

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**



**CONSIDERACIONES GEOTÉCNICAS PARA LA  
ESTABILIDAD DE TALUDES DE LA EXCAVACIÓN  
MINERA TIPO TAJO ABIERTO EN HUARAZ - ANCASH**

**INFORME DE SUFICIENCIA**

**Para optar el Título Profesional de:**

**INGENIERO CIVIL**

**MARCO RUBÉN YALLE BARRIOS**

**Lima - Perú**

**2013**

**A mi hermosa y grandiosa Familia  
que siempre me apoyó, me apoya y  
apoyará.**

**A Dios, a la Vida, al Corazón y al  
Destino porque ellos me conducen a  
caminos que nunca pensé recorrer y  
que cuando miró hacia atrás,  
observo con mucha alegría que me  
han dado lo mejor que tengo:  
Familia, buenos amigos, pasión,  
amor e ilusión soñadora que me  
motivan constante e infinitamente.**

## ÍNDICE

	Pág.
<b>RESUMEN.....</b>	<b>4</b>
<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>5</b>
<b>LISTA DE CUADROS .....</b>	<b>6</b>
<b>LISTA DE SÍMBOLOS .....</b>	<b>7</b>
<b>LISTA DE SIGLAS .....</b>	<b>8</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>9</b>
<b>CAPITULO I: ESTADO DEL ARTE.....</b>	<b>10</b>
1.1 ANTECEDENTES GENERALES .....	10
1.1.1 Despresurización de Taludes de Un Tajo Abierto usando Drenes Horizontales – Estudio de un Caso.....	10
1.1.2 El Rol de la Despresurización en la Estabilización de Taludes de un Tajo en el Norte del Perú .....	11
1.1.3 Una Revisión de los Factores Clave que Afectan El Desagüe de Minas y La Despresurización de Taludes .....	12
1.2 ANTECEDENTES DEL PROYECTO .....	13
1.2.1 Estudios Para El Diseño y Análisis de Estabilidad de Taludes Del Tajo Abierto en Jangas .....	13
1.2.2 Revisión de la Paleo-Superficie Lupe .....	14
1.2.3 Evaluación Geotécnica del Tajo Abierto en Jangas.....	14
1.2.4 Estudio de Meteorología e Hidrología.....	15
<b>CAPITULO II: MARCO REFERENCIAL Y TEÓRICO.....</b>	<b>17</b>
2.1 MARCO REFERENCIAL DEL PROYECTO .....	17
2.1.1 Generalidades.....	17
2.1.2 Geología General.....	18
2.2 MARCO TEÓRICO .....	19
2.2.1 Terminología en Taludes Mineros tipo Tajo bierto.....	19
2.2.2 Drenes Horizontales.....	20
2.2.3 Instrumentos de Monitoreo.....	20
2.2.4 Paleo-Superficie Lupe .....	22
<b>CAPITULO III: INVESTIGACIONES GEOTÉCNICAS.....</b>	<b>23</b>
3.1 GENERALIDADES.....	23
3.2 MEDICIÓN DE PLUVIÓMETROS, PIEZÓMETROS, EXTENSÓMETROS Y PRISMAS .....	28

3.2.1	Pluviómetros .....	28
3.2.2	Piezómetros .....	28
3.2.3	Extensómetros y Prismas.....	28
3.3	MAPEO GEOLÓGICO DE ALTERACIONES .....	32
3.4	MAPEO GEOLÓGICO ESTRUCTURAL .....	34
3.5	TOMOGRFÍA ELÉCTRICA .....	37
3.6	DRENES HORIZONTALES PARA DESPRESURIZACIÓN.....	40
<b>CAPITULO IV: CONSIDERACIONES GEOTECNICAS Y MODELAMIENTO PARA EL ANALISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES EN LAS SECCIONES GEOTECNICAS A, B, C, D Y E.....</b>		<b>42</b>
4.1	CONSIDERACIONES GEOTÉCNICAS.....	42
4.1.1	Movimiento de Prismas y Extensómetros con el tipo de material, las estructuras que definen cuñas y la topografía del terreno.....	42
4.1.2	Drenes Horizontales con Tomografía Eléctrica.....	46
4.1.3	Movimiento de Prismas con Drenes Horizontales y Precipitación.....	47
4.2	MODELO PARA EL ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES EN LAS SECCIONES GEOTÉCNICAS A, B, C, D Y E.....	49
4.2.1	Consideraciones para la Elección de las Secciones Geotécnicas .....	49
4.2.2	Consideraciones para el Modelo Geológico .....	50
4.2.3	Consideraciones para la Superficie Freática .....	50
4.2.4	Consideraciones para la Resistencia al Cortante del Macizo Rocoso.....	51
<b>CAPITULO V: ANALISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....</b>		<b>54</b>
5.1	EVALUACION GEOTECNICA DE LAS SECCIONES A, B, C, D Y E USADAS EN EL ANALISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES .....	54
5.2	RESULTADOS OBTENIDOS DEL ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES .....	57
5.3	DISCUSION DE RESULTADOS .....	60
<b>CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>		<b>62</b>
6.1	CONCLUSIONES .....	62
6.2	RECOMENDACIONES .....	65
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>		<b>67</b>

## **ANEXOS**

**ANEXO A: RESUMEN DE RESULTADOS**

**ANEXO B: REGISTRO DE DEFORMACIÓN DE PRISMAS**

**ANEXO C: RESULTADOS DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD**

**ANEXO D: PLANOS**

## RESUMEN

Las consideraciones geotécnicas en la estabilidad de taludes del tajo abierto de Jangas (Huaraz – Ancash), es el tema central del informe de suficiencia. El desarrollo del informe en mención consta de seis capítulos que a continuación se describen:

El primer capítulo muestra el estado del arte en la práctica de otras unidades mineras que detallan el resultado de los trabajos de despresurización de taludes usando drenes horizontales, también el primer capítulo detalla los antecedentes locales del tajo abierto ubicado en Jangas, en la que se describe la caracterización de las unidades geotécnicas del macizo rocoso.

El segundo capítulo describe las generalidades del proyecto como ubicación, topografía, geología y otros, además de detallar los términos usados a lo largo del informe.

El tercer capítulo resume los trabajos realizados para el tajo abierto en Jangas, en los subcapítulos se detallan las características geométricas del tajo, se describen las siete zonas geotécnicas en estudio, las mediciones de pluviómetros, piezómetros, prismas y extensómetros en las inestabilidades y alrededores para luego describir el tipo de material predominante en cada zona y los tipos de estructuras geológicas que la cruzan, y finalmente se detallan los trabajos de tomografía eléctrica y de construcción de drenes horizontales realizados.

En el cuarto capítulo se detallan los procesos que ayudarán a realizar la evaluación geotécnica de las inestabilidades, como la correlación e interpretación en conjunto de la información recopilada en el tercer capítulo para tener una sólida base del mecanismo de falla que gobierna el comportamiento de las inestabilidades y la influencia de la construcción de drenes como medida de estabilización. Además se detallan las consideraciones que se deben tener en cuenta para hacer el modelo de análisis de estabilidad de taludes, que parte desde cómo hacer el trazo de la sección hasta la elección de los criterios de rotura para las diversas unidades geotécnicas.

En el quinto capítulo se evalúan y discuten los factores de seguridad obtenidos en las cinco secciones geotécnicas, considerando la evaluación de la información procesada en el cuarto capítulo.

En el sexto capítulo se presentan las conclusiones y recomendaciones obtenidas del desarrollo del informe de suficiencia.

## LISTA DE FIGURAS

Figura N° 1.-	Taladros horizontales en mina Batu Hijau.....	10
Figura N° 2.-	Ubicación de pozos de bombeo y estructura de contención en el tajo abierto La Quinoa.....	12
Figura N° 3.-	Reducción del nivel freático en el tajo abierto La Quinoa.....	12
Figura N° 4.-	Reducción de velocidades de los prismas en mina Chino .....	13
Figura N° 5.-	Esquema del modelo geotécnico para el análisis de estabilidad en las secciones geotécnicas del Tajo Abierto.....	15
Figura N° 6.-	Precipitación total anual de La Operación (1997-2011) .....	16
Figura N° 7.-	Precipitación promedio mensual de La Operación (1997-2011).....	16
Figura N° 8.-	Topografía original del Tajo Abierto.....	18
Figura N° 9.-	Esquema de la geología regional .....	19
Figura N° 10.-	Terminologías en taludes mineros tipo tajo abierto.....	20
Figura N° 11.-	Esquema de extensómetros .....	21
Figura N° 12.-	Esquema de piezómetros usados en taludes mineros.....	21
Figura N° 13.-	Visualización de las ondulaciones de PSL.....	22
Figura N° 14.-	Características del Tajo Abierto.....	24
Figura N° 15.-	Ubicación de las líneas geofísicas del 2008 .....	38
Figura N° 16.-	Distribución espacial de los perfiles geofísicos mostrando las zonas con mayor humedad del 2008 .....	38
Figura N° 17.-	Distribución espacial de los perfiles geofísicos mostrando las zonas con menor resistividad del 2010.....	40
Figura N° 18.-	Perfil de la sección E mostrando la PSL resaltado en amarillo.....	44
Figura N° 19.-	Velocidad del extensómetro EXT-01 y la variación de precipitación .....	49
Figura N° 20.-	Corrección en la interpretación de la superficie freática con los drenes horizontales - Sección B .....	51
Figura N° 21.-	Esquema del modelo para el análisis de estabilidad de taludes en las secciones geotécnicas del Tajo Abierto.....	53

### LISTA DE CUADROS

Cuadro N° 1.-	Descripción de las zonas geotécnicas del Tajo Abierto .....	26
Cuadro N° 2.-	Interpretación de prismas en Zonas Geotécnicas .....	31
Cuadro N° 3.-	Alteraciones geológicas predominantes en Zonas Geotécnicas .....	33
Cuadro N° 4.-	Características de estructuras geológicas principales en Zonas Geotécnicas .....	36
Cuadro N° 5.-	Parámetros de resistencia del macizo rocoso del Tajo Abierto .....	52



### LISTA DE SÍMBOLOS

°C	:	Grados Centígrados.
c	:	Cohesión.
c'	:	Cohesión efectiva.
cm	:	Centímetros
D	:	Factor de Perturbación usado en el Criterio de Hoek-Brown Generalizado
gal/min	:	Galones por minuto.
km	:	Kilómetros.
kN/m <sup>3</sup>	:	Kilo Newton por metro cúbico
ohm-m	:	Ohmios por metro.
m	:	Metros.
m <sup>2</sup>	:	Metros cuadrados.
m <sub>i</sub>	:	Constante de material usado en el Criterio de Hoek-Brown Generalizado.
mm	:	Milímetros.
mm/día	:	Milímetros por día.
msnm	:	Metros sobre el nivel del mar.
r <sub>u</sub>	:	Coeficiente de presión de poros.
φ	:	Ángulo de fricción.
φ'	:	Ángulo de fricción efectivo.
Y <sub>SAT</sub>	:	Peso específico saturado (kN/m <sup>3</sup> ).
Y <sub>SECO</sub>	:	Peso específico seco (kN/m <sup>3</sup> ).

### LISTA DE SIGLAS

AC	: Prisma con interpretación "aceleración".
AR	: Unidad geotécnica para la alteración de roca tipo argílico.
DC	: Prisma con interpretación "desaceleración"
FS	: Factor de Seguridad o Factor de Seguridad Estático.
GSI	: Geological Strength Index.
HQ	: Broca de perforación que obtiene testigos con un diámetro de 2.5 pulgadas.
IRA	: Inter-ramp angle.
N/A	: No Aplica.
NM	: Prisma con interpretación "no se mueve"
PSL	: Paleo-Superficie Lupe.
PVC	: Polyvinyl chloride.
OA	: Overall angle.
QA	: Unidad geotécnica para la alteración tipo cuarzo-alunita.
RMR	: Rock Mass Rating.
RQD	: Rock Quality Designation.
UCS	: Unconfined Compressive Strength.
UTM	: Universal Transverse Mercator.
VC	: Prisma con interpretación "velocidad constante"
VCML	: Prisma con interpretación "velocidad constante muy lenta"
VCML0	: Prisma con interpretación "velocidad constante muy lenta en observación"
WGS84	: World Geodetic System 84.

## INTRODUCCIÓN

Contando el Perú con un gran potencial minero y siendo el proyecto en estudio un tajo abierto ubicado en Jangas (Huaraz – Ancash); se tiene que tomar en cuenta que este tajo presenta inestabilidades producto de las excavaciones y presiones de aguas subterráneas en las paredes de los taludes.

Para prevenir las posibles inestabilidades de los taludes del tajo abierto en mención se han identificado y delimitado siete zonas geotécnicas, que son determinadas por el grado de inestabilidad visual (agrietamientos), paredes de material rocoso deleznable y ojos de agua, por la interpretación y la velocidad de deformación de los prismas y extensómetros instalados, y por los antecedentes de inestabilidad.

Para la estabilización de los taludes de manera preventiva se recopiló la información disponible, como el mapeo estructural geológico, la ubicación de los drenes horizontales de años anteriores, de las inestabilidades actuales y de la superficie freática de los piezómetros, por lo que se construyeron drenes horizontales que redujeron las presiones de agua subterránea en las paredes de los taludes.

Los resultados obtenidos en la construcción de drenes horizontales son analizados en conjunto para comprender el origen o causas del movimiento de las inestabilidades del tajo abierto; este análisis contempla la medición de pluviómetros para la precipitación anual y mensual, de piezómetros para la superficie freática, de prismas y extensómetros, y también el mapeo geológico de alteraciones, el mapeo geológico estructural, la tomografía eléctrica y los drenes horizontales.

Para analizar la estabilidad de taludes del tajo abierto en estudio, se evaluaron cinco secciones geotécnicas que pasan por las siete zonas definidas anteriormente; este análisis fue realizado por el método de equilibrio límite generalizado, utilizando el programa de cómputo Slide de Rocscience, obteniéndose como resultados factores de seguridad estáticos menores a 1.20 (Stacey y Read, 2009), concluyéndose que las zonas geotécnicas más críticas son las 3, 6 y 7.

Finalmente, de los resultados geotécnicos obtenidos para la estabilidad de taludes del tajo abierto en estudio, se puede decir que son un importante aporte para futuros estudios o proyectos de este tipo; por lo que se recomienda que otros profesionales incrementen y/o modifiquen lo realizado.

## CAPITULO I: ESTADO DEL ARTE

### 1.1 ANTECEDENTES GENERALES

#### 1.1.1 Despresurización de Taludes de Un Tajo Abierto usando Drenes Horizontales – Estudio de un Caso

Leech y McGann (2008) describen el proceso de despresurización realizado en el tajo abierto de la mina Batu Hijau, ubicada en Indonesia, en respuesta a una falla de taludes relativamente a gran escala (100 metros de altura), donde las presiones del agua subterránea parecieron tener un rol significativo, por lo que se construye 1,500 metros de drenes horizontales además de instalarse tres piezómetros de tubo abierto para cuantificar el beneficio que tienen los drenes horizontales en la reducción del agua subterránea detrás del talud fallado.

Dado los aparentes beneficios de los drenes horizontales, se toma la decisión de realizar un plan a largo plazo de construcción de drenes horizontales con una longitud total de perforación de 98,000 metros (Figura N°1).

Es de resaltar que, la Mina Batu Hijau está planeada a ser excavada hasta una profundidad de 900 metros, y, que cerca del 85% de los 2500 milímetros de precipitación anual ocurre durante la temporada húmeda (de Octubre a Abril), generalmente con lluvias de corta duración pero de gran intensidad



Figura N° 1.- Taladros horizontales en mina Batu Hijau (Fuente: Leech y McGann, 2008)

### 1.1.2 El Rol de la Despresurización en la Estabilización de Taludes de un Tajo en el Norte del Perú

El estudio de Pérez *et al.* (2011) detalla que, a inicios del 2010, la pared Este del tajo abierto La Quinoa presenta agrietamientos con agua y que los hitos topográficos de monitoreo (prismas) dentro de la zona inestable (inestabilidad) muestran una velocidad promedio inicial de 7 mm/día, por lo que se decide implementar un plan de investigación geotécnica e hidrogeológica en inestabilidad que consiste en instalar prismas, inclinómetros y piezómetros de cuerda vibrante.

Se describe que, luego de identificar el nivel freático actual de la zona inestable, los análisis de estabilidad de taludes, en secciones alrededor de la inestabilidad, muestran Factores de Seguridad (en adelante FS) menores a 1.10. Los análisis de sensibilidad realizados, indican que el FS podría mejorarse significativamente por la reducción de la presión de agua, particularmente en el material debajo de la zona de falla.

El plan de remediación ejecutado para la zona inestable, que tiene una altura de 350 metros, consiste en la construcción de cinco pozos de bombeo y una estructura de contención de 44 metros a pie de la inestabilidad como se muestra en la Figura N°2. Luego de dos meses de continuo bombeo, la información de los piezómetros instalados muestra la reducción del nivel freático, hasta en 150 metros, también se refleja en la disminución progresiva de velocidades de deformación iguales o menores a 2 mm/día como se muestra en la Figura N°3.

Así mismo, el estudio también menciona que, en el tajo abierto La Quinoa se tiene precipitación anual de 1,450 milímetros y que, la precipitación se da mayormente como lluvia, en los meses de temporada húmeda (de Octubre a Mayo).

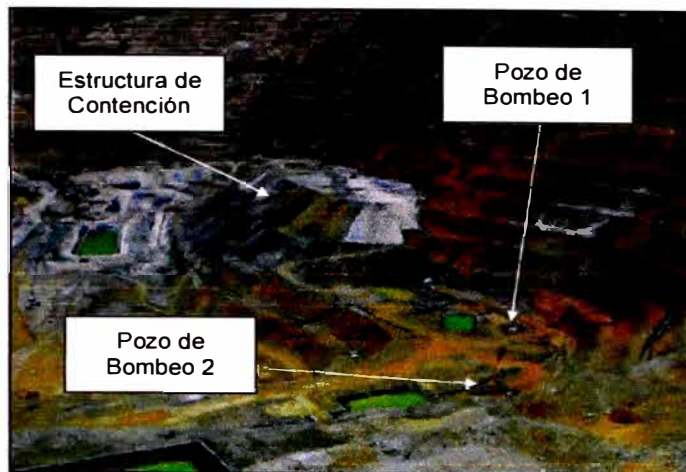


Figura N° 2.- Ubicación de pozos de bombeo y estructura de contención en el tajo abierto La Quinoa (Fuente: Pérez *et al.*, 2011)

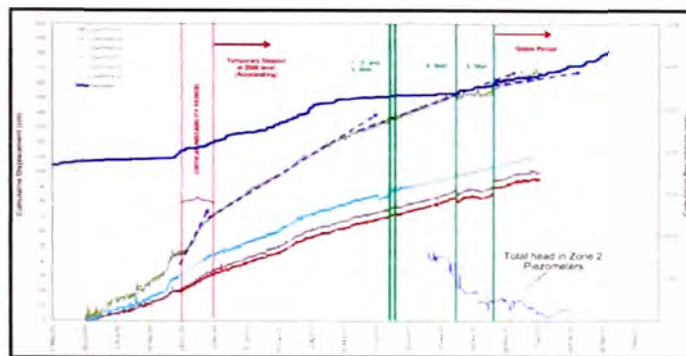


Figura N° 3.- Reducción del nivel freático en el tajo abierto La Quinoa (Fuente: Pérez *et al.*, 2011)

### 1.1.3 Una Revisión de los Factores Clave que Afectan El Desagüe de Minas y La Despresurización de Taludes

Dowling *et al.* (2011), describen los factores que deberían tomarse en cuenta para la implementación de un plan de desagüe de minas con pozos de bombeo y de despresurización de taludes con drenes horizontales. Una de las recomendaciones para la construcción de drenes horizontales es que se debe direccionar la perforación con un azimut que intercepte el mayor número de juntas y de fracturas.

