

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



**“IMPLEMENTACION DEL RADAR DE ESTABILIDAD  
DE TALUDES EN MINA LAS LAGUNAS NORTE”**

**INFORME DE SUFICIENCIA**

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO DE MINAS**

**PRESENTADO POR:**

**ALEXANDER WINDID SALDAÑA MACAHUACHI**

**LIMA – PERÚ**

**2010**

## **DEDICATORIA**

Quiero dedicar este trabajo a mi madre Elsi, a mi tío Eckel y a mi tía Nely quien con sus consejos y ejemplos crearon en mí una forma de vida en base a valores. Gracias por confiar en mi; es obvio que sin el apoyo de ustedes este sueño nunca hubiera podido ser completado y toda la vida les estaré agradecido.

## **AGRADECIMIENTOS**

Mi especial agradecimiento a la Universidad Nacional de Ingeniería por la oportunidad que me dio de ser profesional, a mis profesores que compartieron sus conocimientos para mi formación y a mi familia por confiar siempre en mí.

Para ellos,

muchas gracias por todo.

## **RESUMEN**

La Mina Lagunas Norte en la zona de Alexa hay pared crítica con muchas cuñas en un entorno de roca frágil donde más de 500.000 metros cúbicos de mineral ya se ha roto y ha caído en el valle. El potencial de inestabilidad de las laderas no puede ser eliminado y no hay instrumentos adecuados en la mina para vigilar los desplazamientos para los tipos de roca frágil en una pared semi-vertical con casi 200 metros de altura.

En la zona de Alexa en el pasado el monitoreo se realizaba con la Estación Total y actualmente se realiza con el Radar de Estabilidad de Taludes. Se analizarán a detalle estos dos métodos de monitoreo, sus limitaciones y sus ventajas.

## **INDICE**

DEDICATORIA.....	3
AGRADECIMIENTOS.....	4
RESUMEN.....	5
INDICE.....	6
INTRODUCCION.....	12

### **Capitulo I**

#### **ANTECEDENTES GENERALES**

I.1. PERFIL DE LA EMPRESA.....	14
I.2. UBICACIÓN DE LA MINA.....	15
I.3. GEOLOGÍA.....	16

### **Capitulo II**

#### **DESCRIPCION GENERAL DE LA MINA LAGUNAS NORTE**

II.1. OPERACIÓN MINA E INFRAESTRUCTURA.....	20
II.2. PLANTA PROCESOS.....	22

### **Capitulo III**

#### **PROYECTO MONITOREO DE LA PARED ALEXA CON EL RADAR DE ESTABILIDAD DE TALUDES**

III.1. ANTECEDENTES.....	25
III.2. MONITOREO DE PRISMAS CON ESTACIÓN TOTAL.....	30

III.2.1. La Estación Total.....	30
III.2.2. El Prisma.....	33
III.2.3. Tolerancia máxima.....	34
III.2.4. Proceso para mejorar la precisión.....	35
III.2.4.1. Evaluación y control de las condiciones ambientales.....	36
III.2.4.2. Método de medición para el monitoreo.....	38
III.2.5. Datos obtenidos de campo del Prisma T29 ubicado en ALEXA.....	39
III.3. RADAR DE ESTABILIDAD DE TALUDES.....	41
III.3.1. Partes del Radar de Estabilidad de Taludes.....	43
III.3.2. Método de monitoreo del Radar de Estabilidad de Taludes.....	45
III.3.3. Funcionamiento del Radar de Estabilidad de Taludes .....	47
III.3.3.1. Programa SSRControl.....	47
III.3.3.2. Iniciando una nueva pared con “Wall Starter Wizard”.....	48
III.3.3.3. Condiciones Atmosféricas.....	49
III.3.3.4. Interpretación de la data en el Programa SSRViewer.....	51
III.3.3.5. Alarmas en el Radar de Estabilidad de Taludes.....	54
III.3.3.6. Esquema general del trabajo del Radar de Estabilidad de Taludes.....	57
III.3.4. Limitaciones del Radar de Estabilidad de Taludes.....	59

## **Capítulo IV**

### **EL MACIZO ROCOSO Y MEDIDAS DE SEGURIDAD PARA LOS**

#### **TRABAJOS EN LA ZONA DE ALEXA**

IV.1. DESCRIPCIÓN DEL MACIZO ROCOSO.....	60
--	----

IV.1.1. Resistencia de la Roca Intacta.....	60
IV.1.2. Resistencia de las discontinuidades.....	61
IV.1.3. Competencia del Macizo Rocoso.....	61
IV.1.4. Análisis cinemática.....	62
IV.2. MEDIDAS DE SEGURIDAD PARA LOS TRABAJOS EN LA ZONA DE ALEXA.....	63
IV.2.1. Zona de Riesgo Bajo.....	64
IV.2.2. Zona de Riesgo Medio.....	64
IV.2.3. Zona de Riesgo Alto.....	65
IV.2.4. Zona de Exclusión.....	65
CONCLUSIONES.....	74
RECOMENDACIONES.....	75
BIBLIOGRAFIA.....	76

## **LISTA DE FIGURAS, GRÁFICAS Y TABLAS**

### **FIGURAS**

#### **Capítulo I**

Figura 1.1: Ubicación de Mina Lagunas Norte.....	16
Figura 1.2: Geología regional del área de Alto Chicama.....	17
Figura 1.3: Geología de Mina Lagunas Norte.....	18
Figura 1.4: Mineralización de Mina Lagunas Norte.....	19

## **Capítulo II**

Figura 2.1: Proceso de Minado Mina Lagunas Norte.....	22
---	----

## **Capítulo III**

Figura 3.1: Topografía Mina Lagunas Norte Octubre – 2008.....	26
Figura 3.2: Topografía zona de Alexa.....	27
Figura 3.3: Material caído en la parte baja de la zona de Alexa.....	27
Figura 3.4: Vista en planta zona de Alexa.....	28
Figura 3.5: Perfil Longitudinal Sección 4900 NE.....	29
Figura 3.6: Estación Total Trimble 5601 DR 200+.....	32
Figura 3.7: Prisma OMNI # 1210.....	33
Figura 3.8: Radar de Estabilidad de Taludes y sus partes.....	44
Figura 3.9: Dirección del barrido que realiza el Radar.....	45
Figura 3.10: Desplazamiento de la pared debido al movimiento.....	45
Figura 3.11: Onda Sinusoidal.....	46
Figura 3.12: Cambio de fase de una onda sinusoidal.....	46
Figura 3.13: Método de monitoreo del Radar .....	47
Figura 3.14: Movimiento constante de una Pared.....	52
Figura 3.15 Movimiento acelerado de una Pared.....	52
Figura 3.16: Movimiento de la Pared – Colapso.....	53
Figura 3.17: Ejemplo de alerta amarilla.....	56
Figura 3.18: Ejemplo de alerta verde .....	56

Figura 3.19: Esquema general del trabajo del Radar de Estabilidad de Taludes...	58
---	----

#### Capitulo IV

Figura 4.1: Zonas de Riesgo de la zona de Alexa en Sección 4900 NE.....	67
Figura 4.2: Cobertura del Modelo Fotogramétrico en la Pared de Alexa.....	68
Figura 4.3: Proyección Estereográfica del Dominio ALEXA.....	69
Figura 4.4: Proyección Estereográfica del Dominio KCW-E.....	70
Figura 4.5: Proyección Estereográfica del Dominio KCW-W.....	71
Figura 4.6: Proyección Estereográfica del Dominio KCW-O.....	72
Figura 4.7: Proyección Estereográfica del Dominio KCW-Ob.....	73

### GRAFICAS

#### Capitulo III

Grafica 3.1: Tolerancia vs. Distancia.....	35
Grafica 3.2: Ploteo de los puntos obtenidos del monitoreo en el plano X-Y.....	40
Grafica 3.3: Movimiento Relativo VS Tiempo.....	40
Grafico 3.4: Velocidad vs Tiempo / Deformación vs Tiempo.....	53
Grafico 3.5: Velocidad Inversa vs Tiempo / Deformación vs Tiempo.....	54

## NOMENCLATURA

Km	: Kilómetros
m	: metros
%	: Porcentaje
m <sup>3</sup>	: Metros cúbicos
t	: Toneladas
t/h	: Toneladas por hora
gal	: Galones
°C	: Grados centígrados
mm	: Milímetros
ppm	: Partes por millón
Km/h	: Kilómetros por hora
MPa	: Mega Pascales
$\Phi$	: Angulo de fricción
c	: Cohesión

## INTRODUCCION

Los instrumentos ópticos convencionales que se utilizan actualmente para controlar los desplazamientos de tierra son funcionales, pero el programa de monitoreo es a menudo objeto de la falta de datos debido por las dificultades en la colocación de prismas en lugares inseguros. Además los instrumentos ópticos son más propensos a los errores que provienen de diferentes fuentes tales como los inherentes al instrumento, operador, y los errores relacionados con el clima. Por otro lado hay un tiempo asociado a la lectura, el procesamiento e interpretación de los datos de una instrumentación óptica.

Los problemas especiales de estabilidad requieren tecnologías más sofisticadas con dispositivos de medición de alta precisión que pueden detectar los desplazamientos sub-milimétricos y extender su aplicabilidad para un tipo de roca frágil y deformable. El comportamiento de tipos de roca deformable puedan predecirse fácilmente con los sistemas convencionales de monitoreo sin embargo, el comportamiento de los tipos de roca frágil no se puede predecir con herramientas convencionales y requiere de

dispositivos de control en tiempo real para alertar oportunamente las operaciones de aceleraciones inesperados.

El Radar de estabilidad de taludes es un equipo de monitoreo en tiempo real que proporciona una precisión sub-milimétrica. Esta avanzada tecnología para la instrumentación y monitoreo de taludes es requerido para monitorear las zonas críticas que existen en una mina que podrían colapsar repentinamente causando lesiones personales, daños al equipo y / o pérdidas en la producción.

La compra y el uso del Radar de Estabilidad de Taludes permitirán a la mina Lagunas el uso de la mejor tecnología disponible en el momento para este tipo de masas de roca y estar en pleno cumplimiento de los requisitos geotécnicos de seguridad de Barrick y reducir considerablemente el potencial de amenaza para la personal de la mina y de los equipos.

## **CAPITULO I**

### **ANTECEDENTES GENERALES**

#### **I.1. PERFIL DE LA EMPRESA**

Minera Barrick Misquichilca S.A. se dedica a la producción y venta de oro, incluyendo actividades afines tales como la exploración, desarrollo, minería y procesamiento. Específicamente, la minera produce oro en forma de barras de doré, producción que es vendida a su afiliada Barrick International Bank Corporation.

Fue constituida en enero de 1994 como una empresa de exploración. En 1996, como resultado de una adquisición en el extranjero, se fusionó con Acuarios Minera y Exploradora y adquirió las concesiones Irene 1-500 y la Mina Pierina, que comenzó a explotarse en 1998. En septiembre del año 2000, el Estado peruano celebró un Concurso Público (PRI-50-2000) para privatizar las tres concesiones mineras estatales del Proyecto Alto Chicama. Minera Barrick Misquichilca obtuvo la buena pro de las tres concesiones el 15 de enero de 2001, y empezó a explorar dicha propiedad en el primer trimestre de 2001.

El 2 de diciembre de 2002, la minera ejerció su opción de compra sobre las tres concesiones mineras, las cuales en el 2005 fueron acumuladas por Minera Barrick en una sola concesión denominada “Acumulación Alto Chicama”.

Sobre esta concesión se ha desarrollado la Mina Lagunas Norte. Cabe destacar que el distrito minero de Alto Chicama incluye cuatro concesiones o derechos mineros que suman un total de 20,322 hectáreas.

## **I.2. UBICACIÓN DE LA MINA**

La Mina de Lagunas Norte está ubicada en la propiedad de Alto Chicama en la parte norte-centro de Perú, a 140 Km. de la ciudad costera de Trujillo y a 175 Km. al norte de la mina Pierina de Barrick. La propiedad se encuentra en el flanco oeste de los Andes Peruanos a una altura de 4000 a 4260 metros sobre el nivel del mar.



*Figura 1.1: Ubicación de Mina Lagunas Norte*

### **I.3. GEOLOGÍA**

La geología regional del área de Alto Chicama es dominada por una secuencia gruesa de las rocas sedimentarias clásticas y del carbonato marinas mesozoicas y de la roca volcánica andesita del grupo terciario de Calipuy. La secuencia mesozoica incompatible es cubierta por las rocas y el corte volcánicos terciarios de Calipuy por los numerosos cuerpos intrusos. La secuencia mesozoica ha sido afectada por lo

menos una y probablemente dos etapas de deformación compresiva durante orogénesis andino.

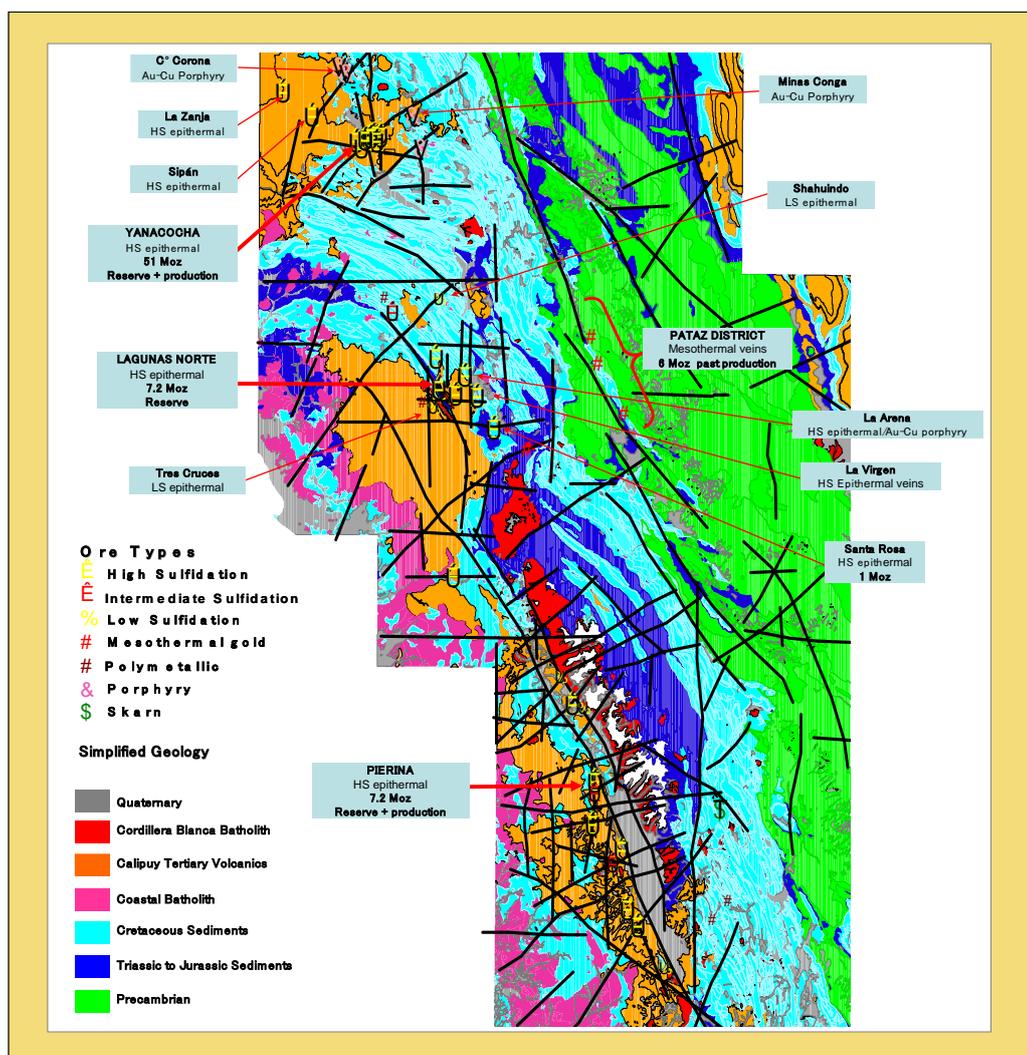


Figura 1.2: Geología regional del área de Alto Chicama

La mineralización de Lagunas Norte, de tipo alta sulfatación, se disemina y se recibe en brechas volcánicas y sedimentarias. La mineralización ha sido definida sobre un área de 1.600 m. de largo por 750 m. de ancho y hasta 300 m. de profundo, es abierta al sur y sur-oriental.

La geología de detalle se observa en la siguiente figura, detallándose en la columna estratigráfica la secuencia de rocas presentes en el ámbito del yacimiento, desde edades Precámbricas a Terciarias y cobertura Cuaternaria.



Figura 1.3: Geología de Mina Lagunas Norte

Las rocas sedimentarias Cretácicas son areniscas intercaladas con limonitas y lutitas de grano fino que localmente gradan a mantos de carbón, la pila volcánica Terciaria es de espesor restringido y está caracterizado por chimeneas volcánicas relacionadas a actividad freato-magmática. Esta actividad volcánica estaría relacionada a la mineralización de oro, la que se aloja en el contacto entre las rocas sedimentarias Cretácicas y las rocas volcánicas Terciarias.

Las leyes de importancia económica están relacionadas a zonas de alteración silíceas residual en rocas volcánicas, también a zonas silíceas fracturadas y brechadas de rocas sedimentarias subyacentes. El oro se encuentra contenido principalmente en pirita, óxidos de hierro, pirita/cuarzo y óxidos de hierro/cuarzo.

