas GPS**

El software Trimble Survey Controller de Trimble Navigation Limited le permite realizar levantamientos usando las técnicas topográficas cinemática, diferencial o FastStatic™ (EstátRápida). Las técnicas cinemática y diferencial son adecuadas para

los levantamientos con posprocesamiento o en tiempo real. La técnica EstátRápida es apropiada para levantamientos con posprocesamiento únicamente.

## **Cinemática**

Los levantamientos cinemáticas (Parar y Seguir) usa mediciones de fase de cuatro o más satélites comunes a los receptores base y móvil.

Para lograr una precisión de orden centimétrico, el levantamiento deberá primero inicializarse.

La inicialización se puede lograr de diferentes maneras:

- Si se están utilizando receptores de frecuencia simple, inicialice un levantamiento configurando el móvil en un punto conocido o un punto nuevo o utilizando una barra inicializadora. Esta última creará una línea base artificial conocida.
- Si se están usando receptores de frecuencia doble para un levantamiento en tiempo real, configure el móvil en un punto nuevo o un punto conocido. Si el móvil tiene la opción Al vuelo (On the Fly) (OTF) instalada y hay por lo menos cinco satélites comunes, la inicialización se podrá lograr mientras el móvil se está moviendo.

Si está utilizando receptores de frecuencia doble para los levantamiento con posprocesamiento, se intentarán efectuar las inicializaciones OTF, tenga o no el receptor la opción OTF instalada.

Si el número de satélites comunes cae por debajo de cuatro mientras está efectuando el levantamiento, éste se deberá reinicializar cuando se estén siguiendo cuatro o más satélites otra vez.

## **Diferencial**

Las técnicas topográficas diferenciales utilizan mediciones de código GPS (código C/A) para determinar la posición. Los levantamientos diferenciales no requieren la inicialización o el seguimiento continuo de satélites. Los resultados generalmente obtienen una precisión submétrica.

Se podrán usar receptores de frecuencia simple o de frecuencia doble para los levantamientos diferenciales.

### **Sistema de Ampliación de Área Extendida (Wide Area Augmentation System) (WAAS)**

Los levantamientos GPS usando el mensaje de transmisión de los satélites del Sistema de Ampliación de Área Extendida (WAAS) es similar a los levantamientos diferenciales, excepto que no se necesita una radio para seguir las señales WAAS: las sigue el receptor GPS.

Las señales WAAS se pueden utilizar para proveer posiciones corregidas diferencialmente, en tiempo real, en un levantamiento RTK, cuando el enlace de radio no funciona.

La disponibilidad de las señales WAAS depende del lugar en que se encuentre en el mundo. Contacte al distribuidor local de Trimble para obtener más detalles.

Deberá utilizar un receptor que pueda seguir satélites WAAS para los levantamientos WAAS

### **IV.3.3 Técnicas para tareas topográficas**

Los topógrafos utilizan el GPS para levantamientos de control, levantamientos topográficos y replanteos.

#### **Levantamientos de control**

Los levantamientos de control establecen puntos de control en una región de interés. Los vectores se miden utilizando técnicas de observación cuidadosas. Dichos vectores forman redes estrechamente unidas y, del ajuste riguroso de las mismas, se producen coordenadas precisas.

Las técnicas de observación Estática y Estática Rápida, combinadas con un ajuste de red, son las más adecuadas para controlar los trabajos.

#### **Levantamientos topográficos**

Los levantamientos topográficos determinan las coordenadas de los puntos significativos en una región de interés. Dichos levantamientos por lo general resultan en la producción de un mapa.

Las técnicas cinemáticas (en tiempo real o con posprocesamiento) son las más adecuadas para los levantamientos topográficos debido al breve tiempo de ocupación requerido para cada punto.

### **Replanteo**

El replanteo es el procedimiento por el cual se ubican y se marcan puntos predefinidos. Para replantear un punto, se necesitarán resultados en tiempo real.

Cinemática en tiempo real (RTK) es la única técnica que proporciona soluciones en tiempo real de orden centimétrico.

### **IV.3.4 Preparación para levantamientos GPS**

Antes de llevar el equipo al campo, hay varias cosas que se deberán tener en cuenta.

#### **Sistemas de coordenadas**

Las medidas GPS están referidas al elipsoide de referencia del Sistema Geodésico Mundial (World Geodetic System) de 1984, conocido como WGS-84. Sin embargo, para la mayoría de las tareas topográficas, los resultados en relación a WGS-84 tienen poco valor.

Es mejor mostrar y almacenar los resultados con respecto al sistema de coordenadas local. Antes de iniciar un levantamiento, elija un sistema de coordenadas. Según los requerimientos del levantamiento, podrá optar por proporcionar los resultados en el sistema de coordenadas nacional, un sistema de cuadrícula de coordenadas local o como las coordenadas geodésicas locales.

Cuando ha elegido un sistema de coordenadas, busque en los archivos topográficos todos los puntos de control vertical y horizontal en dicho sistema de coordenadas que se encuentran en el área donde se va a realizar el levantamiento. Se los podrá utilizar para calibrar un levantamiento GPS.

#### **Reconocimiento de campo**

Visite la región donde se va a realizar el levantamiento antes de iniciar las observaciones. Registre la ubicación (acimut y elevación) de los objetos que puedan obstruir la trayectoria de las señales de los satélites GPS a los puntos a medir. Esté

al tanto de los objetos que puedan reflejar o distorsionar la señales GPS, un efecto conocido como ‘trayectoria múltiple’.

Identifique un lugar adecuado para la estación base. Este debería ser una posición libre de trayectorias múltiples y con una vista clara e ininterrumpida del cielo.

### **Tipos de antena GPS**

La primera vez que usa un Estilo levantamiento, se le pedirá especificar el tipo de antena utilizada. Al elegir antenas, observe que:

- Los receptores GPS Total Station 4800 usan una antena incorporada.
- Los receptores GPS Total Station 4700, Site Surveyor 4400 y Series 4000 de frecuencia doble usan por lo general la antena Micro-centered™ o Compact L1/L2 de Trimble.

### **IV.3.5 Operaciones de trabajo**

Antes de iniciar un levantamiento, seleccione o cree un trabajo. Todas las configuraciones y datos subsiguientes se almacenarán en dicho trabajo.

#### **Administrar trabajos**

Se podrán crear, abrir, copiar, eliminar y cerrar trabajos en la base de datos del software Trimble Survey Controller. El nombre del trabajo actual se muestra en la parte superior del menú principal.

#### **Medición de un Punto ráp.**

Un Punto ráp. se almacena cuando se logran las precisiones prefijadas. No hay un tiempo de ocupación mínimo y el almacenamiento del punto es automático.

Para medir un Punto ráp:

1. En el menú principal seleccione Levantamiento / Medir puntos.
2. Introduzca valores en los campos Nombre punto y Código (este último es opcional) y cambie el campo Tipo a Punto ráp.
3. Introduzca un valor en el campo Altura antena y asegúrese de que la configuración en el campo Medido a sea correcta.



4. Presione \ompara iniciar el registro de datos. El punto se almacenará automáticamente cuando se alcanzan las precisiones prefijadas.

### **Medición de Puntos topo continuos**

Los Puntos topo continuos se almacenan de forma automática y continua después de un tiempo y/o una distancia prefijada una vez que se han logrado las precisiones requeridas.

En un levantamiento en tiempo real, el software Trimble Survey Controller podrá medir una línea de puntos de distancia al eje continuos al mismo tiempo que una línea de puntos topo continuos.

### **IV.3.6 Replanteo GPS**

El menú Replantar provee opciones para replantear coordenadas, líneas, curvas, pendientes y superficies. Las operaciones de replanteo utilizan la precisión y los beneficios de un levantamiento en tiempo real. Las técnicas topográficas con posprocesamiento no se usan para el replanteo.

Utilización de la visualización gráfica para navegar Al replantear un punto, una línea, curva o carretera utilice el texto a la derecha de la pantalla o la visualización gráfica a la izquierda para navegar al punto. La presente sección describe cómo usar la visualización gráfica.

## **IV.3 SISTEMA SITE VISION**

El sistema SiteVision de Trimble es el que esta diseñado para equipos de movimientos de tierra que se utilizan en la industria de la construcción. Site Visión utiliza el Sistema de Posicionamiento Global (GPS) para proveer una guía horizontal y vertical precisa de la hoja a los operadores. Le permite nivelar dentro de unos 20–30 mm (0,07– 0,1 pies) de la superficie de diseño.

La idea sobre la que se basa el sistema SiteVision es muy sencilla. Las computadoras y el software de diseño producen modelos 3D precisos de los diseños del proyecto. En el pasado, dichos modelos se conservaban en la oficina del ingeniero. El

ingeniero le suministraba información al topógrafo, quien luego colocaba estacas en el terreno para guiar a los controladores y operadores.

Con el sistema SiteVision, el modelo 3D se lleva al campo como una superficie de diseño. Al añadir el GPS, podrá determinar con precisión dónde se encuentra la hoja de la máquina, tanto horizontal como verticalmente, en la superficie de diseño. El corte o relleno a aplicar a la superficie de diseño se puede calcular más adelante en la máquina a fin de proveer una guía. Si la opción de controles está instalada, el corte y el relleno se pueden aplicar de forma automática a la hoja.

#### **IV.4.1 Hardware del sistema SiteVision**

Esta sección describe los componentes principales del hardware del sistema SiteVision.

##### **Estación base GPS**

Una estación base GPS consiste en los siguientes componentes:

- Receptor GPS
- Antena GPS
- Radio
- Cables
- Fuente de alimentación

También puede haber un trípode o un mástil para la antena GPS y la radio, según el sitio en cuestión. Para los sitios de obras de construcción, donde se puede seguir trabajando por un tiempo prolongado, use una ubicación semi permanente, tal como el techo del sitio de la obra. Se necesita una fuente de alimentación confiable.

Asegúrese de que la antena GPS base esté lejos de:

- Obstrucciones
- Cables de electricidad y otras fuentes de interferencia electromagnética
- Trayectoria múltiple (señales GPS reflejadas)

La radio de datos base debe estar elevada varios metros del suelo para proveer una cobertura óptima.

La estación base GPS requiere de una ubicación de inicio. Para obtener mejores resultados, Trimble recomienda instalar el receptor GPS base en un punto topografiado. Para establecer este punto topográfico, use un kit de calibración local o un topógrafo profesional experimentado que cuente con un equipo GPS.