En el 2006, los taludes de la pared sur-este del tajo abierto Estrella, en la mina Chino, experimentan una significativa aceleración en la deformación registrada por los prismas. Un detallado estudio de la zona inestable determina que la combinación de la resistencia del macizo rocoso, estructuras sub-paralelas al talud y presiones de agua subterránea contribuyen al movimiento del talud. Se construyen 25 drenes horizontales, orientados con un azimut que cruce las

principales estructuras sub-paralelas al talud. En la Figura N°4 se muestra la reducción de las velocidades de deformación en los prismas de la zona inestable después de finalizar la construcción de drenes horizontales.

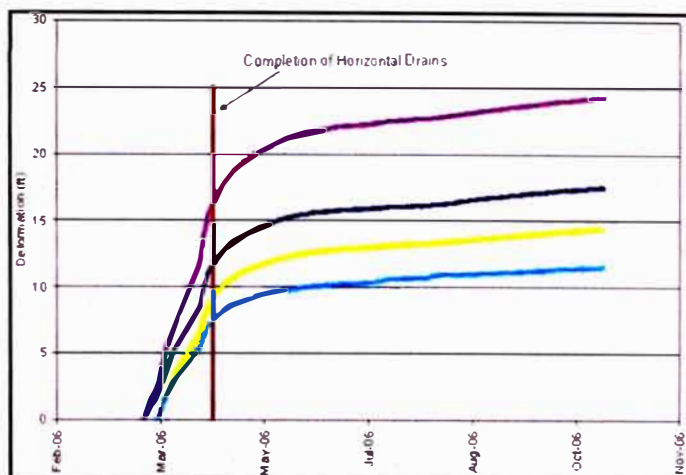


Figura N° 4.- Reducción de velocidades de los prismas en mina Chino  
(Fuente: Dowling *et al.*, 2011)

## 1.2 ANTECEDENTES DEL PROYECTO

### 1.2.1 Estudios Para El Diseño y Análisis de Estabilidad de Taludes Del Tajo Abierto en Jangas

En el año 1998, la empresa Piteau Associates Engineering Ltd. (en adelante Piteau) realiza la evaluación de la competencia relativa del macizo rocoso del tajo abierto en Jangas (en adelante el Tajo Abierto), donde el RMR (Bieniawski de 1976) y UCS fueron estimados y revisados en base a la ubicación, litología y alteración litológica de las muestras seleccionadas, el macizo rocoso fue dividido en seis unidades geotécnicas definidas a partir del tipo de alteración y del tipo de la roca debido al similar comportamiento geomecánico que tienen.

En los años 2006 y 2009, Piteau realiza retro-análisis de zonas inestables, en el Tajo Abierto, con la finalidad de calibrar y actualizar los parámetros del macizo rocoso; definiendo únicamente dos unidades geotécnicas (QA y AR), además se actualizan las consideraciones de la resistencia al cortante del material de fallas geológicas y de la paleo-superficie Lupe (en adelante PSL), y la variación de la resistencia al cortante del macizo rocoso según el Factor de Perturbación D (Hoek *et al.*, 2002).

### 1.2.2 Revisión de la Paleo-Superficie Lupe

En el año 2011, la empresa Earth Resource Surveys Inc. (en adelante ERSI) realiza la revisión y validación del mapeo geológico-estructural realizado por Consulting and Mining Services S.R.L. (en adelante CMS) y de la paleo-superficie Lupe. De acuerdo a las últimas interpretaciones geológicas del Tajo Abierto, la PSL es un contacto litológico entre tobas andesíticas o dacíticas y pórfido de andesitas. Este contacto litológico es una superficie ondulada, poco profunda y con buzamientos muy empinados.

### 1.2.3 Evaluación Geotécnica del Tajo Abierto en Jangas

En el año 2012, se realiza una evaluación geotécnica del Tajo Abierto que comprende la geometría de Abril del 2012 (Piteau, 2012). Para esta evaluación, Piteau realiza los análisis bidimensionales de equilibrio límite a once secciones geotécnicas distribuidas a través de la topografía del tajo. Estas secciones se trazan lo más perpendicular a la topografía para representar los taludes inter-rampa más empinados y desfavorables en términos de estabilidad.

Piteau realiza la evaluación geotécnica con los últimos estudios del tajo abierto:

a) Modelo geológico de alteraciones del 2010, donde se considera dos unidades geotécnicas: QA y AR. En la unidad geotécnica QA se considera la roca con alteración tipo cuazo-alunita y al resto de la roca que tiene alteración tipo sílice-oqueroso; y como unidad geotécnica AR a las rocas con alteración tipo argílico con óxidos y/o con sulfuros, tipo propilítico, tipo alunita-arcilla y tipo sílice-arcilla. El contacto QA/AR se modela con un espesor de 5 metros para simular la naturaleza de la zona de contacto como reblandecida, perturbada y alterada.

b) Modelo geológico estructural del 2010 y modelo de la paleo-superficie Lupe del 2011, donde la PSL y principales fallas geológicas se consideran estructuras. Estas estructuras (o segmentos de estructuras) con más de 30° de oblicuidad respecto de la sección no se incluyen en los modelos de análisis de estabilidad. Las estructuras fueron modeladas con un espesor de 5 metros y se comportan bajo el criterio rotura de Mohr-Coulomb.

c) Modelo hidrogeológico del Tajo Abierto, que es la superficie generada a partir de los datos obtenidos de los niveles de agua de la instrumentación instalada (*i.e.*; piezómetros de cuerda vibrante y de tubo abierto).



Además, Piteau considera que las secciones analizadas, representan la combinación más crítica de geometría de taludes, geología y estructuras geológicas de las paredes del tajo abierto.

En la evaluación geotécnica, se tiene como Criterios de Aceptabilidad un Factor de Seguridad Estático (FS) igual a 1.20 (Stacey y Read, 2009), con la finalidad de evaluar los resultados de los análisis de estabilidad. Este criterio es usado históricamente para el diseño de taludes del Tajo Abierto, con la acotación que es aplicable sólo al tajo abierto en Jangas para zonas de operación activas con un apropiado sistema de monitoreo y vigilancia, y que pudiera no ser adecuado para evaluaciones a largo plazo ni de cierre de mina.

En la Figura N°5 se muestra el esquema usado para el modelo de las secciones geotécnicas en el software Slide (versión 6.005) de Rocscience.

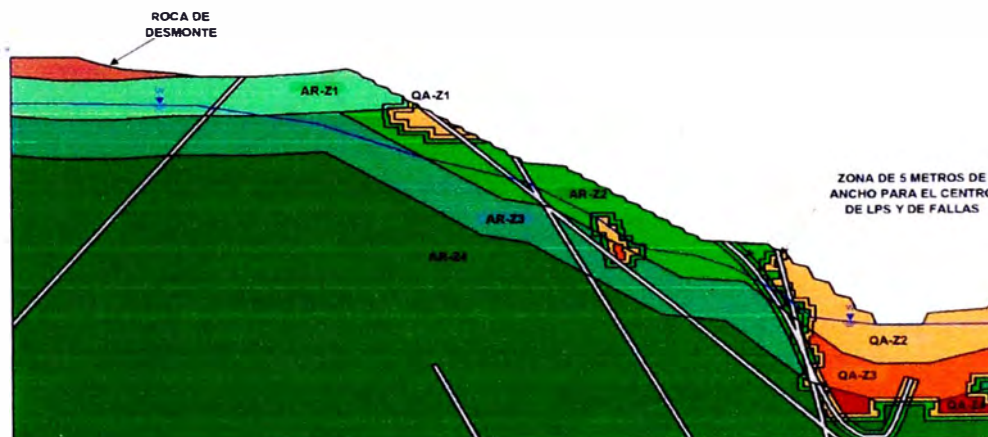


Figura N° 5.- Esquema del modelo geotécnico para el análisis de estabilidad en las secciones geotécnicas del Tajo Abierto

#### 1.2.4 Estudio de Meteorología e Hidrología

En el año 2012, la empresa Klohn Crippen Berger S.A. (en adelante KCB) realiza el Estudio de Meteorología e Hidrología de la operación minera en Jangas (en adelante La Operación), y a partir de la información registrada, desde 1997 al 2011, en los diez pluviómetros manuales ubicados dentro de La Operación, se tiene que la precipitación total anual oscila entre 852.7 mm (en 2005) y 1,564.9 mm (en 2009), siendo el promedio de 1,165.1 mm como se muestra en la Figura N°6.

Así mismo, en la Figura N°7, se muestra la precipitación promedio mensual desde 1997 al 2011.

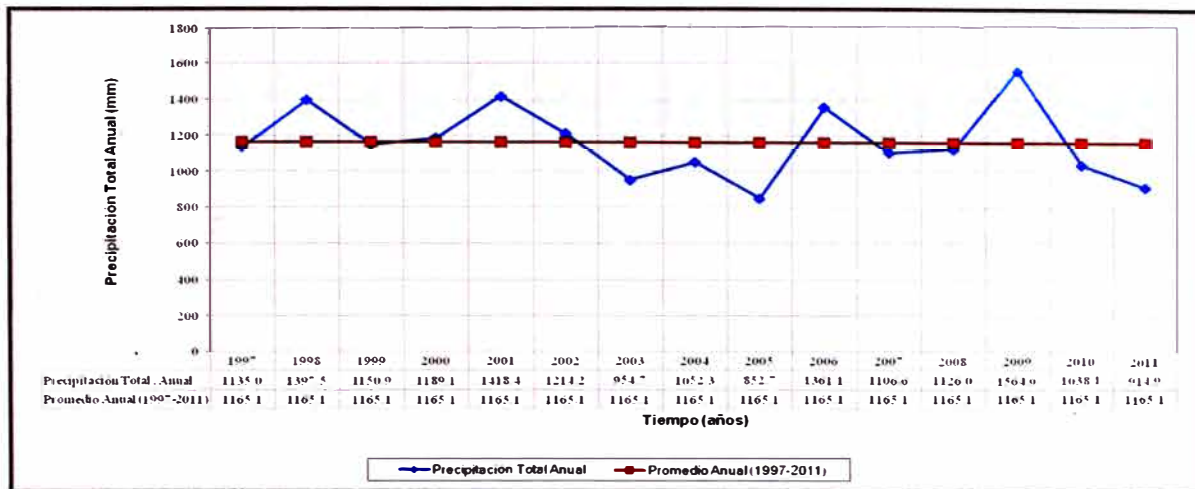


Figura N° 6.- Precipitación total anual de La Operación (1997-2011)

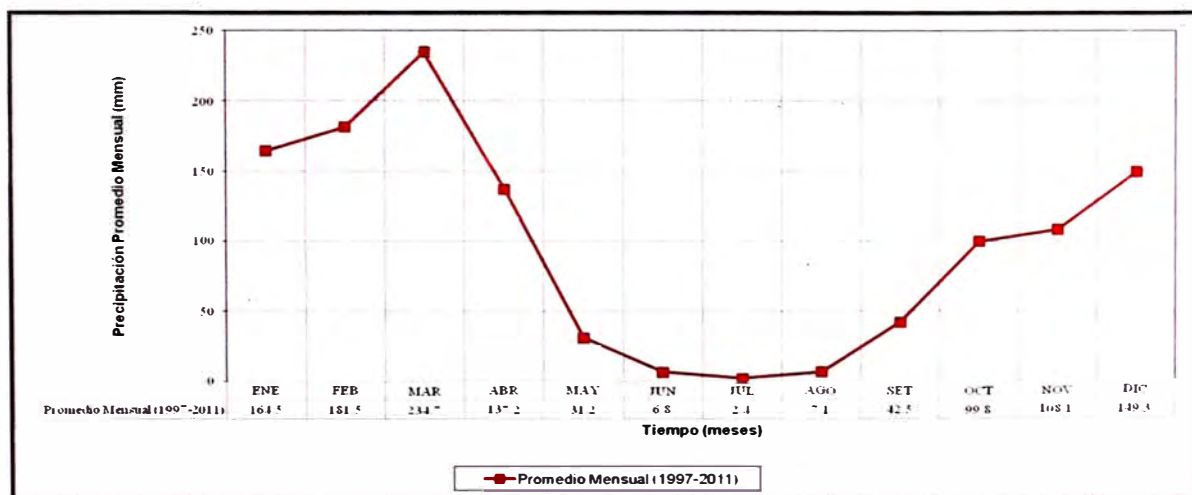


Figura N° 7.- Precipitación promedio mensual de La Operación (1997-2011).

## CAPITULO II: MARCO REFERENCIAL Y TEÓRICO

### 2.1 MARCO REFERENCIAL DEL PROYECTO

#### 2.1.1 Generalidades

##### a) Ubicación

El tajo abierto en estudio está ubicado en el Perú, departamento de Ancash, provincia de Huaraz y distrito de Jangas.

Geográficamente, La Operación está ubicada a 36 km de la ciudad de Huaraz y el acceso es por la carretera que conduce hacia el Callejón de Huaylas hasta el distrito de Jangas y, por una trocha carrozable a partir de Jangas.

La altitud del proyecto en estudio varía desde los 3,760 a 4,160 msnm, en el lado oriental de la Cordillera Negra, a la margen izquierda del Río Santa, y entre las coordenadas UTM 215,400 y 217,000 m al Este y, 8'954,000 y 8'955,800 m al Norte del Datum WGS84, zona 18S. Ver detalle en Plano 01.

##### b) Meteorología

En estudios de KCB (2012), se realiza la clasificación de clima en el área de la operación, y de acuerdo Thomthwaite, corresponde a un clima sub-húmedo seco, con excedentes en los meses de presencia de lluvia (período húmedo: Octubre a Abril) y con gran déficit en invierno (período seco: Mayo a Setiembre).

La variación anual de temperatura está comprendida entre  $-1.2^{\circ}\text{C}$  y  $23.1^{\circ}\text{C}$  (KCB, 2012).

##### c) Topografía

La topografía de La Operación es generalmente de pendiente moderada, con áreas localmente escarpadas y profundas, con valle en forma de V, relieve característico de la Región Puna. Ver detalle en Figura N°8.

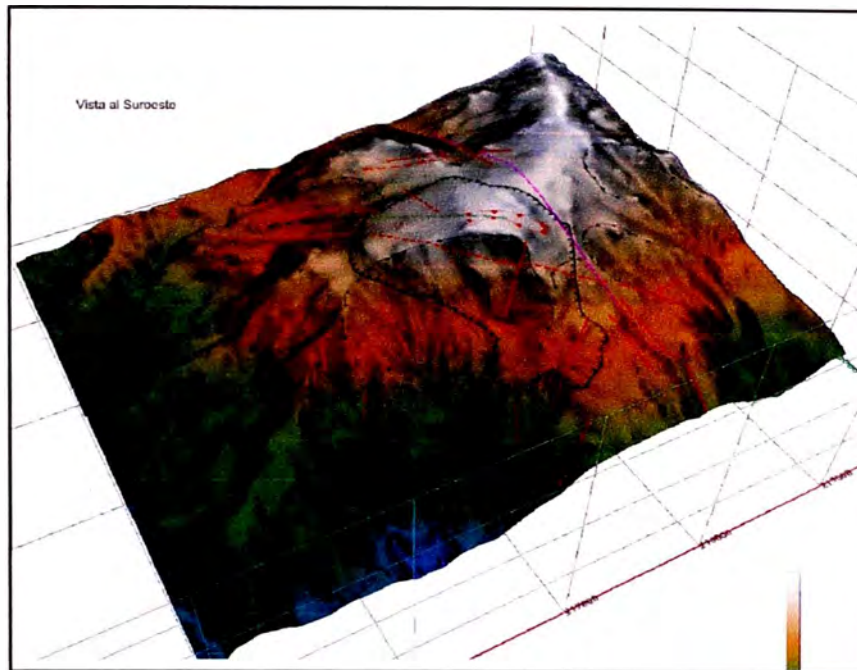


Figura N° 8.- Topografía original del Tajo Abierto (Fuente: ERSI, 2011)

### 2.1.2 Geología General

#### a) Geología Regional

El yacimiento de la mina a tajo abierto en estudio, es un depósito epitermal de alta sulfuración alojado en rocas volcánicas del grupo Calipuy correspondiente a la era Eoceno-Mioceno (ERSI, 2011). El Tajo Abierto presenta tres tipos de rocas predominantes como los piroclastos dacíticos, andesitas y domos de cuarzo-feldespato-porfirítico.

ERSI (2011) explica que la litología debajo del cuerpo mineralizado se encuentran lavas andesíticas porfíricas. Estas lavas son generalmente de grano fino con fenocristales euhedrales de feldespatos, biotitas, fonocristales de hornblendas, y ocasionalmente ojos de cuarzo están presentes. El mineral está alojado en una secuencia de unidades de flujos piroclásticos. La principal roca huésped es la toba pumicea con contenido de fragmentos de pómez aplanadas variadas superiores a los 5 cm de longitud, pequeños fenocristales de feldespatos, y ojos de cuarzo en una matriz de grano muy fina a vítrea.

Debajo de los tufo líticos se encuentran los tufo de pómez. Estos contienen pequeños a grandes fragmentos líticos así como también los fragmentos de pómez en una matriz fina vítrea. En la parte superior (y

posiblemente intruyendo) a los piroclásticos se tienen a la secuencia de flujos porfíricos dacíticos. Ver detalle en Figura N°9.