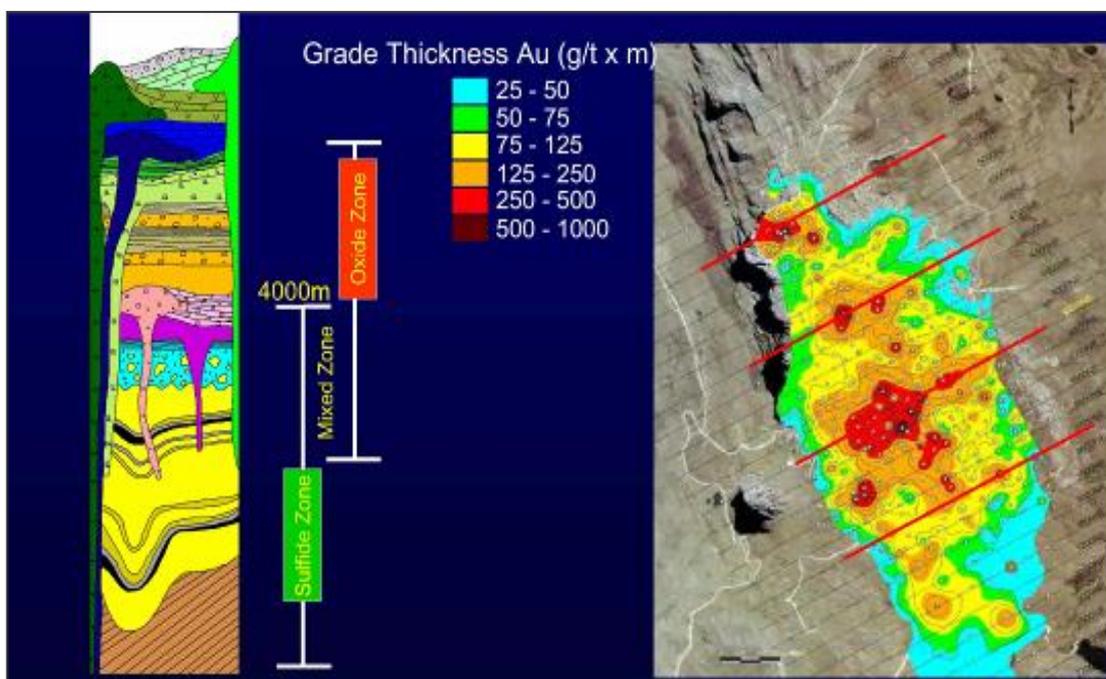


Figura 1.4: Mineralización de Mina Lagunas Norte

## **CAPITULO II**

### **DESCRIPCION GENERAL DE LA MINA LAGUNAS NORTE**

#### **II.1. OPERACIÓN MINA E INFRAESTRUCTURA**

Lagunas Norte es un yacimiento de oro diseminado a tajo abierto, esta definido en un área de 750 m de Este a Oeste. X 1600 m. de norte a sur y tendrá una profundidad de 300 m. en el lado norte. Perteneciente a la Minera Barrick Misquichilca S.A. con sede en Toronto Canadá, Barrick comenzó a operar esta mina en junio de 2005, dadas las reservas existentes de 9.1 millones de onzas, la mina tendría un tiempo de vida mínimo de 10 años.

Características de diseño del tajo:

- Rampas : 8 %
- Altura de Banco : 10 m.
- Ancho de Carreteras : 35 m.
- Ángulo de taludes finales : Varía por fases
- Transito en mina : Izquierda

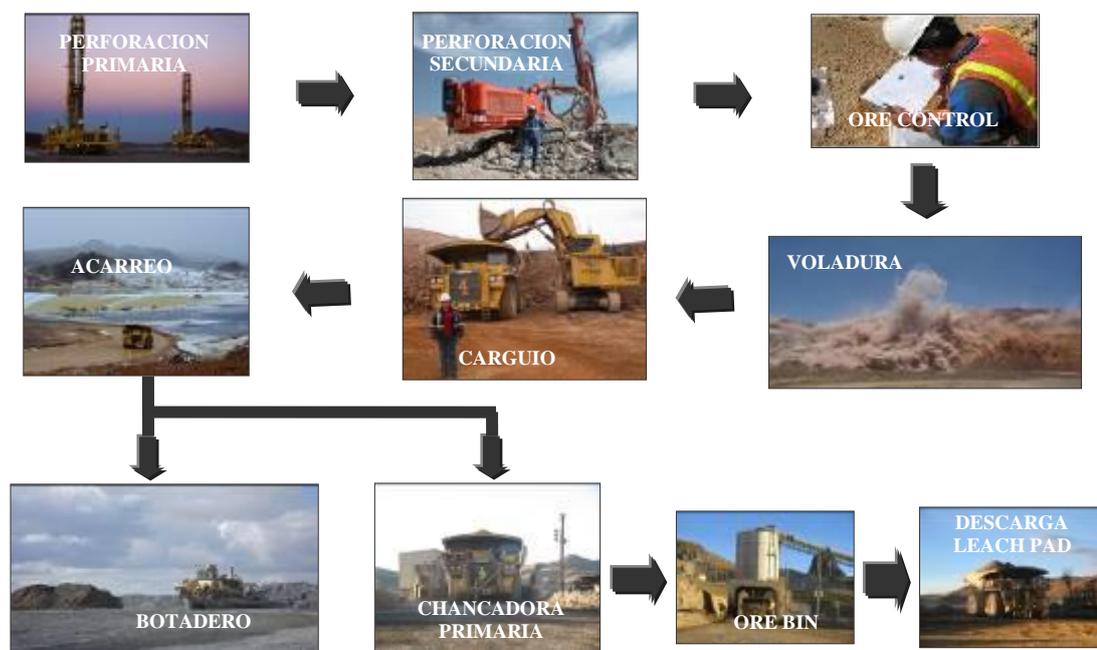
La perforación se realiza con cuatro maquinas perforadoras SKS-12, para perforación primaria, una perforadora ECM-370 y una Tamrock ara perforación secundaria todas estas de accionamiento diesel. Las mallas de perforación son triangulares variables de 6.0 m x 5.20 m hasta 8.0 m x 6.43 m en diámetros de 9 7/8". Después que las perforadoras han terminado los taladros el departamento de servicios técnicos se encarga de caracterizar y sacar las muestras para enviarlas al laboratorio para su respectivo análisis de mineral.

Para el primado de los taladros utilizamos Guía lenta, noneles y retardos. De igual manera para el carguío contamos con el apoyo de Exa-Orica, que cuenta con 2 camiones fabrica de anfo y emulsión, personal de apoyo para el tapado de taladros. La fragmentación de la roca ya sea Mineral o desmante, mediante el uso de explosivos esta se realiza de acuerdo a normas de seguridad establecidas por ley y procedimientos operacionales y técnicas que permiten efectuar en forma segura y eficiente

El carguío de materiales se realiza con dos Palas PC-4000 de 23 m<sup>3</sup> de capacidad y un cargador frontal WA-1200 de 20 m<sup>3</sup> de capacidad. Para el acarreo de material se cuenta con 11 Camiones Komatsu 730 –E, que tienen una capacidad de 200 t. La particularidad de las tolvas DT-HI LOAD es que tienen un diseño ovalado y la resistencia es mucho mayor que las tolvas convencionales.

Los equipos auxiliares que se utilizan para el apoyo en la operación son 19, los cuales se componen en 6 Tractores de orugas, 2 Tractores de ruedas, 3

Motoniveladoras, 1 Cargador frontal, 3 Escavadoras, 2 tanques de agua de 20000 gal. y 2 cisternas de agua de 5000 gal.



*Figura 2.1: Proceso de Minado Mina Lagunas Norte*

## II.2. PLANTA PROCESOS

La mina de Lagunas Norte es desarrollada, desde sus inicios en el 2005, como una operación a cielo abierto con lixiviación en pila. El proceso empleado es la lixiviación en pilas usando cianuro de sodio como agente lixivante y la recuperación de los metales preciosos se realiza mediante la precipitación con polvo de zinc (proceso Merrill Crowe).

El mineral es transportado en camiones y descargado en la chancadora primaria (se reduce a un tamaño menor a 4’’), una zaranda separa las fracciones mayores de 2’’, que van a la chancadora secundaria. Todo el mineral reducido se une al descargarse en una faja transportadora, llevando en promedio 2000 t/h de mineral que se almacena en una tolva de 2000 t (Ore Bin).

Desde el Ore Bin, el mineral es transportado vía camiones hacia el Leach Pad. Una vez apilado el material es lixiviado con cianuro de sodio (NaCN) y a través de un proceso químico se disuelve el Au y Ag. La solución de estos metales es bombeada hacia la planta de procesos para su recuperación empleando el proceso de precipitación de polvo de Zn denominado Merrill-Crowe. La solución rica se bombea a un tanque clarificador y se hace circular por filtros clarificadores para eliminar los sólidos en suspensión. Ya clarificada, se bombea a una torre desaeradora a fin de eliminar el oxígeno disuelto. Luego de agregar polvo de Zn en la solución rica, la solución es bombeada a los filtros prensa, donde el precipitado de Au y Ag es recuperado. En esta etapa comienza el proceso de refinación.

La colección de precipitado proveniente de la planta de Merrill-Crowe es en tres filtros Perrin. El sólido retenido es recogido cada 6 ó 7 días en bandejas, luego es llevado a cuatro hornos de retortas Lochhead-Haggerty con la finalidad de secar el precipitado y extraer el mercurio (Hg) que se encuentra en él, por ello se trabaja con rampas de temperatura hasta alcanzar un máximo de 550 °C.

El Hg removido es colectado por un sistema de condensadores enfriados por agua y se almacena en un colector, el cual es descargado al final del ciclo a contenedores especiales de Hg (flasks) para su almacenamiento seguro. A fin de remover eventuales remanentes de Hg gaseoso que se puedan ir al medio ambiente, el flujo de vacío pasa a través de un post enfriado por agua ubicada inmediatamente después del colector. Luego este flujo pasa a través de columnas de carbón activado y un separador de agua antes de ir a la bomba de vacío y recién es descargado a la atmósfera.

El precipitado seco y frío es mezclado con los fundentes necesarios y es cargado a dos hornos de inducción Inductotherm. Se requiere cerca de dos horas para que la carga se funda completamente y llegue a una temperatura de 1300°C aproximadamente para realizar la colada y obtener las barras dore.

Las escorias producidas son tratadas para recuperar el poco de material valioso que pudieran contener. Son procesados en un circuito de chancado y tamizados a -20m para pasarlas por una mesa gravimetría. Las colas de la mesa son bombeadas al Leach Pad y el concentrado es fundido en el siguiente lote.

El objetivo de la fundición de precipitados de Au y Ag es obtener metal doré en presencia de escorias a temperaturas que excedan el punto de fusión de toda la carga. El tiempo para fundir completamente la carga depende de la calidad de la escoria que se forma, a si como de la composición química de la aleación Au-Ag.

**CAPITULO III**  
**PROYECTO MONITOREO DE LA PARED ALEXA CON EL SLOPE**  
**STABILITY RADAR (SSR-X)**

**III.1. ANTECEDENTES**

La Mina Lagunas Norte tiene una pared crítica con muchas cuñas en un entorno de roca frágil donde más de 500.000 m<sup>3</sup> de mineral ya se ha roto y ha caído en el valle. El potencial de inestabilidad de las laderas no puede ser eliminado y no hay instrumentos adecuados en la mina para vigilar los desplazamientos para los tipos de roca frágil en una pared semi-vertical con casi 200 m. de altura.

El comportamiento de tipos de roca deformable puedan predecirse fácilmente con los sistemas convencionales de monitoreo sin embargo, el comportamiento de tipos de roca frágil no se pueden predecir con herramientas convencionales y requiere de dispositivos de control en tiempo real para alertar oportunamente a las operaciones de aceleraciones inesperados.