### **GPS en la máquina: sistema de antena doble**

Para posicionar la hoja de la máquina, el sistema SiteVision con antena doble utiliza los siguientes componentes:

- Un receptor GPS resistente con puertos para antena doble, como el receptor GPS MS860 II de Trimble
- Dos antenas GPS
- Dos mástiles de antena
- Una radio de datos
- Cables y soportes de montaje

Para un sistema de antena doble, monte una antena GPS en un mástil en cada extremo de la hoja de la máquina. Por razones de seguridad, podrá emplear los soportes de desenganche rápido en las antenas GPS para quitarlas durante la noche, o según sea necesario.

Instale la radio de datos en una ubicación conveniente donde la antena está vertical y sobre la parte superior de la máquina.

Para los sistemas de receptor GPS MS860 II, el receptor GPS por lo general se monta fuera de la vista y lejos del operador, donde no bloquea ni el movimiento ni la vista.

### **Componentes de visualización en la máquina: sistema de antena doble**

Para mostrar la información obtenida del receptor GPS se necesitan los siguientes componentes:

- La pantalla de a bordo SV170 con una tarjeta de datos y un diseño
- Tres barras de luces
- Cables y soportes de montaje

La pantalla SV170 se monta dentro de la cabina, cerca del operador y y tiene que estar dentro de un alcance cómodo.

Las barras de luces se pueden instalar dentro o fuera de la cabina.

Nota – Por razones de seguridad, la pantalla SV170 y las barras de luces se podrán quitar durante la noche. Cada componente cuenta con un soporte de desenganche rápido.

Un mazo de cables resistente conecta todos los componentes del sistema entre sí y a la fuente de alimentación de la máquina. La fuente de alimentación está conectada a una fuente de alimentación activada.

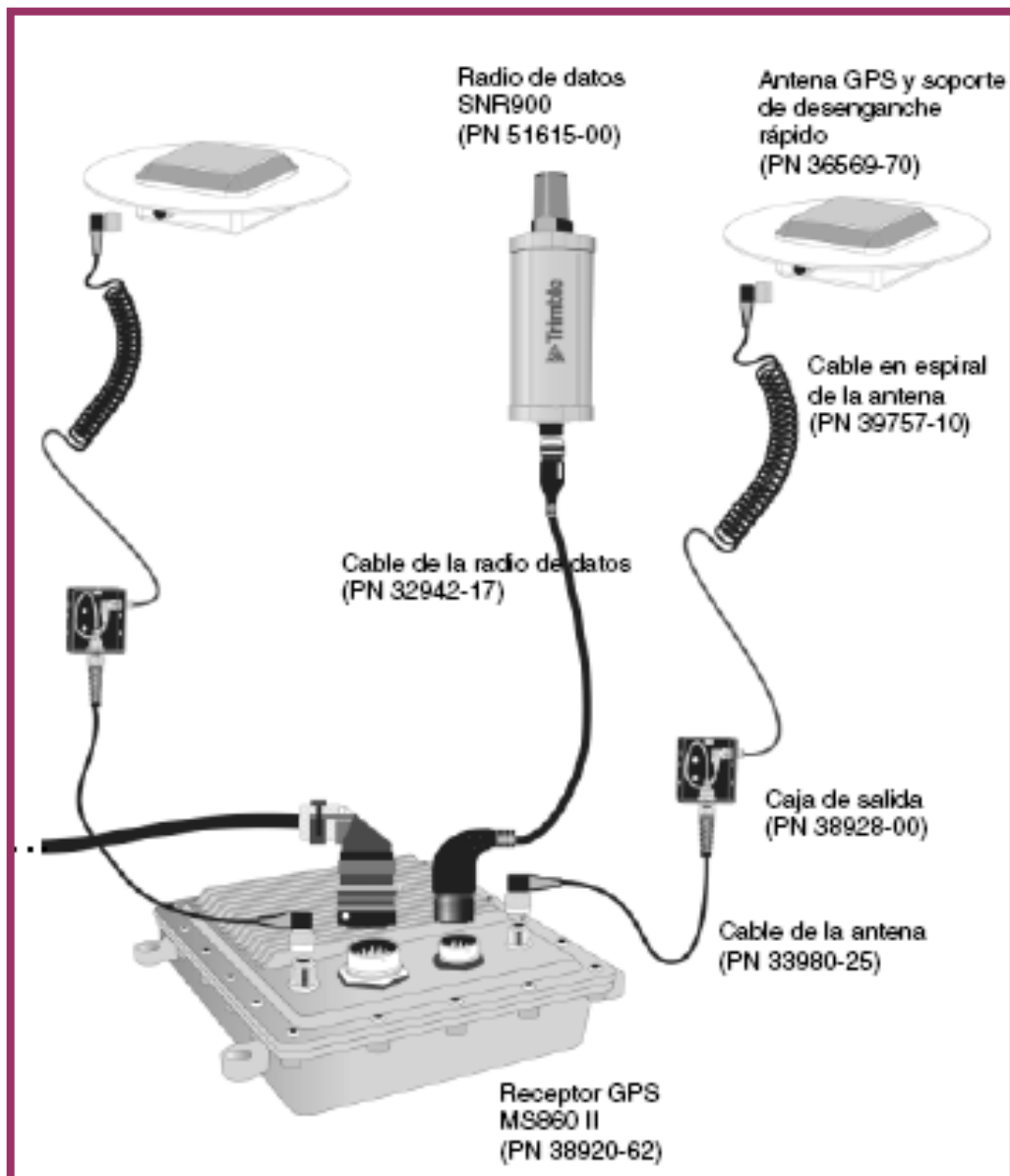
### **Trabajando con la pantalla**

La pantalla SiteVision SV170 es una computadora que ejecuta el software SiteVision. Este capítulo describe cómo manejar la pantalla SV170.

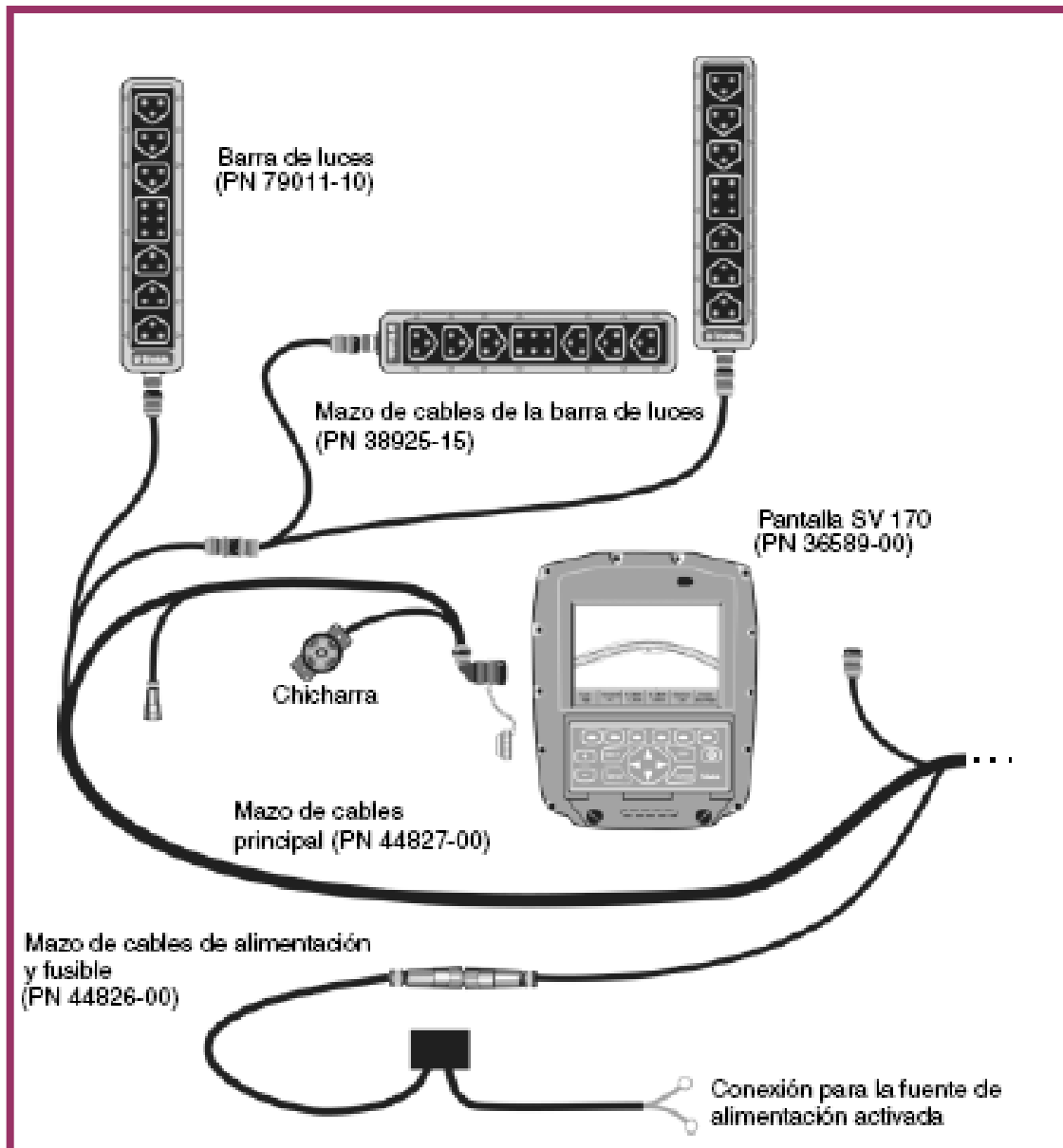
La pantalla SV170 se usa para manejar el sistema SiteVision. La Pantalla SV170 cuenta con una pantalla LCD de color para mostrar la información y un teclado para introducir información. Véase la Figura.