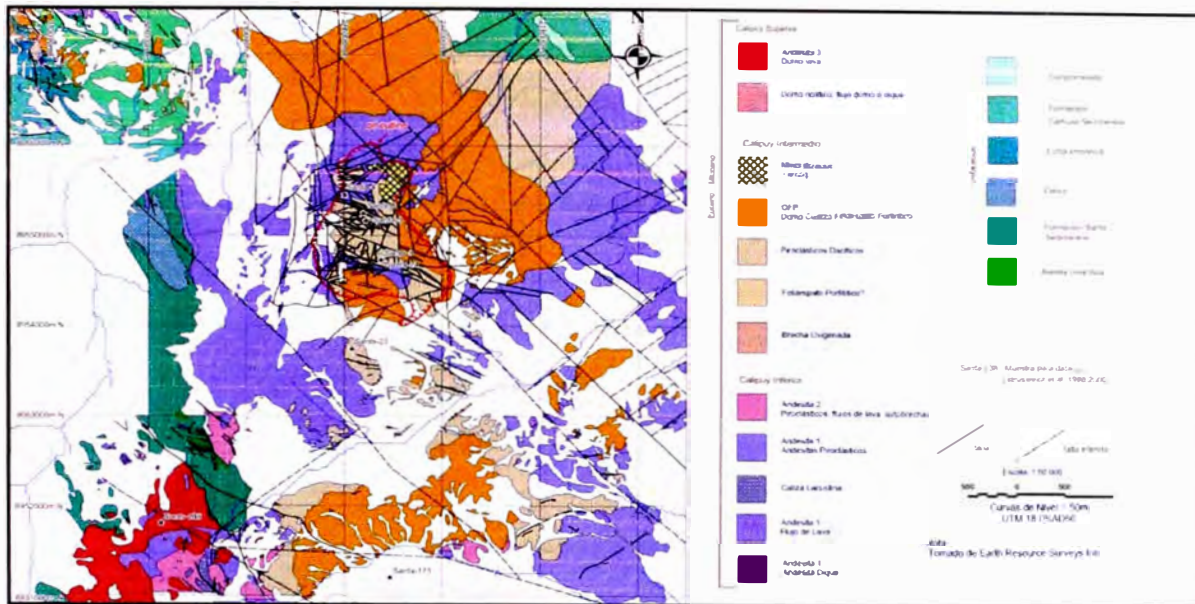


Figura N° 9.- Esquema de la geología regional (Fuente: ERSI, 2011)

## 2.2 MARCO TEÓRICO

### 2.2.1 Terminología en Taludes Mineros tipo Tajo bierto

La Figura N°10 muestra el sistema de etiquetas para definir la geometría aplicada a la minería a tajo abierto y se tiene como las principales:

- Ángulo Global u OA (del inglés *Overall Angle*), ángulo medido desde el piso o fondo de la pared hasta la cresta superior de la pared.
- Ángulo Inter-rampa o IRA (del inglés *Inter-Ramp Angle*), ángulo medido entre pies de banco de un talud separado por rampas.
- Ángulo de la Cara del Talud o BFA (del inglés *Bench-Face Angle*)
- Rampa, acceso de tránsito para equipo liviano o pesado
- Banco, superficie horizontal del perfil típico del sistema de taludes de un tajo.
- Cresta de Banco, límite o borde exterior del banco.
- Pie de Banco, límite o borde interior del banco.
- Piso, fondo de la pared o tajo.
- Cresta, borde superior de la pared.
- Nivel, usado para referirse a "metros sobre el nivel del mar" (e.g.; 3970 msnm o nivel 3970).

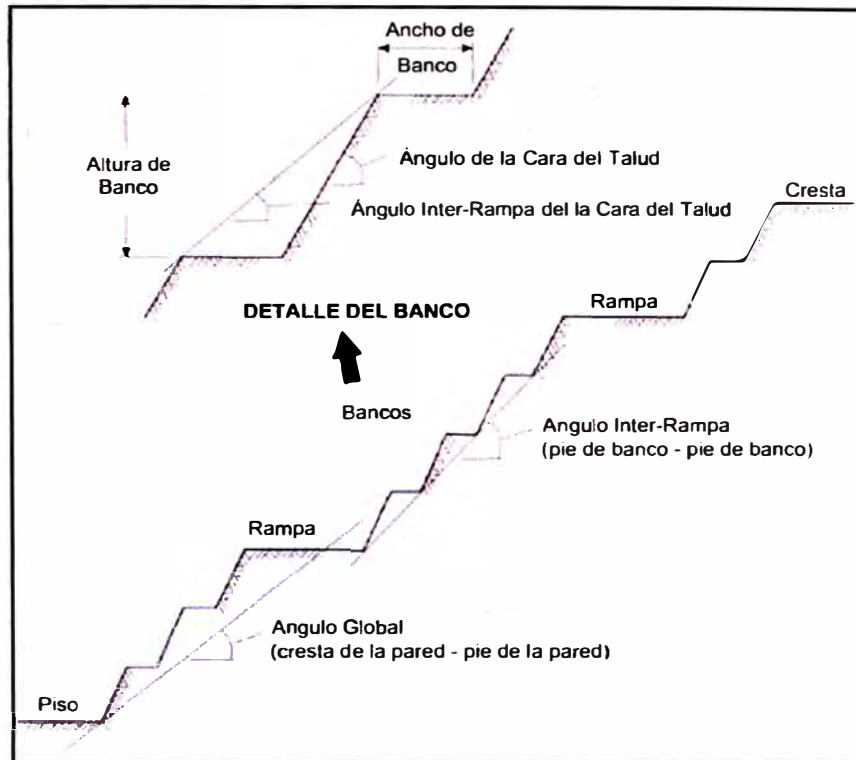


Figura N° 10.- Terminologías en taludes mineros tipo tajo abierto (Fuente: Stacey y Read, 2009)

### 2.2.2 Drenes Horizontales

Pozo de perforación sub-horizontal que tiene un ángulo de inclinación que varía de +5 a +10 grados sexagesimales, y usualmente es perforado con una broca de diámetro HQ, con la finalidad de despresurizar los taludes de un tajo abierto.

### 2.2.3 Instrumentos de Monitoreo

#### a) Prisma

Se refiere al monumento o hito topográfico que tiene un instalado un prisma reflectivo con la finalidad de medir la variación de su posición geográfica y evaluarla con respecto al tiempo.

#### b) Extensómetro de Torre

Estructura de metal posicionada cuando ya se agrietó el terreno. Está compuesta por una torre que tiene una polea en la parte superior, un peso tensor (en el lado de torre), un cable de acero, una barra pin y una cinta métrica. La torre se posicionada en la zona estable, detrás de la grieta, la barra pin es anclada en la zona inestable que estará unida al

peso tensor por el cable de acero que pasará por la polea, una cinta métrica ubicada en el eje de la torre se usa para cuantificar el avance de la deformación cuando el peso tensor va subiendo por el avance del agrietamiento. Ver esquema en Figura N°11.

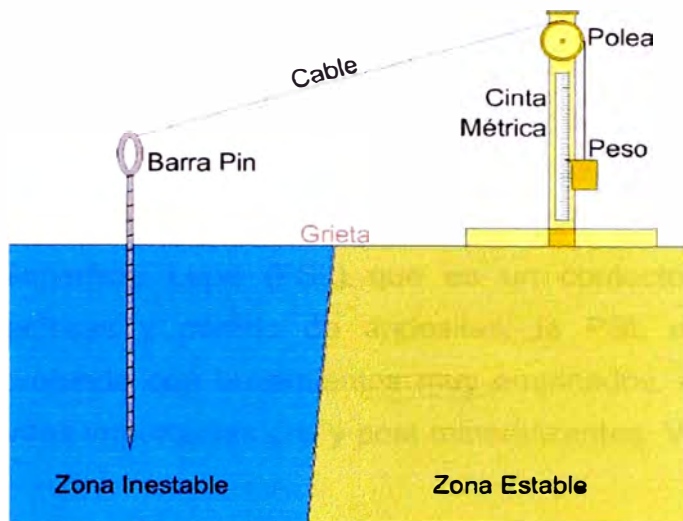


Figura N° 11.- Esquema de extensómetros

c) Piezómetro

Pozo de perforación, usualmente vertical, que interiormente tiene instaladas tuberías de PVC (ranuradas y no-ranuradas), que permiten el ingreso del agua subterránea. Este pozo perforado, se usa para medir el nivel freático con una sonda electrónica sensible a la humedad. Ver esquema en Figura N°12.

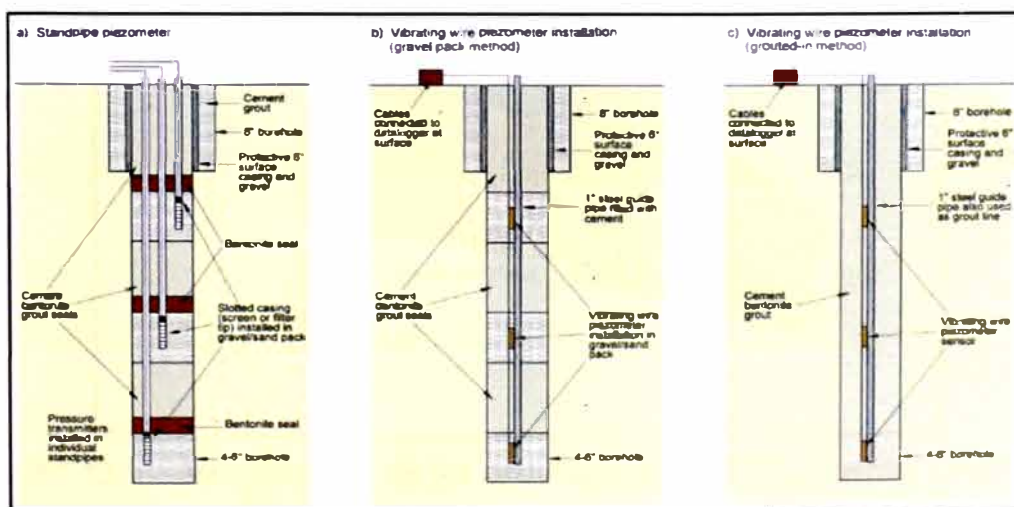


Figura N° 12.- Esquema de piezómetros usados en taludes mineros (Fuente: Stacey y Read, 2009)

#### 2.2.4 Paleo-Superficie Lupe

Una paleo-superficie es simplemente una superficie antigua, se consideran superficies erosionadas y asociadas a depósitos degradados, y se forman como resultado de una interacción de procesos tectónicos y condiciones climáticas, donde la paleo-superficie llega a ser un bloque fallado o inclinado por subsecuentes eventos tectónicos y luego enterrados por depósitos jóvenes donde se puede esperar una disconformidad o una inconformidad. La clave para su reconocimiento es que las paleo-superficies son de escala regional.

Geólogos del Tajo Abierto, refieren a la paleo-superficie encontrada en el Tajo como la Paleo-Superficie Lupe (PSL) que es un contacto entre las tobas andesíticas o dacíticas y pórfido de andesitas, la PSL es una superficie ondulada, poco profunda con buzamientos muy empinados, el cual ha sido el lugar de movimientos importantes pre y post mineralizantes. Ver esquema en la Figura N°13.

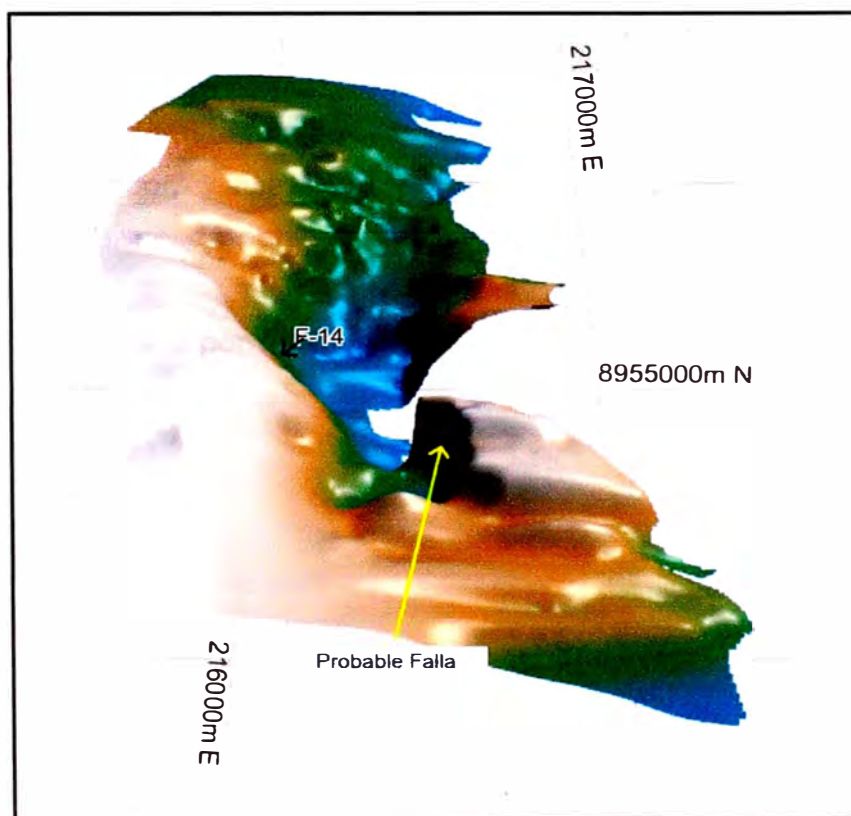


Figura N° 13.- Visualización de las ondulaciones de PSL (Fuente: ERSI, 2011)



## CAPITULO III: INVESTIGACIONES GEOTÉCNICAS

### 3.1 GENERALIDADES

A fines de Diciembre de 2012, en el Tajo Abierto se tienen las siguientes características geométricas, topográficas y de nomenclatura que además son mostradas en la Figura N°14:

- Altura de banco simple = 10 metros.
- Altura de banco doble = 20 metros.
- Cota más profunda: 3,760 msnm o nivel 3760.
- Cota más elevada: 4,160 msnm o nivel 4160.
- Largo aproximado: 2,000 metros.
- Ancho aproximado: 1,400 metros.
- Angulo global de la pared oeste = 30°
- Angulo global de la pared sur-oeste = 28°
- Angulo global de la pared sur-este = 30°
- Rampa Callejón, usada ahora sólo por equipo liviano para ir hacia chancadora de sur a norte.
- Rampa Chancadora, usada por equipo liviano y pesado para ir del centro tajo hacia la chancadora y viceversa.
- Rampa Nueva, usada por equipo liviano y pesado para ingresar y salir del Tajo Abierto
- Rampa InPit, usada por equipo liviano y pesado para ingresar y salir hacia el Botadero InPit.

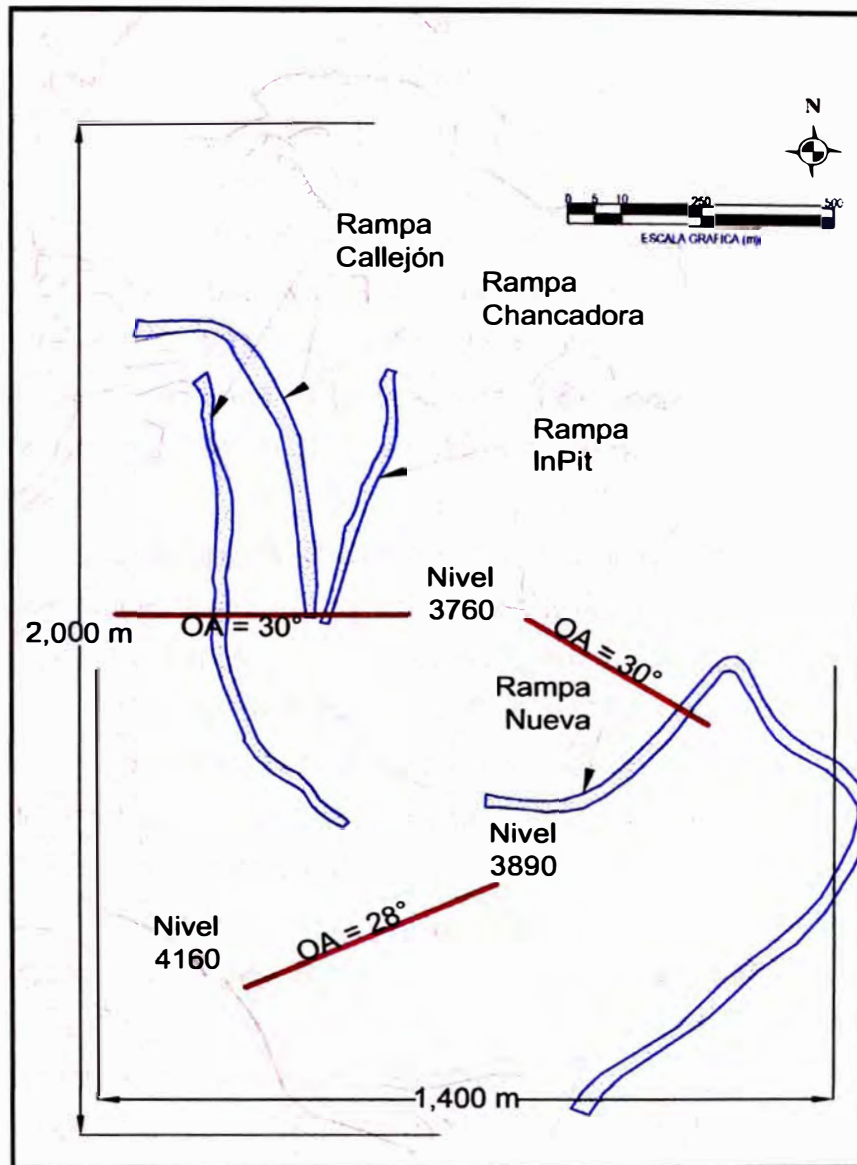


Figura N° 14.- Características del Tajo Abierto

Para el Tajo Abierto se analizan siete zonas geotécnicas que han sido definidas por: (a) el grado de inestabilidad visual como agrietamientos, paredes de material rocoso deleznable y con ojos de agua (después de realizadas inspecciones de campo), (b) por la interpretación y la velocidad de deformación de los prismas instalados y (c) por tener antecedentes de inestabilidad en años anteriores.

El Plano 02 muestra la ubicación de las zonas geotécnicas del Tajo Abierto y se detalla que:

- La zona geotécnica 1 está ubicada en la pared noroeste del tajo abierto, entre los niveles 3910 y 3975; se originó en el tercer trimestre del año 2007 y, que a fines del 2009 y debido a mayores agrietamientos de terreno, se

realizó una remediación que consistió en hacer un repliegue de aproximadamente 10 metros para remover el material de colapsado. Actualmente la zona tiene un IRA de  $30^\circ$ , una altura de 65 metros y comprende un área de  $15,150 \text{ m}^2$ .