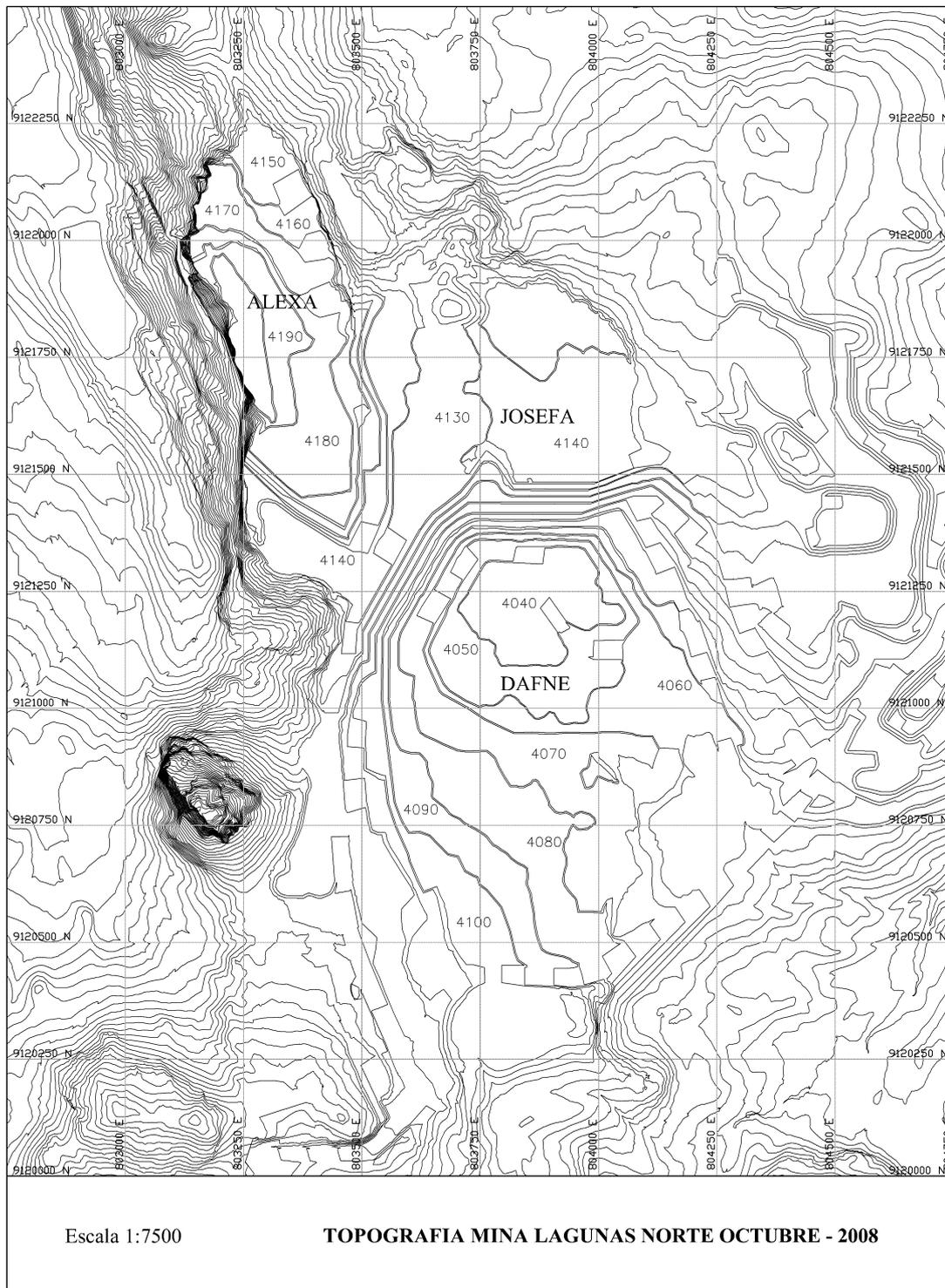


Figura 3.1: Topografía Mina Lagunas Norte Octubre - 2008

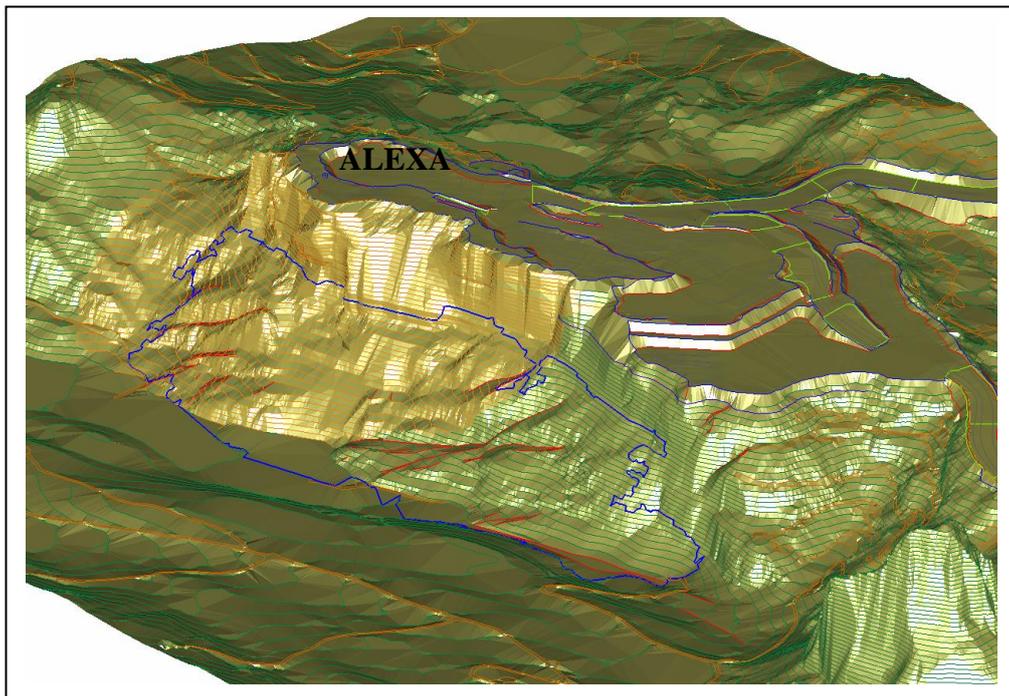


Figura 3.2: Topografía zona de Alexa

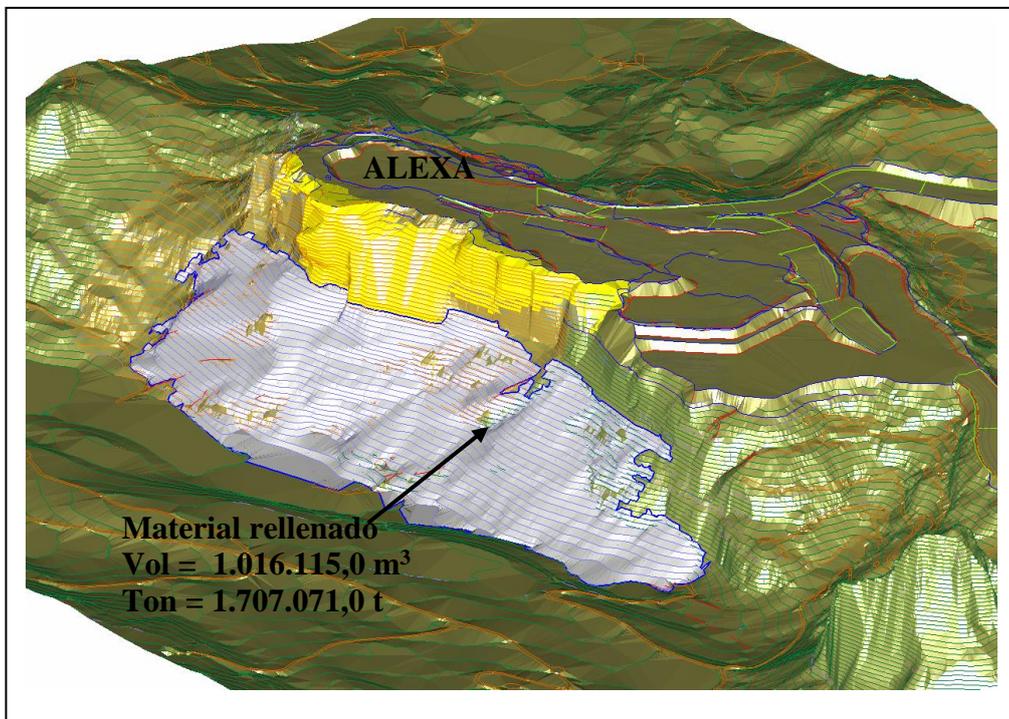


Figura 3.3: Material caído en la parte baja de la zona de Alexa

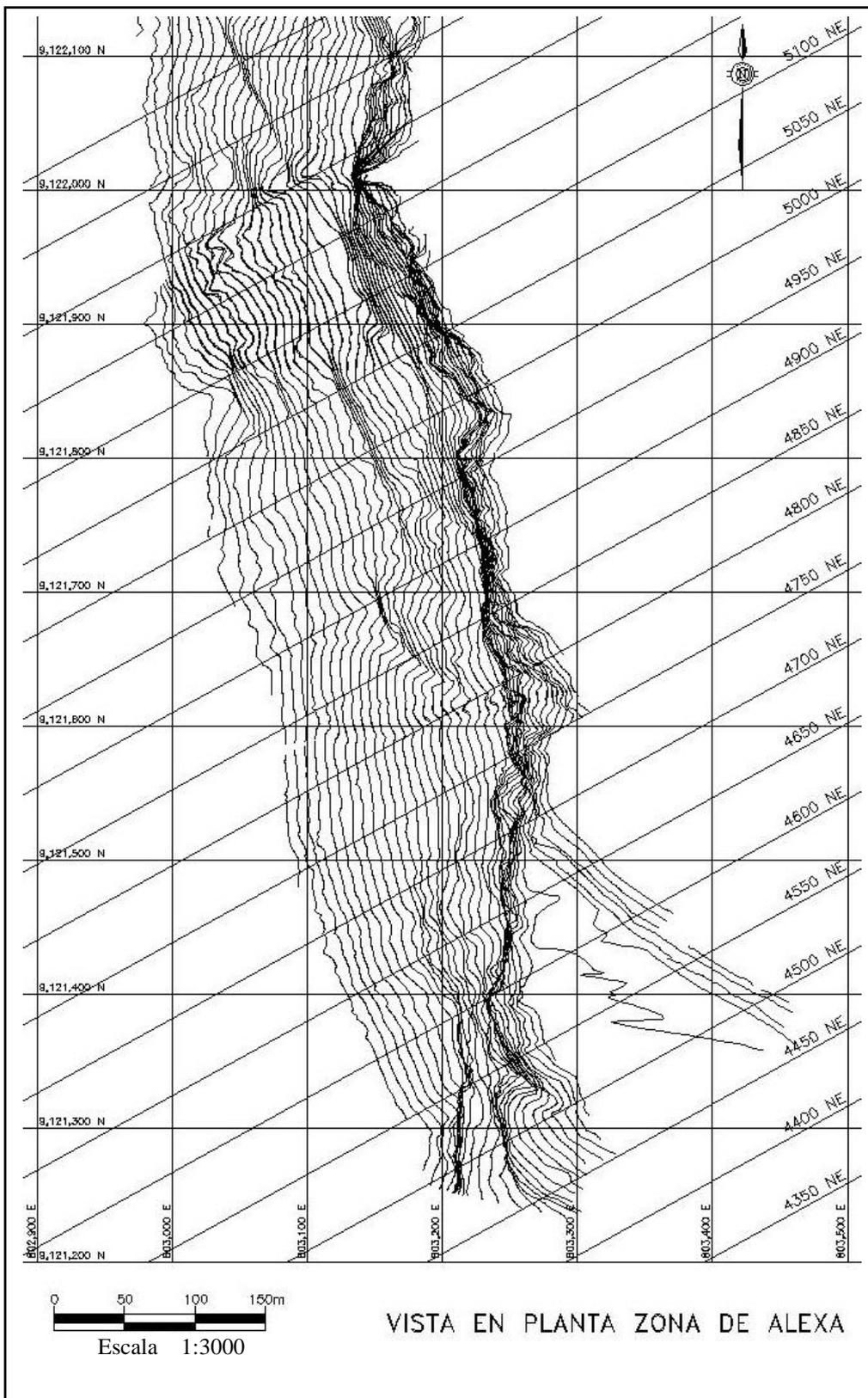


Figura 3.4: Vista en planta zona de Alexia

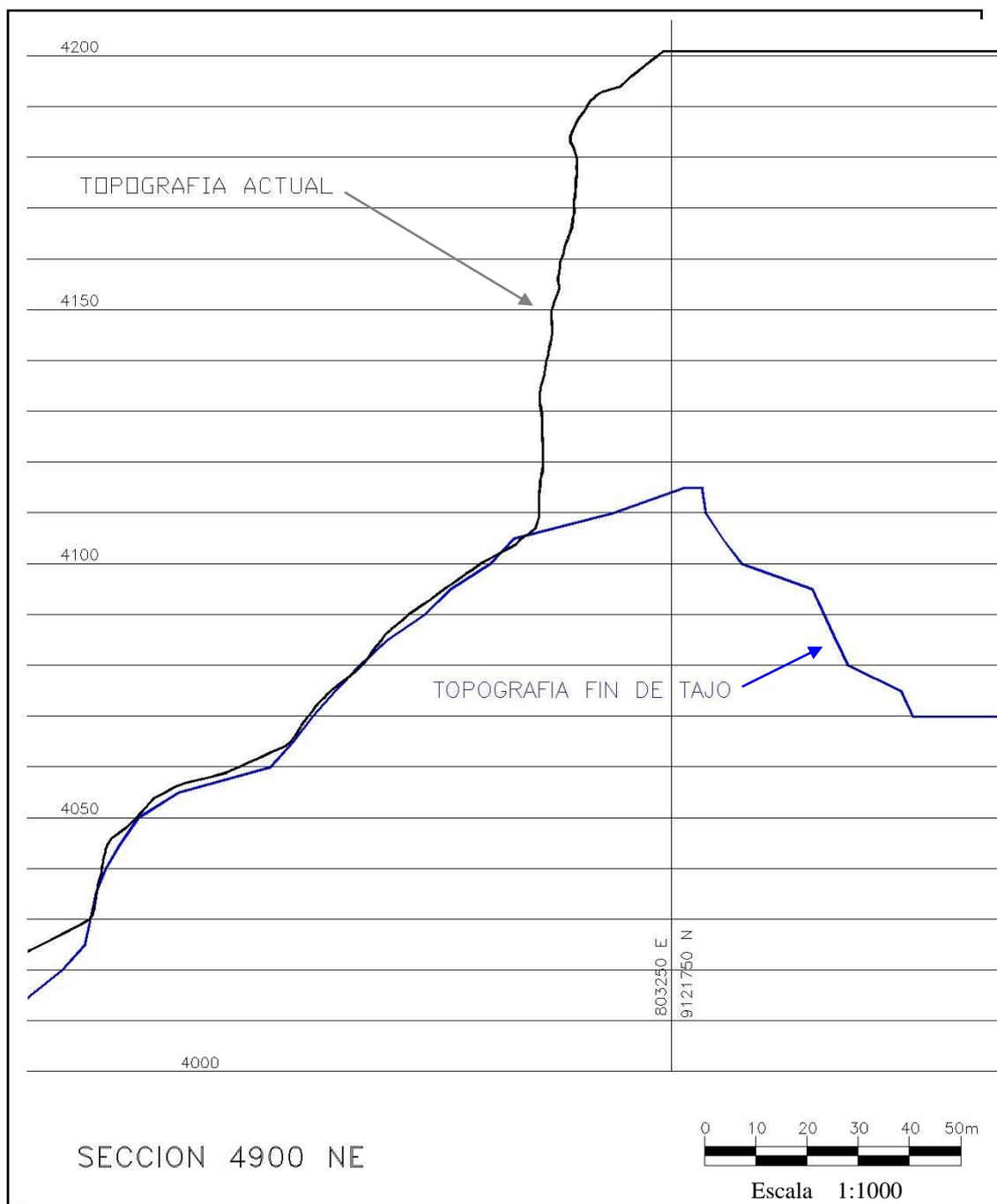


Figura 3.5: Perfil Longitudinal Sección 4900 NE

En Mina Lagunas Norte en la zona de Alexa en el pasado el monitoreo se realizaba con la Estación Total y actualmente se realiza con el Radar de Estabilidad de Taludes.

### **III.2. MONITOREO DE PRISMAS CON ESTACIÓN TOTAL**

El monitoreo de prismas sirve para detectar desplazamientos en superficie, es aplicable a diques, presas, tajos, botaderos, pads, gaviones, estructuras, etc. Debido a su bajo costo de implementación y operación en comparación con otros métodos, como el Scan Laser o el Radar, el monitoreo de prismas es el método más usado en minería para determinar desplazamientos en superficie; sin embargo, la precisión de las mediciones es menor que en los otros métodos mencionados, el tiempo para hacer las mediciones es mayor y representa en algunas casos (monitoreo taludes y fajas) un riesgo con potencial de ocasionar un incidente o accidente.

#### **III.2.1. La Estación Total**

Es un instrumento electrónico portátil de medición topográfica que integra en un solo equipo, medición electrónica de distancias y ángulos, comunicaciones internas, que permiten la transferencia de datos a un procesador interno o externo, y que es capaz de realizar múltiples tareas de medición, guardado de datos y cálculos en tiempo real.

Es un instrumento electrónico portátil de medición topográfica que integra en un solo equipo, medición electrónica de distancias y ángulos, comunicaciones internas, que

permiten la transferencia de datos a un procesador interno o externo, y que es capaz de realizar múltiples tareas de medición, guardado de datos y cálculos en tiempo real.

En Mina Lagunas Norte el monitoreo de Prismas se realiza con la Estación Total Trimble 5600 DR 200+ que también hace mediciones sin la ayuda de un prisma reflector, pero disminuye la precisión. A continuación se detallan las principales características de este equipo.

#### **Lectura de Angulo:**

◆ Medición Estándar	1"
◆ Estándar Rápida	2"
◆ Rastreo	2"
◆ Valor Medio Aritmético (D Zbar)	
– Ángulo Horizontal	0.1"
– Ángulo Vertical	1"

#### **Medición de Distancias (con prisma):**

◆ Medición Estándar	$\pm ( 3\text{mm} + 3\text{ppm} ) \pm ( 3\text{mm} + 3\text{ppm} )$
◆ Estándar Rápida	$\pm ( 8\text{mm} + 3\text{ppm} ) \pm ( 8\text{mm} + 3\text{ppm} )$
◆ Rastreo	$\pm ( 10\text{mm} + 3\text{ppm} ) \pm ( 10\text{mm} + 3\text{ppm} )$
◆ Valor Medio Aritmético	$\pm ( 3\text{mm} + 3\text{ppm} ) \pm ( 3\text{mm} + 3\text{ppm} )$

**Tiempo de Medición (con prisma):**

◆ Medición Estándar	3 s
◆ Estándar Rápida	3 s
◆ Rastreo	0.4 s
◆ Valor Medio Aritmético	3.5 s (por medición)



*Figura 3.6: Estación Total Trimble 5601 DR 200+*

La estación total combina tres instrumentos en uno; el distanciómetro electrónico, el teodolito electrónico y un procesador colector de datos. Estas características hacen de la estación total un equipo completo para realizar tareas de levantamiento y replanteo de puntos topográficos. El principio para el cálculo de distancias se basa en dos parámetros la velocidad de la luz y el tiempo que la onda electromagnética, emitida por la estación total, tarda en viajar hasta el prisma reflector y regresar nuevamente a la estación.

### III.2.2. El Prisma

Es un instrumento óptico, que sirve para reflejar la onda electromagnética emitida por la estación total, en la misma dirección y en sentido contrario a la onda de incidencia; de esta manera se puede determinar la ubicación del punto donde se encuentra colocado el prisma.



*Figura 3.7: Prisma OMNI # 1210*

Para los monitoreos en la zona de la pared oeste de Alexa se usa el prisma OMNI # 1210 el cual tiene un diámetro interior ( $\Phi_i$ ) de 62 mm.

Dado el peligro que representa ingresar a los hitos en la zona de Alexa se tienen prismas colocados de manera permanente. Los prismas permanentes también tienen la ventaja de disminuir el tiempo de monitoreo, debido a que ya no es necesario ir hasta los hitos para colocar los prismas. Sin embargo presentan la deficiencia de que

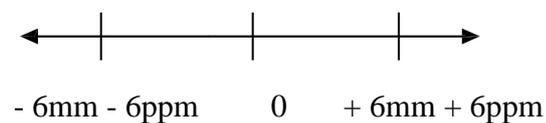
la humedad del aire se condensa en la parte posterior del prisma, lo cual impide que la estación haga la medición, este fenómeno se presenta cuando hay variaciones bruscas de temperatura y humedad relativa. La hora más apropiada para monitorear los prismas que presentan este problema es a partir de las 4 de la tarde.

### III.2.3. Tolerancia máxima

Según ficha técnica de la Estación Total Trimble 5601 DR 200+; la tolerancia para medición de distancias con prisma y utilizando el método D-Bar, viene dada por la siguiente ecuación:

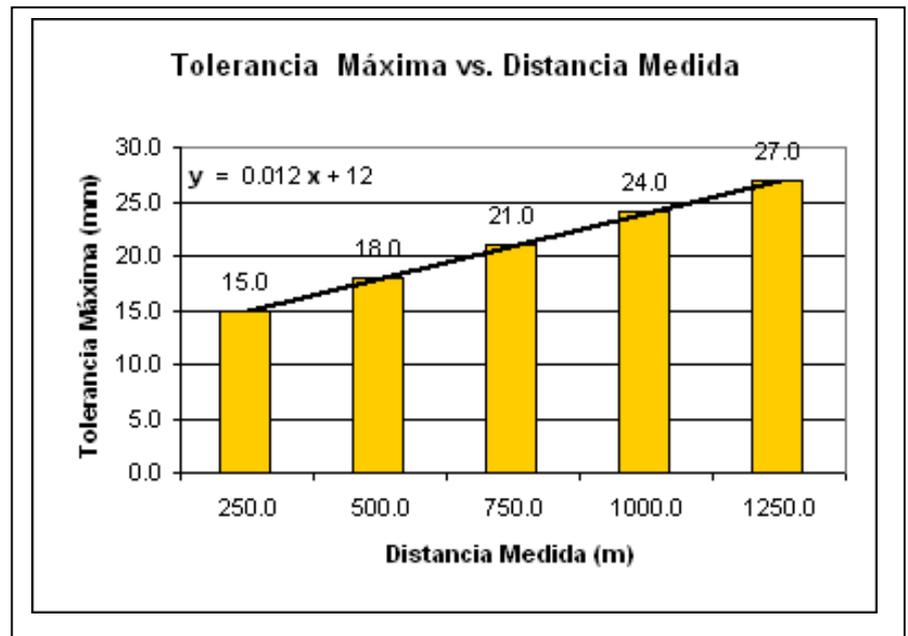
$$\text{Tolerancia} = \pm ( 3\text{mm} + 3\text{ppm} ) \pm ( 3\text{mm} + 3\text{ppm} )$$

De la fórmula deducimos, que la tolerancia mayor será:  $6\text{mm} + 6\text{ppm}$ , mientras que la tolerancia menor sería:  $-6\text{mm}-6\text{ppm}$ . Entonces tenemos el siguiente rango de tolerancia:



En este rango tendríamos una tolerancia máxima de  $12\text{mm} + 12\text{ppm}$ . Realizando el cálculo para diferentes distancias medidas, obtendremos el valor de la tolerancia máxima para cada una de estas distancias.

Dist (m)	Tol Máx (mm)
25	12.3
50.0	12.6
100.0	13.2
250.0	15.0
500.0	18.0
750.0	21.0
1000.0	24.0
1250.0	27.0



*Gráfica 3.1: Tolerancia vs. Distancia*

#### III.2.4. Proceso para mejorar la precisión

El proceso para mejorar la precisión de los monitoreos, ha consistido en evaluar y controlar las condiciones ambientales que pudieran afectar las mediciones; también se ha cambiado el método de medición que se venía utilizando (método estándar) por uno de mayor precisión (método D-Bar); se ha modificado el programa de monitoreo de la estación, para poder ingresar la temperatura y la humedad relativa antes de hacer la medición para cada hito.

### III.2.4.1. Evaluación y control de las condiciones ambientales

**A) Lluvia.** Es la más negativa de todas las condiciones que se presentan en el campo; cuando está lloviendo no se realiza monitoreo alguno debido a que el agua puede malograr el equipo en el corto o mediano plazo.

**B) Neblina.** Cuando es tenue se puede medir sin dificultad, pero cuando es moderada a pesar de que aún es posible realizar el monitoreo, la medición se ve afectada considerablemente. Esto se debe a que el vapor de agua suspendido en el aire hace cambiar el medio de propagación, haciendo variar la velocidad de la luz u onda electromagnética, que emite la estación total para hacer la medición. En condiciones de neblina no se recomienda realizar monitoreos.

**C) Excesiva radiación solar.** Se da entre las diez de la mañana y las dos de la tarde cuando está el cielo despejado. Sucede que el objeto, en este caso el prisma, se ve a través de la estación con un efecto ondulante o espejismo; esto afecta la precisión dado que resulta difícil ver con claridad el prisma y más difícil aún apuntar su centro. Este efecto se intensifica con la distancia que hay entre el prisma y la estación; para evitar este efecto, se monitorea (durante estas horas del día) zonas cuya distancia este por debajo de los 500 m y de preferencia que el terreno o superficie donde están colocados los hitos sea oscuro.