**PANTALLA SITE VISION SV170**



**PARTES DEL SISTEMA SITE VISION PARA MAQUINAS CON SISTEMA DE ANTENA DOBLE**

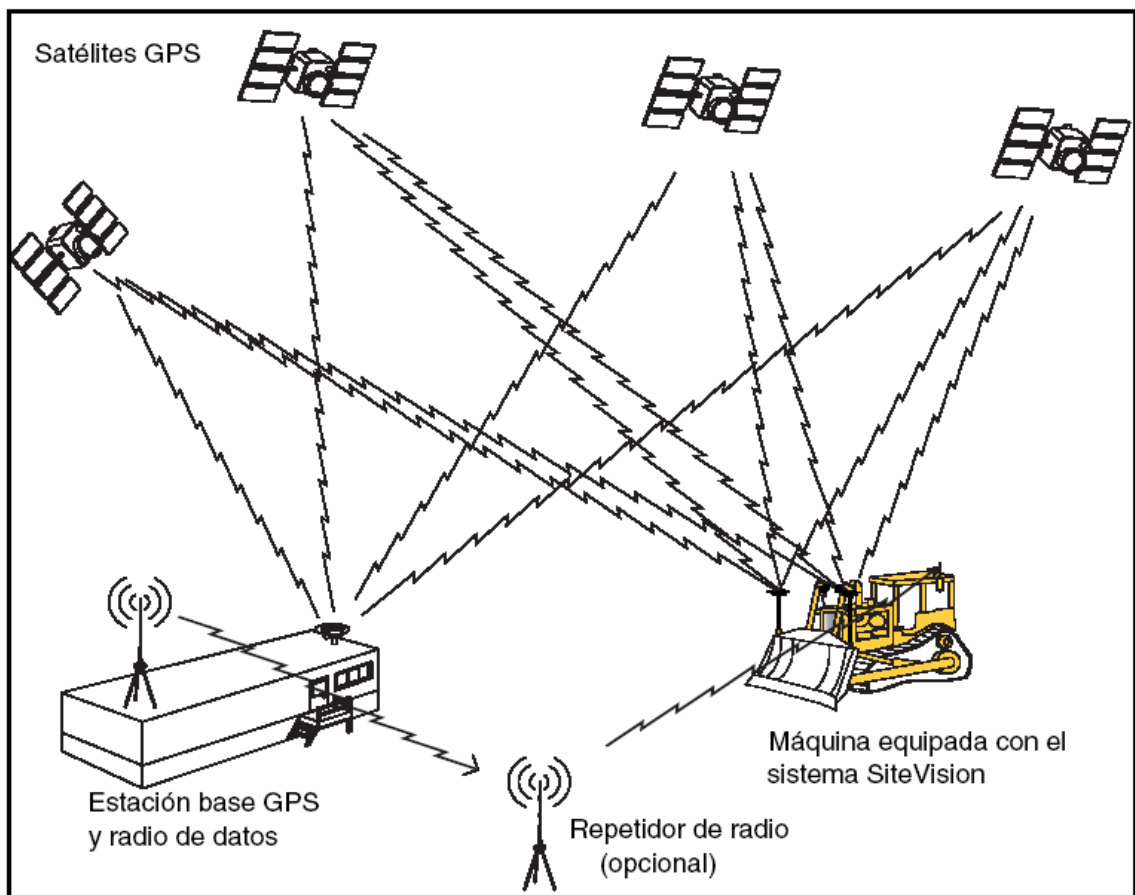


**PARTES DEL SISTEMA SITE VISION PARA MAQUINAS CON SISTEMA DE ANTENA DOBLE**

El método utilizado para el control de pendientes con máquinas en el entorno de la construcción es el mismo que el que emplean los topógrafos para el replanteo en construcción. Se conoce como GPS RTK, o Cinemático en tiempo real.

Para producir posiciones RTK se necesitan dos receptores GPS. Uno se denomina la estación base GPS y está fijo en un lugar. El otro receptor GPS se conoce como el móvil. Puede estar estacionario o móvil.

La estación base se comunica con el móvil (o móviles) a través de un enlace de datos inalámbrico usando un enlace de radio.



### GPS Y EL SISTEMA SITEVISION

Ambos receptores GPS realizan observaciones (mediciones) de las señales GPS simultáneamente. La estación base transmite la información observada, junto con la ubicación y otro tipo de información, a través del enlace de la radio de datos al

móvil. El móvil luego combina los datos de la estación base junto con sus propios datos a fin de calcular una posición precisa relativa a la estación base.

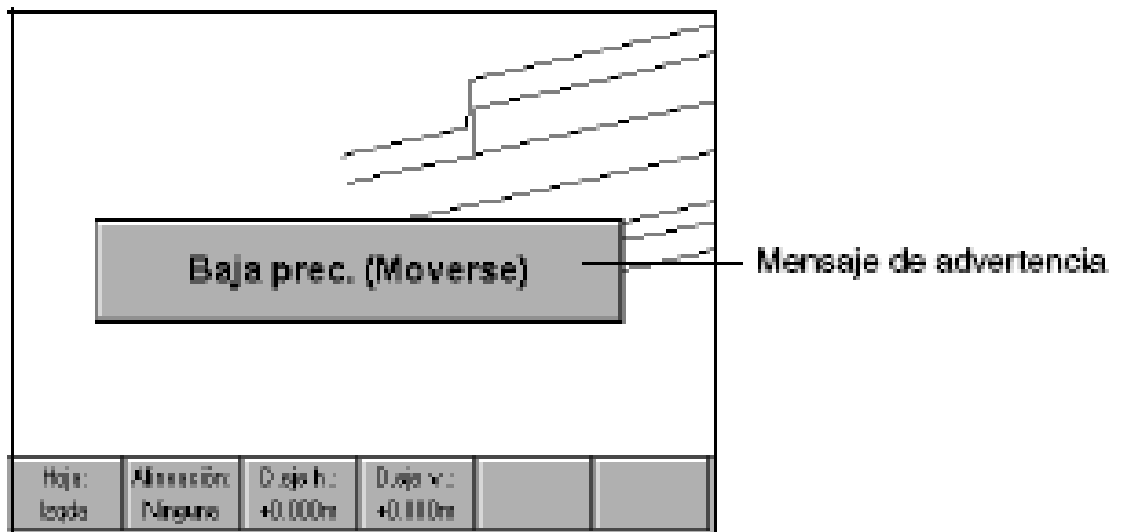
Una sola estación base puede utilizarse con un número ilimitado de móviles, siempre que los mismos estén dentro de unos 20 km de la estación base. Por lo general, el alcance del enlace de la radio de datos es el factor más limitante. Se pueden emplear repetidores de radio para ampliar la cobertura de la radio.

En aquellas regiones en las que está disponible la banda de 900 MHz, Trimble recomienda la radio Trimble SNR900. Esta radio tiene una cubierta resistente y soportes diseñados específicamente para la maquinaria pesada y el entorno de la construcción. En las zonas donde la banda de 900 MHz no está disponible, se recomienda la radio Trimble SiteNet™. El sistema SiteVision también es compatible con radios de otros fabricantes, utilizando un cable adaptador.

**Advertencias**

Un error tal como la pérdida de datos GPS, produce una guía imprecisa. Cuando se genera un error, destellará un mensaje de advertencia en la pantalla cada algún segundo. La guía de la barra de luces y el control guía automático no se proveen en estas condiciones.

La Figura muestra un ejemplo de un mensaje de advertencia. El mensaje Baja prec. (Moverse) (Moverse) aparece cuando tiene que moverse una máquina.



**PANTALLA BAJA PRECISION**



## **IV.4.2 Diseños y fondos**

### **Introducción**

Cada sitio de la obra tiene una superficie de construcción definida, que se basa en el diseño topográfico del proyecto. Esta superficie se denomina la superficie de diseño. En el sistema SiteVision, la información de guía vertical y horizontal para esta superficie de diseño se provee mediante un diseño. El diseño también puede contener líneas de fondo.

### **Diseños**

Un diseño debe contener una superficie de diseño.

La superficie de diseño contiene información de guía vertical para un área específica. La misma puede ser una superficie irregular o un plano chato. La diferencia de posición entre la altura del filo de la hoja y la altura de la superficie de diseño, en el mismo lugar, se conoce como el corte o relleno. El software SiteVision muestra el corte o relleno en las barras de luces y en la pantalla SV170.

## **IV.4.3 Zonas a evitar**

Las zonas a evitar son áreas designadas de las cuales debe mantenerse alejado. Dichas zonas pueden ser tan anchas como el sitio de la obra o pueden ser específicas a una superficie de diseño concreta.

SiteVision proporciona la detección de la proximidad de zonas a evitar en las puntas de la hoja. Si se ha configurado la distancia desde el desgarrador hasta la hoja, dicha detección también está disponible con respecto a los desagarradores y se basa en la anchura de la hoja.

### **Zonas a evitar del sitio de la obra**

Cuando el sistema está encendido, las zonas a evitar del sitio de la obra se cargarán automáticamente de la tarjeta de datos de SiteVision y se mostrarán en la Vista del plano. La detección de la proximidad a zonas a evitar del sitio de la obra está disponible hasta que se apaga la pantalla SV170.

## Zonas a evitar del diseño

Las zonas a evitar del diseño son específicas a una superficie de diseño. Se cargan de la tarjeta de datos de SiteVision a medida que se carga el diseño.

Estas zonas están disponibles en la Vista del plano. La detección de la proximidad a zonas a evitar del diseño está disponible mientras la superficie de diseño permanece cargada.

## IV.5 DISPATCH

### IV.5.1 GPS soporte del dispatch



DISPATCH es un Sistema de Administración Minera a gran escala, que utiliza modernos sistema de computación y comunicación de datos, junto a lo más avanzado del Sistema de Posicionamiento Global (GPS) con el fin de proporcionar asignaciones óptimas en forma automática para camiones.

Generalmente cada equipo de carga y transporte esta equipado con una Consola de Interfase de Operación Grafica (GOIC) la cual es una pantalla sensible al tacto, un receptor de Posición Satelital Global (GPS), un receptor de radio comunicaciones y una unidad de proceso.




Sin embargo, el sistema no puede trabajar exclusivamente solo, la participación del operador de equipo es de suma importancia pues son quienes entregan información valiosa para el sistema mediante el GOIC.

### IV.5.2 Componentes

Sistema computarizado de campo por cada equipo.

-  Consola grafica (Goic).
-  Unidad central de proceso (en HUBs).