- La zona geotécnica 2 está ubicada en la pared oeste del tajo abierto, entre los niveles 3990 y 4060; se originó en el primer trimestre del año 2009 y en el primer trimestre del 2011, se realizó un repliegue aproximado de 12 metros del sector norte con fines de la estabilidad física de los taludes. Actualmente esta zona tiene un IRA de  $32^\circ$ , una altura de 70 metros y comprende un área de  $56,700 \text{ m}^2$ .
- La zona geotécnica 3 está ubicada en la pared oeste del tajo abierto y debajo de la zona geotécnica 2, entre los niveles 3890 y 3980; se originó a inicios del año 2009 y debido a su gran deformación inicial, durante el primer trimestre del 2009 se realizó un repliegue de 8 metros para remover el material inestable. Actualmente esta zona tiene un IRA de  $35^\circ$ , una altura de 90 metros y comprende un área de  $13,500 \text{ m}^2$ .
- La zona geotécnica 4 está ubicada en la pared oeste, en el espacio que hay entre las zonas geotécnicas 1, 2 y 3; se originó durante el tercer trimestre del 2009 y debido a su rápida deformación se tuvo que realizar un repliegue de 7 metros para remover el material inestable. Actualmente la zona tiene un IRA de  $32^\circ$  y comprende un área de  $27,150 \text{ m}^2$ .
- La zona geotécnica 5 está ubicada hacia el este de la zona geotécnica 2 y adyacente por la parte sur de la zona geotécnica 3, entre los niveles 3890 y 3995, y se originó a finales del 2009 con un movimiento inusual en las paredes aunque la deformación de esta zona siempre se ha mantenido dentro del margen operativo (velocidades menores a  $10 \text{ mm/día}$ ) y hasta la fecha no se ha realizado algún trabajo de remoción de material para estabilizarlo. Actualmente tiene un IRA de  $37^\circ$ , una altura de 105 metros y comprende un área de  $40,600 \text{ m}^2$ .
- La zona geotécnica 6 está ubicada en la parte central del tajo abierto y hacia el este de las zonas geotécnicas 3 y 5, entre los niveles 3810 y 3880; se originó a inicios del año 2010 y por su gran deformación inicial se realizó un repliegue de 9 metros para remover el material inestable. Actualmente tiene un IRA de  $35^\circ$ , una altura de 70 metros y comprende un área de  $14,500 \text{ m}^2$ .

- La zona geotécnica 7 está ubicada en la parte sur del tajo abierto y se originó durante el tercer trimestre del año 2010. A inicios del año 2012 y debido a la gran deformación visible, se realizó un repliegue de 6 metros para estabilizar la zona. Actualmente esta zona tiene un IRA de 30°, una altura de 120 metros y comprende un área de 35,400 m<sup>2</sup>. También es de resaltar que esta zona geotécnica está al este del botadero principal y los separa una distancia aproximada de 5 a 10 metros.

Ver detalle en Cuadro N° 1.

Cuadro N° 1.- Descripción de las zonas geotécnicas del Tajo Abierto

Nombre	Periodo de Ocurrencia <sup>1</sup>	Dimensiones de Inestabilidad Actual <sup>2</sup>	Altura de Inestabilidad Actual <sup>3</sup>	Area (m <sup>2</sup> )	IRA <sup>4</sup> (°)	Antecedentes de Remediación
Zona Geotécnica 1	3T-2007	Ancho = 120 m Largo = 130 m	CI = 3910 CS = 3975 H = 65 m	15.150	30	A fines de 2009 e inicios del 2010, se realizó un repliegue para en la geometría de los taludes.
Zona Geotécnica 2	1T-2009	Ancho = 130 m Largo = 465 m	CI = 3990 CS = 4060 H = 70 m	56.700	32	En el primer trimestre del 2011 y en la parte más al norte de la zona, se realizó un repliegue en la geometría de los taludes
Zona Geotécnica 3	1T-2009	Ancho = 130 m Largo = 105 m	CI = 3890 CS = 3980 H = 90 m	13.500	35	En el primer trimestre del 2009, se realizó un repliegue en la geometría de los taludes.
Zona Geotécnica 4	3T-2009	Sector Norte Ancho = 95 m Largo = 100 m  Sector Sur Ancho = 245 m Largo = 65 m	Sector Norte CI = 3975 CS = 4035 H = 60 m  Sector Sur CI = 3900 CS = 4035 H = 135 m	27.150	ARC = 30 BRC = 34  Promedio = 32	A fines de 2009 e inicios del 2010, se realizó un repliegue para en la geometría de los taludes.
Zona Geotécnica 5	4T-2009	Ancho = 150 m Largo = 275 m	CI = 3890 CS = 3995 H = 105 m	40.600	37	N/A
Zona Geotécnica 6	1T-2010	Ancho = 100 m Largo = 180 m	CI = 3810 CS = 3880 H = 70 m	20.300	35	En el primer trimestre del 2010, se realizó un repliegue en la geometría de los taludes.
Zona Geotécnica 7	3T-2010	Ancho = 225 m Largo = 160 m	CI = 4030 CS = 4150 H = 120 m	35.400	30	En el primer trimestre del 2012, se realizó un repliegue en la geometría de los taludes.

**Notas:**

- 1T = Primer Trimestre, 3T = Tercer Trimestre, 4T = Cuarto Trimestre
- 2 Ancho está medio en la dirección horizontal u Este-Oeste y el Largo está medio en dirección vertical Norte-Sur
- 3 CI = Cota Inferior en m.s.n.m.; CS = Cota Superior en m.s.n.m.; H = Altura
- 4 ARC = Arriba de Rampa Callejón, DRC = Debajo de Rampa Callejón

Es de resaltar que las zonas geotécnicas 2, 3, 4 y 5 se originaron durante el año 2009.

Las siete zonas geotécnicas descritas serán analizadas por cinco secciones geotécnicas que han sido trazadas tratando de reflejar el mayor ángulo global o inter-rampa de la pared del tajo en estudio y que a continuación se detalla que:

- La sección A, ubicada al norte del tajo abierto y su trazado pasa el eje central de la zona geotécnica 1 y el sector norte de la zona geotécnica 4. El análisis de estabilidad contemplará el talud hasta la cota de piso que tiene un ángulo de global de  $25^\circ$ .
- La sección B, ubicada en la parte central del tajo abierto y su trazado pasa por el sector norte de la zona geotécnica 2, el eje central de la zona geotécnica 3 y el sector norte de la zona geotécnica 6. El análisis de estabilidad contemplará el talud hasta la cota de piso que tiene un ángulo global de  $28^\circ$ .
- La sección C, ubicada en la parte central del tajo abierto y su trazado pasa por el eje central de la zona geotécnica 2, el sector norte de la zona geotécnica 5 y el sector sur de la zona geotécnica 6. El análisis de estabilidad contemplará el talud hasta la cota de piso que tiene un ángulo global de  $30^\circ$ .
- La sección D, ubicada en la parte central del tajo abierto y su trazado pasa por el sector sur de la zona geotécnica 2 y el sector sur de la zona geotécnica 5. El análisis de estabilidad contemplará el talud hasta la cota de piso que tiene un ángulo global de  $31^\circ$ .
- La sección E, ubicada en la parte suroeste del tajo abierto y su trazado pasa por el sector central de la zona geotécnica 7. El análisis de estabilidad contemplará el talud hasta el nivel 4030 que tiene un ángulo inter-rampa de  $30^\circ$ .

Por lo descrito anteriormente, las secciones geotécnicas elegidas contemplan toda o gran parte de la geometría de las zonas geotécnicas en análisis; la ubicación de las secciones se muestra en el Plano 03.

## 3.2 MEDICIÓN DE PLUVIÓMETROS, PIEZÓMETROS, EXTENSÓMETROS Y PRISMAS

### 3.2.1 Pluviómetros

Cuatro estaciones miden la precipitación alrededor del Tajo Abierto y es de resaltar que estos pluviómetros son de monitoreo permanente y por ello, no hay pluviómetro dentro del tajo abierto y por lo tanto, las siete zonas geotécnicas en estudio no tienen medición directa de precipitación.

La precipitación histórica el Tajo Abierto ocurrió en el año 2009 (KCB, 2012), y en ese año se originaron las zonas geotécnicas 2, 3, 4 y 5.

De los cuatro pluviómetros alrededor del tajo abierto, la precipitación total anual acumulada desde Enero hasta Diciembre de 2012 es 1,174.20 mm que es mayor al promedio de la precipitación total anual de 1,165.1 mm (KCB, 2012).

### 3.2.2 Piezómetros

En los piezómetros instalados en el Tajo Abierto, se realizaron las mediciones durante Setiembre de 2012, (antes de iniciar la campaña de construcción de drenes horizontales), la ubicación de los piezómetros se muestra en el Plano 04. Del Plano 04, se observa que para fin de Diciembre de 2012, las zonas geotécnicas 2 y 5 son monitoreadas por un piezómetro que no representan toda su magnitud, para el resto de zonas geotécnicas, y también las para zonas geotécnicas 2 y 5, hay piezómetros cercanos alrededor de los 50 y 100 metros de influencia excepto por la zona geotécnica 3 que se encuentra piezómetros a partir de los 150 metros de influencia.

### 3.2.3 Extensómetros y Prismas

Durante el cuarto trimestre del 2012, se han monitoreado 130 prismas para todo el Tajo Abierto y de los cuales, 37 prismas están dentro y repartidos en las siete zonas geotécnicas.

Previo al análisis e interpretación de los prismas, las velocidades son calculadas para periodos móviles de siete días, en base a las recomendaciones de Rose y Hungr (2006), además para el Tajo Abierto se tiene el siguiente rango de velocidades para la interpretación:

- **NM = No se Mueve**, el prisma no tiene dirección de movimiento definido aunque el prisma puede mostrar velocidades debido al error de medición.

- VCML = Velocidad Constante Muy Lenta ( $< 1$  mm/día).
- VCMLLO = Velocidad Constante Muy Lenta en Observación ( $< 1$  mm/día), prisma que ha tenido periodos de aceleración y ahora su velocidad es menor a 1 mm/día.
- VC = Velocidad Constante ( $\geq 1$  mm/día).
- DC = Desaceleración, prisma que ha tenido un período de aceleración y luego su velocidad se reduce. Se deberá considerar en esta categoría por lo menos dos meses antes que pase a VC, VCMLLO o VCML.
- AC = Aceleración ( $\geq 1$  mm/día), se caracteriza por tener velocidades con tendencia exponencial.

La interpretación de los prismas para las zonas geotécnicas estudio fueron las siguientes:

- Zona geotécnica 1, contiene tres prismas, todos presentan VCML.
- Zona geotécnica 2, contiene nueve prismas, tres de ellos no presentan movimiento (NM), cinco muestran un movimiento muy lento (VCML) y sólo uno (T569) presenta movimiento muy lento pero en observación (VCMLLO).
- Zona geotécnica 3, sólo contiene un prisma que muestra una velocidad con tendencia a la desaceleración (DC).
- Zona geotécnica 4, contiene siete prismas, un prisma no presenta movimiento (NM), cinco muestran un movimiento muy lento (VCML) y el prisma T570 muestra una velocidad con tendencia a la aceleración (AC).
- Zona geotécnica 5, contiene ocho prismas, un prisma no presenta movimiento (NM), cinco prismas presentan velocidades muy lentas (VCML) y los restantes (T342 y T506) tienen una velocidad menor 1 mm/día pero con tendencia a cambiar a aceleración o desaceleración (AC ó DC) por lo que se consideran que están en observación (VCMLLO).
- Zona geotécnica 6, contiene cuatro prismas. Un prisma (T588) presenta una VCML, resto de prismas muestran velocidades con tendencia a la aceleración (AC).
- Zona geotécnica 7, contiene cinco prismas y un extensómetro, todas muestras velocidades mayores a 40 mm/día a excepción del T607 que tiene una velocidad de 5 mm/día aunque todos los prismas muestran una tendencia a la desaceleración (DC), la información que prevalece es la del

extensómetro porque es la más actual a fin de año y tiene una tendencia a la aceleración AC.

Para los prismas que tengan las características de VCMLLO, DC o AC, además del monitoreo programado, siempre se recomienda un seguimiento más exhaustivo como visitas de campo para determinar la magnitud y/o conexión con otras inestabilidades.

En la Cuadro N°2, se detallan las interpretaciones de los 37 prismas y el único extensómetro ubicados en las zonas geotécnicas.

El Plano 05 muestra la ubicación de los prismas y el extensómetro del Tajo Abierto.



Cuadro N° 2.- Interpretación de prismas en Zonas Geotécnicas

Nombre	Cantidad de Prismas y/o Extensómetros	Nombre de Prisma o Extensómetro	Velocidad (mm/día)	Dirección de Movimiento Definido (Si/No)	Interpretación de Prisma <sup>1</sup>	Comentario acerca de Interpretación
Zona Geotécnica 1	3 Prismas	T435	0.25 - 0.50	Si	VCML	N/A
		T482	0.25 - 0.50	Si	VCML	N/A
		T509	0.25 - 0.50	Si	VCML	N/A
Zona Geotécnica 2	9 Prismas	T022	0.25 - 0.50	No	NM	N/A
		T023	0.25 - 0.50	No	NM	N/A
		T107	0.25 - 0.50	No	NM	N/A
		T540	0.25 - 0.50	Si	VCML	N/A
		T541	0.25 - 0.50	Si	VCML	N/A
		T565	0.25 - 0.50	Si	VCML	N/A
		T566	0.25 - 0.50	Si	VCML	N/A
		T568	0.25 - 0.50	Si	VCML	N/A
		T569	0.25 - 0.50	Si	VCML	Seguimiento
Zona Geotécnica 3	1 Prisma	T508	0.50 - 2.50	Si	DC	Seguimiento
Zona Geotécnica 4	7 Prismas	T169	0.25 - 0.50	Si	VCML	N/A
		T361	0.25 - 0.50	No	NM	N/A
		T366	0.25 - 1.00	Si	VCML	N/A
		T367	0.25 - 1.00	Si	VCML	N/A
		T416	0.25 - 1.00	Si	VCML	N/A
		T456	0.25 - 0.50	Si	VCML	N/A
		T570	1.00 - 1.50	Si	AC	Seguimiento
Zona Geotécnica 5	8 Prismas	T165	0.25 - 0.75	Si	VCML	N/A
		T312	0.25 - 0.50	Si	VCML	N/A
		T342	0.25 - 1.00	Si	VCML AC	Seguimiento
		T393	0.25 - 0.50	Si	VCML	N/A
		T410	0.25 - 0.50	Si	VCML	N/A
		T506	0.25 - 1.00	Si	VCML DC	Seguimiento
		T507	0.25 - 0.50	Si	VCML	N/A
T584	0.25 - 0.50	No	NM	N/A		
Zona Geotécnica 6	4 Prismas	T412	0.25 - 2.00	Si	AC	Seguimiento
		T471	0.25 - 2.50	Si	AC	Seguimiento
		T560	0.25 - 3.00	Si	AC	Seguimiento
		T588	0.25 - 0.50	Si	VCML	N/A
Zona Geotécnica 7	1 Extensómetro	EXT-01	10.00 - 50.00	Si	AC	Seguimiento
	5 Prismas	T604	30.00 - 45.00	Si	AC	Seguimiento
		T605	10.00 - 35.00	Si	AC	Seguimiento
		T606	10.00 - 40.00	Si	AC	Seguimiento
		T607	2.00 - 5.00	Si	AC	Seguimiento
		T608	10.00 - 45.00	Si	AC	Seguimiento

**Notas:**

1. NM = No se Mueve, el prisma no tiene dirección de movimiento definido aunque puede mostrar velocidades debido al error de medición.  
 VCML = Velocidad Constante Muy Lenta (< 1mm/día).  
 VCML O = Velocidad Constante Muy Lenta en Observación (< 1mm/día), el prisma ha tenido periodos de aceleración y ahora su velocidad es menor a 1 mm/día.  
 VC = Velocidad Constante (>= 1 mm/día).  
 DC = Desaceleración, el prisma ha tenido un periodo de aceleración y luego su velocidad se reduce. Se deberá considerar en esta categoría por lo menos dos meses antes que pase a VC, VCML O o VCML.  
 AC = Aceleración (>= 1 mm/día), se caracteriza por tener velocidades con tendencia exponencial.

### 3.3 MAPEO GEOLÓGICO DE ALTERACIONES

De acuerdo al mapeo geológico de alteraciones se definen siete tipos de alteraciones:

- Sílice-oqueroso
- Cuarzo-alunita
- Sílice-arcilla
- Alunita-arcilla
- Argílico con óxidos
- Argílico con sulfuros
- Propilítico

Las zonas geotécnicas en estudio tienen las siguientes características geológicas con respecto a la alteración:

- Zona geotécnica 1, tiene como alteraciones predominantes al argílico con sulfuros (70%) y la sílice-arcilla (25%).
- Zona geotécnica 2, tiene como alteraciones predominantes al propilítico (55%), al argílico con sulfuros (27%) y a la sílice-arcilla (10%).
- Zona geotécnica 3, tiene como alteraciones predominantes al argílico con sulfuros (57%) y a la sílice-arcilla (42%).
- Zona geotécnica 4, tiene como alteraciones predominantes al argílico con sulfuros (55%), al propilítico (18%), a la sílice-arcilla (17%) y al argílico con óxidos (10%).
- Zona geotécnica 5, tiene como alteraciones predominantes al argílico con sulfuros (52%), al propilítico (22%) y a la sílice-arcilla (11%).
- Zona geotécnica 6, tiene como alteraciones predominantes al argílico con sulfuros (37%), a la cuarzo-alunita (23%), al propilítico (22%) y a la sílice-arcilla (18%).
- Zona geotécnica 7, tiene como alteraciones predominantes a la sílice-arcilla (60%) y al argílico con sulfuros (37%).

De la descripción anterior podemos resaltar que en todas las zonas geotécnicas está presente la alteración argílico con sulfuros en un mínimo de 27%, seguido de la sílice-arcilla con un mínimo de 10%, además cada zona geotécnica tiene al conjunto argílico (con sulfuros o con óxidos), sílice-arcilla y alunita-arcilla formando desde un 40% hasta un 97% de la totalidad de la roca alterada, estos

tipos de alteraciones le da a la roca un comportamiento similar a una arcilla. En el Cuadro N°3 se detallan las alteraciones contenidas en cada zona geotécnica y en el Plano 06 se muestra la zonificación de las alteraciones mapeadas.

Cabe resaltar que el comportamiento geomecánico del macizo rocoso del Tajo Abierto está gobernado más por el tipo de alteración en vez que por el tipo de roca (Piteau, 1998 y 2006), razón por la cual, se han definido dos unidades geotécnicas en base a la alteración: AR (Argílico) y QA (Cuarzo Alunita).