**D) Evaporación en pozas y lagunas.** Similar al caso de la neblina pero en menor escala, el vapor del agua generado en una laguna o en un extenso reservorio de agua, hace variar ligeramente la velocidad de la onda alterando la precisión de los monitoreos.

**E) Vientos fuertes.** Para hacer los monitoreos la estación total se instala sobre un pilar, que es un tubo de fierro de 8" diámetro por 3 m. de longitud, de los cuales cerca de la mitad está enterrado en un metro cúbico de concreto. Dada su construcción, el pilar se considera inmóvil; en el caso de estación, una vez instalada, cede ligeramente cuando se aplica una fuerza lateral.

Se ha medido la velocidad del viento que logra mover a la estación, se ha determinado que esto ocurre con velocidades superiores a 20 km/h, esta vibración que se produce en la estación durante el monitoreo, se verá reflejado como un aumento del error en las mediciones realizadas; inclusive parecerá que existe un desplazamiento aparente del hito de monitoreo. La medición de los datos se realiza cuando la velocidad del viento está por debajo de 20 km/h, es decir no exista movimiento ni vibración en la estación.

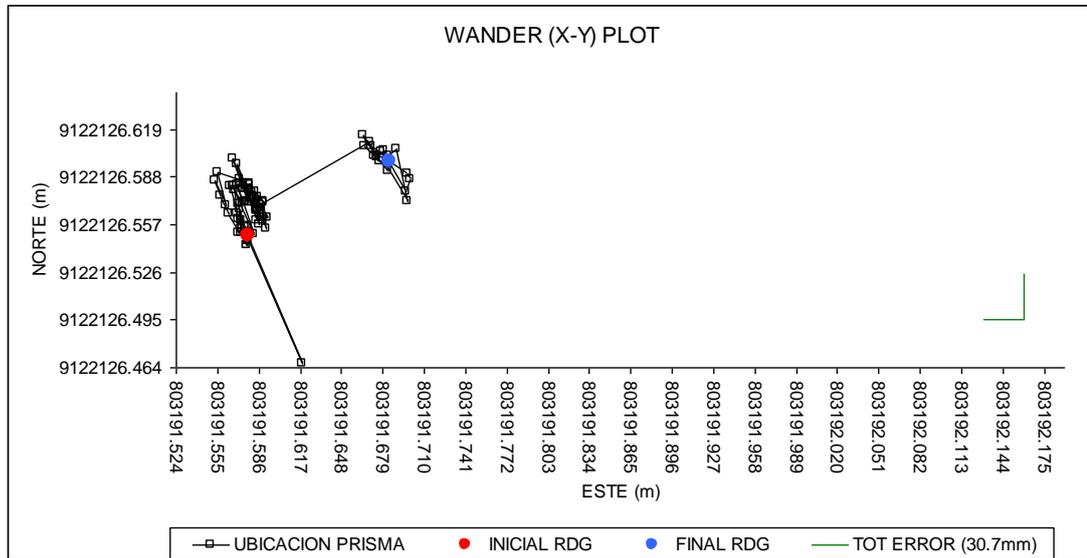
#### **III.2.4.2. Método de medición para el monitoreo**

El método estándar, es un método de medición en el que sólo se puede realizar mediciones con el anteojo en posición directa (circulo directo); mientras que el método Valor Medio Aritmético (D-Bar), permite medir en posición directa e inversa, al promediar estas dos mediciones, el resultado será un valor más preciso que el obtenido con el método estándar. Esto se debe a que estaríamos eliminando la mitad del error que comete el equipo al girar un determinado ángulo, tanto horizontal como vertical. Si se desea que el error sea aún menor, lo que se hace es medir varias veces un mismo punto y luego promediar estos valores. En Lagunas Norte se ha optado por medir (directa e inversa) tres veces a los puntos que requieran mayor precisión como es el caso de la zona de Alexa.

### III.2.5. Datos obtenidos de campo del Prima T29 ubicado en ALEXA

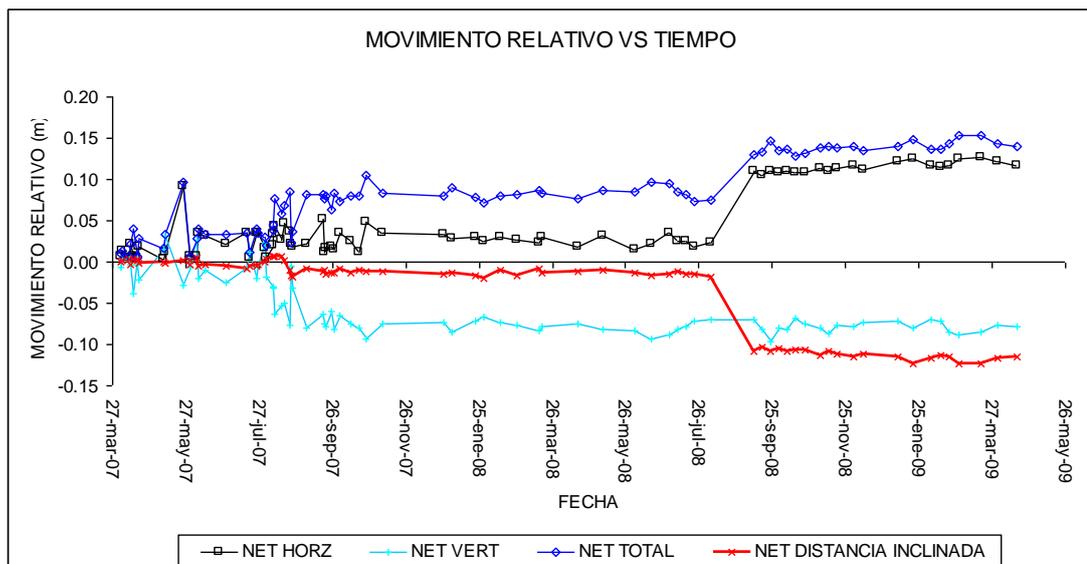
IMPRISM V1.3												ORIGEN DE PUNTO DE MONITOREO								
PRISM NO.		T29	PROJECT LLNN									NORTE	ESTE	ELEVA.	FECHA					
												9122126.550	803191.578	4173.88	27-mar-07 12:31					
SURVEY RESULTS				VELOCIDAD INCREMENTAL				RESULTADOS RELATIVOS CON RESPECTO AL ORIGEN												
RDG NO.	NORTE (m)	ESTE (m)	ELEVAC. (m)	SLOPEDIST (m)	FECHA D/M/Y	HORA DD	ERROR (mm)	SD (mm/DAY)	HORIZ (mm/DAY)	VERT (mm/DAY)	TOTAL (mm/DAY)	NET SD MOVEMENT (m)	NET HORZ MOVEMENT (m)	NET VERT MOVEMENT (m)	NET MOVEMENT (m)	NET AZIMUTH (deg)	NET PLUNGE (deg)	CUM.NET TIME (DAYS)	NET SD VELOCITY (mm/DAY)	NET VELOCITY (mm/DAY)
1	9122126.550	803191.578	4173.880	1114.766	27-Mar-07	12:31 PM	30.711	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	0.00	#N/A	#N/A
2	9122126.556	803191.576	4173.874	1114.767	3-Apr-07	10:33 AM	30.711	-0.072	0.9	-0.9	1.3	-0.001	0.007	-0.007	0.009	337.4	-45.0	6.92	-0.072	1.3
3	9122126.561	803191.571	4173.884	1114.765	4-Apr-07	10:34 AM	30.711	1.999	7.1	10.0	12.2	0.002	0.013	0.003	0.014	325.7	14.7	7.92	0.189	1.7
4	9122126.552	803191.573	4173.883	1114.763	10-Apr-07	10:38 AM	30.711	0.250	1.5	-0.1	1.5	0.003	0.006	0.003	0.006	296.6	28.2	13.92	0.215	0.5
5	9122126.571	803191.571	4173.877	1114.769	11-Apr-07	12:49 PM	30.711	-5.500	17.1	-6.0	18.1	-0.003	0.022	-0.003	0.022	341.6	-9.0	15.01	-0.200	1.5
6	9122126.555	803191.573	4173.841	1114.763	13-Apr-07	9:14 AM	30.711	3.242	8.7	-19.2	21.1	0.003	0.007	-0.039	0.040	312.3	-79.2	16.86	0.178	2.4
7	9122126.544	803191.578	4173.885	1114.764	16-Apr-07	3:49 PM	30.711	-0.153	3.6	13.4	13.9	0.003	0.006	0.005	0.007	185.2	42.2	20.14	0.124	0.4
8	9122126.547	803191.578	4173.876	1114.765	17-Apr-07	10:54 AM	30.711	-1.886	3.2	-11.3	11.8	0.001	0.003	-0.004	0.005	180.0	-53.1	20.93	0.048	0.2
9	9122126.567	803191.572	4173.859	1114.768	18-Apr-07	9:01 AM	30.711	-2.713	23.3	-18.4	29.7	-0.001	0.019	-0.021	0.028	339.6	-48.4	21.85	-0.069	1.3
10	9122126.546	803191.579	4173.896	1114.766	9-May-07	9:32 AM	30.711	0.095	1.1	1.7	2.0	0.001	0.004	0.015	0.016	171.9	77.2	42.88	0.012	0.4
11	9122126.560	803191.573	4173.912	1114.768	10-May-07	3:09 PM	30.711	-1.621	12.2	13.0	17.8	-0.001	0.012	0.032	0.034	334.5	69.7	44.11	-0.034	0.8
12	9122126.467	803191.619	4173.852	1114.765	25-May-07	9:18 AM	30.711	0.203	7.0	-4.0	8.1	0.002	0.092	-0.028	0.096	153.6	-16.9	58.87	0.025	1.6
13	9122126.548	803191.579	4173.874	1114.765	30-May-07	10:58 AM	30.711	-0.099	17.9	4.2	18.4	0.001	0.002	-0.007	0.007	161.6	-76.3	63.94	0.016	0.1
14	9122126.556	803191.578	4173.882	1114.769	31-May-07	8:50 AM	30.711	-4.390	8.8	8.8	12.4	-0.003	0.007	0.001	0.007	0.0	13.0	64.85	-0.046	0.1
15	9122126.552	803191.571	4173.907	1114.762	5-Jun-07	2:42 PM	30.711	1.430	1.5	4.8	5.0	0.005	0.007	0.026	0.028	289.7	74.3	70.09	0.064	0.4
16	9122126.583	803191.568	4173.861	1114.771	6-Jun-07	8:09 AM	30.711	-13.066	42.2	-63.3	76.1	-0.005	0.035	-0.020	0.040	342.3	-29.4	70.82	-0.071	0.6
17	9122126.580	803191.568	4173.871	1114.770	12-Jun-07	8:59 AM	30.711	0.166	0.5	1.7	1.7	-0.004	0.032	-0.010	0.033	340.7	-16.6	76.85	-0.052	0.4
18	9122126.571	803191.574	4173.855	1114.771	30-Jun-07	9:20 AM	30.711	-0.056	0.6	-0.9	1.0	-0.005	0.022	-0.025	0.033	348.2	-48.7	94.87	-0.053	0.4
19	9122126.583	803191.570	4173.873	1114.774	17-Jul-07	3:21 PM	30.711	-0.174	0.7	1.1	1.3	-0.008	0.035	-0.007	0.035	346.3	-11.0	112.12	-0.071	0.3
20	9122126.551	803191.583	4173.892	1114.771	19-Jul-07	3:06 PM	30.711	1.759	17.7	9.2	19.9	-0.005	0.005	0.011	0.012	77.5	68.2	114.11	-0.039	0.1
21	9122126.583	803191.567	4173.860	1114.771	25-Jul-07	4:52 PM	30.711	0.000	5.9	-5.2	7.8	-0.005	0.035	-0.020	0.040	340.8	-29.8	120.18	-0.037	0.3
22	9122126.582	803191.565	4173.875	1114.770	26-Jul-07	5:13 PM	30.711	0.493	1.6	14.8	14.9	-0.004	0.035	-0.005	0.035	338.2	-8.1	121.20	-0.033	0.3
23	9122126.565	803191.570	4173.904	1114.766	31-Jul-07	3:29 PM	30.711	0.913	3.7	5.9	6.9	0.001	0.017	0.024	0.030	330.5	54.3	126.12	0.004	0.2
24	9122126.544	803191.577	4173.861	1114.762	2-Aug-07	11:18 AM	30.711	1.917	12.0	-23.6	26.4	0.004	0.006	-0.019	0.020	190.3	-73.6	127.95	0.031	0.2
25	9122126.564	803191.564	4173.849	1114.759	7-Aug-07	6:02 PM	30.711	0.568	4.6	-2.4	5.1	0.007	0.021	-0.032	0.038	315.0	-56.9	133.23	0.053	0.3
26	9122126.576	803191.558	4173.851	1114.759	8-Aug-07	9:03 AM	30.711	0.000	20.7	3.2	21.0	0.007	0.033	-0.030	0.044	321.7	-41.7	133.86	0.052	0.3
27	9122126.586	803191.553	4173.817	1114.759	9-Aug-07	10:31 AM	30.711	0.000	10.6	-31.3	33.0	0.007	0.044	-0.063	0.077	325.0	-54.8	134.92	0.052	0.6
28	9122126.569	803191.561	4173.827	1114.759	14-Aug-07	9:28 AM	30.711	0.000	3.7	2.0	4.2	0.007	0.026	-0.053	0.059	320.0	-64.0	139.87	0.050	0.4
29	9122126.591	803191.556	4173.830	1114.764	16-Aug-07	3:25 PM	30.711	-2.373	10.1	1.5	10.2	0.002	0.047	-0.050	0.069	331.9	-46.3	142.12	0.012	0.5
30	9122126.586	803191.572	4173.804	1114.776	21-Aug-07	3:43 PM	30.712	-2.394	3.4	-5.3	6.3	-0.010	0.037	-0.076	0.085	350.7	-63.8	147.13	-0.070	0.6

### III.2.5.1. Ploteo de los puntos obtenidos del monitoreo en el plano X-Y



Grafica 3.2: Ploteo de los puntos obtenidos del monitoreo en el plano X-Y

### III.2.5.2. Movimiento Relativo VS Tiempo



Grafica 3.3: Movimiento Relativo VS Tiempo

### **III.3. RADAR DE ESTABILIDAD DE TALUDES**

El Radar de Estabilidad de Taludes es un equipo de monitoreo en tiempo real que proporciona una precisión sub-milimétrica, la característica esencial requerida para controlar el tipo de roca frágil. Esta avanzada tecnología para la instrumentación y monitoreo de taludes es requerido para monitorear las zonas críticas que existen en una mina que podría colapsar repentinamente, causando lesiones personales, daños al equipo y / o pérdidas en la producción. El Radar tiene alta precisión en el rango de 0,1 mm a 0,2 mm en una distancia de unos 1.500 m.

Los problemas especiales de estabilidad requieren tecnologías más sofisticadas con dispositivos de medición de alta precisión que puede detectar los desplazamientos sub-milimétricas y extender su aplicabilidad para un tipo de roca frágil y deformable. El área donde el equipo se va a implementar es la pared oeste de Alexa. Esta área ha tenido eventos de caída de rocas y sería un área de la mina de alto riesgo para equipos y el personal sin el uso de radar para el monitoreo.

La compra y el uso del radar permitirán a la mina Lagunas el uso de la mejor tecnología disponible en el momento para este tipo de masas de roca y estar en pleno cumplimiento de los requisitos geotécnicos de seguridad de Barrick y reducir considerablemente el potencial de amenaza para la personal de la mina y el equipo.

### **Propósito del Radar de Estabilidad de Taludes**

El propósito del Radar es escanear, monitorear, constantemente una pared de un tajo o parte de ella, con el objetivo de detectar movimientos de la roca o deslizamientos de taludes.

### **Características del Radar de Estabilidad de Taludes**

- ◆ Alta precisión en la medición de deformación ( $\pm 0.2$  mm)
- ◆ Área de cobertura amplia (~1000's puntos/barrido)
- ◆ Operación continua y autónoma (24 horas. del día)
- ◆ Rango máximo 1700 m.
- ◆ Opera en todas las condiciones climáticas (incluyendo polvo y niebla)
- ◆ Fácil de mover de un lugar a otro.
- ◆ Operación remota vía Wi-Fi hacia redes de trabajo.
- ◆ Cámara de alta resolución integrada a la antena parabólica.

### **Riesgo asociado al uso del Radar de Estabilidad de Taludes**

El haz de microondas que es emitido por la antena del Radar es un haz de potencia muy baja, la energía de este haz es 10 veces menor que la energía emitida por un teléfono celular.

### **Beneficios que se obtienen al utilizar el Sistema del Radar de Estabilidad de Taludes:**

- ◆ Puede detectar movimientos en escala sub-milimétrica.
- ◆ El Radar puede detectar movimientos a través de toda el área escaneada.
- ◆ El sistema del Radar puede setearse para que una alarma sonora se active si el movimiento excede un umbral previamente fijado.
- ◆ El Radar está diseñado para detectar pequeños movimientos que ocurren antes de la falla del talud, por lo tanto es una herramienta segura y a tiempo para la evacuación del área bajo el talud.

#### **III.3.1. Partes del Radar de Estabilidad de Taludes**

- ◆ La antena (1) se mueve durante la exploración de una pared tanto en el eje horizontal, azimut, en un ángulo máximo de 270°C y en el eje vertical, elevación, en un ángulo máximo de 120°C.
- ◆ Posee una cámara (2) integrada a la antena, de alta resolución.
- ◆ Posee una estación meteorológica (3) que mide datos, tales como velocidad del viento, presión atmosférica, temperatura del aire, etc.

- ◆ Cuenta con un sistema autónomo de generación de energía (4) para el trabajo del Radar.
- ◆ Sistema de tres extensiones metálicas (5) que permiten aislar la estructura del Radar de los movimientos del trailer.
- ◆ Además al Radar se le instaló un módem y antena de comunicación de banda ancha para traspaso de data directa y prácticamente en tiempo real hacia al Computador Principal de Monitoreo (PMP).