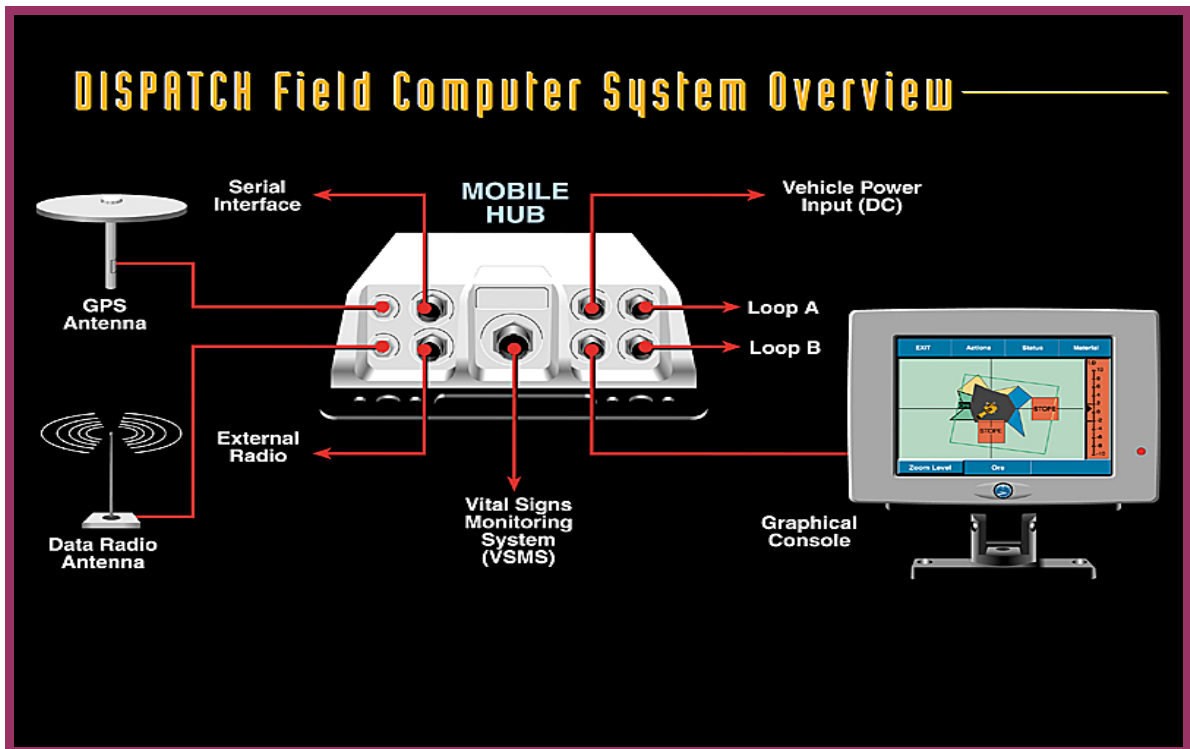
Sistema de radio UHF (Transmisión de datos)

-  Receptor de radio (en HUBs).
-  Antenas dipolo.
-  Repetidor (Cerro).

Sistema computacional de oficina. Servidores SUN (2). Centro de información INTELLMINE. Laptop de mantenimiento.

Tecnología GPS.

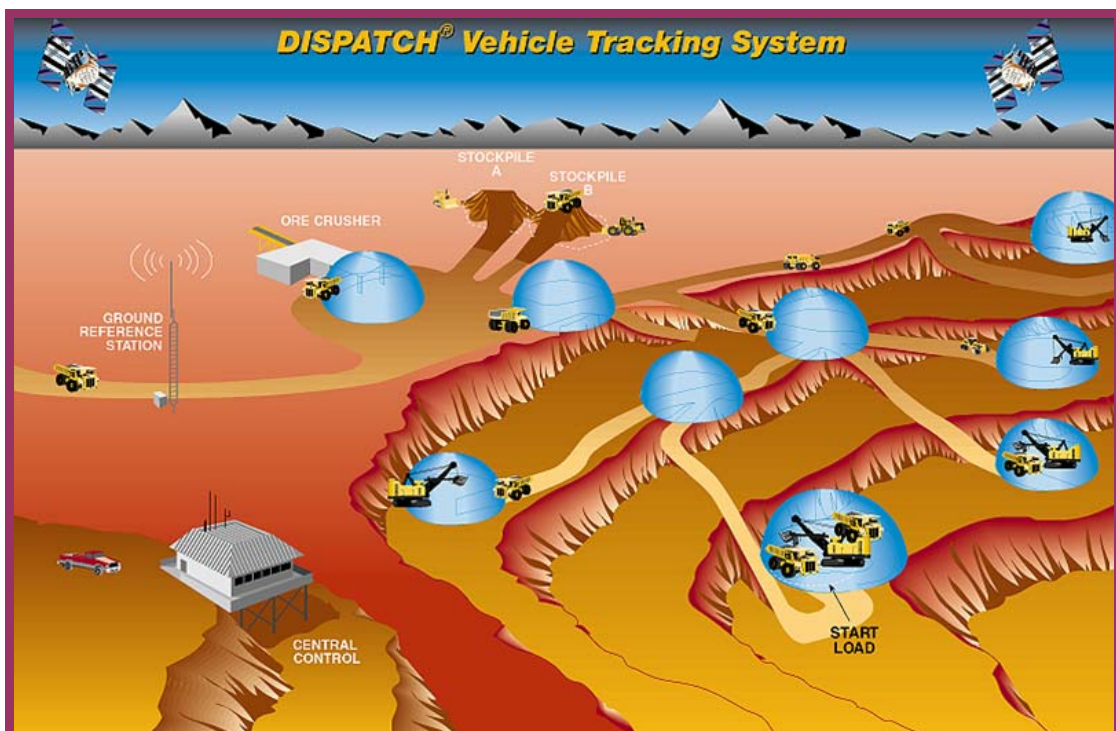
- ✚ Receptor GPS (en HUBs).
- ✚ Antena GPS.
- ✚ Solucion GPS mejorada.
- ✚ Receptores Ashtech GG24.
- ✚ NAVSTAR (27) + GLONASS (16)
- ✚ Correcciones diferenciales cada segundo.
- ✚ Precision RTK: 1-2 cm
- ✚ Funcionamiento adecuado en tajos profundos y paredes altas.
- ✚ Alta confiabilidad y disponibilidad.



COMPONENTES DEL HUB



**ANTENA DE RADIO UHF**



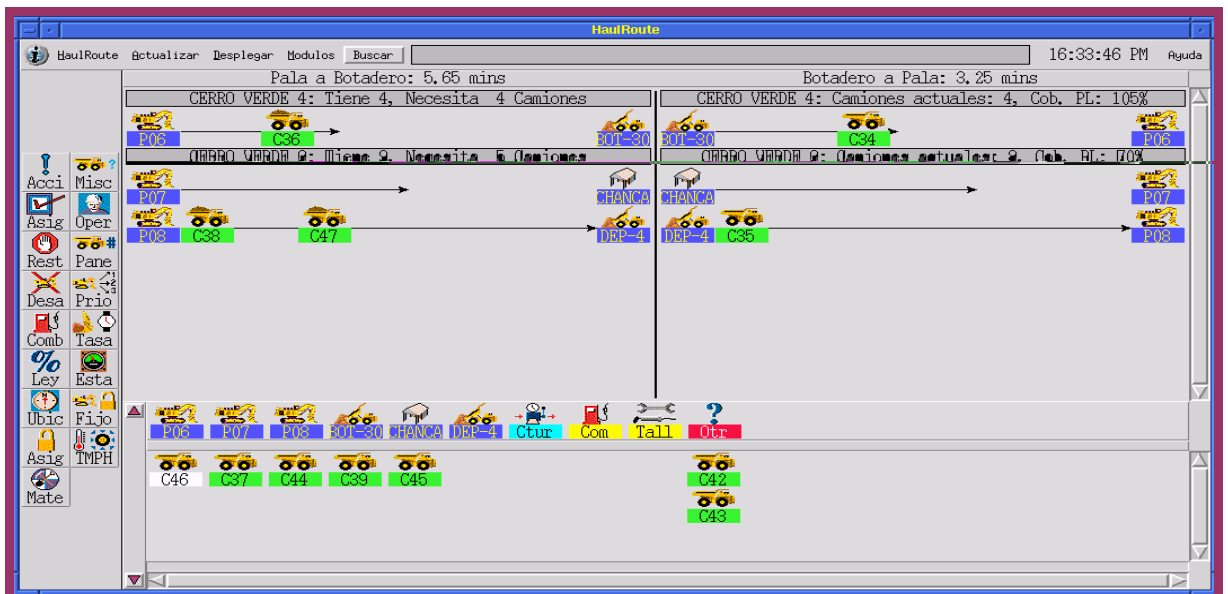
**BALIZAS VIRTUALES**

### IV.5.3 Programación lineal

El modelo de PL crea un plan maestro teórico para obtener la mayor productividad de camiones posible. Dicho plan, conocido como la solución de PL contiene circuitos optimizados de producción que indica:

Cuales botaderos deben proveer camiones vacíos a cuales palas y las velocidades de alimentación de dichos camiones con respecto a las palas.

Cuales palas debe proveer camiones cargados a cuales botaderos y las velocidades de alimentación de los camiones con respecto a los botaderos



**VISUALIZACION DE LAS OPERACIONES**

## CAPITULO V

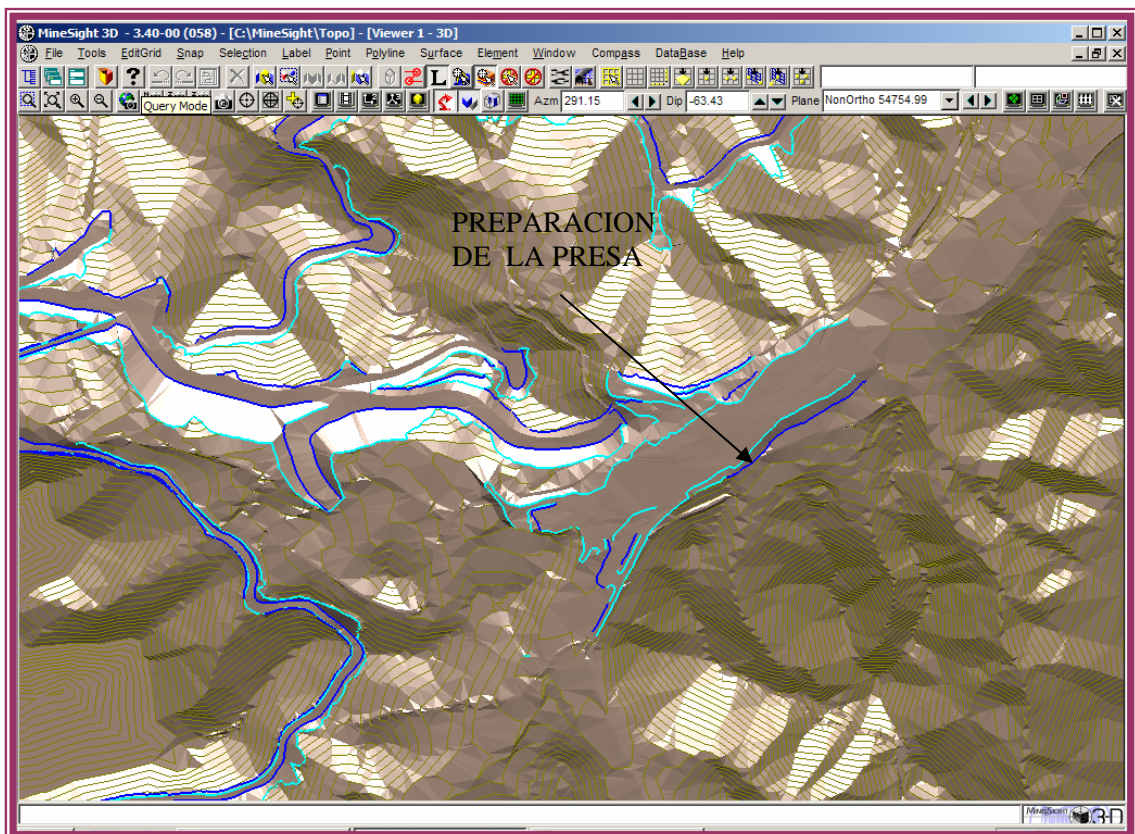
### APLICACIÓN DE LA TECNOLOGIA DE CONTROL EN LA CONSTRUCCION DEL STARTER DAM

#### V.1 CONTROL MEDIANTE SOFTWARE TRIMBLE SURVEY CONTROLLER TSC1

Diariamente el personal de topografía utilizando el TSC1, realizaba los siguientes trabajos:

- Levantamiento topográfico de toda la zona de la presa.