Cuadro N° 3.- Alteraciones geológicas predominantes en Zonas Geotécnicas

Zona Geotécnica	Trimestre	Dimensiones		Volumen	Índice de Alteraciones <sup>5</sup>	Tipo de Alteraciones
		Ancho	Altura			
Zona Geotécnica 1	3T-2007	Ancho = 120 m Largo = 130 m	CI = 3910 CS = 3975 H = 65 m	15.150	30	AR con Sulfuros en un 70% Silice-Arcilla en un 27% Propilítico menos de 2% QA menos de 1%
Zona Geotécnica 2	1T-2009	Ancho = 130 m Largo = 465 m	CI = 3990 CS = 4060 H = 70 m	56.700	32	Propilítico en un 55% AR con Sulfuros en un 27% Silice-Arcilla en un 10% AR con Óxidos menos de 5% QA menos de 2% Alunita-Arcilla menos de 1%
Zona Geotécnica 3	1T-2009	Ancho = 130 m Largo = 105 m	CI = 3890 CS = 3980 H = 90 m	13.500	35	AR con Sulfuros en un 57% Silice-Arcilla en un 42% Propilítico menos de 1%
Zona Geotécnica 4	3T-2009	Sector Norte Ancho = 95 m Largo = 100 m  Sector Sur Ancho = 245 m Largo = 65 m	Sector Norte CI = 3975 CS = 4035 H = 60 m  Sector Sur CI = 3900 CS = 4035 H = 135 m	27.150	ARC = 30 BRC = 34  Promedio = 32	AR con Sulfuros en un 55% Propilítico en un 18% Silice-Arcilla en un 17% AR con Óxidos en un 10%
Zona Geotécnica 5	4T-2009	Ancho = 150 m Largo = 275 m	CI = 3890 CS = 3995 H = 105 m	40.600	37	AR con Sulfuros en un 52% Propilítico en un 22% Silice-Arcilla en un 11% QA menos de 8% AR con Óxidos menos de 5% Alunita-Arcilla menos de 2%
Zona Geotécnica 6	1T-2010	Ancho = 100 m Largo = 180 m	CI = 3810 CS = 3880 H = 70 m	20.300	34	AR con Sulfuros en un 37% QA en un 23% Propilíticos en un 22% Silice-Arcilla en un 18%
Zona Geotécnica 7	3T-2010	Ancho = 225 m Largo = 160 m	CI = 4030 CS = 4150 H = 120 m	35.400	30	Silice-Arcilla en un 60% AR con Sulfuros en un 37% AR con Óxidos menos de 3%

**Notas:**

1. 1T = Primer Trimestre, 3T = Tercer Trimestre, 4T = Cuarto Trimestre
2. Ancho está medio en la dirección horizontal u Este-Oeste y el Largo está medio en dirección vertical Norte-Sur
3. CI = Cota Inferior en m. s. n. m.; CS = Cota Superior en m. s. n. m.; H = Altura
4. ARC = Arriba de Rampa Callejón; DRC = Debajo de Rampa Callejón
5. AR = Argílico; QA = Cuarzo-Alunita

### 3.4 MAPEO GEOLÓGICO ESTRUCTURAL

En el año 2010, se realiza una actualización del mapeo geológico-estructural del Tajo Abierto y se identifica cuatro tipos de familias de fallas: a) SE-NO, b) SO-NE, c) S-N y d) O-E, como se muestra en el Plano 07.

Además, la PSL validada por ERSI (2011) es una superficie ondulada que por motivos de minado podría aproximarse a la superficie y generar inestabilidades.

Desde el 2010 a Fin de Diciembre de 2012, la topografía del tajo ha cambiado mayormente en la pared sur, sur-oeste y sur-este; el modelo en geológico estructural en 3D y también el de la PSL (ERSI, 2011) permite obtener la nueva ubicación de las trazas de estructuras geológicas para la última topografía.

Las estructuras que se encuentran dentro de las zonas geotécnicas se detallan en el Cuadro N°4 y se muestran en el Plano 08.

De las estructuras geológicas principales que cruzan cada zona geotécnica, se reconoce que el cruce de ellas podría generar probables inestabilidades, aunque la finalidad del presente reporte no es realizar un análisis cinemático de cuñas o sistema de cuñas que formen un bloque. A continuación se mencionan las posibles cuñas en las zonas geotécnicas:

- Zona geotécnica 1 es cruzada por cuatro fallas, y según la orientación y buzamiento de las fallas en conjunto con la topografía no se forman cuñas.
- Zona geotécnica 2 es cruzado por quince fallas, formando seis cuñas y éstas se forman por el cruce de estructuras con ángulos de inclinación mayores a  $65^\circ$  e inclusive hasta de  $85^\circ$ , por lo que el cruce de estas estructuras es profunda.
- Zona geotécnica 3 sólo es cruzada por una falla.
- Para las zonas geotécnicas 2, 3 y 4, hay cuatro fallas que estarían formando dos sistemas de bloques, un sistema de bloques formado por estructuras con ángulos de inclinación mayores a  $76^\circ$ , y otro sistema de bloques formado por estructuras con ángulos de inclinación mayores a  $45^\circ$  el cuál se le identificará como Bloque 01 por tener más probabilidades de generar inestabilidades.
- Zona geotécnica 4 es cruzada por cuatro fallas, y según la orientación y buzamiento de las fallas en conjunto con la topografía no se forman cuñas.
- Zona geotécnica 5 es cruzada por doce fallas cruzan además de la PSL, y se forman dos cuñas por el cruce de tres estructuras, una cuña (Cuña 01) formada por estructuras con ángulos de inclinación mayores a  $57^\circ$  y otra

cuña (Cuña 02) formada por dos estructuras con ángulos de inclinación de 55° y 57°.

- Zona geotécnica 6 es cruzada por cuatro fallas además de la PSL, y según la orientación y buzamiento de las estructuras en conjunto con la topografía se forma la cuña 03. Por otro lado, fuera de la zona geotécnica 6 hay cinco fallas que estarían formando dos sistemas de bloques, ambos sistemas formados por tres estructuras con ángulos de inclinación mayores a 60° y que llamaremos bloques 02 y 03.
- Zona geotécnica 7 es cruzada por once fallas además de la PSL que corta por el sector norte para luego ir por detrás de la zona geotécnica, en esta zona se forman dos sistemas de bloques tanto al sector norte como al sector sur de la zona geotécnica y que a profundidad son limitadas por la PSL, el bloque norte contiene cuatro cuñas y el bloque sur contiene dos cuñas y que aunque las estructuras tienen ángulo de inclinación mayores a 60°, el cruce masivo de estructuras estaría generando zonas de debilidad que estarían más afectadas por el cruce con la PSL.

Cuadro N° 4.- Características de estructuras geológicas principales en Zonas Geotécnicas

Nombre	Cantidad de Estructuras Principales	Tendencia de Azimut (°)	Tendencia de Inclinación (°)¹	
Zona Geotécnica 1	4	F-10	20	63 SE
		F-35	180	45 E
		F-36	10	76 SE
		F-39	90	75 S
Zona Geotécnica 2	15	F-BARBARA	180	82 E
		F-06	250	57 NO
		F-07	20	75 NO
		F-08	60	80 NO
		F-09	55	60 SE
		F-10	20	63 SE
		F-15	315	65 NE
		F-16	295	75 SO
		F-35	180	45 E
		F-36	10	76 SE
		F-62	138	82 SO
		F-POTENCIA 1 0-BUZ 68 S	42	68 SE
		F-POTENCIA 1 20 BUZ 86 S	300	86 SO
F-POTENCIA 8 0-BUZ 55 S	340	55 NE		
F-POTENCIA 9 0-BUZ 85 S	70	85 NO		
Zona Geotécnica 3	1	F-POTENCIA 9 0-BUZ 85 S	70	85 NO
Zona Geotécnica 4	4	F-10	20	63 SE
		F-35	180	45 E
		F-36	10	76 SE
		F-38	275	80 SO
Zona Geotécnica 5	13	F-06	250	57 NO
		F-07	20	75 NO
		F-08	60	80 NO
		F-09	55	60 SE
		F-15	315	65 NE
		F-16	295	75 SO
		F-17	315	55 SO
		F-34	85	78 SE
		F-40	65	60 NO
		F-62	138	82 SO
		F-POTENCIA 1 20 BUZ 86 S	300	86 SO
		F-POTENCIA 8 0-BUZ 55 S	340	55 NE
		LPS	(*)	(**)
Zona Geotécnica 6	5	F-32	344	53 NE
		F-40	65	60 NO
		F-41	65	75 SE
		F-POTENCIA 0 50-BUZ 40 S	285	40 SO
		LPS	(*)	(**)
Zona Geotécnica 7	12	F-01	55	62 SE
		F-02	45	68 SE
		F-03	30	55 SE
		F-26	80	75 NO
		F-POTENCIA 2 50 BUZ 72 S	65	72 NO
		F-POTENCIA 2 0 BUZ 70 S	60	70 NO
		F-POTENCIA 3 0 BUZ 80 S	50	80 NO
		F-POTENCIA 4 0 BUZ 75 S	288	75 NE
		F-POTENCIA 4 0 BUZ 80 S	80	80 NO
		F-POTENCIA 7 0-BUZ 68 S	295	68 NE
		F-POTENCIA 8 0-BUZ 60 S	17	60 SE
		LPS	(***)	(**)

**Notas:**

1. E = Este, SE = Sureste, SO = Suroeste, NO = Noroeste, NE = Noreste

(\*) LPS no tiene un azimut definido ya que es una estructura irregular

(\*\*) LPS no tiene una inclinación definida ya que es una estructura muy irregular

(\*\*\*) LPS no es visible en superficie en esa inestabilidad pero lo corta a profundidad

### 3.5 TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA

En los años 2008 y 2010, la empresa Wellfield Services Ltda. (en adelante WS) realiza estudios de geofísica en el Tajo Abierto con la finalidad de identificar y conocer la distribución del contenido de humedad del macizo rocoso y nivel freático local.

La metodología aplicada en 2008 y 2010 fue el método de Tomografía Eléctrica. En el 2008, se realizaron siete líneas geofísica de los cuales se tiene el siguiente resultado:

- Zona geotécnica 1, cuatro líneas geofísicas cruzaron la zona, tres líneas (L1, L2 y L7) registraron tramos con una resistividad de 10 a 20 ohm-m y la línea restante (L3) registró un tramo con una resistividad de 25 a 32 ohm-m.
- Zona geotécnica 2, sólo la línea geofísica L7 cruzó la zona y ésta registró un tramo con una resistividad de 10 a 20 ohm-m.
- Zona geotécnica 3, tres líneas geofísica cruzaron la zona, dos líneas (L1 y L3) registraron tramos con resistividades de 15 a 20 ohm-m y la línea restante (L2) registró tramos muy pequeños con resistividades de 16 a 20 ohm-m.
- Zona geotécnica 4, tres líneas geofísicas cruzaron la zona, dos líneas (L1 y L3) registraron tramos con resistividades de 10 a 20 ohm-m y la línea restante (L2) registro en todo su recorrido una resistividad de mínima de 32 ohm-m.
- Zona geotécnica 5, tres líneas geofísicas cruzaron la zona, dos líneas (L1 y L3) registraron tramos con resistividades de 10 a 20 ohm-m y la línea restante (L2) registró un tramo con resistividad de 16 a 20 ohm-m
- Zona geotécnica 6, dos líneas geofísicas cruzaron la zona y las dos líneas (L4 y L5) registraron tramos de resistividades de 15 a 20 ohm-m.
- Zona geotécnica 7, ni una línea geofísica cruzó la zona.

En el Resumen-01 del Anexo A se presentan los resultados de la tomografía eléctrica del 2008, y en la Figuras N°15 y N°16 se observa la ubicación y la distribución de los sectores con menor resistividad.

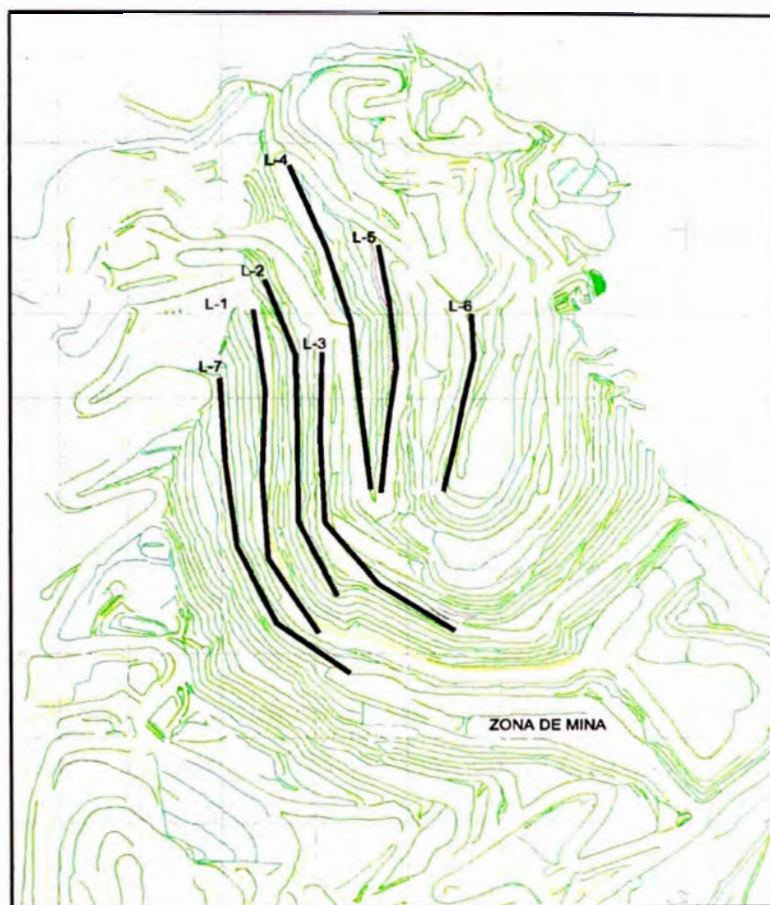


Figura N° 15.- Ubicación de las líneas geofísicas del 2008 (Fuente: WS, 2008)

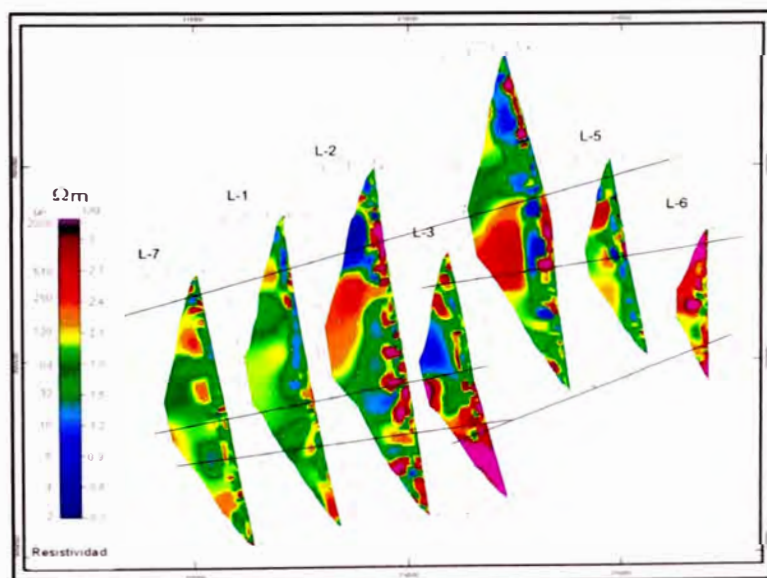


Figura N° 16.- Distribución espacial de los perfiles geofísicos mostrando las zonas con mayor humedad del 2008 (Fuente: WS, 2008)



En el 2010 se realizaron 9 líneas geofísicas, la campaña fue muy similar a la del 2008 a diferencia que también se proyectaron líneas geofísicas en la pared este.

- Zona geotécnica 1, dos líneas geofísicas cruzaron la zona y las dos líneas (L4 y L5) registraron tramos de resistividades de 10 a 25 ohm-m.
- Zona geotécnica 2, ni una línea geofísica cruzó la zona.
- Zona geotécnica 3, dos líneas geofísicas cruzaron la zona, la línea L4 registró un tramo con resistividades de 20 a 35 ohm-m y la línea restante (L5) registró un pequeño tramo con resistividades de 8 a 25 ohm-m y un tramo más largo con resistividades de 18 a 25 ohm-m.
- Zona geotécnica 4, dos líneas geofísicas cruzaron la zona, la línea L4 cruzó un tramo con resistividad de 10 a 25 ohm-m y la línea L5 cruzó tramos que registraron resistividades de 20 a 25 ohm-m.
- Zona geotécnica 5, dos líneas geofísicas cruzaron la inestabilidad, la línea L4 cruzó un pequeño tramo que registró una resistividad de 20 a 35 ohm-m y la línea L5 que registró dos tramos con resistividades de 18 a 25 ohm-m.
- Zona geotécnica 6, sólo la línea geofísica L6 cruzó la zona, esta línea registró un tramo amplio con resistividades de 18 a 25 ohm-m pero a una profundidad de 100 metros.
- Zona geotécnica 7, sólo la línea geofísica L1 cruzó la zona, esta línea registró a lo largo de su recorrido una resistividad mínima de 50 ohm-m.

En el Resumen-02 del Anexo A se presentan los resultados de la tomografía eléctrica del 2010, y en la Figura N°17 se observa la ubicación de las líneas geofísicas y los resultados sectores con menor resistividad.

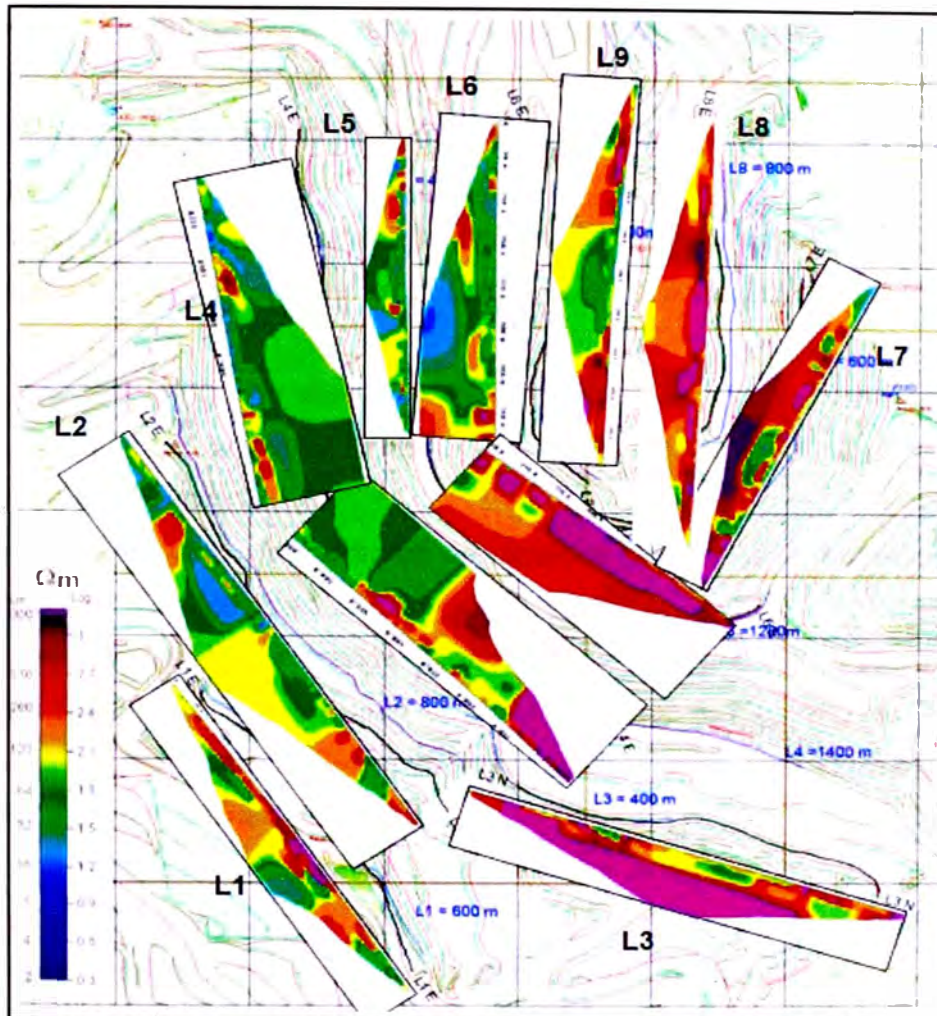


Figura N° 17.- Distribución espacial de los perfiles geofísicos mostrando las zonas con menor resistividad del 2010 (Fuente: WS, 2010)

### 3.6 DRENES HORIZONTALES PARA DESPRESURIZACIÓN

La construcción de drenes horizontales en el Tajo Abierto es una práctica que se realiza desde el 2001 y ha dado resultados aceptables con la finalidad de estabilizar los taludes, corroborando lo expuesto por (Leech y McGann (2008) y Downing *et al.* (2011).