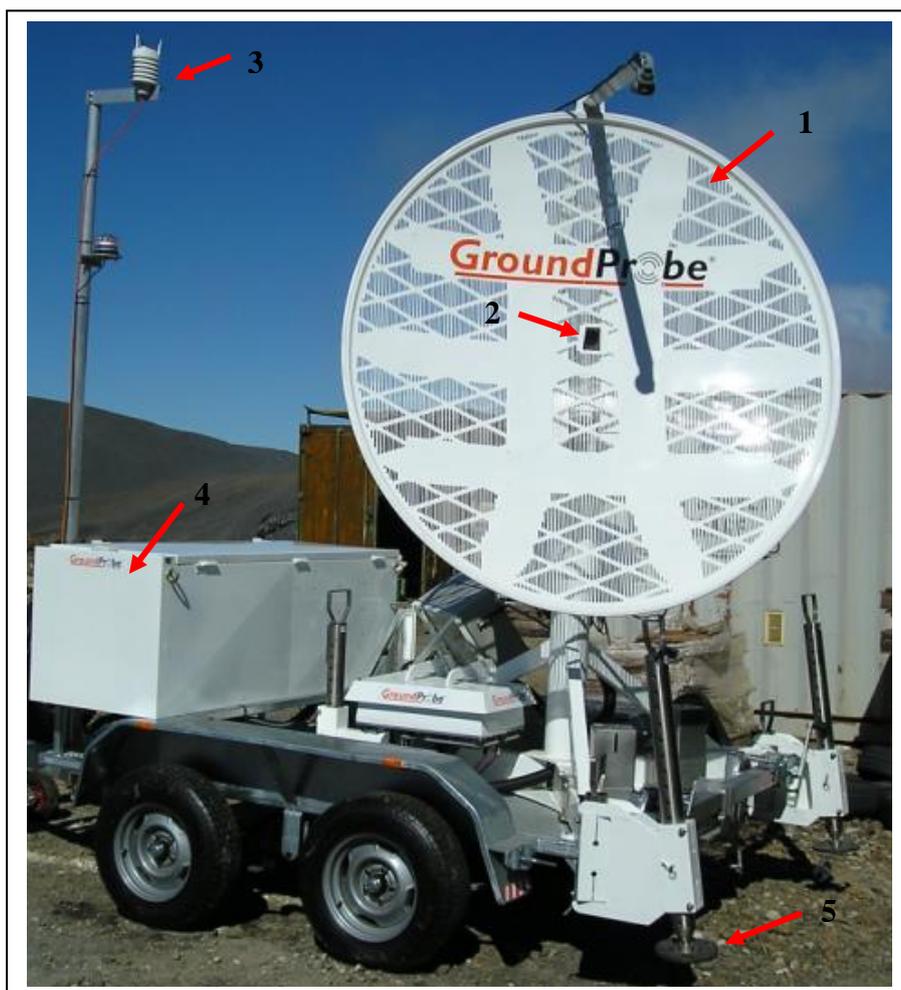


Figura 3.8: Radar de Estabilidad de Taludes y sus partes

### III.3.2. Método de monitoreo del Radar de Estabilidad de Taludes

El Radar emite un haz de que microondas que lo habilita para crear instantáneas de la Pared y luego calcular la deformación de esta misma. El Radar continuamente escanea la sección de la Pared seleccionada y compara la distancia medida por el actual barrido con la del barrido inicial. Si la distancia cambia el software del Radar automáticamente detecta este cambio, el cual puede ser producto de movimiento del talud.

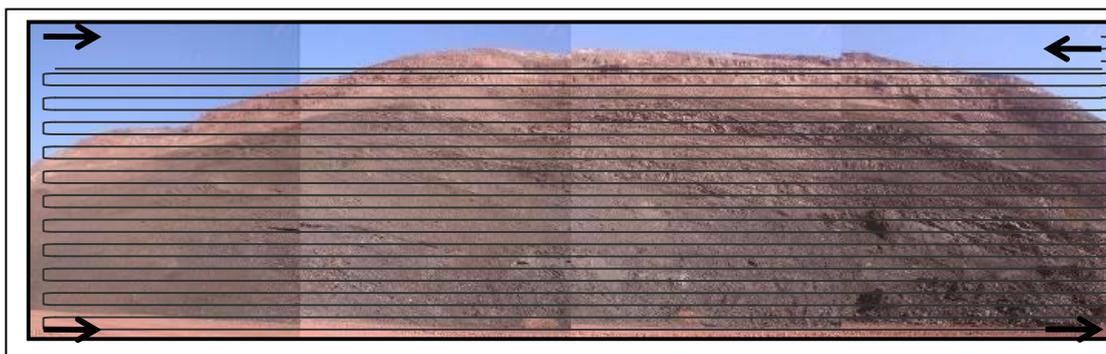


Figura 3.9: Dirección del barrido que realiza el Radar

El Radar mide el desplazamiento de una superficie no la distancia. En la actual zona de monitoreo el radar se encuentra a 800 m de la pared de Alexa.

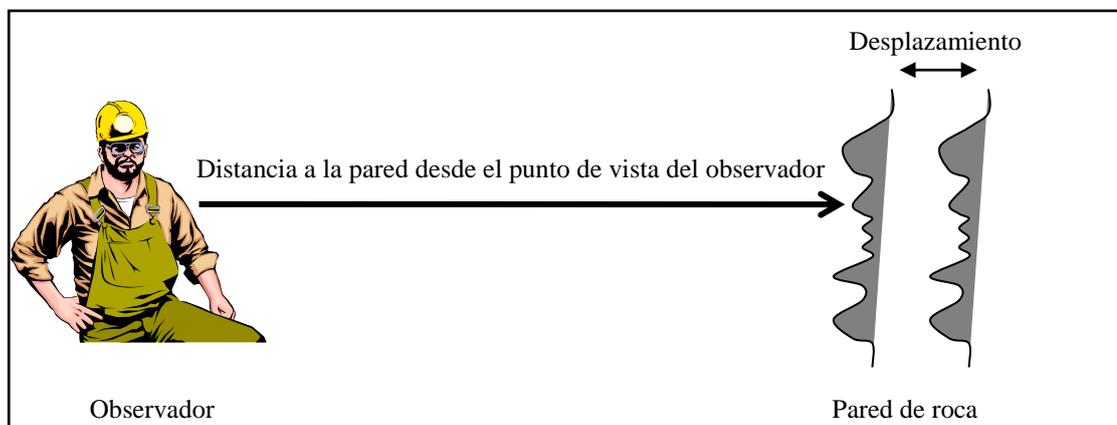
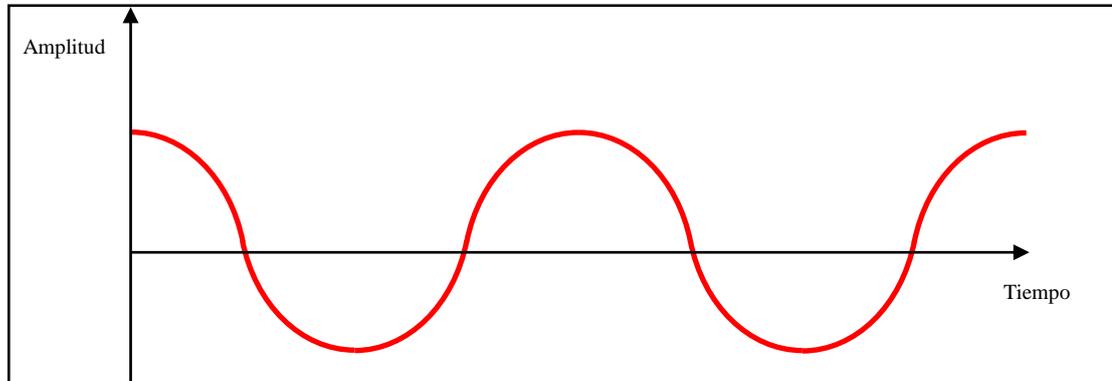


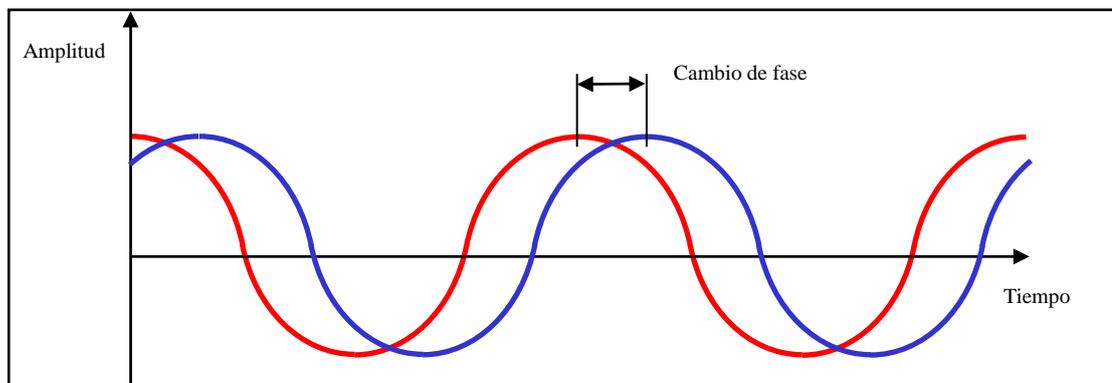
Figura 3.10: Desplazamiento de la pared debido al movimiento

### Onda Sinusoidal



*Figura 3.11: Onda Sinusoidal*

### Cambio en la Fase



*Figura 3.12: Cambio de fase de una onda sinusoidal*

**Concepto:** Todos los cambios de fase son debido al desplazamiento de la superficie.

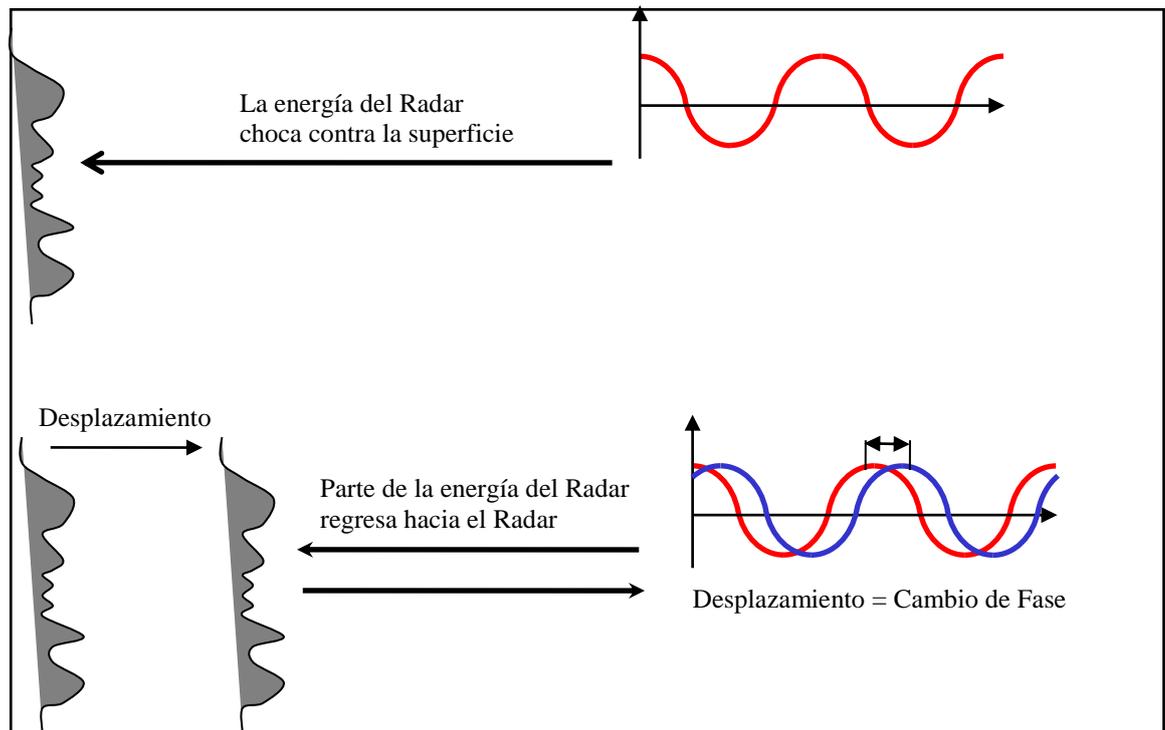


Figura 3.13: Método de monitoreo del Radar.

### III.3.3. Funcionamiento del Radar de Estabilidad de Taludes

#### III.3.3.1. Programa SSRControl

SSRControl es el software que controla el sistema del Radar, recolección y procesamiento de data a través de la caja electrónica del Radar.

- ◆ Recolección de imágenes desde la cámara.
- ◆ Recolección de data atmosférica desde la estación meteorológica.
- ◆ Monitoreo del estado del computador y del voltaje de la batería.
- ◆ Permite pruebas de rutina al Radar.

La data del Radar es recolectada a través de la antena y la recolección de datos atmosféricos desde la estación meteorológica. Todos estos datos están contenida dentro de los archivos de registro log files. Los archivos “log files” son creados para almacenar información relativa a la operación del sistema y registran cada hora los diferentes eventos ocurridos durante el funcionamiento del sistema, el análisis de éstos puede ayudar en el diagnostico de fallas. Los archivos “log files” son almacenados en la carpeta C:/SSR/logfiles, y pueden ser analizados en cualquier momento.

### **III.3.3.2. Iniciando una nueva pared con “Wall Starter Wizard”**

El Radar toma una serie de fotografías y crea una imagen de área amplia a través de la cámara integrada a su antena.

**Área de Escaneo.** Es el área que será escaneada por el Radar en busca de movimiento, ésta área será parte del área de imagen amplia.

**El área de referencia estable.** Tiene como propósito corregir el movimiento causado por los cambios atmosféricos y algún leve movimiento en el Radar. Debe ser el área más estable dentro del área de escaneo.

Al momento de crear una nueva pared se debe considerar lo siguiente:

- ◆ Todo aquello que no esté dentro del área de escaneo será ignorado por el Radar, por consiguiente el movimiento en esa área no será visible
- ◆ Áreas de escaneo demasiado grandes resultan en pobres correcciones atmosféricas, entonces la data será también pobre.
- ◆ El área de escaneo debe setearse lo más pequeña posible esta razón se explica porque a mayor área de escaneo mayor tiempo en completar el escaneo. El área de escaneo se crea a través de una figura rectangular.

### **III.3.3.3. Condiciones Atmosféricas**

Las condiciones Atmosféricas afectan a las señales de Radar así la data del Radar SSR-X es afectada, sin embargo, el Radar SSR-X está diseñado para minimizar los efectos en la data. Cambios en las condiciones atmosféricas:

- ◆ Humedad
- ◆ Precipitación
- ◆ Temperatura
- ◆ Presión del Aire
- ◆ Viento

La precipitación da lugar a importantes efectos, particularmente cambios en las características de la pared por ejemplo en la forma, material en movimiento, reflectividad, amplitud, depresión.

La técnica de medición del Radar es medir cambios de fase entre sucesivas transmisiones. Recordar que los cambios en la fase de la onda indican movimiento. Los cambios en las condiciones atmosféricas son cambios en la refractancia de la atmósfera entre el la antena del Radar y la pared escaneada. El resultado es un cambio en la fase de la señal. El término no se refiere a cambios físicos de la pared, aún cuando la causa final sea un cambio atmosférico por ejemplo la lluvia es un cambio atmosférico, pero el agua cayendo en cascada por la pared no lo es.

**Propósito del Área de Referencia Estable.** El área de referencia estable es utilizada para corregir data del Radar, con el propósito de compensar los cambios en las condiciones atmosféricas durante un escaneo. Es una región ubicada dentro del área de escaneo. Cualquier movimiento dentro de esta región es atribuible a cambios en las condiciones atmosféricas, y de él es calculado un parámetro de corrección que es aplicado a todos los puntos en la data Radar.

### **Selección de un Área de Referencia Estable**

- ◆ El área debe ser lo más estable posible.
- ◆ Debe estar libre de material suelto.
- ◆ No debe haber movimiento de vehículos.
- ◆ No debe existir vegetación.
- ◆ Debe cubrir un amplio rango de propagación.
- ◆ Puede ser dividida entre múltiples regiones (a menudo necesario para alcanzar una adecuada difusión de los rangos).

#### **III.3.3.4. Interpretación de la data en el Programa SSRViewer**

Con el programa SSRViewer se puede visualizar y analizar la data colectada por el radar además se puede visualizar las áreas dentro de un archivo de pared que están indicando movimiento. A continuación se explica los gráficos más importantes tales como deformación vs tiempo, velocidad vs tiempo y velocidad inversa vs tiempo.