Estos levantamientos topográficos en tiempo real, eran procesados en la oficina usando el programa Trimble Geomatics para elaborar los planos semanales en AUTOCAD, y en el software MINE SIGTH.



**LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO ANTES DEL INICIO DE LA  
CONSTRUCCION DE LA PRESA DE RELAVES**

- Colocación de estacas en el talud de la presa, las estacas eran colocadas a 90cm del piso, servían como guía para que los tractores D10 llevaran el nivel de la capa superior, adicionalmente a que los tractores poseían el SISTEMA SITE VISION.

Como vemos la importancia en la construcción de la presa, siempre fue el mantener la capa de 90cm.



### **PERSONAL DE TOPOGRAFIA PONIENDO ESTACAS**

- Chequear la elevación del piso donde trabaja el tractor que esta utilizando el Sistema Site Vision. Diariamente se chequeaba el nivel que indica el SISTEMA SITE VISION con el nivel que indicaba el TSC1.

Como vemos en la grafica primero el tractor se estacionaba y el nivel que indicaba el tractor debia ser igual al que indicaba el TSC1, caso contrario se calibraba el SISTEMA SITE VISION.

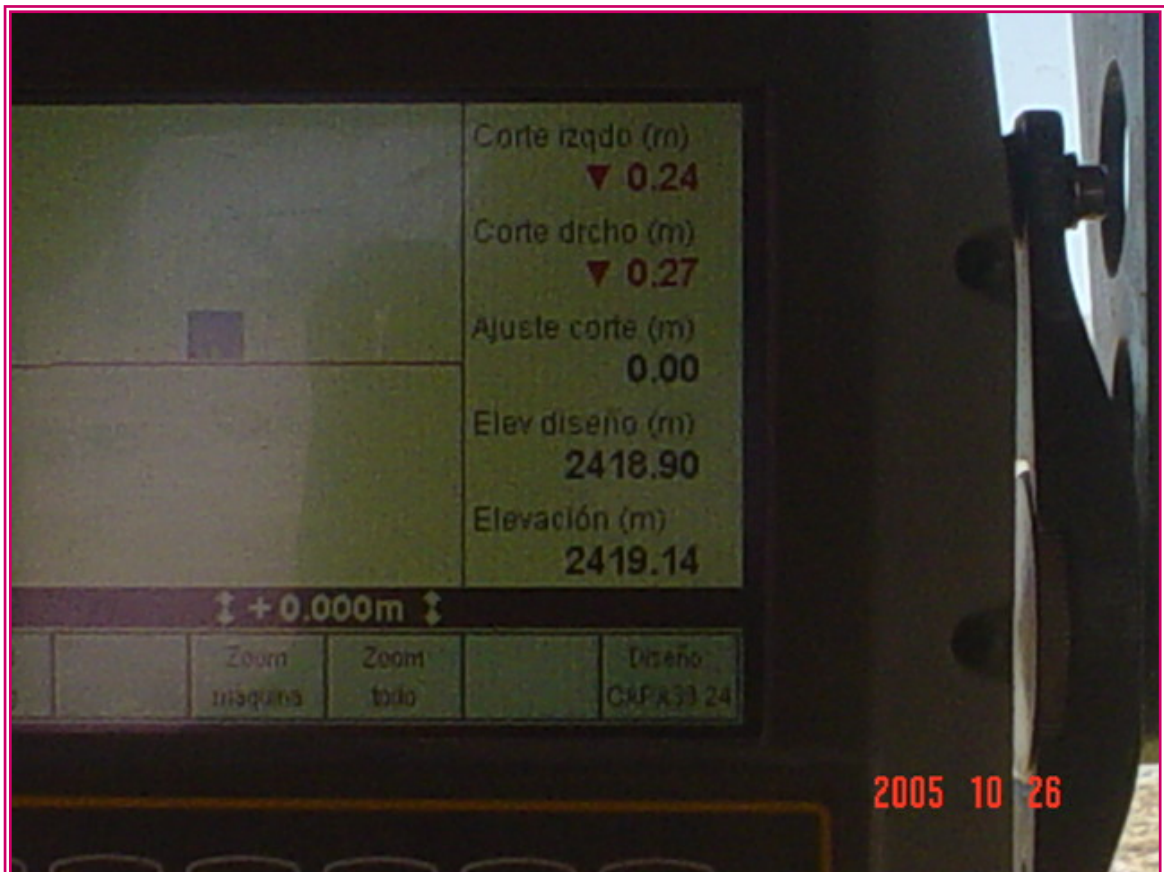


### **CALIBRACION DEL SISTEMA SITE VISION EN EL TRACTOR**



## V.2 TECNOLOGIA GPS EN SISTEMA SITE VISION

En la construcción de la Presa de Relaves, trabajaban 2 tractores D10, que tenían instalados el SISTEMA SITE VISION, se encargaban de construir capas de 90cm. Como vemos a continuación en la grafica, la cota de diseño era 2418.90 y la elevación del tractor es de 2429.14, también nos indica que tenemos que cortar 24cm en el lado izquierdo de la hoja, y en el lado derecho de la hoja tenemos que cortar 27cm.



**PANTALLA SITEVISION**

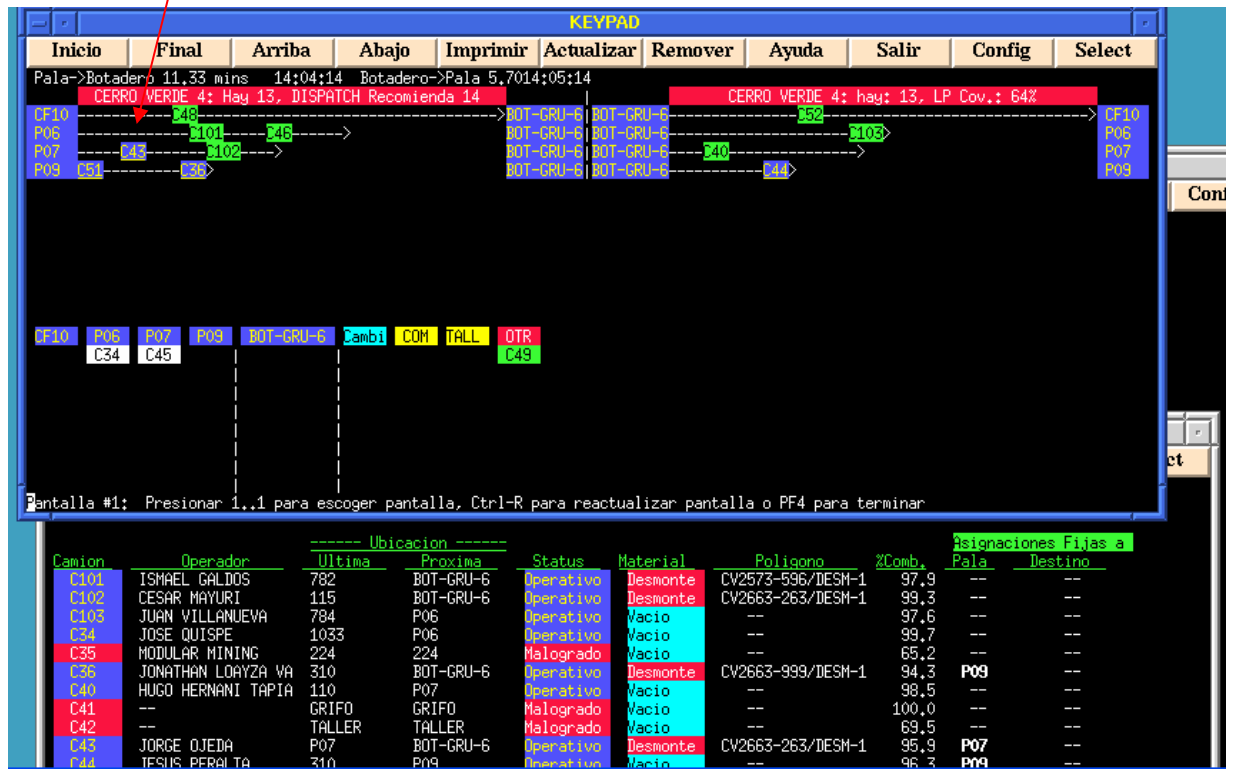


## TRACTOR TRABAJANDO EN LA PRESA DE RELAVES

### V.3 TECNOLOGIA GPS EN DISPATCH

El DISPATCH utilizando el Sistema de Posicionamiento Global a contribuido en la construcción de la presa, enviando camiones en forma eficiente a la presa utilizando PROGRAMACION LINEAL, vamos a ver una de las tablas que indican en tiempo real donde se ubican los equipos, y esto podemos saber gracias al GPS, que envía información cada segundo. Y esto se debe porque en todas las rutas de la mina tenemos BALIZAS VIRTUALES.

VEAMOS QUE EL CAMION 43 SE DIRIGE DE LA PALA 7 AL BOTADERO DE GRUESOS 6, EN TIEMPO REAL.