En el año 2012, desde la cuarta semana de Noviembre y hasta el fin de Diciembre, se realiza la campaña de construcción de drenes horizontales para despresurización, la ubicación de los drenes se realizó teniendo en cuenta:

- Las siete zonas geotécnicas en estudio,
- La mayor incidencia y cruce de estructuras geológicas en un determinado sector.
- La información de anteriores campañas anuales de construcción de drenes.

La efectividad de la campaña de construcción de drenes se obtiene del ratio de la cantidad de drenes que han obtenido agua versus la cantidad total de drenes. Considerando las campañas desde el 2007 hasta el 2012, se describe los siguiente:

- Zona geotécnica 1, los drenes construidos año a año han obtenido en promedio 50 gal/min, y que en el 2008 se obtuvo de 200 hasta 300 gal/min de agua.
- Zona geotécnica 2, los drenes construidos año a año han obtenido menos caudal de agua aunque también hay que acotar que también se han construido menos drenes.
- Zona geotécnica 3, los drenes construidos año a año muestra mucha variación en la efectividad.
- Zona geotécnica 4, los drenes construidos año a año han obtenido menos caudal de agua aunque también se han construido menos drenes.
- Zona geotécnica 5, los drenes construidos año a año han obtenido ligeramente menos caudal de agua.
- Zona geotécnica 6, los drenes construidos año a año muestra mucha variación en la efectividad.
- Zona geotécnica 7, los drenes construidos año a año han obtenido menos caudal de agua.

En el Resumen-03 del Anexo A se detallan los resultados de los drenes horizontales construidos desde el 2007 al 2012, solamente los drenes que han atravesado las zonas geotécnicas en estudio.

## **CAPITULO IV: CONSIDERACIONES GEOTECNICAS Y MODELAMIENTO PARA EL ANALISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES EN LAS SECCIONES GEOTECNICAS A, B, C, D Y E**

### **4.1 CONSIDERACIONES GEOTÉCNICAS**

#### **4.1.1 Movimiento de Prismas y Extensómetros con el tipo de material, las estructuras que definen cuñas y la topografía del terreno**

##### **a) Con el tipo de Material**

El Cuadro N°2 (numeral 3.2.3) muestra el listado de prismas con sus interpretaciones según el rango de velocidad, éstos han sido correlacionados con el mapeo geológico de alteraciones mostrados en el Plano 06 (del numeral 3.3). Se observa que todos los prismas en movimiento están en alteraciones tipo argílico con sulfuros, sílice-arcilla o propilítico.

Por otro lado, hay que notar que de los 37 prismas que están dentro de las zonas geotécnicas, sólo 13 de ellos fueron los observados y, que el único extensómetro existente también fue observado por lo que se tiene 14 casos de movimiento en instrumentos repartidos en las zona geotécnicas 2, 3, 4, 5, 6 y 7 del tajo. De los 14 casos se tiene la siguiente distribución:

- Seis instrumentos están anclados sobre terreno de alteración argílico con sulfuros:
  - De la zona geotécnica 2 el prisma T569.
  - De la zona geotécnica 3 el prisma T508.
  - De la zona geotécnica 5 los prismas T342 y T506.
  - De la zona geotécnica 7 los prismas T606 y T607.
- Cuatro instrumentos están anclados sobre terreno de alteración sílice-arcilla.
  - De la zona geotécnica 7 el extensómetro EXT-01 y los prismas T604, T605 y T608.
- Cuatro instrumentos están anclados sobre terreno de alteración propilítico:
  - De la zona geotécnica 4 el prisma T570.

- De la zona geotécnica 6 los prismas T412, T471 y T560.

Completado este ítem, todavía no se puede definir qué es lo que causa el movimiento de los instrumentos porque en el caso de la Zona 7, los mismos prismas de la inestabilidad están anclados en diferente material como se muestra en el Plano 09.

b) Con las Estructuras que definen Cuñas

La información mostrada en el Cuadro N°4 y Plano 08 (numeral 3.4) permite correlacionar las estructuras que generan cuñas o sistema de bloques de falla para entender el comportamiento de los 14 casos de instrumentos en movimiento. Después de analizada la información, sólo en nueve de los 14 casos se encontró lo siguiente:

- Zona geotécnica 2, las fallas que cruzan la zona no forman cuña alguna que puedan movilizar al prisma T569.
- Zona geotécnica 3, sólo una falla cruza la zona y no se forman cuñas que puedan movilizar al prisma T508.
- Zona geotécnica 4, las fallas que cruzan la zona no forman cuña alguna que puedan movilizar al prisma T570.
- Zonas geotécnica 2, 3 y 4, hay cuatro fallas que están formando el sistemas de bloques 01 que estaría desestabilizando la zona y que se refleja en los prismas T508, T569, T570 y en menor grado por el prisma T416 y el prisma T169 presentan VCML.
- Zona geotécnica 5, tres estructuras se cruzan con inclinaciones mayores a 55° formando dos cuñas, y el movimiento de los prismas T342 y T506, que están dentro de esas cuñas, estarían reflejando el movimiento de la cuña.
- Zona geotécnica 6, se forma la cuña-03 que estaría definida por tres estructuras y limitada por la calidad del material de la zona (argílico, alunita-acilla, propilítico y cuarzo-alunita), dentro de la cuña se encuentra el prisma T560. El prisma T471 está unos metros al oeste de la cuña formada que podría influir en su movimiento mientras el prisma T412 no está dentro de alguna cuña. Por otro lado, fuera de la zona geotécnica 6, hay seis fallas que estarían formando los sistemas de bloques 02 y 03, y que se reflejaría por el movimiento del prisma T412.

- Zona geotécnica 7, en el sector norte hay nueve estructuras geológicas (8 fallas y la PSL) que forman cuatro cuñas, este sector podría generar una zona de debilidad. En el sector sur hay tres estructuras geológicas que forman dos cuñas, este sector también podría generar una zona de debilidad similar al caso del sector norte. Finalmente, por debajo de la superficie está pasando la PSL como se muestra en la Figura N°18, todo este conjunto estaría desarrollando un sistema de bloques que estaría desestabilizando la zona.

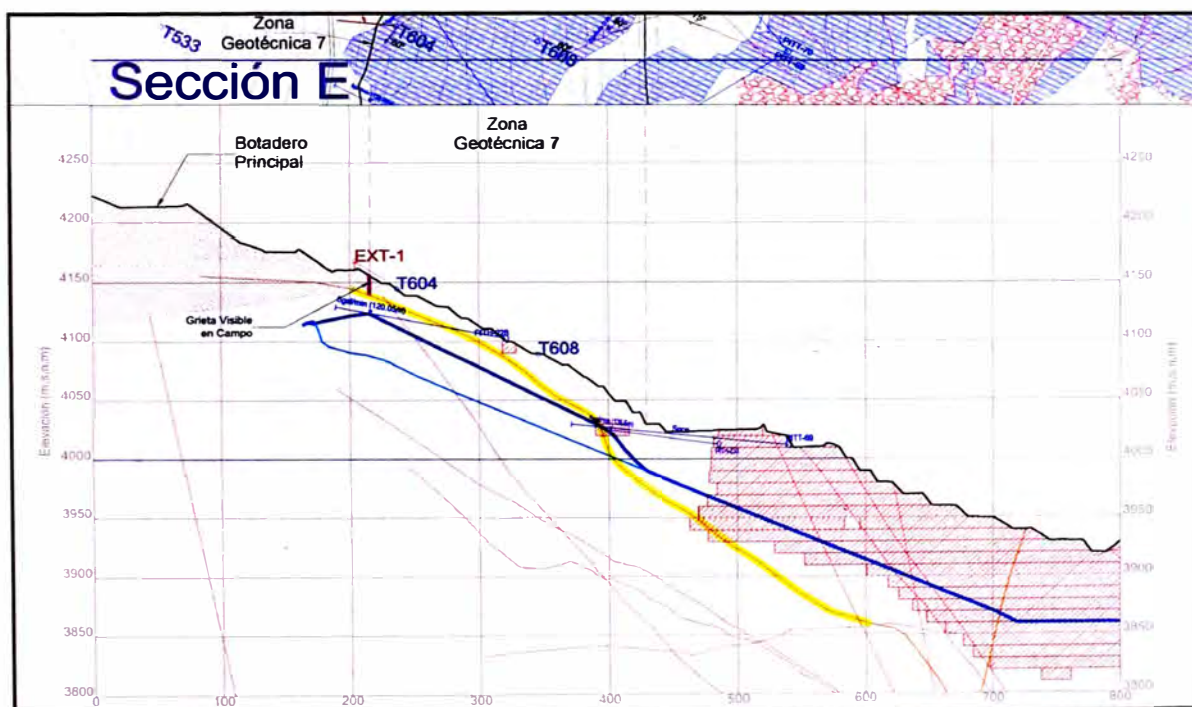


Figura N° 18.- Perfil de la sección E mostrando la PSL resaltado en amarillo

Completado este paso, se ha identificado una causa más al movimiento de los instrumentos de las zona geotécnicas 2, 3, 4, 5, 6 y 7, y es mostrado en el Plano 10.

c) Con la Topografía del Terreno

Del Cuadro N°1 (numeral 3.1) se parte que de la topografía del tajo abierto se obtiene la altura y el ángulo inter-rampa (IRA) de los taludes de las zonas geotécnicas en estudio. Considerando que las rampas de acceso trabajan como separadores geotécnicos de taludes, de los 14 casos de instrumentos en movimiento se tiene lo siguiente:

- Zona geotécnica 2, el prisma T569 está a una altura de 20 metros a partir de la Rampa Callejón y tiene un IRA de 32°.
- Zona geotécnica 3, el prisma T508 está a una altura de 90 metros a partir de la Rampa Chancadora y tiene un IRA de 35°.
- Zona geotécnica 4, el prisma T570 está a una altura de 25 metros a partir de la Rampa Callejón y tiene un IRA de 30°.
- Zona geotécnica 2, 3 y 4, considerando que el Bloque-01 gobierna el movimiento de ese sector, el prisma T569 está a una altura de 105 metros y tiene un IRA de 30°, el prisma T570 está a una altura de 100 metros y tiene un IRA de 28°, el prisma T508 conserva las anteriores características descritas.
- Zona geotécnica 5, el prisma T342 y T506 están a una altura de 100 a partir de la Rampa Chancadora y tienen un IRA de 37°. Considerando que la Cuña 01, los prismas T342 y T506 tiene una altura de 40 metros desde la base de la cuña y un IRA de 40°. Considerando la Cuña 02 gobierna el movimiento de ese sector, los prismas T342 y T506 tiene una altura de 70 metros desde la base de la cuña y un IRA de 37°
- Zona geotécnica 6, se considera que las alturas son calculadas con respecto al fondo del tajo entonces el prisma T560 tiene una altura de 65 metros y un IRA de 37°, el prisma T471 tiene una altura de 95 y un IRA de 36°, y el prisma T412 tiene una altura de 125 metros y tiene un IRA de 33°. Considerando la cuña-03, el prisma T560 está a una altura de 30 metros desde la base de la cuña-03 y tiene un IRA de 30°, el prisma T471 está a una altura de 60 metros desde la base de la cuña-03 y tiene un IRA de 34°. Considerando la base de los bloques 02 y 03, el prisma T412 tiene una altura de 50 metros un IRA de 30°.
- Zona geotécnica 7, se considera que las altura son consideradas desde el pie de la zona geotécnica entonces el prisma T604 tiene una altura de 120 metros y un IRA de 30°, el prisma T605 tiene una altura de 90 metros y un IRA de 32°, el prisma T606 tiene una altura de 90 metros y un IRA de 32°, el prisma T607 tiene una altura de 60 metros y un IRA de 34°, y el prisma T608 tiene una altura de 60 metros y un IRA de 33°.

Hasta este punto y en base a la revisión anterior, se puede definir que el movimiento de los 14 casos distribuidos en las zonas geotécnicas 2, 3, 4, 5, 6 y 7 del Tajo Abierto estaría gobernado por un sistema de estructuras geológicas como las fallas y paleo-superficies, activado por la geometría de los taludes, resistencia del tipo de material y la altura de zona geotécnica. En el Resumen-04 del Anexo A se presentan las correlaciones realizadas.

#### 4.1.2 Drenes Horizontales con Tomografía Eléctrica

En los años 2008 y 2010 se realizaron proyectos Tomografía Eléctrica para determinar las zonas más húmedas, luego de correlacionar la efectividad de los drenes horizontales y la magnitud del caudal obtenido usando los resúmenes 01, 02 y 03 se detalla:

- Zona geotécnica 1, las tomografías eléctricas del 2008 y 2010 registraron amplios sectores con resistividades de 10 a 20 ohm-m y es en este sector que se han obtenido los mayores caudales (200 y 300 gal/min) de drenaje además que los años que mayor caudal obtenido, han sido el 2008 y 2010. En el 2008 es muy notorio el amplio sector con resistividades muy bajas de 8 a 20 ohm-m.
- Zona geotécnica 2, sólo se tiene información de la tomografía eléctrica del 2008 que registró resistividades de 10 a 20 ohm-m en pequeños sectores separados aproximadamente por 20 metros, en el año 2008 no se construyeron drenes dentro de la zona geotécnica También es de resaltar que los drenes construidos han obtenido caudales de hasta 120 gal/min (2009).
- Zona geotécnica 3, de las tomografías eléctricas del 2008 y 2010, se tienen tramos cortos y separados por 20 metros que han registrado resistividades de 15 a 20 ohm-m y en ambos años, los drenes obtuvieron un mayor caudal de hasta 20 gal/min.
- Zona geotécnica 4, las tomografías eléctricas del 2008 y 2010 registraron pocos tramos espaciados con resistividades en el rango de 10 a 25 ohm-m pero en el 2008 no se construyeron drenes, sí se construyó un dren en el 2010 que obtuvo agua aunque menos que los años 2007 y 2009.
- Zona geotécnica 5, las tomografías eléctricas del 2008 y 2010 registraron resistividades en el rango de 10 a 25 ohm-m en tramos espaciados por 20



metros aproximadamente. En el 2008 no se construyeron drenes en cambio sí se construyeron drenes en el 2010 que tienen los mayores registros de caudal de la inestabilidad, aproximadamente el caudal drenado está en el rango de 8 a 14 gal/min.

- Zona geotécnica 6, las tomografías eléctricas del 2008 y 2010 tiene un tramo que registró resistividades en el rango de 10 a 25 ohm-m pero en el 2008 no se construyeron drenes en cambio sí se construyó un dren en el 2010 que tiene el mayor registro de caudal de la zona geotécnica (15 gal/min).
- Zona geotécnica 7, la tomografía resistiva del 2010 registró sectores con resistividades mínimas de 55 ohm-m. Por otro lado, los drenes construidos desde el 2007 al 2012, en una influencia de 50 metros de la inestabilidad, han obtenido caudales de agua de 2 a 50 gal/min, a excepción de un dren que no obtuvo agua.

La información recopilada se muestra en el Resumen-05 del Anexo A.

#### 4.1.3 Movimiento de Prismas con Drenes Horizontales y Precipitación.

Se analizan los prismas en observación y que están muy cercanos a los drenes horizontales que obtuvieron caudales de agua. Este análisis se hasta el Fin de Diciembre de 2012; se tiene:

- Zona geotécnica 1, por la baja velocidad de sus prismas que no están en observación no aplican para el análisis.
- Zona geotécnica 2, la velocidad del prisma T569 que aunque es baja (aproximadamente 0.50 mm/día) se mantuvo en el mismo rango durante todo Diciembre, lo que hizo difícil de apreciar algún cambio por la magnitud de la velocidad. Se construyó un dren cercano al T569.
- Zona geotécnica 3, la velocidad del prisma T508 fue constante desde Agosto a fines de Noviembre (aproximadamente 0.50 mm/día), y aumenta durante la primera semana de Diciembre hasta un máximo de 2.17 mm/día, para luego observarse una reducción de la velocidad hasta 1.69 mm/día, a partir de la quincena de Diciembre. Se construyeron dos drenes cercanos al T508.
- Zona geotécnica 4, sólo el prisma T570 aplica para el análisis pero no se construyeron drenes cercanos. Se observa que su velocidad aumentó durante la primera semana de Diciembre para tener un máximo en la quincena de Diciembre (1.31 mm/día) y reducir su velocidad hasta 0.50

mm/día que es menor a los registrados durante la primera semana de Diciembre.

- Zona geotécnica 5, los prismas T342 y T506 están en observación y se construyeron tres drenes muy cercano a su influencia, sus velocidades son menores a 0.50 mm/día y aumentan durante la primera semana de Diciembre hasta 0.70 y 0.86 mm/día respectivamente; a partir de la quincena, en el prisma T506 se observa una reducción de la que llega hasta 0.39 mm/día en cambio, en el prisma T342 se observa una reducción a partir de la quincena aunque después de una semana se incrementa nuevamente su velocidad hasta 0.61 mm/día pero se mantiene menor al máximo alcanzado en la primera semana de Diciembre.
- Zona geotécnica 6, no se construyeron drenes en cercano. Los prismas está en observación por una tendencia de aceleración, el prisma T412 comienza el incremento de su velocidad desde la última semana de Noviembre y llega a su máximo de 1.92 mm/día durante la primera semana, luego reduce su velocidad hasta 1.58 mm/día a partir de la quincena de Diciembre. El prisma T471 incrementa su velocidad desde la primera semana de Diciembre y llega hasta los 2.35 mm/día, se reduce un poco durante la quincena pero para la tercera semana incrementa nuevamente su velocidad hasta los 2.46 mm/día. El prismas T560 aumenta su velocidad desde la última semana de Noviembre llegan a su máximo de 2.67 mm/día durante la tercera semana para luego reducirse un poco (2.25 mm/día).
- Zona geotécnica 7, se construyeron dos drenes en la inestabilidad y dos drenes a pocos metros del extremo norte. Los prismas T604, T605, T607 y T608, y el extensómetro EXT-01 muestra un aumento gradual de su velocidad desde Agosto, a finales de Octubre y por aumento de la velocidad se decide detener el minado y construir una barrera rígida para contención del material y protección del personal y maquina que podría circular cerca. En la primera semana de Diciembre y de manera muy clara, empieza la reducción de las velocidades de todos los prismas y del extensómetro, cabe acotar que a inicios de Diciembre se terminó de construir el primer dren horizontal que obtuvo 5 gal/min, y el siguiente dren obtuvo 8 gal/min.