Figura 3.14: Movimiento constante de una Pared

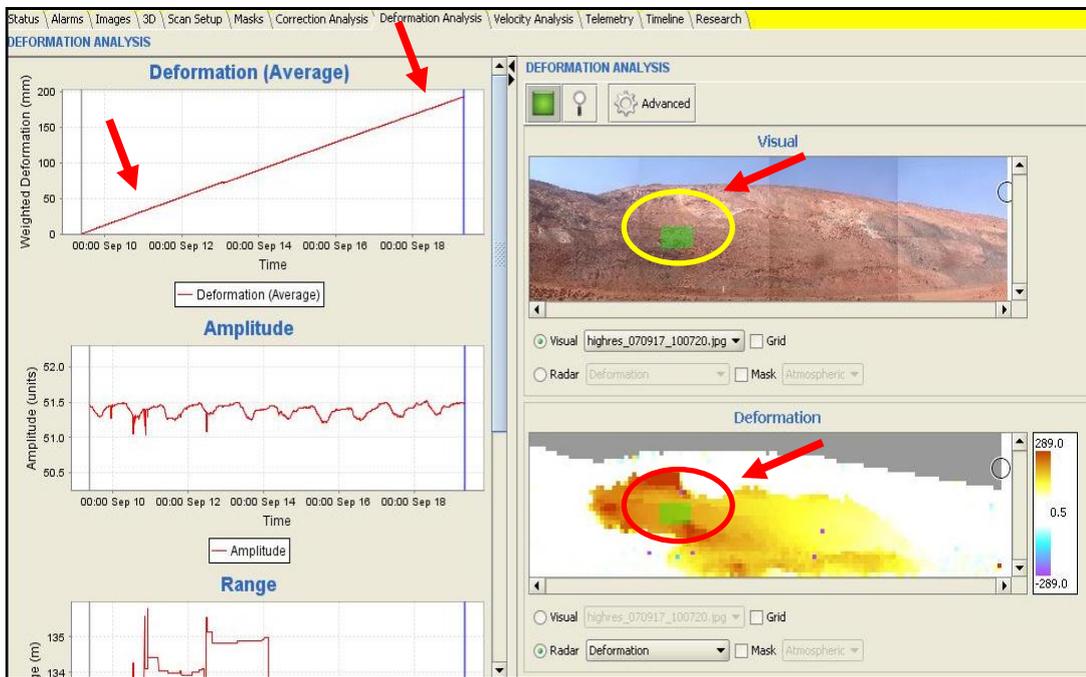


Figura 3.15: Movimiento acelerado de una Pared

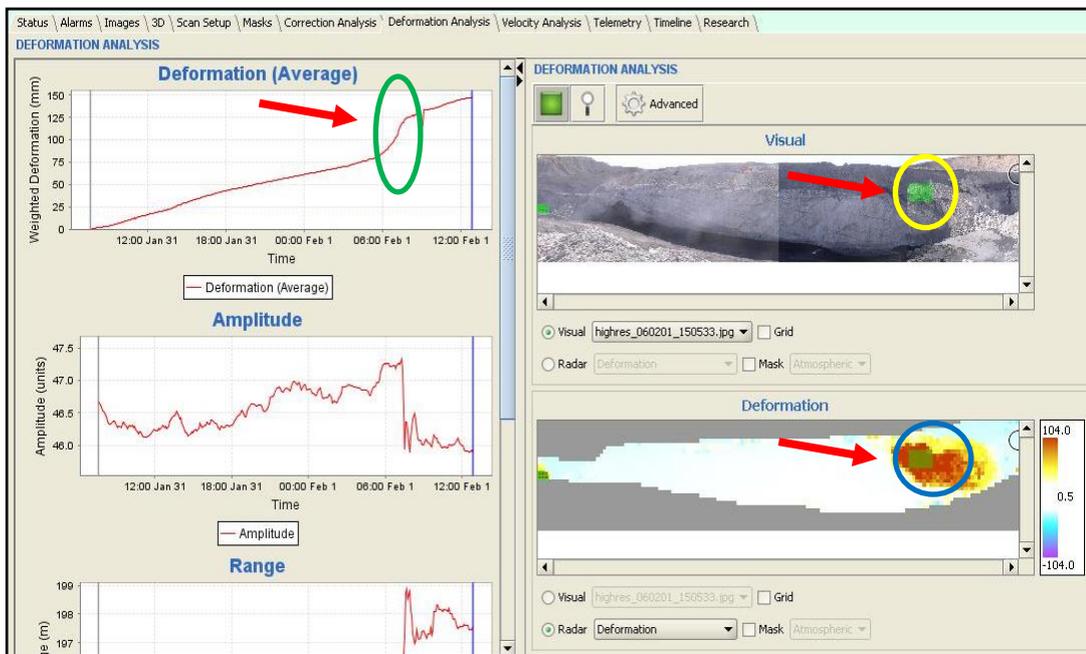


Figura 3.16: Movimiento de la Pared – Colapso

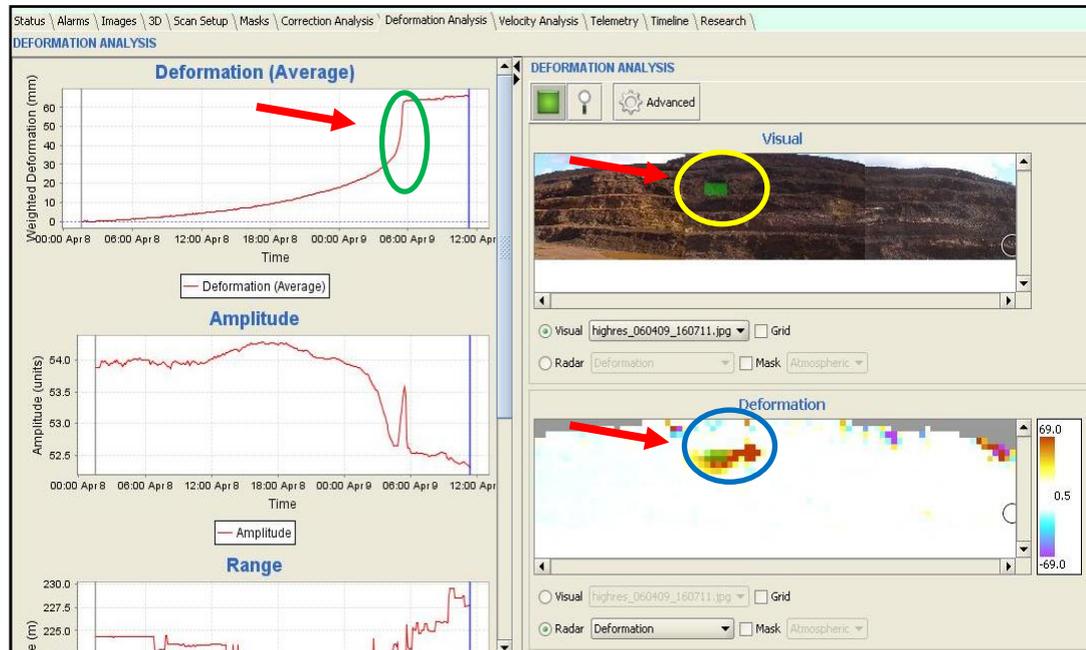


Grafico 3.4: Velocidad vs Tiempo / Deformación vs Tiempo

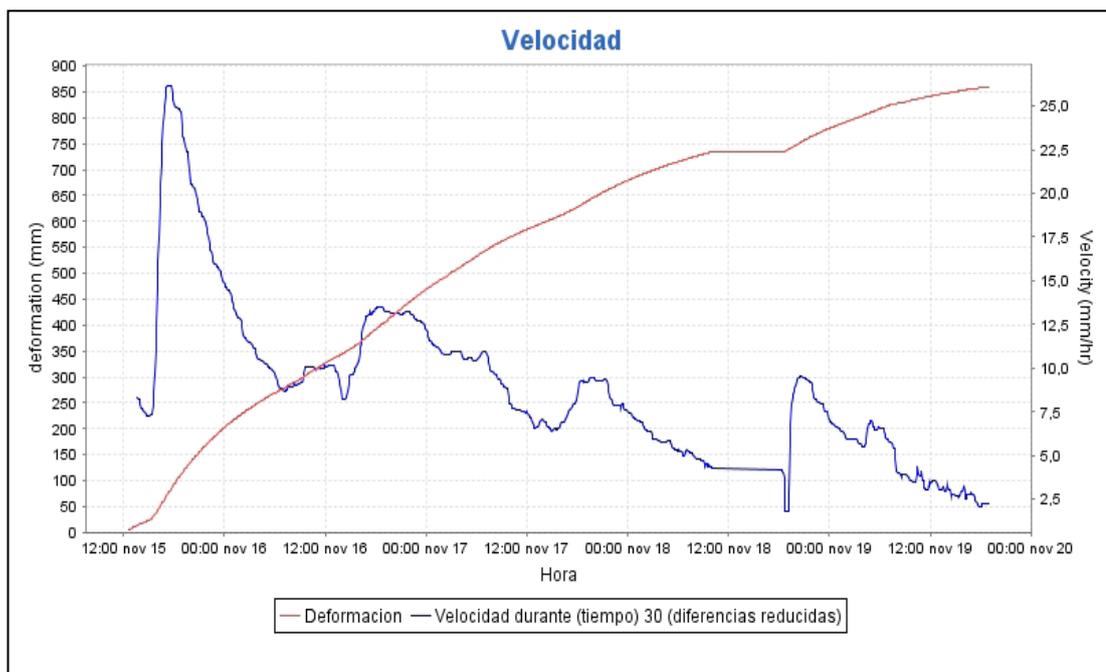
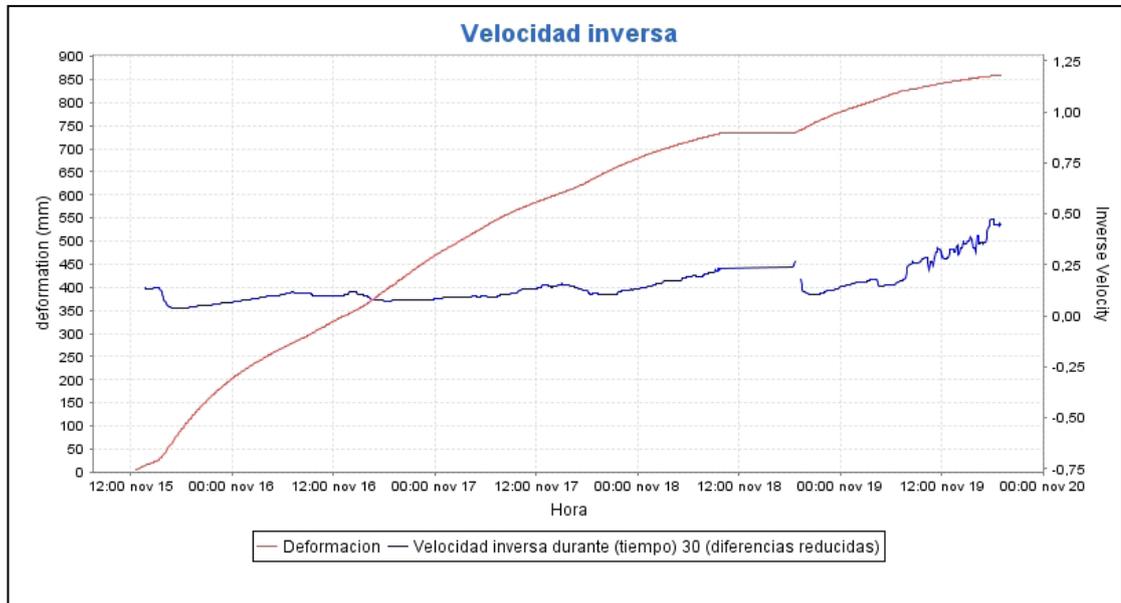


Grafico 3.5: Velocidad Inversa vs Tiempo / Deformación vs Tiempo



### III.3.3.5. Alarmas en el Radar de Estabilidad de Taludes

**Alerta.** Anuncio que envía el Radar en respuesta a un fallo en el sistema de monitoreo, pudiendo ser estas: alerta amarilla, alerta verde, alerta gris y alerta azul.

TIPO DE ALERTA	DESCRIPCION	RESPUESTA
Alerta Amarilla	Aviso de caída de la conexión remota/fija de envío/recepción de datos, el Radar no esta escaneando.	Despatch da aviso a Geotecnia. Ingeniero de Geotecnia verifica el estado de conexiones y el Radar.
Alerta Verde	Aviso de error de software, data corrupta.	Despatch da aviso a Geotecnia. Ingeniero de Geotecnia verifica la data y pide feedback de GroundProbe.

Alerta Gris	Aviso de data corrupta, por mala configuración o batería baja.	Despatch da aviso a Geotecnia. Ingeniero de Geotecnia verifica la data y configuración.
Alerta Azul	Aviso de cambio de pared monitoreada.	Despatch da aviso a Geotecnia. Ingeniero de Geotecnia verifica la configuración.

**Alarma.** – Anuncio que envía el SSR al detectar un aumento en el movimiento (deformación) por encima de los umbrales fijados por el Ingeniero Geotécnico. Las alarmas pueden ser: alarma rojo y alarma naranja.

<b>TIPO DE ALARMA</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>RESPUESTA</b>
<b>Alarma Naranja (Alarma Geotécnica)</b>	Aviso de aumento del movimiento (deformación) del talud monitoreado, por encima del umbral de riesgo medio (xxx mm/día)	Despatch da aviso de pronta atención a Geotecnia. Ingeniero de Geotecnia analiza la situación y coordina con Operaciones Mina y Planeamiento las medidas a implementar en la zona inestable.
<b>Alarma Roja (Alarma Urgente)</b>	Aviso de aumento del movimiento (deformación) del talud monitoreado, por encima del umbral de riesgo alto (xxx mm/día)	Despatch da aviso de urgencia a Geotecnia, Operaciones Mina y Planeamiento. Ingeniero de Geotecnia coordina con Operaciones Mina y Planeamiento el despeje del área inestable.

Figura 3.17: Ejemplo de alerta amarilla

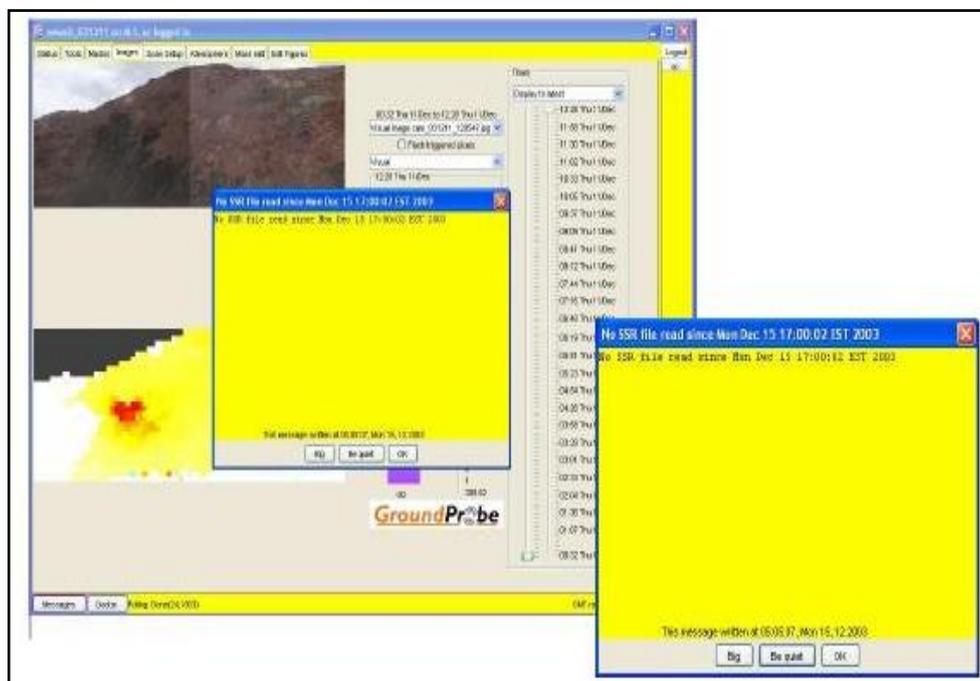
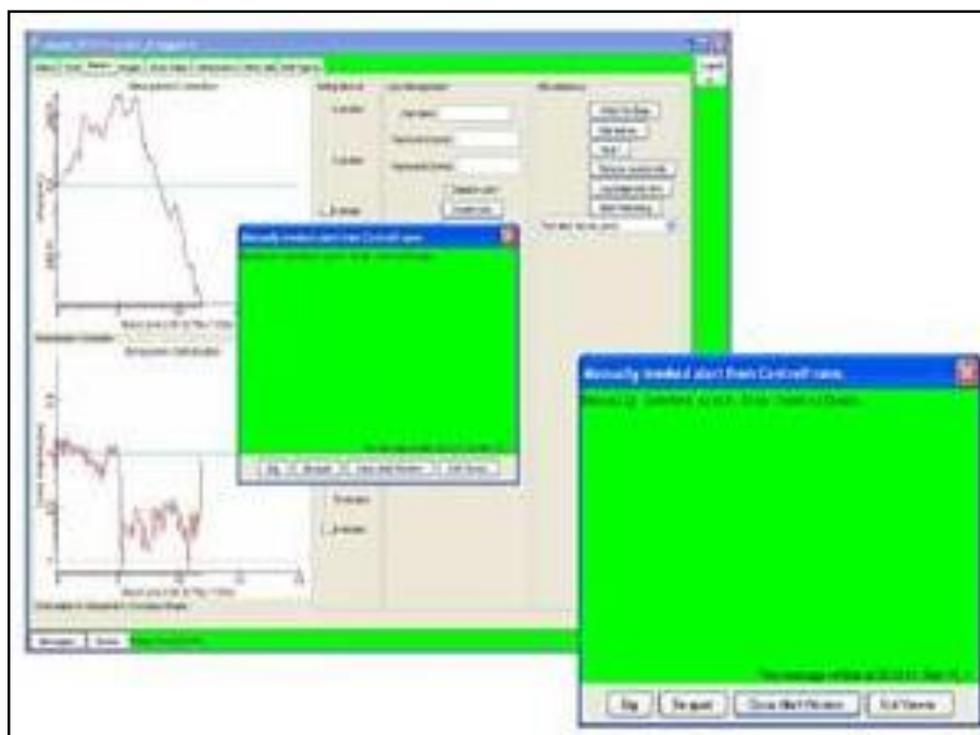


Figura 3.18: Ejemplo de alerta verde



### **III.3.3.6. Esquema general del trabajo del Radar de Estabilidad de Taludes**

**Computadora PMP.** – Computadora localizada en la oficina despatch designada para recibir la data proveniente del computador del Radar.