GRAFICA DE PROGRAMACION LINEAL



## CAPITULO VI

### ANALISIS DE RESULTADO

**VI.1 CUADRO COMPARATIVO:**

<b>METODO CONVENCIONAL NO SE UTILIZABA GPS</b>	<b>METODO UTILIZANDO SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL GPS</b>
<p>Los levantamientos topográficos se realizaban durante el día, de preferencia en las mañanas o antes de la puesta del Sol.</p> <p>Los trabajos de campo se realizaban con teodolitos o estación total, mínimo con 2 personas, y tenía que haber visibilidad entre el operador del equipo y el ayudante.</p> <p>La precisión no varía durante el levantamiento.</p> <p>Sin GPS se tenían que utilizar estacas en los proyectos y de noche había personal que se encargaban de direccionar la carga a los operadores de pala o excavadoras.</p> <p>Necesariamente se tiene que ir al proyecto para reconocer los diferentes tipos materiales que se están cargando.</p> <p>Los operadores de los tractores necesitan ayuda de los topografos para indicarles la cota de trabajo.</p>	<p>El GPS hace posible trabajar las 24 horas del día en cualquier condición climática.</p> <p>Los trabajos de campo lo realiza solo una persona.</p> <p>La precisión varia durante el levantamiento, la señal se pierde conforme nos acercamos a un obstáculo.</p> <p>El GPS en palas o excavadoras tiene como fin informar a los operadores los bloques precisos en los cuales están excavando.</p> <p>Desde la oficina se puede ver en tiempo real el trabajo de las palas y saber el tipo de material que esta cargando.</p> <p>El GPS para tractores registra el corte y relleno y la elevación actual, estos datos son más precisos que los obtenidos por topografía.</p>

## **VI.2 DIAGRAMA CAUSA EFECTO (ISHIKAWA)**

Esta grafica representa las relaciones entre un efecto y sus causas potenciales.

Para nuestro análisis particular:

El efecto: CONSTRUCCION DE LA PRESA dentro de los parámetros de humedad, permeabilidad, altura de las capas de 90cm, densidad del material todos esto parámetros establecidos al inicio de la construcción.

Las causas:

**ACARREO DE MATERIAL**, El cumplimiento del acarreo de material dentro del programa mensual y de todo el proyecto, se llevo a cabo gracias a la PROGRAMACION LINEAL, que utiliza el DISPATCH.

El modelo de PROGRAMACION LINEAL QUE UTILIZANDO TECNOLOGIA GPS como herramientas, crea un plan maestro teórico para obtener la mayor productividad de camiones posibles. Dicho plan, conocido coma la solución de PL, contiene circuitos optimizados de producción que indican:

- Cuales botaderos deben proveer camiones vacíos a cuales palas; cuales son las características de dichos camiones y las velocidades de alimentación de dichos camiones con respecto a las palas.
- Cuales palas deben proveer camiones cargados a cuales botaderos; cuales tipos LPTRUCK representan a dichos camiones, y las velocidades de alimentación de los camiones con respecto a los botaderos.

**COMPACTACION**, la compactación de las capas se realizaban de la siguiente manera:

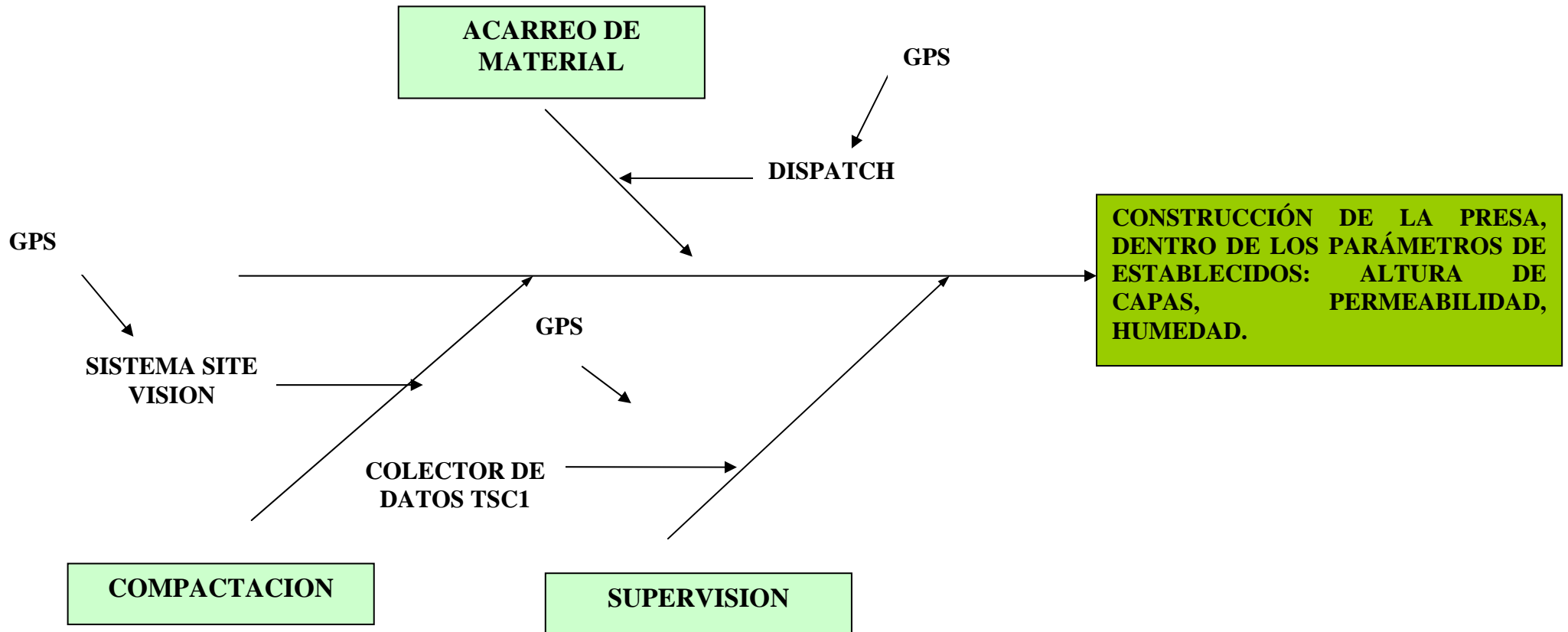
- Primero los camiones CAT 789 se encargaban de transportar el material de la mina a la Presa de Relaves, estos camiones previamente des que eran correctamente asignados por la PROGRAMACION LINEAL.

- El TRACTOR D10, con sistema SITE VISION QUE UTILIZANDO LA TECNOLOGIA GPS, se encargaban de estirar el material que descargaban los camiones CAT 789 realizando capas de 90cm.
- LA MOTONIVELADORA CAT 16G, se encargaban de dar el acabado a la capa, eliminando el material sobredimensionado, dejándola lista para que pase el compactador.
- EL COMPACTADOR, se encargaba de dar 10 pases a la capa y dejar listo la capa para la siguiente capa.

**SUPERVISION**, la supervisión apoyándose necesariamente de los TOPOGRAFOS estos utilizando el TSC1, TECNOLOGIA GPS, se encargaban de verificar las alturas de las capas que estaban dentro de los parámetros, controlar el nivel de los tractores D10, dejar estacas que indican la altura de los 90cm, en los taludes donde no entra la señal GPS en los tractores D10 que utilizan el SISTEMA SITE VISION.

Como vemos en la grafica de ISHIKAWA, el SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL, estuvo AUTOMATIZANDO CADA UNO DE LOS TRABAJOS EN LA CONSTRUCCION DE LA PRESA.

### DIAGRAMA DE ISHIKAWA





**VI.3 APOORTE DEL GPS EN LA CONSTRUCCION DE LA PRESA DE RELAVES**

- El SISTEMA SITE VISION, que se instalo en los TRACTORES D10, reemplaza a tener 1 topografos todo el día, los 3 turnos.
- EL COSTO DEL SISTEMA SITE VISION ES MUCHO MENOR QUE TENER 2 TOPOGRAFOs TODO EL DIA, LOS 3 TURNOS A, B Y C.
- Los datos que se obtienen del SISTEMA POSICIONAMIENTO GLOBAL, en los equipos TSC1, SITE VISION son datos en tiempo real, esto se traduce en un ahorro de tiempo.
- El DISPATCH, utilizando tecnología GPS, obtiene la mayor productividad de camiones posibles. Dicho plan, conocido coma la solución de PL, contiene circuitos optimizados de producción.
- El aporte lo vemos en los costos, según muestra el cuadro:

<b>TRACTOR D10 SIN SISTEMA SITE VISION</b>	<b>TRACTOR D10 CON SISTEMA SITE VISION</b>
<p>El operador del tractor necesita ayuda de los topografos para que le indiquen el nivel donde esta trabajando.</p> <p>El tractor para realizar el perfilado del talud de la presa necesita a los topografos.</p>	<p>El operador del tractor no necesitan ayuda de los topografos para que le indiquen el nivel donde esta trabajando en tiempo real.</p> <p>El tractor para realizar el perfilado del talud solo necesita tener la superficie del talud en software del SISTEMA SITE VISION.</p>

**VI.4 AHORRO UTILIZANDO SITE VISION**

El sistema Site Vision reemplazo a 2 topografos durante los 3 turnos todo el tiempo de la ejecución de la obra.

El costo del Equipo Site vision: .....\$ 30,000 Dolares

Tiempo de duración de la Obra: ..... 14 meses.

Sueldo Mensual x 1Turno/ Topografo.....\$ 900 Dolares

Sueldo Mensual x 3Turnos/ Topografo.....\$ 2,700 Dolares

Sueldo Mensual x 3Turnos/ 2Topografo.....\$ 5,400 Dolares

Sueldo durante obra / 2Topografo.....\$ 75,600 Dolares

Ahorro por Equipo Site Vision \$: ..... \$45,600 Dolares

## CAPITULO VII

### CONCLUSIONES

Las aplicaciones de GPS en la actualidad han revolucionado enormemente las diferentes formas de trabajo del equipo y la supervisión en lo que a minería superficial se refiere, brindando grandes ventajas como la reducción de mano de obra, minimización de costos, optimización de los equipos de la producción y una mejor interrelación entre el personal de la operación y sistemas que permiten monitorear permanentemente todos los eventos de estos equipos.

En la mina Cerro Verde, se viene aplicando con mucho interés un sistema de Posicionamiento Satelital para equipos de acarreo y transporte, equipos de carguio, equipos auxiliares (tractores sistema Site Vision) y equipos de perforación. Así, el equipo principal de la mina está bajo un sistema de ubicación GPS que permite la eliminación de una serie de trabajos topográficos. Por otro lado se obtiene generación automática de los reportes, una visión histórica y actual del equipo y la distribución adecuada del mismo; ello a su vez genera un incremento en la productividad, reducción de costos y una mayor flexibilidad en la supervisión de las operaciones de minado.