El análisis se completa al comparar la variación de la precipitación diaria con la información de prismas o de extensómetros. Para los prismas de la zonas

geotécnicas 2, 3, 4, 5 y 6, se presume que parte de la reducción de la velocidad va de la mano con la disminución de la precipitación, esto es difícil de determinar debido a que las velocidades de los prismas es muy baja (menores a 3 mm/día) y que dicha velocidad podría estar en el rango de error de los instrumentos de medición.

Por otro lado, para la zona geotécnica 7 se observa que el período de poca precipitación coincide con la reducción de la velocidad de los prismas y del extensómetro, en la Figura N°19 se nota la sensibilidad de la velocidad con respecto a la precipitación, esto podría ser debido a que el material en la zona de falla está en activo proceso de pérdida de la capacidad de resistencia al cortante por el ingreso directo del agua de precipitación a la grieta. Se podría decir que en la reducción de la velocidad coincidieron la fecha de término del primer dren horizontal y la disminución de la cantidad de precipitación.

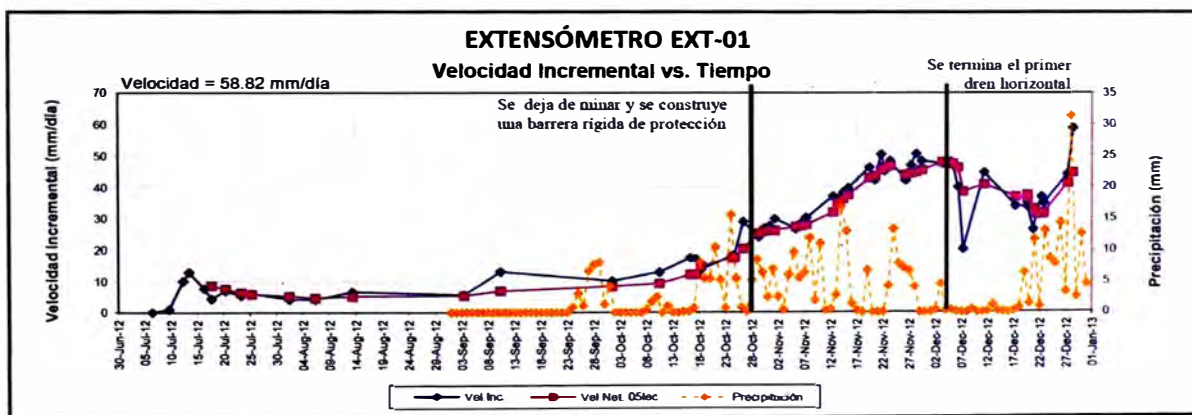


Figura N° 19.- Velocidad del extensómetro EXT-01 y la variación de precipitación

## 4.2 MODELO PARA EL ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES EN LAS SECCIONES GEOTÉCNICAS A, B, C, D Y E

Las consideraciones están hechas en base a las recomendaciones de Piteau (2012).

### 4.2.1 Consideraciones para la Elección de las Secciones Geotécnicas

La línea de la sección deberá trazarse lo más perpendicular a todas las curvas de nivel del sector que se desea analizar para asegurar el mayor ángulo inter-rampa y/o ángulo global.

#### 4.2.2 Consideraciones para el Modelo Geológico

Para el modelo de Análisis de Estabilidad se tiene:

- Modelo geológico estructural (CMS, 2010) y el modelo revisado de la PSL (ERSI, 2011).
- Al hacer el corte de las estructuras geológicas que pasan a lo largo de la sección geotécnica, para el análisis sólo incluir las estructuras que son lo más perpendiculares a la línea de la sección hasta una variación de  $\pm 30^\circ$ , haciendo la verificación desde la superficie hasta la cota inferior de la geometría en análisis, debido a ello también se admite parte de estructuras geológicas.
- Para el comportamiento del macizo rocoso sólo se reconocen dos unidades geotécnicas que se basan en la alteración cuarzo-alunita (QA) y argílico (AR). Para la unidad geotécnica QA se incluyen las alteraciones de roca tipo cuarzo-alunita y/o sílice-oqueroso (si hubiera), y para la unidad geotécnica AR se incluyen las alteraciones de roca tipo argílico con sulfuros, argílico con óxidos, propilítico, sílice-arcilla y alunita-arcilla.
- La zona de contacto entre QA/AR se considera como una zona de perturbación de 5 metros encima y debajo del contacto. Esta zona simula la naturaleza alterada, reblandecida y hasta cierto punto perturbada que tienen las rocas en el contacto QA/AR.
- Las estructuras geológicas como fallas o la PSL son modeladas como un suelo de 5 metros de espesor de baja resistencia. Para la PSL, además se considera que tiene una zona de perturbación de 5 metros encima y debajo del contacto con las unidades geotécnicas.

#### 4.2.3 Consideraciones para la Superficie Freática

- La superficie freática se evalúa en las secciones geotécnicas directamente de la superficie obtenida por la medición de los piezómetros.
- Para el caso de material de desmonte, se modela considerando el enfoque de coeficiente de presión de poros ( $r_u$ ) con un valor de 0.075.
- La superficie freática en las secciones geotécnicas puede ser actualizada con información reciente de drenes horizontales.

La Figura N°20 muestra cómo en la Sección B se hace una mejor interpretación del nivel de agua subterránea con esta corrección.

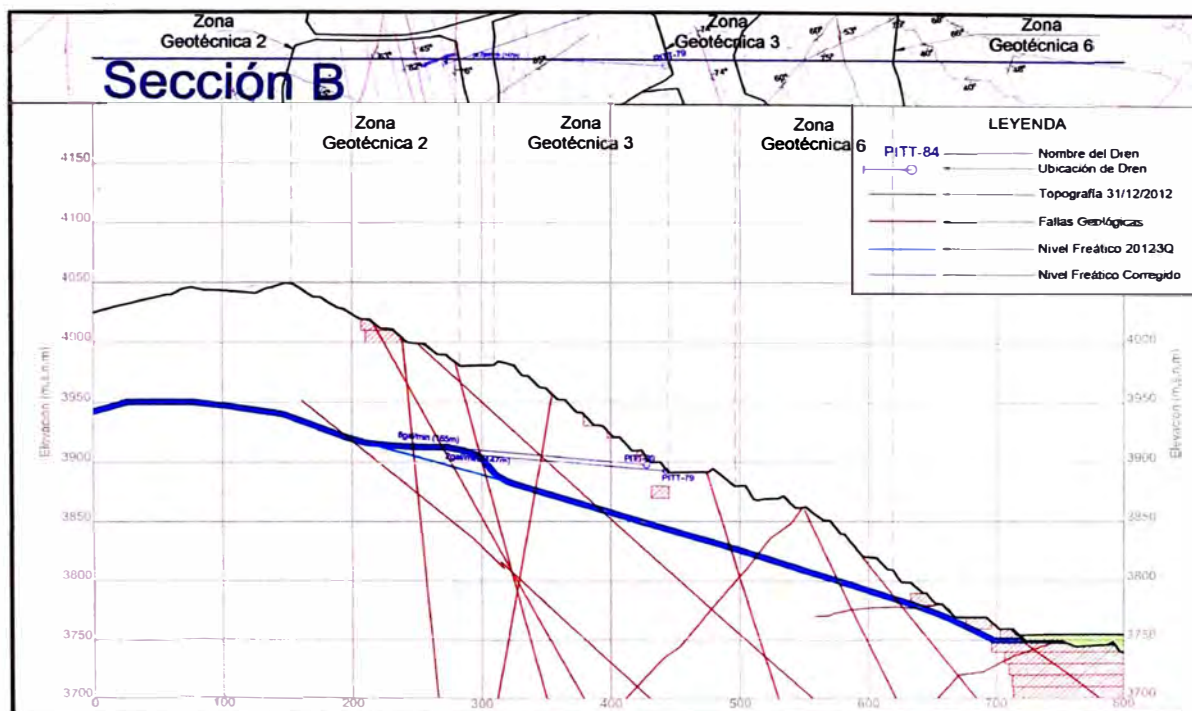


Figura N° 20.- Corrección en la interpretación de la superficie freática con los drenes horizontales - Sección B

#### 4.2.4 Consideraciones para la Resistencia al Cortante del Macizo Rocoso

- Las estructuras geológicas se han modelado con el Criterio de Resistencia de Mohr-Coulomb con un ángulo de fricción efectivo de  $18^\circ$  y una cohesión efectiva de 50 kPa.
- Material de botadero cercano al tajo se modela con el Criterio de Resistencia de Mohr-Coulomb con un ángulo de fricción efectivo de  $27^\circ$  y una cohesión efectiva de 20 kPa.
- El macizo rocoso se modela con el Criterio de Resistencia de Hoek y Brown (Hoek *et al.*, 2002) y los parámetros son resumidos en el Cuadro N°5.
- Para modelar la degradación de la resistencia del macizo rocoso debido al intemperismo, se considera una franja de 50 metros desde la superficie original independientemente de su proximidad al tajo (Z1). La influencia de la voladura en las paredes expuestas luego del minado se modela con franjas de 50 y 100 generando tres zonas adicionales de análisis (Z2, Z3 y Z4) que deberán contemplar el Factor de Perturbación (D).

Lo anteriormente descrito se observa en el esquema de la Figura N°21.

Cuadro N° 5.- Parámetros de resistencia del macizo rocoso del Tajo Abierto

UNIDAD GEOTÉCNICA		DESCRIPCIÓN DE LA ZONA	HOEK - BROWN				MOHR - COULOMB <sup>1</sup>		PESO UNITARIO (kN/m <sup>3</sup> )	COLOR SLIDE <sup>4</sup>
Tipo de Material	Zona		GSI/RMR	UCS (MPa)	m <sub>i</sub>	D	φ' (°)	c' (kPa)		
Roca de Desmorte <sup>2</sup>	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	27	20	γ <sub>SECO</sub> = 16.8 γ <sub>SAT</sub> = 19.0	
Fallas o PSL	Zonas de Falla y parte central de PSL	Parte Central de PSL y todas las otras fallas <sup>3</sup>	N/A	N/A	N/A	N/A	18	50	γ <sub>SECO</sub> = 22.7 γ <sub>SAT</sub> = 23.7	
Argílico (AR)	AR - Zona 1	Dentro de los 50 m de la superficie original	32	19	12	1	20,5	115	γ <sub>SECO</sub> = 22.7 γ <sub>SAT</sub> = 23.7	
	AR - Zona 2	Dentro de los 50 m del talud del tajo o dentro de los 5 m del contacto AR/QA o dentro de los 5 m de la parte central de PSL	41	25	12	1	29	165	γ <sub>SECO</sub> = 22.7 γ <sub>SAT</sub> = 23.7	
	AR - Zona 3	Dentro de los 50 a 100 m detrás del talud del tajo	41	25	12	0,85	33	200	γ <sub>SECO</sub> = 22.7 γ <sub>SAT</sub> = 23.7	
	AR - Zona 4	Después de los 100 m detrás del talud del tajo	41	25	12	0,7	37	230	γ <sub>SECO</sub> = 22.7 γ <sub>SAT</sub> = 23.7	
Cuarzo - Alunita (QA)	QA - Zona 1	Dentro de los 50 m de la superficie original	49	72	17	1	46	320	γ <sub>SECO</sub> = 22.7 γ <sub>SAT</sub> = 23.7	
	QA - Zona 2	Dentro de los 50 m del talud del tajo o dentro de los 5 m del contacto AR/QA o dentro de los 5 m de la parte central de PSL	56	75	17	1	52	390	γ <sub>SECO</sub> = 22.7 γ <sub>SAT</sub> = 23.7	
	QA - Zona 3	Dentro de los 50 a 100 m detrás del talud del tajo	56	75	17	0,85	55,5	450	γ <sub>SECO</sub> = 22.7 γ <sub>SAT</sub> = 23.7	
	QA - Zona 4	Después de los 100 m detrás del talud del tajo	56	75	17	0,7	58	500	γ <sub>SECO/SAT</sub> = 22.7	

- Notas:
1. Excepto para fallas, valores lineales de Mohr-Coulomb se aplican para esfuerzos normales menores de 0.5 MPa (500
  2. Roca de Desmorte modelada usando un enfoque de ru, con un valor de ru de 0.075.
  3. Espesor de fallas y de la parte central de PSL, asumido de 5 metros.
  4. Slide versión 6.005 de Rocscience.

Fuente: Piteau, 2009.

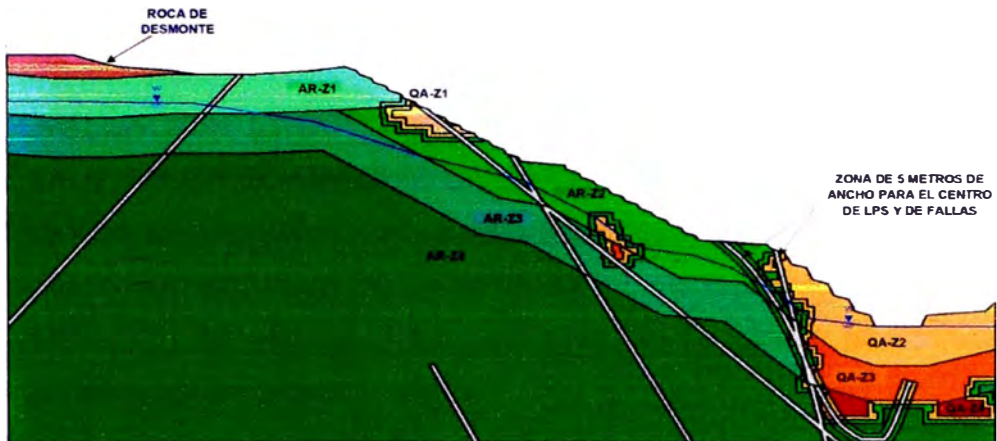


Figura N° 21.- Esquema del modelo para el análisis de estabilidad de taludes en las secciones geotécnicas del Tajo Abierto

## **CAPITULO V: ANALISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

### **5.1 EVALUACION GEOTECNICA DE LAS SECCIONES A, B, C, D Y E USADAS EN EL ANALISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES**

Para el análisis de estabilidad de las siete zonas geotécnicas del Tajo Abierto se han considerado cinco secciones geotécnicas.

En el numeral 3.1 se explica la validación de las secciones geotécnicas para evaluar las siete zonas geotécnicas.

A continuación se hará la evaluación geotécnica de las secciones A, B, C, D y E:

#### **➤ Sección A**

- Zonas geotécnicas en análisis: Zona geotécnica 1 y sector norte de la zona geotécnica 4.
- Ángulo global : 25°
- Altura de análisis: 260 metros.
- Alteración geológica predominante: Alteración tipo argílico prácticamente en toda la sección, sólo en la parte baja del talud se observa cuarzo-alunita.
- Geología estructural desfavorable: Tres estructuras en la parte superior que tienen inclinación desfavorable a la estabilidad y están resaltadas con amarillo en el Plano 11.
- Drenes horizontales: Sí, dos drenes que obtuvieron 12 y 50 gal/min.
- Profundidad del nivel freático: A lo largo de la sección aproximadamente a 30 metros de profundidad en la parte más cercana y en promedio a 60 metros de profundidad. En la influencia de 0 a 50 metros de la sección hay tres piezómetros (todos en la parte baja del talud) y cuatro piezómetros en la influencia de 50 a 100 metros.
- Estado de instrumentación cercana: Siete prismas mantienen velocidades muy lentas (menores a 1 mm/día).

Ver información en Resumen-06 y Plano 11.

#### **➤ Sección B**

- Zonas geotécnicas en análisis: Sector norte de la zona geotécnica 2, zona geotécnica 3 y sector norte de la zona geotécnica 6.



- Ángulo global: 28°.
  - Altura de análisis: 300 metros.
  - Alteración geológica predominante: Alteración tipo argílico representa prácticamente en toda la sección, sólo en la parte baja del talud se observa un poco de cuarzo-alunita.
  - Geología estructural desfavorable: Seis estructuras a lo largo de la sección que tienen inclinación desfavorable a la estabilidad y están resaltadas con amarillo en el Plano 12.
  - Drenes horizontales: Sí, dos drenes que obtuvieron 2 y 8 gal/min.
  - Profundidad del nivel freático: A lo largo de la sección, en la parte baja del talud está muy cerca, aproximadamente a los 15 metros de profundidad y en promedio, la superficie freática está a 85 metros, cabe notar que esta sección tiene sólo un piezómetro en la influencia de 0 a 50 metros, y un piezómetro más en la influencia de 50 a 100 metros.
  - Estado de instrumentación cercana : Seis prismas, cuatro de ellos tienen velocidades de 2 a 3 mm/día, los dos restantes tiene velocidades menores a 1 mm/día
- Ver información en Resumen-06 y Plano 12.

#### ➤ Sección C

- Zonas geotécnicas en análisis: sector central de la zona geotécnica 2, sector norte de la zona geotécnica 5 y sector sur de la zona geotécnica 6.
- Ángulo global : 30°
- Altura de análisis : 345 metros
- Alteración geológica predominante: Alteración tipo argílico prácticamente en toda la sección, en la parte central, está la presencia de un bloque de cuarzo-alunita, el pie del talud está prácticamente alterado a cuarzo-alunita hasta una altura de 100 metros.
- Geología estructural desfavorable: Once estructuras a lo largo de la sección (incluyendo PSL) que tienen ángulo de inclinación desfavorable a la estabilidad y están resaltados con amarillo, otras estructuras que también cumple con el criterio selección de los  $\pm 30^\circ$

pero que tienen ángulo favorables a la estabilidad están resaltados con magenta.

- Drenes horizontales: Un dren que obtuvo 8 gal/min.
- Profundidad del nivel freático: En la parte baja del talud, la superficie freática está aproximadamente a 20 metros, y en promedio la superficie freática está a unos 74 metros. Esta sección tiene cuatro piezómetros en la influencia de 0 a 50 metros.
- Estado de instrumentación cercana: Cuatro prismas que presentan velocidades muy lentas (menores a 1 mm/día).

Ver información en Resumen-06 y Plano 13.

#### ➤ Sección D

- Zonas geotécnicas en análisis: Sector sur de la zona geotécnica 2 y sector sur zona geotécnica 5.
- Ángulo global : 31°
- Altura de análisis : 395 metros
- Alteración geológica predominante: Alteración tipo argílico prácticamente en toda la sección, el pie del talud está prácticamente alterado a cuarzo-alunita hasta una altura de 80 metros.
- Geología estructural desfavorable: Ocho estructuras a lo largo de la sección que tienen ángulo de inclinación desfavorable a la estabilidad y están resaltados con amarillo, una estructura que también cumple con el criterio selección de los  $\pm 30^\circ$  pero que tiene ángulo favorable a la estabilidad está resaltado con magenta.
- Drenes horizontales: Sí, tres drenes que han obtenido caudales de 5, 6 y 7 gal/min.
- Profundidad del nivel freático: En la parte baja y central del talud, la superficie freática está aproximadamente a 20 y 40 metros, respectivamente, y en promedio la superficie freática está a unos 55 metros.
- Estado de instrumentación cercana: Once prismas de los cuales cinco no presentan movimiento, cuatro presentan movimiento muy lento (velocidades menores a 1mm/día) y dos tienen movimiento muy lento pero está en observación.