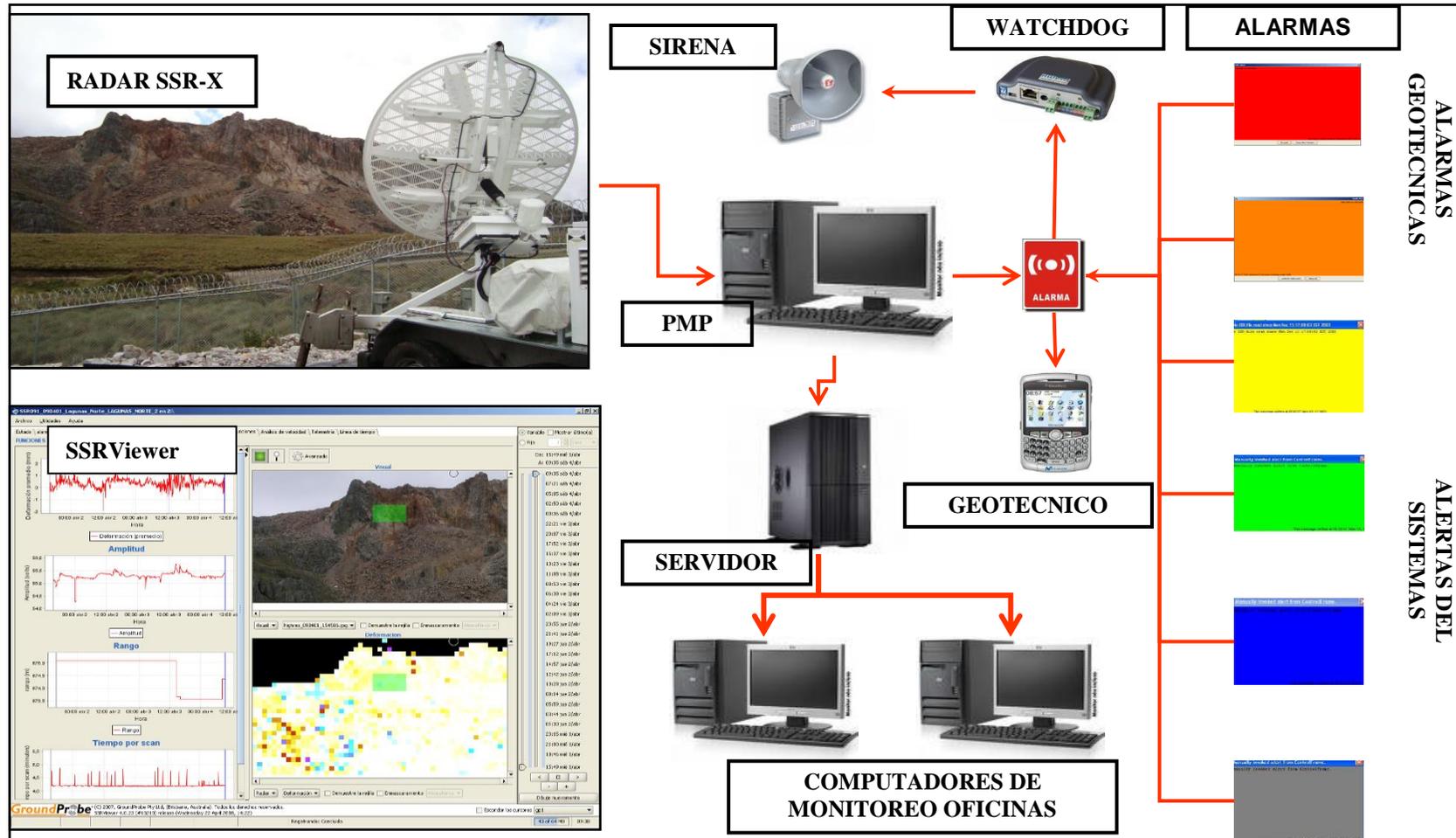
**Dispositivo Watchdog.** – Dispositivo que envía una señal audible cada vez que una alerta o alarma del Radar se activa.

Los alertas o alarmas son enviados desde el Radar en tiempo real hasta el PMP el supervisor de Despatch recepciona la alarma y comunica al ingeniero geotecnista este a su vez recepciona de alarma, analiza la situación y se comunica para las coordinaciones con Operaciones Mina y Planeamiento.

Cuando se genera una alerta o alarma el dispositivo Watchdog se activa el cual se encuentra en Despatch. Además la supervisión de Geotecnia cuenta con un Blackberry para que también nos lleguen las alertas si nos encontramos en campo.

En las oficinas de Geotecnia se cuenta con una computadora exclusiva para el monitoreo que se realiza con el Radar. La información a esta computadora es enviada desde el PMP mediante un servidor.

Figura 3.19: Esquema general del trabajo del Radar de Estabilidad de Taludes



### **III.3.4. Limitaciones del Radar de Estabilidad de Taludes**

Las limitaciones prácticamente son de orden climático. En sitios con temperaturas extremas  $> -25^{\circ}\text{C}$  y  $> 50^{\circ}\text{C}$  el sistema puede operar con limitaciones las cuales son minimizadas a través de mejoramiento continuo por parte de Grounprobe S.A.

Otro tipo de limitaciones se refiere al manejo por parte de los especialistas en Geotecnia de cada sitio. Existen factores atmosféricos (llamados Eventos Atmosféricos) que pueden influir negativamente en la calidad y exactitud de la data.

La forma de minimizar estos eventos atmosféricos es continuamente monitorear la data del Radar y trabajar en lograr las mejores áreas de Referencia Estable, áreas de escaneo y selección de la mejor ubicación del Radar frente a la Pared que se desea explorar.

**CAPITULO IV**

**EL MACIZO ROCOSO Y MEDIDAS DE SEGURIDAD PARA LOS  
TRABAJOS EN LA ZONA DE ALEXA**

**IV.1. DESCRIPCIÓN DEL MACIZO ROCOSO**

**IV.1.1. Resistencia de la Roca Intacta.**

Se evaluó la resistencia de la roca intacta de varios tipos de roca mediante ensayos de Resistencia a la Compresión Uniaxial (RCU).

<b>TIPOS DE ROCAS</b>	<b>RCU MPa</b>
Lodolitas	52
Areniscas	185
Andesitas	128 - 135
Volcanoclasticos	66 - 129

#### IV.1.2. Resistencia de las discontinuidades

La mayoría de las discontinuidades mapeadas u orientadas se identificaron con diaclasas transversales. En aquellos casos en los que la estratificación era obvia, la discontinuidad se clasificó como una diaclasa de estratificación. No se identificaron diferencias significativas en las propiedades de las discontinuidades presentes en los varios juegos de diaclasas transversales dentro de un tipo de roca dado, y en los datos para las juntas transversales se combinaron consecuentemente con fines de simplicidad y estadísticos.

UNIDAD	TIPO DE DISCONTINUIDAD	c (MPa)	$\Phi$ (°)	CONDICIÓN DE JUNTAS (JC)
Rocas Volcánicas y Areniscas y Limolitas no Carbonosas de la Formación Chimu	BJ	0	32	16 - 22
	XJ	0	37	20 - 22
Limolitas y Lodolitas de la Formación Chimu	BJ	0	23	10 - 14
	XJ	0	30	11 - 18
Andesitas	BJ	0	32	9 - 17
	XJ	0	35	8 - 18
Formaciones Carboníferas	BJ	0	23	-

BJ: Diaclasas de estratificación

XJ: Diaclasas transversales

#### IV.1.3. Competencia del Macizo Rocos

En base a los resultados de los registros geomecánicos de testigos obtenidos de los taladros geotécnicos variaciones de litología, Calidad de la Roca RQD, frecuencia de fracturas, condición de juntas, grado de fracturamiento, grado de alteración / intemperización y dureza se calculó el valor de la Calidad del Macizo Rocos RMR.

<b>TIPOS DE ROCAS</b>	<b>RMR</b>	<b>CALIDAD</b>
Areniscas	77	Buena
Volcanoclasticos	77 - 78	Buena
Andesitas	61 - 79	Buena
Formaciones Carboníferas	26	Pobre

#### **IV.1.4. Análisis cinemático**

En Mina Lagunas Norte, las rocas tienen generalmente una resistencia y competencia tal que la estabilidad del talud de los bancos, inter-rampas, y del talud general del tajo estará controlado principalmente por la estructura geológica y no por la resistencia de la masa de la roca. Se realizaron análisis cinemáticos con el fin de identificar los posibles mecanismos de control estructural de las fallas que podrían ocurrir en los bancos individuales y en los taludes inter-rampas. Se consideran modos de falla tanto simples como complejos. Los modelos de fallas simples que son cinemáticamente posibles incluyen fallas planares y de cuña. Una falla planar simple cinemáticamente posible se define como un bloque que podría deslizarse a lo largo de la superficie de una discontinuidad, si el vector de buzamiento de dicho plano aflora en la cara del talud y si existe un componente lateral de libertad adecuado. Una falla simple de cuña es cinemáticamente posible cuando presenta un bloque formado por la intersección de dos discontinuidades y el buzamiento de la línea de intersección de esas discontinuidades aflora en la cara del talud, permitiendo que la cuña deslice a lo largo de dicha línea de intersección.

Todas las fallas planares y de cuña cinemáticamente posible que fueron identificadas se sometieron a una análisis de estabilidad de equilibrio limite, con el fin de determinar de que modos podrían fallar bajo una carga gravitacional estática. Los modos de falla críticos (es decir los modos de falla considerados importantes para la estabilidad y diseño de bancos) han sido definidos como aquellos que siendo cinemáticamente posibles, tienen un factor de seguridad calculado (asumiendo condiciones secas) inferiores a 1.2. los siguientes modos de falla se consideraron críticos:

- ◆ Fallas planares que involucran planos que forman ángulos de más de  $30^\circ$  oblicuos con el talud.
- ◆ Fallas de cuña cuyas líneas de intersección forman ángulos de más de  $45^\circ$  oblicuos con el talud.

## **IV.2. MEDIDAS DE SEGURIDAD PARA LOS TRABAJOS EN LA ZONA DE ALEXA**

En base a los resultados del análisis cinemático se definieron zonas de riesgo las cuales se detallan a continuación:

#### **IV.2.1. Zona de Riesgo Bajo:**

- ◆ Las restricciones operacionales en esta zona es la voladura controlada para minimizar la propagación de la energía de la Voladura hacia la pared oeste de Alexa.
- ◆ Permiso de Geotecnia para ingreso de equipos pesados y personal.

#### **IV.2.2. Zona de Riesgo Medio:**

- ◆ Voladura controlada para minimizar la disturbación.
- ◆ Los trabajos en esta zona serán autorizados por el departamento de Geotecnia.
- ◆ Los trabajos en guardia de noche se realizarán si existe adecuada iluminación. Geotecnia realizará inspecciones diarias en busca de agrietamientos.
- ◆ En caso de detectarse agrietamientos en la plataforma de trabajo se suspenderá las operaciones.

#### **IV.2.3. Zona de Riesgo Alto:**

- ◆ Voladura controlada. Evitar las voladuras confinadas.
- ◆ Permiso de Geotecnia para ingreso de equipos y personal.
- ◆ Sólo ingresarán equipos livianos o equipos pesados controlados remotamente.
- ◆ El personal de piso estará sujeto con arnés y línea de vida a un punto de anclaje.
- ◆ Durante las labores en esta área habrá un vigía en todo momento.
- ◆ Geotecnia realizará inspecciones periódicas en busca de agrietamientos y se apoyará en el Radar SSR-X de monitoreo de taludes.
- ◆ Operaciones en guardia noche se realizarán si existe adecuada iluminación.
- ◆ Se suspenderá las operaciones en caso de lluvia intensa o neblina densa.
- ◆ En caso de detectarse agrietamientos en la plataforma de trabajo se suspenderá las operaciones

#### **IV.2.4. Zona de Exclusión**

- ◆ El área que comprende entre la cresta y una paralela de 8 metros hacia el este se le denomina zona de exclusión. Dentro de esta zona nivel de riesgo es considerado como alto y seguir las mismas restricciones operativas como se indica para la zona de riesgo alto.

- ◆ Todo el personal debe ser informado de que se trata de una zona de exclusión y para el ingreso de equipo o personal deben ser autorizados por el departamento de geotecnia.
- ◆ Cada vez que se produce una falla esta zona debe ser ajustada en base a la posición de la nueva línea de cresta.
- ◆ La plataforma debe ser evaluada e inspeccionadas cuidadosamente en busca de signos de agrietamiento para determinar si se requieren ajustes a los criterios de retroceso de la zona de exclusión.