#### **Ahorro de costo en la construcción de la presa**

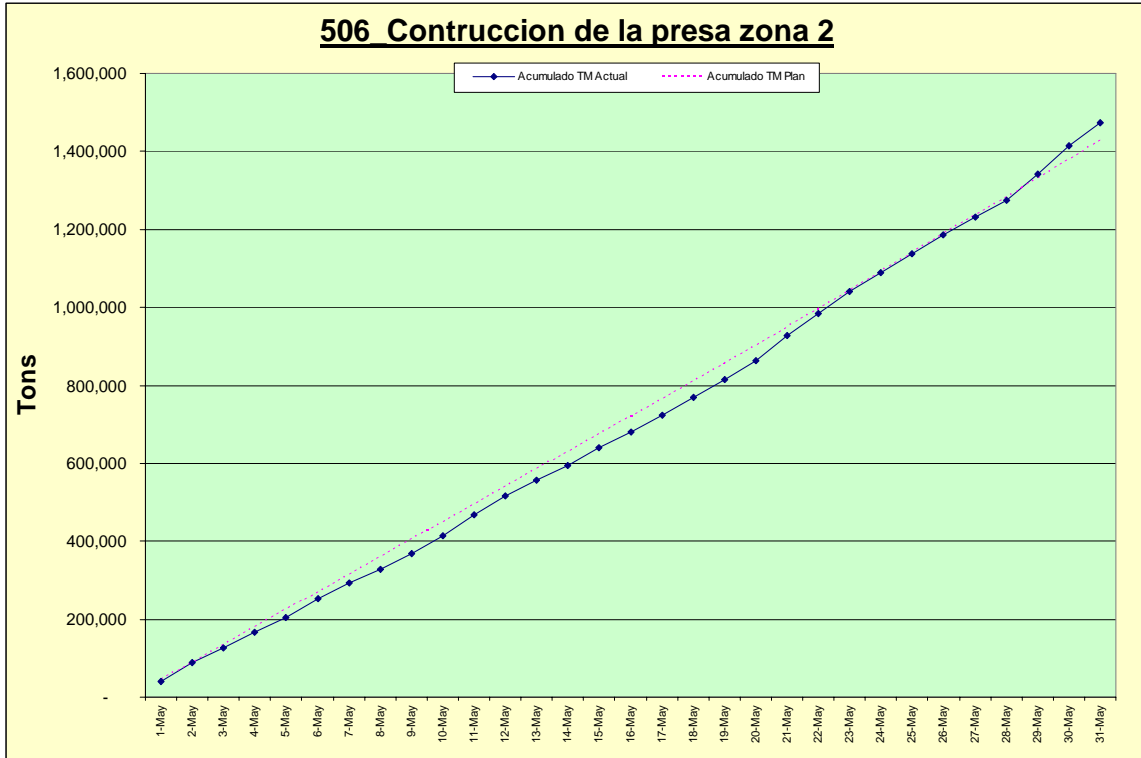
Comprando el Sistema Site Vision para la construcción de la presa se ahorro mano de obra de 1 topógrafo y 1 ayudante, durante los 3 turnos y todo el tiempo de la construcción.

En general, las aplicaciones del posicionamiento por satélites en minería superficial, son las siguientes:

*Control de volquetes y despacho:* El GPS puede proveer posiciones en todos los volquetes, y mediante un enlace de radio, estas posiciones pueden ser enviadas a una oficina de despacho. Computadoras con software especialmente diseñado pueden determinar la ruta más eficiente para cada volquete, con el objetivo de minimizar la cantidad de tiempos en espera, optimizando la asignación del equipo de acarreo y el consecuente incremento de la productividad.

En la construcción de la Presa, mensualmente teníamos que cumplir un planeado mensual de 1,428,000 TN, utilizando el Dispatch hemos llegado para el mes de mayo 2005 a 1,474,233 TN.

**GRAFICA Tn ACUMULADAS VS. DIAS**



*Navegación de palas:* El GPS puede ser combinado con información de los polígonos de minado para medir y controlar la ley de mineral. En las condiciones más adversas como lluvia y neblina, los operadores se pueden ubicar en los diferentes polígonos que tiene su frente de trabajo Asimismo, puede informar exactamente lo que está excavando y dónde lo está haciendo, en tiempo real, y esto puede ser visto en la pantalla del operador de pala, así como en la torre de control u oficina de planeamiento.

Todo ello conlleva al ahorro de tiempo, reduce la dilución en los contactos de mineral y desmonte, y la necesidad de trabajos topográficos de levantamiento. Diariamente la pala nos asegura llevar desmonte a la presa.

*Estacado topográfico:* El concepto de cuadrilla de topógrafos cambia, ya que con el GPS se necesita de una sola persona para mediciones topográficas, eliminándose, por lo tanto, la cantidad de mano de obra para estos fines.

*Movimiento de tierras:* El GPS puede ser usado como una guía para los operadores de tractores, motoniveladoras, etc., para llevar la gradiente y peralte de cualquier piso, optimizando cada movimiento del equipo.

A pesar de que se utilice un sistema de posicionamiento satelital combinado GPS con GLONASS, siempre es recomendable que la estación base se encuentre en una zona alta y de la mayor cobertura de satélites. Normalmente, se instala la estación base y la torre con su repetidora en un mismo sitio, contando con todo un sistema de aterramiento bajo la eventualidad de producción de rayos que puedan afectar el sistema. Asimismo, se cuenta con un sistema de respaldo total (*backup*) para la energía, el receptor de la estación base y la antena repetidora.

## CAPITULO VIII

### RECOMENDACIONES

- Se recomienda utilizar el SISTEMA SITE VISION para tractores en aquellas obras donde se tiene que llevar plataforma con niveles de cota constantes y también en rampas donde se tiene que mantener la pendiente, eliminando los costos de Topografía relacionados con la tarea de colocar estacas. Además se obtiene mayor desempeño del tractor en relación al plan de trabajo.
- En aquellas minas donde el departamento de topografía no utilizaba GPS, se recomienda hacer una sustentación de costos para la compra del equipo, pues se incrementa la productividad y se podrá obtener una precisión de orden centimétrico en tiempo real mientras usted esta trabajando mas rápido de lo posible con métodos topográficos convencionales.
- En aquellas minas donde se instale el Dispatch con tecnología GPS se recomienda hacer una evaluación en los primeros 6 meses de marcha del sistema con el apoyo de los operadores de palas y perforadoras, la supervisión y los despachadores para medir la evolución respecto al conocimiento del sistema, con la finalidad de conocer comentarios e ideas que ayuden a mejorar este sistema.
- Crear confianza en los departamentos involucrados, para que conozcan a profundidad los beneficios del sistema de posicionamiento satelital.
- Se recomienda a los operadores de equipos GPS utilizar todas las opciones que nos ofrece estos equipos, para así reducir tiempo en trabajos de campos.

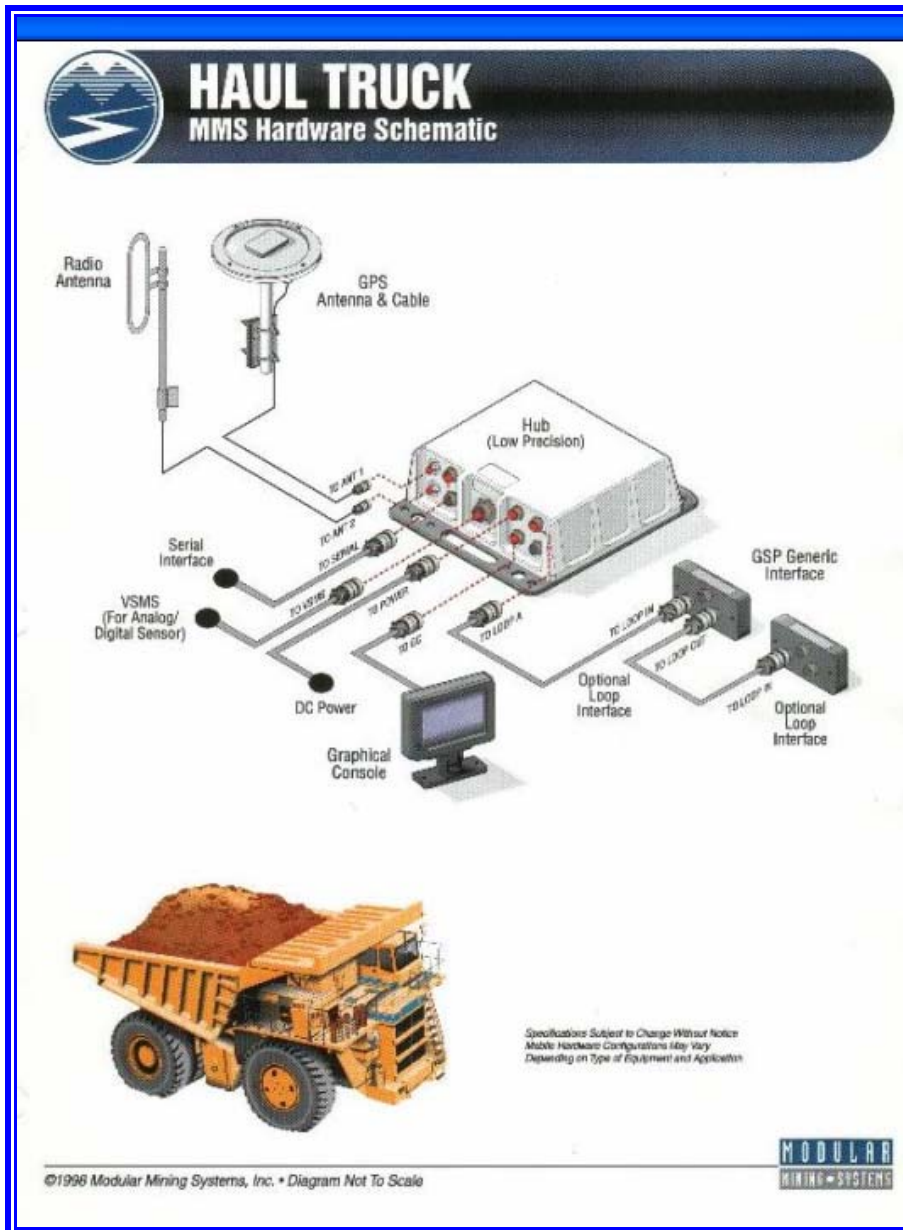
## CAPITULO IX

### BIBLIOGRAFIA

- ✍ Manual de Referencia Trimble Survey Controller volumen 1 y 2 Versión 7.7 Revisión A Enero 2007.
- ✍ GPS y GLONASS Technology and the GG-Surveyor. Ashhtec, 1997
- ✍ Implementación de GPS en equipos de la mina Cuajone.
- ✍ High Precision Drill & Shovel System, USA, 1998.
- ✍ Using the packet Switcher System, Modular Mining Systems, 1997.
- ✍ Utilizando el Modulo de Programación Lineal, Modular Mining Systems, 1999.
- ✍ Utilizando DISPATCH (primera parte), Modular Mining Systems, 1999.
- ✍ GPS Guia del Usuario DISPATCH , Modular Mining Systems, 1999.
- ✍ Computer Based Truck Dispatching, USA, 1996.
- ✍ Manual de Operación y Administración del Sistema Dispatch, 1999. Santiago de Chile.
- ✍ Manual del Despachador, Modular Mining Systems, 1998.
- ✍ Estudio de Impactos Ambientales de Sulfuros Primarios Sociedad Minera Cerro Verde S.A.A., Preparado por **Knight Piésold Consultores S.A.**
- ✍ Estudio de Factibilidad del Proyecto de Sulfuros Primarios Sociedad Minera Cerro Verde S.A.A. elaborado por URS Corporation (URS)
- ✍ Manual de Funcionamiento Site Vision Trimble, version 5.5.
- ✍ Manual de Instalación Site Vision Trimble, version 5.5.
- ✍ Manual de Referencia Site Vision Trimble, version 5.5.