Grafica 4.1: Zonas de Riesgo de la zona de Alexa en Sección 4900 NE

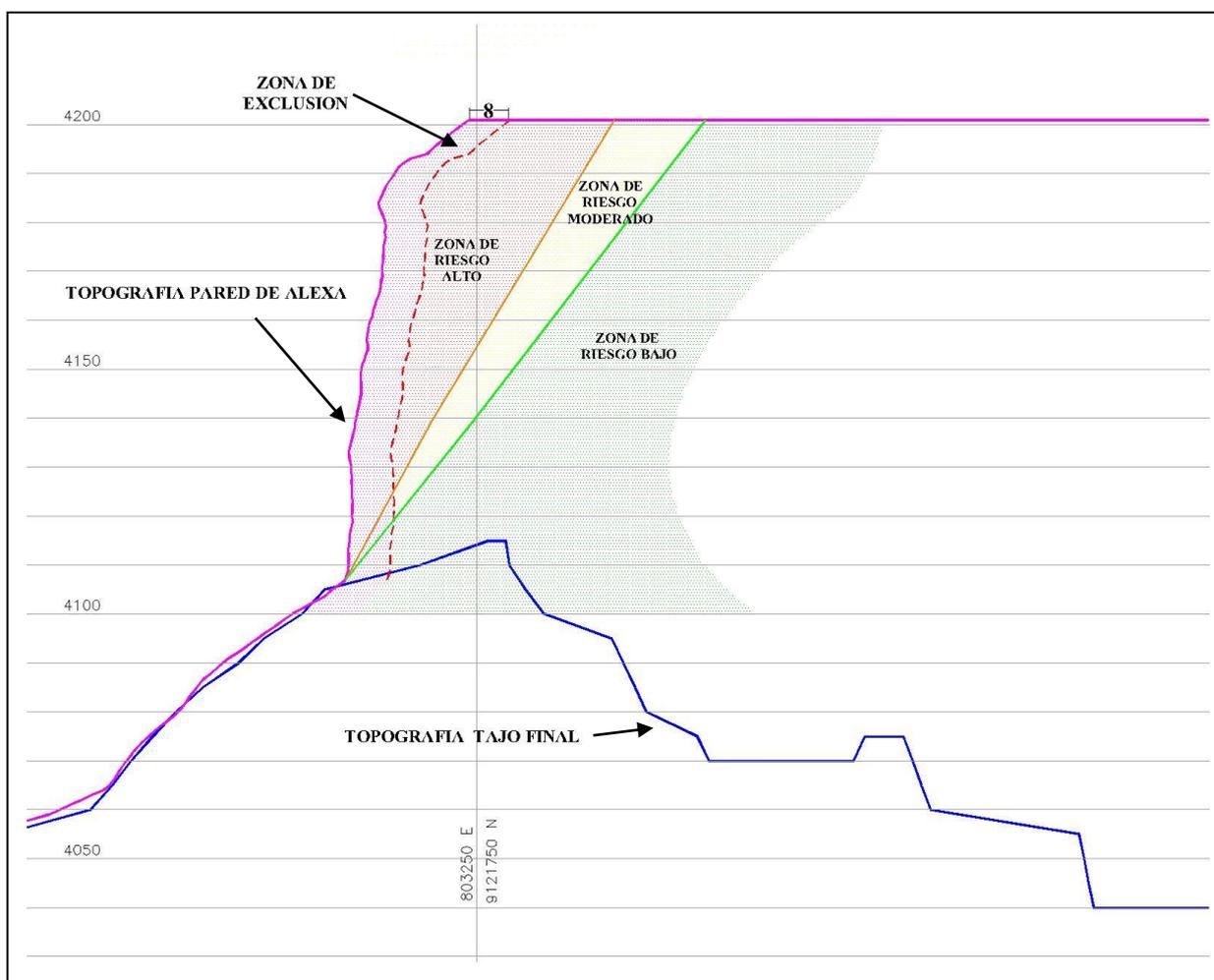




Figura 4.3: Proyección Estereográfica del Dominio ALEXA

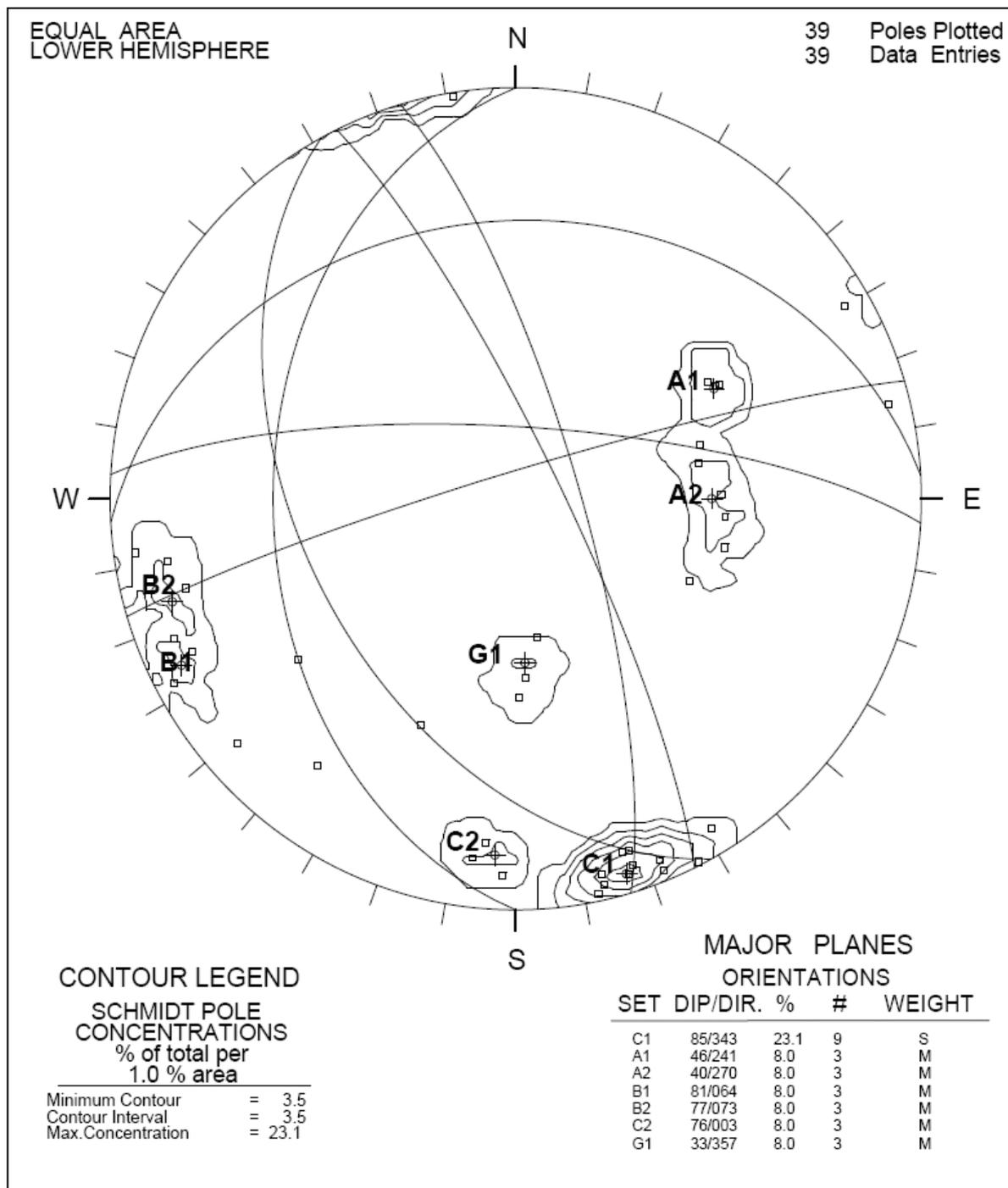


Figura 4.4: Proyección Estereográfica del Dominio KCW-E

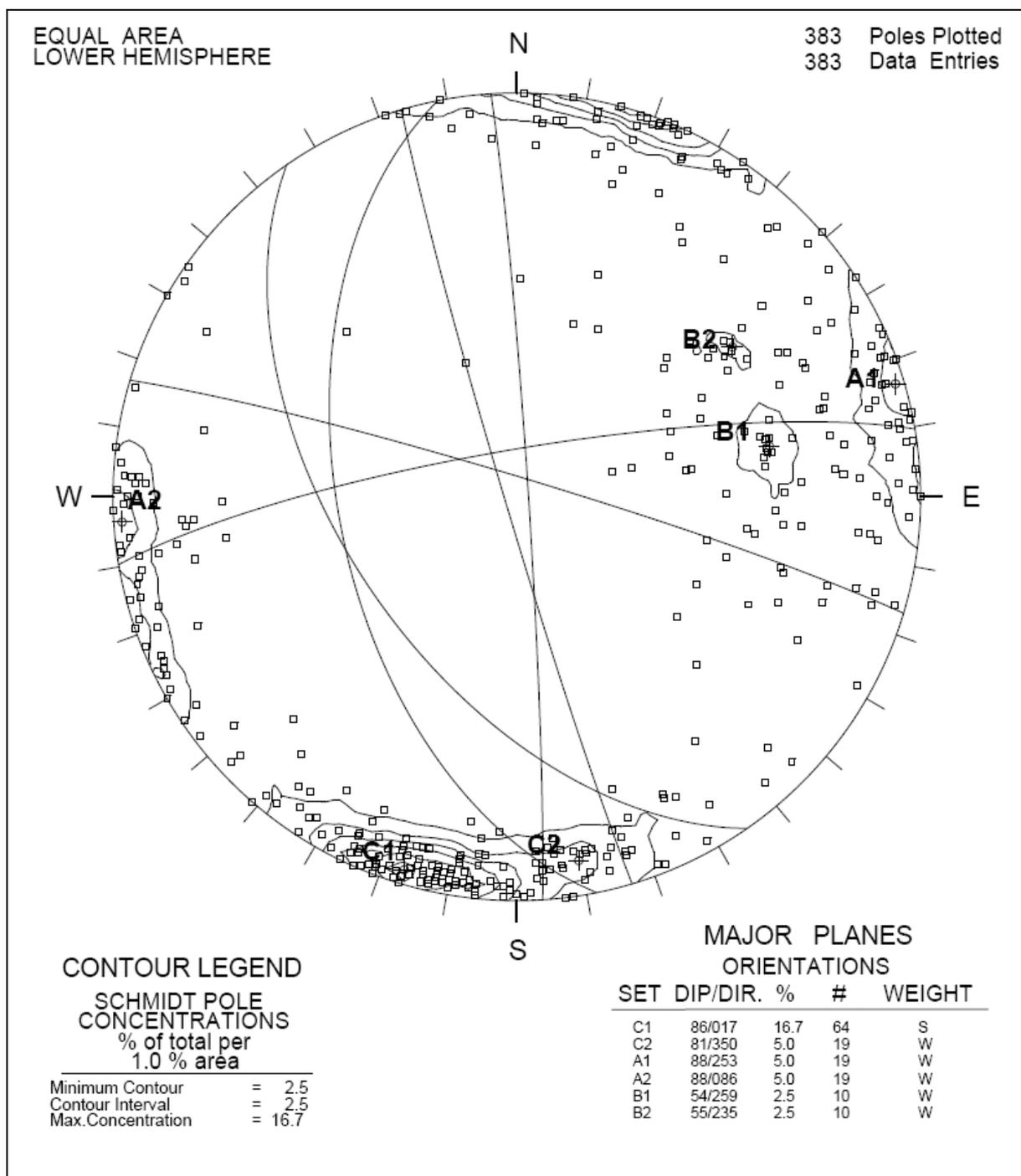


Figura 4.5: Proyección Estereográfica del Dominio KCW-W

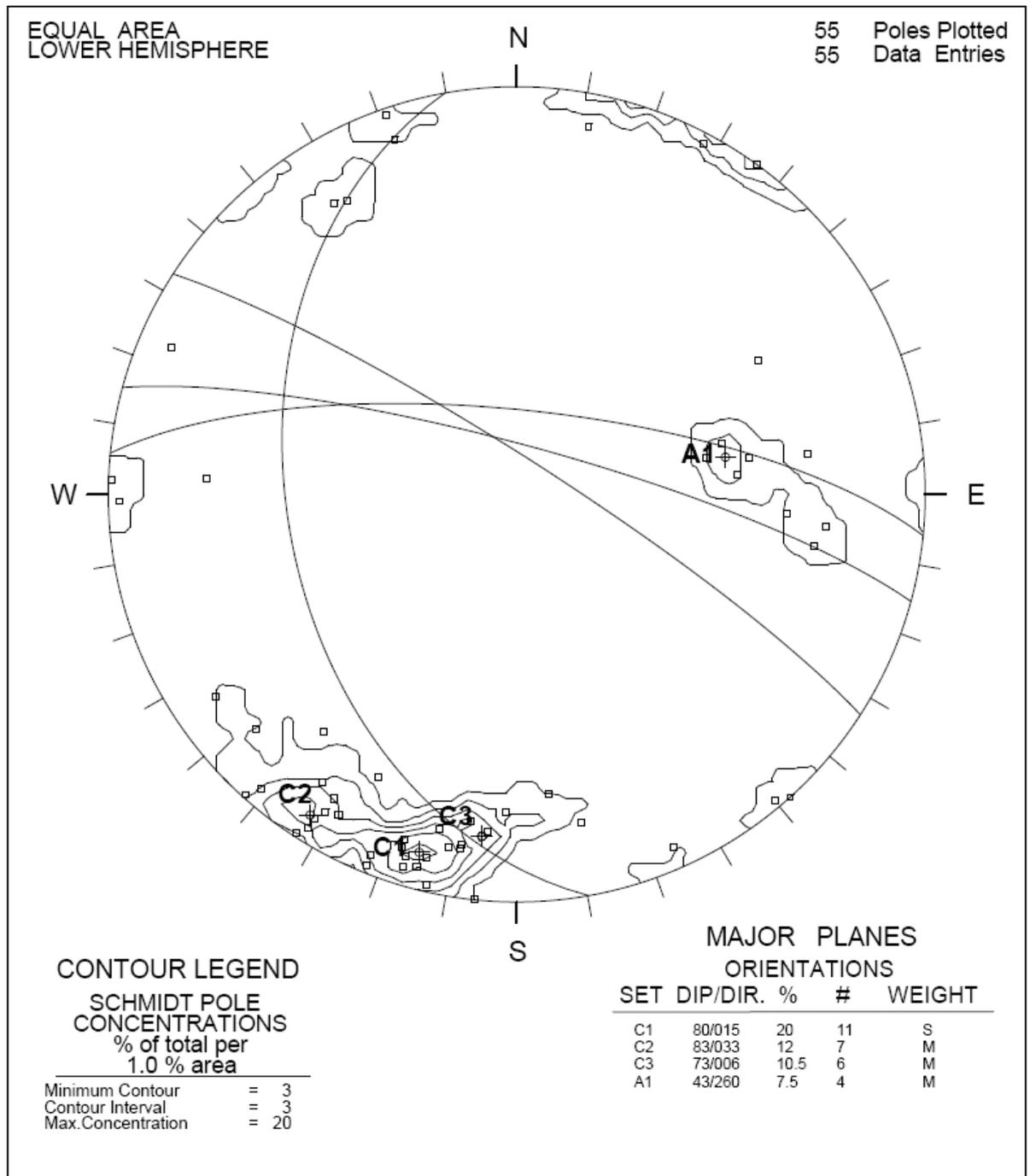


Figura 4.6: Proyección Estereográfica del Dominio KCW-O

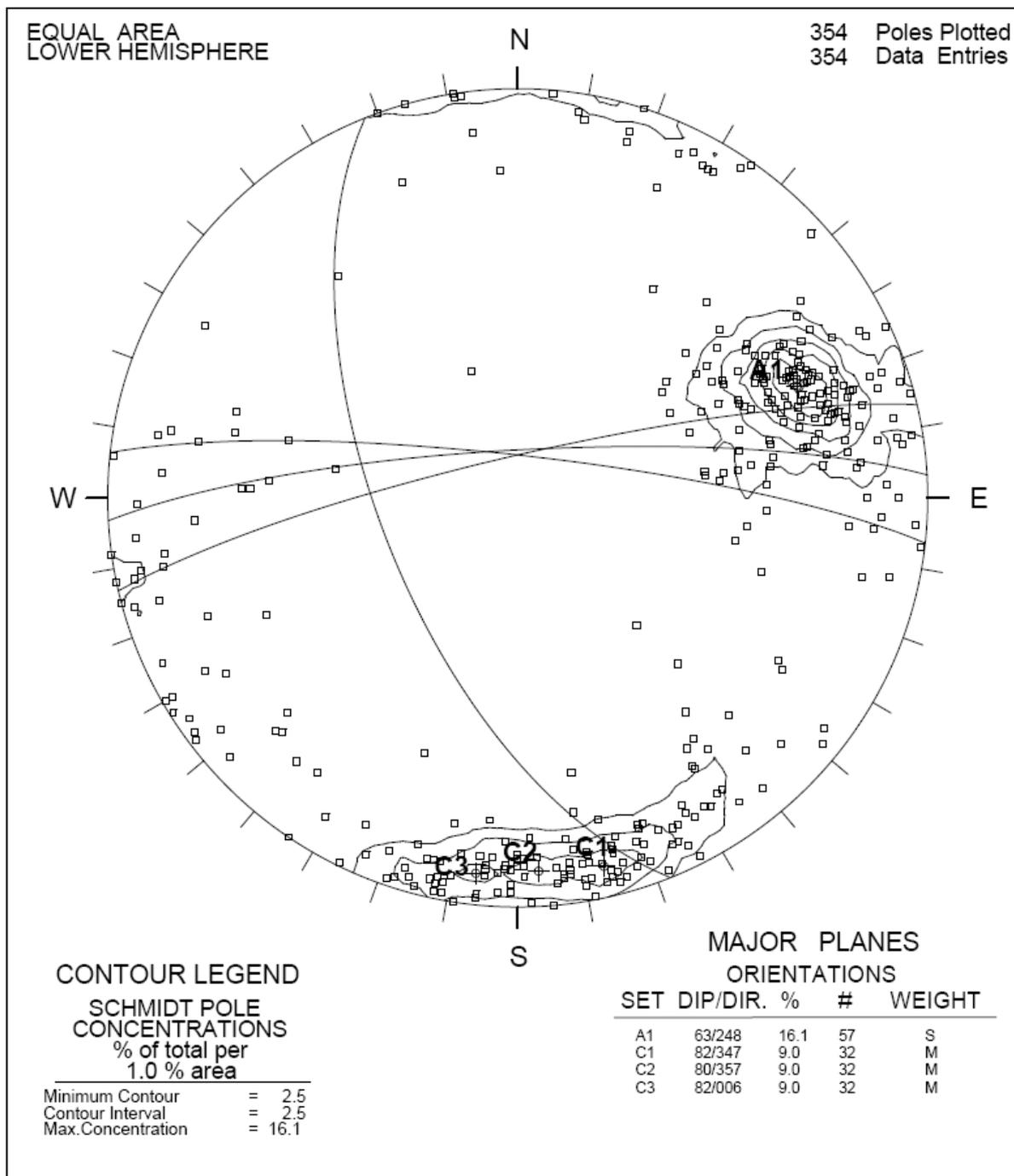
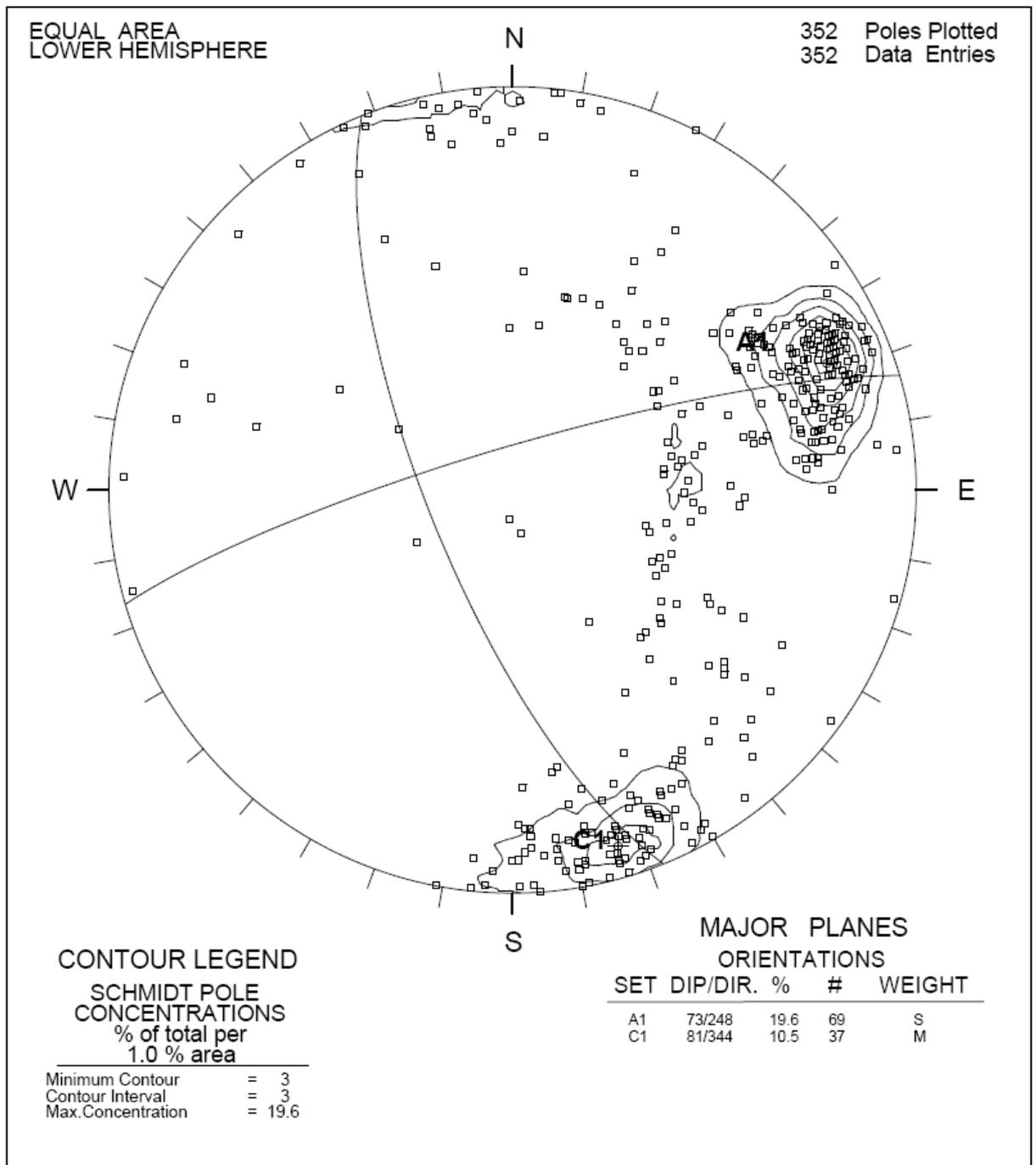


Figura 4.7: Proyección Estereográfica del Dominio KCW-Ob



## CONCLUSIONES

- ◆ El monitoreo de prismas es el método más usado en minería para determinar desplazamientos en superficie debido a su bajo costo de implementación y operación. La precisión de las mediciones es de aproximadamente de 24 mm en una distancia de 1000 metros.
- ◆ El tiempo para hacer las mediciones con la Estación Total es mayor y representa en monitoreo taludes, como la zona de Alexa, un riesgo con potencial de ocasionar un incidente o accidente.
- ◆ El Radar de Estabilidad de Taludes es un equipo de monitoreo en tiempo real que proporciona una precisión sub-milimétrica, en el rango de 0,1 mm a 0,2 mm en una distancia de unos 1.500 m.

## RECOMENDACIONES

- ◆ La avanzada tecnología para la instrumentación y monitoreo de taludes con el Radar de Estabilidad de Taludes es requerido para monitorear las zonas críticas de Alexa que podría colapsar repentinamente, causando lesiones personales, daños al equipo y / o pérdidas en la producción.

## BIBLIOGRAFIA

1. Gonzáles de Vallejo, L. I.; Ferrer Gijón, M.; Ortuño Abad, L.; Oteo Mazo, C. Madrid 2002. Ingeniería Geológica. Pearson Educación S. A. p. 125-140.
2. Braja, M.D. México 2001. Fundamentos de Ingeniería Geotécnica. Internacional Thomson Editores S.A. p. 339-386.
3. Instituto Tecnológico Geominero de España. Madrid 1991. Manual de Ingeniería de Taludes. Graficas Monterreina S.A. p. 185-284.
4. Trimble Navigation Limited. Suecia 2001. Manual de operación de Estación Total Trimble 5600 DR 200+. Navum Grafiska BA. p. 30.
5. GroundProbe. Chile 2008. Radar de Estabilidad de Taludes. QLD and Perth edition. p. 1-39