# CAPITULO X

## ANEXOS



### SISTEMA DISPATCH PARA CAMION

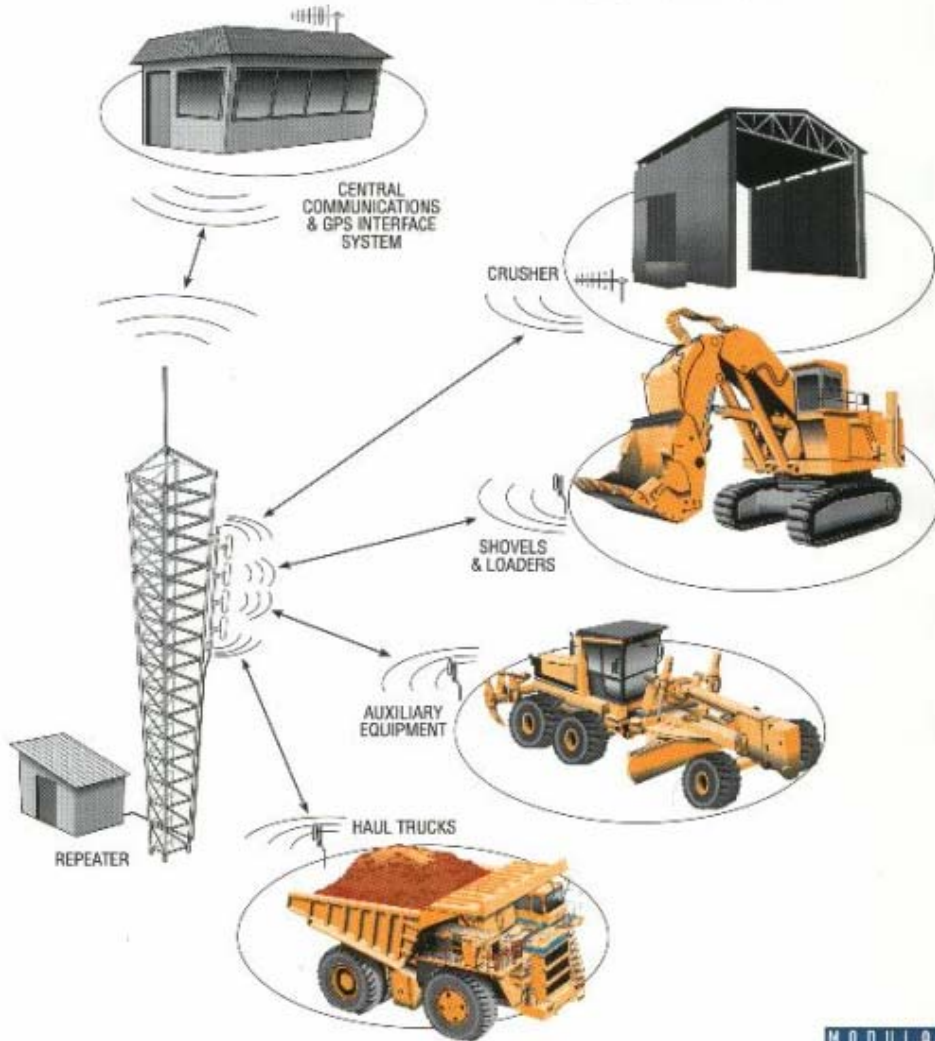




# DISPATCH<sup>®</sup>

## Overview Schematic

Specifications Subject to Change Without Notice  
Mobile Hardware Configurations May Vary  
Depending on Type of Equipment and Application



©1998 Modular Mining Systems, Inc. • Diagram Not To Scale

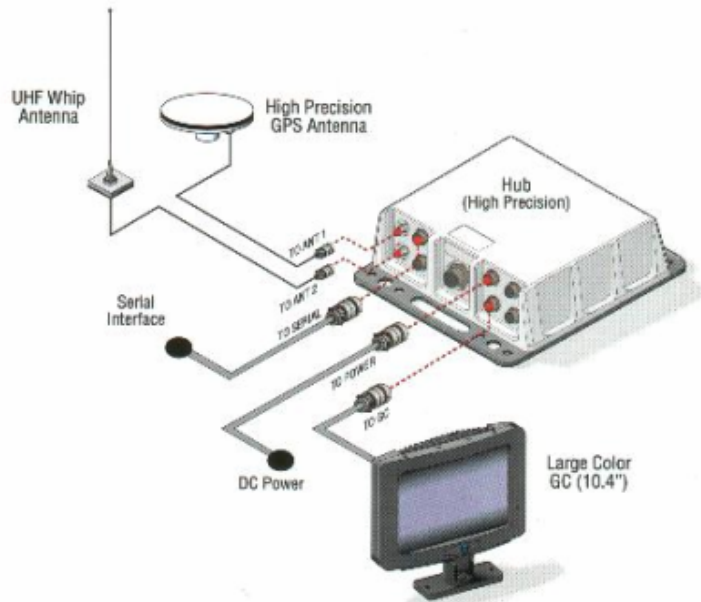
MODULAR  
MINING SYSTEMS

## REPETIDORA SISTEMA DISPATCH



# FOREMAN'S VEHICLE

MMS Hardware Schematic - High Precision



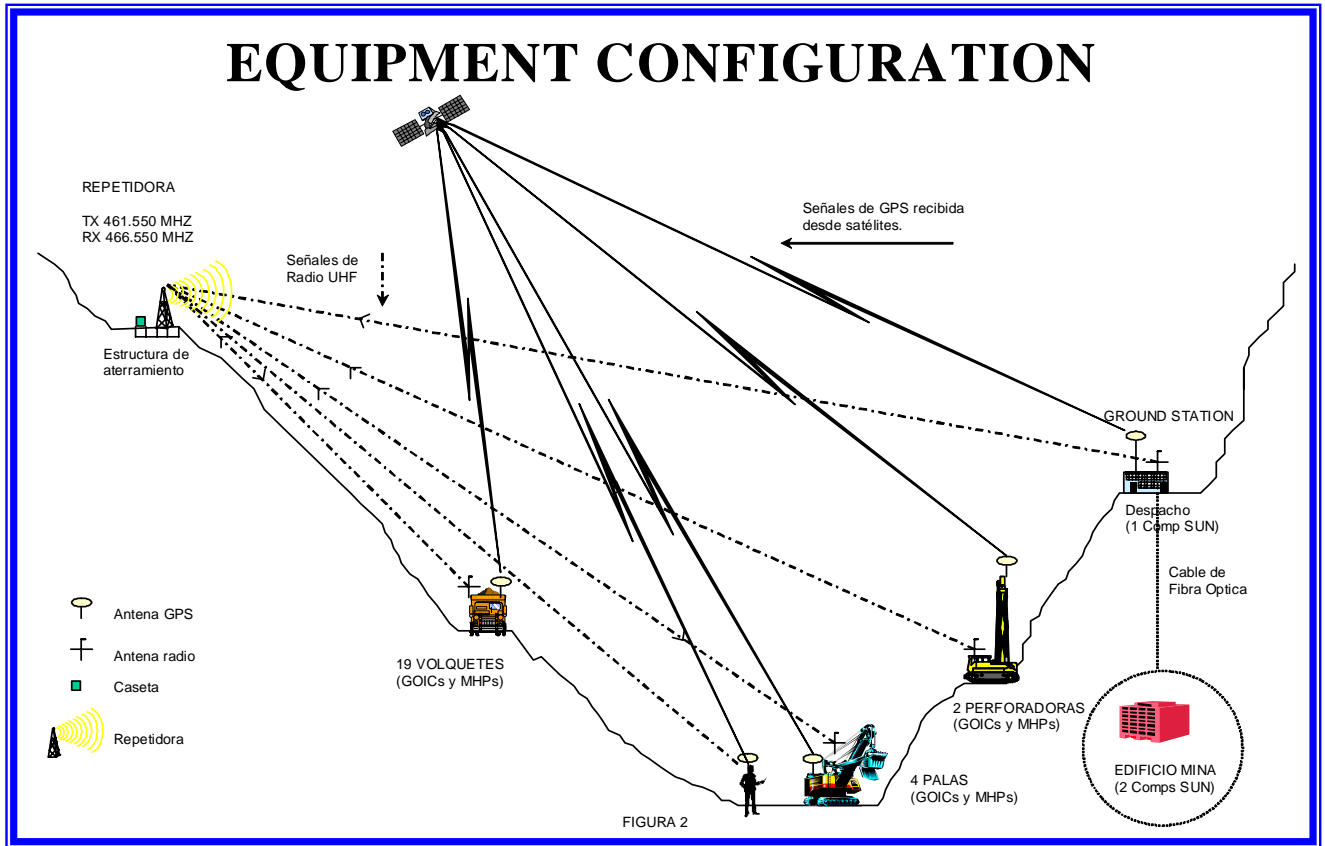
Specifications Subject to Change Without Notice  
Mobile Hardware Configurations May Vary  
Depending on Type of Equipment and Application

©1998 Modular Mining Systems, Inc. • Diagram Not To Scale

MODULAR  
MINING SYSTEMS

## SISTEMA DISPATCH PARA CAMIONETAS

# EQUIPMENT CONFIGURATION



## FUNCIONAMIENTO GPS EN EQUIPOS MINA