Ver información en Resumen-06 y Plano 14.

➤ Sección E

- Zonas geotécnicas en análisis, zona geotécnica 7.
- Ángulo Inter-rampa : 30°
- Altura de análisis : 140 metros
- Alteración geológica predominante: La zona en análisis está totalmente en material con alteración tipo argílico.
- Geología estructural desfavorable: Sólo la PSL está por detrás de la superficie topográfica, aproximadamente a 15 metros en forma vertical, 50 metros en forma horizontal en el pie del talud en análisis y a 20 metros en forma horizontal hacia el centro del talud.
- Drenes horizontales: Sí, dos drenes que han obtenido 5 gal/min.
- Profundidad del nivel freático: A lo largo del sector de análisis, la superficie freática está en el rango de 20 a 35 metros de profundidad.
- Estado de instrumentación cercana: Dos prismas y un extensómetro que tiene una velocidad promedio de 35 mm/día, y en aceleración a finales de Diciembre de 2012.

Ver información en Resumen-06 y Plano 15.

## 5.2 RESULTADOS OBTENIDOS DEL ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES

Los factores de seguridad se obtuvieron de los análisis de estabilidad realizados mediante el método de dovelas de Equilibrio Límite Generalizado (GLE por sus siglas en inglés) con el software Slide (versión 6.005) de Rocscience. En los análisis se consideran modos de falla circulares y no circulares, utilizando rutinas de búsqueda de superficie de falla para obtener el FS estático más bajo. En los resultados se tiene como criterio de aceptabilidad, un Factor de Seguridad Estático igual a 1.20 (Stacey y Read, 2009).

A continuación, se muestra el análisis geotécnico de los resultados obtenidos:

➤ Sección A

Se tiene un FS estático de 1.571, donde se resalta que se hizo la corrección la superficie freática de unos 30 metros de manera vertical hacia la superficie topográfica. La altura total del talud que falla es de 215 metros con ángulo de 26°, la superficie de falla se genera a partir de romper por una estructura geológica (F-35) que tiene un ángulo de inclinación de 45° en orientación favorable hacia el talud, profundizando unos 180 metros para continuar rompiendo aproximadamente 280 metros lineales de macizo rocoso predominantemente de alteración tipo argílico que no presenta otras estructuras. Se aprecia la superficie freática por encima de la superficie de falla hasta una altura de 35 metros y se va reduciendo a medida que llega al pie del talud. Los prismas en la influencia de la sección muestran velocidades muy lentas (menores a 1 mm/día) por lo que el FS estático de 1.571 estaría acorde con los datos de monitoreo. La sección cumple con el criterio de aceptabilidad (FS estático  $\geq 1.20$ ) por lo que las zonas geotécnicas en análisis (1 y 4 norte) tienen una buena respuesta a la estabilidad.

➤ Sección B

Se tiene un FS estático de 1.138, la altura total del talud que falla es de 240 metros con un ángulo de 28°, la superficie de falla se genera a partir de romper por una estructura geológica (F-35) que tiene un ángulo de inclinación de 45° en orientación favorable hacia el talud, profundizando unos 210 metros para continuar rompiendo aproximadamente 240 metros lineales de macizo rocoso predominantemente de alteración tipo argílico y atravesando cuatro estructuras geológicas. La superficie freática está por encima de la superficie de falla hasta una altura de 45 metros y es casi constante hasta llegar al pie del talud, esta superficie freática tuvo una corrección de aproximadamente 14 metros por detrás de la superficie de falla. Los prismas en la influencia de la sección muestran velocidades promedio de 2 mm/día con tendencia a la aceleración por lo que el FS estático de 1.138 estaría acorde a los datos de campo. La sección no cumple con el criterio de aceptabilidad (FS estático  $\geq 1.20$ ) por lo que las zonas

geotécnicas involucradas en la superficie de falla en análisis (3 y 6 norte), no tienen una buena respuesta a la estabilidad.

➤ **Sección C**

Se tiene un FS estático de 1.338, la altura total del talud que falla es de 325 metros con un ángulo de  $31^\circ$ , la superficie de falla se genera a partir de romper por una estructura geológica (F-10) que tiene un ángulo de inclinación de  $65^\circ$  en orientación favorable hacia el talud, profundizando unos 225 metros para continuar rompiendo aproximadamente 470 metros lineales de macizo rocoso de alteración tipo argílico los primeros 400 metros y de tipo cuarzo-alunita los 70 metros restantes, además de atravesar once estructuras geológicas (incluyendo PSL). La superficie freática está por encima de la superficie de falla hasta una altura de 75 metros y es casi constante hasta llegar al pie del talud, esta superficie freática tuvo una corrección de aproximadamente 4 metros por detrás de la superficie de falla. Los prismas en la influencia de la sección muestran velocidades muy lentas (menores a 1 mm/día) por lo que el FS estático de 1.338 estaría acorde a los datos de campo. La sección cumple con el criterio de aceptabilidad (FS estático  $\geq 1.20$ ) por lo que las zonas geotécnicas en análisis (2 central, 5 norte y 6 sur) tienen una buena respuesta a la estabilidad.

➤ **Sección D**

Se tiene FS estático de 1.137, la altura total del talud falla es de 190 metros con un ángulo de  $31^\circ$ , la superficie de falla se genera a partir de romper por una estructura geológica (F-35) que tiene un ángulo de inclinación de  $45^\circ$  en orientación favorable hacia el talud, profundizando unos 160 metros para continuar rompiendo aproximadamente 165 metros lineales de macizo rocoso de alteración tipo argílico, además de atravesar cuatro estructuras geológicas (incluyendo PSL). La superficie freática está por encima sólo en el sector central de la superficie de falla hasta una altura de 12 metros, para luego ir por debajo de la superficie de falla; esta superficie freática tuvo una corrección de aproximadamente 3 metros por detrás de la superficie de falla. La sección no cumple con el criterio de aceptabilidad (FS estático  $\geq 1.20$ ) por lo que las zonas geotécnicas en análisis (2 sur y 5 sur) no tienen una buena respuesta a la estabilidad.

➤ **Sección E**

Se tiene un FS estático de 1.034, la altura total del talud que falla es de 130 metros con un ángulo de 31°, la superficie de falla se genera a partir de romper por una estructura geológica (PSL) que va de manera paralela y suavemente ondulada con la inclinación del talud, y profundiza unos 120 metros para continuar rompiendo aproximadamente 45 metros lineales de macizo rocoso de alteración tipo argílico, y en su recorrido no atraviesa otra estructura geológica. La superficie freática está por debajo a lo largo de toda la superficie de falla, esta superficie freática tuvo una corrección de hasta 35 metros por detrás de la superficie de falla. Los prismas y el extensómetro en la influencia de la sección muestran velocidades con tendencia a la aceleración (alrededor de 40 mm/día); el FS estático de 1.034 estaría acorde a los datos de monitoreo y, al agrietamiento y hundimiento visible de la zona geotécnica 7. La sección no cumple con el criterio de aceptabilidad (FS estático  $\geq 1.20$ ) por lo que la zona geotécnica 7 no tiene una buena respuesta a la estabilidad.

### 5.3 DISCUSION DE RESULTADOS

Al definir las probables estructuras de deslizamiento en base a la revisión de la información disponible y pasar al análisis bidimensional de los taludes del Tajo Abierto, se puede definir:

- Zona geotécnica 1, con estructuras desfavorables a la estabilidad, baja resistencia de material predominante pero un ángulo inter-rampa de 30° y reducido nivel freático hace que tengan un buen comportamiento geotécnico.
- Zona geotécnica 2, con estructuras desfavorables a la estabilidad, baja resistencia de material predominante pero un ángulo inter-rampa de 32° y una reducida superficie freática por debajo de la cota más baja de la zona geotécnica hacen que permanezca en términos de estabilidad.
- Zona geotécnica 3, la calidad de material, una estructura desfavorable a la estabilidad hace que la zona geotécnica esté en observación muestre signos de inestabilidad por lo que sería necesario implementar un plan despresurización y reducción del nivel freático o la construcción de una estructura de contención al pie del talud

- Zona geotécnica 4, con estructuras desfavorables, material predominante de baja resistencia con un ángulo de  $32^\circ$  hacen que el comportamiento de la zona sea aceptable.
- Zona geotécnica 5, las estructuras desfavorables, la baja resistencia del material predominante con un ángulo inter-rampa de  $37^\circ$  hacen que la zona esté en observación para lo que sería necesario implementar más monitoreo y la construcción de una estructura de contención.
- Zona geotécnica 6, aunque tiene dos sectores diferenciados por el tipo de material (AR y QA), en el sector más desfavorable la combinación de estructuras geológicas desfavorables a la estabilidad, material predominante de baja resistencia con un ángulo de  $31^\circ$  y un nivel freático hace que la zona esté en observación y muestre signos de inestabilidad por lo que sería necesario que implementar más prismas de monitoreo y la reducción de la superficie freática por pozos de bombeo o drenes horizontales, o la construcción de una estructura de contención al pie del talud.
- Zona geotécnica 7, la combinación de estructuras geológicas desfavorables a la estabilidad y una baja resistencia de material del material predominante con un ángulo de  $31^\circ$  hace que la zona sea inestable. Debido a que la inestabilidad ya inició el proceso de deformación permanente confirmada por la información de instrumentación y visita de campo, se debería optar por remover el material hasta detrás de la PSL o construir una estructura de contención.

## CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1 CONCLUSIONES

- El tajo abierto en estudio está ubicado en el distrito de Jangas, provincia de Huaraz y departamento de Ancash.
- Geográficamente, la operación minera está ubicada a 36 km de la ciudad de Huaraz y el acceso es por la carretera que conduce hacia el Callejón de Huaylas hasta el distrito de Jangas y, por una trocha carrozable a partir de Jangas.
- El comportamiento geomecánico del macizo rocoso del tajo abierto se presentan dos unidades geotécnicas que se basan en la alteración cuarzo-alunita (QA) y argílico (AR). La QA con un RMR de 56 y un UCS de 75 MPa tiene mejores características geomecánicas que el AR con un RMR de 41 y un UCS de 25 MPa.
- Geólogos del Tajo Abierto, refieren a la paleo-superficie encontrada en el Tajo abierto como la Paleo-Superficie Lupe (PSL) que es un contacto entre las tobas andesíticas o dacíticas y pórfido de andesitas, la PSL es una superficie ondulada, poco profunda con buzamientos muy empinados, el cual ha sido el lugar de movimientos importantes pre y post mineralizantes.
- Para el Tajo Abierto se analizan siete zonas geotécnicas que han sido definidas por: (a) el grado de inestabilidad visual como agrietamientos, paredes de material rocoso deleznable y con ojos de agua, (b) por la interpretación y la velocidad de deformación de los prismas instalados y (c) por tener antecedentes de inestabilidad en años anteriores.
- Las siete zonas geotécnicas (1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7) descritas son analizadas por cinco secciones geotécnicas (A, B, C, D y E) que han sido trazadas tratando de reflejar el mayor ángulo global o inter-rampa de la pared del tajo en estudio.



- En todas las zonas geotécnicas está presente la alteración argílica con sulfuros en un mínimo de 27%, seguido de la sílice-arcilla con un mínimo de 10%, además cada zona geotécnica tiene al conjunto argílico (con sulfuros o con óxidos), sílice-arcilla y alunita-arcilla formando desde un 40% hasta un 97% de la totalidad de la roca alterada en las zonas de estudio, estos tipos de alteraciones le da a la roca un comportamiento similar a una arcilla.
- El comportamiento del macizo rocoso del tajo abierto que son caracterizadas por alteración sílice-arcilla o argílico con sulfuros tienen gran plasticidad y evita la activación de fallas frágiles o abruptas.
- El sistema de monitoreo es una buena herramienta en la verificación de la implementación de una fase de minado, ayuda a cuantificar el comportamiento de las paredes asociados a cuñas o a sistemas en bloques.
- De acuerdo a los resultados de las investigaciones geotécnicas realizadas como drenes horizontales (2007-2012), tomografías eléctricas del 2008 y 2010, la zona geotécnica que presenta más recarga hídrica es la zona 1.
- Los factores de seguridad se obtuvieron de los análisis de estabilidad realizados en las secciones geotécnicas A, B, C, D y E; mediante el método de dovelas de Equilibrio Límite Generalizado.
- En la evaluación geotécnica, se tiene como Criterios de Aceptabilidad un Factor de Seguridad Estático igual a 1.20 (Stacey y Read, 2009), con la finalidad de evaluar los resultados de los análisis de estabilidad.
- Todas las secciones geotécnicas analizadas tienen como material predominante a la roca alterada tipo argílico (AR).
- La sección A tiene un FS estático de 1.571, la superficie de falla se origina a partir de la estructura geológica F-35 que tiene un buzamiento de 45°. La sección cumple con el criterio de aceptabilidad de Stacey y Read (2009) que recomiendan un valor del FS estático  $\geq 1.20$ , por lo que las zonas geotécnicas en 1 y 4 norte tienen una buena respuesta a la estabilidad.

- La sección B tiene un FS estático de 1.138, generando la superficie de falla por la estructura geológica F-35. La sección no cumple con el criterio de aceptabilidad de Stacey y Read (2009) que recomiendan un valor del FS estático  $\geq 1.20$ , por lo que las zonas geotécnicas involucradas en la superficie de falla en análisis (3 y 6 norte), no tienen una buena respuesta a la estabilidad.
- La sección C tiene un FS estático de 1.338, donde la estructura geológica F-10 que tiene un buzamiento de  $65^\circ$  en dirección al pie del talud, origina la superficie de falla que rompe a pie del talud pasando por un bloque compuesto mayormente por QA. La sección cumple con el criterio de aceptabilidad de Stacey y Read (2009) que recomiendan un valor del FS estático  $\geq 1.20$ , por lo que las zonas geotécnicas en análisis (2 central, 5 norte y 6 sur) tienen una buena respuesta a la estabilidad.
- La sección D tiene FS estático de 1.137, inicia la superficie de falla por la estructura geológica F-35 que tiene un buzamiento de  $45^\circ$  en dirección al pie del talud. La sección no cumple con el criterio de aceptabilidad de Stacey y Read (2009) que recomiendan un valor del FS estático  $\geq 1.20$ , por lo que las zonas geotécnicas en análisis (2 sur y 5 sur) no tienen una buena respuesta a la estabilidad.
- La sección E tiene un FS estático de 1.034, la superficie de falla pasa por la PSL. Esta sección no cumple con el criterio de aceptabilidad de Stacey y Read (2009) que recomiendan un valor del FS estático  $\geq 1.20$ , por lo que la zona geotécnica 7 no tiene una buena respuesta a la estabilidad y está evidenciado por su agrietamiento en campo por lo que se considera una inestabilidad activa.
- Los resultados del análisis de estabilidad muestran que el comportamiento de los taludes de las siete zonas geotécnicas en estudio está gobernado por una combinación crítica de la calidad geomecánica del material (AR), la geometría del talud y por el sistema de estructuras geológicas. Debido a

ello, prismas instalados en un mismo tipo de alteración, tienen diferentes comportamientos en diferentes lugares.

## 6.2 RECOMENDACIONES

- Hacer una remediación en la Zona 7 que constaría de un repliegue de 55 metros para remover el material inestable para que la pared final expuesta esté detrás de la PSL o construir una estructura de contención a pie de la zona inestable.
- Realizar un trabajo de investigación geotécnica (e.g.; perforación diamantina, geofísica) a detalle para cuantificar el volumen exacto a remover en la Zona Geotécnica 7, en caso se decida hacer el repliegue.
- Para la zona geotécnica 3, la mala calidad del material argílico y la estructura geológica desfavorable a la estabilidad hace que la zona geotécnica en mención muestre signos de inestabilidad por lo que sería necesario implementar un plan de despresurización y reducción del nivel freático o la construcción de una estructura de contención al pie del talud.
- En la zona geotécnica 5, las estructuras geológicas desfavorables, la baja resistencia del material predominante con un ángulo inter-rampa de  $37^\circ$  hacen que la zona en mención se encuentre inestable por lo que sería necesario implementar medidas de monitoreo y la construcción de una estructura de contención al pie del talud.
- La zona geotécnica 6, tiene dos sectores diferenciados por el tipo de material (AR y QA), en el sector más desfavorable la combinación de estructuras geológicas desfavorables a la estabilidad con material predominante de baja resistencia con un ángulo de  $31^\circ$ , con nivel freático; hace que la zona presente signos de inestabilidad por lo que sería necesario que implementar más prismas de monitoreo y la reducción de la superficie freática por pozos de bombeo o drenes horizontales, o la construcción de una estructura de contención al pie del talud.

- Realizar los trabajos necesarios para definir los dominios estructurales y sus características geomecánicas en el Tajo Abierto.
- Realizar un análisis cinemático para determinar qué cuñas o sistema de cuñas tiene potencial de generar inestabilidades.
- Realizar un modelo geomecánico sectorizado o cuantificar los valores de las alteraciones según su ubicación, con la finalidad de tener una herramienta más precisa para futuras evaluaciones como es el caso de Zona 7, ya que todo el sector sur y sureste seguirá siendo minado y se ha proyectado que esos sectores tendrán bastante roca con alteración tipo sílice-arcilla.
- Realizar una calibración y corroboración de la deformación registrada en los prismas con programas que analicen el esfuerzo deformación (e.g., Phase2 de Rocscience).

## BIBLIOGRAFÍA

- Consulting and Mining Services S.R.L., “Structural Mapping”, Reporte interno no-publicado preparado para el tajo abierto de Jangas, Perú, 2010.
- Dowling, J., Reidel, J. y Beale, G., “A Review of Key Factors Affecting Mine Dewatering and Slope Depressurization”, Proceedings of Slope Stability 2011: International Symposium on Rock Slope Stability in Open Pit Mining and Civil Engineering, Canadá, 2011.
- Earth Resource Surveys Inc., “Review of Lupe Surface and Structural Geology”, Reporte interno no-publicado preparado para el tajo abierto de Jangas, Canadá, 2011.
- Hoek, E., Carranza-Torres, C. y Corkum, B., “Hoek-Brown Failure Criterion – 2002 Edition”, Proceedings of the 5th North American Rock Mechanics Symposium: Mining and Tunnelling Innovation and Opportunity, Canadá, 2002.
- Leech, S. y McGann, M., “Open Pit Slope Depressurization using Horizontal Drains – a Case Study”, Proceedings of 10th International Mine Water Association Congress, República Checa, 2008.
- Pérez, V., Robles, H., Soto, F., Beale, G. y McGlone, M., “The Role of Depressurization in Stabilizing a Large Pit Slope in Northern Peru”, Proceedings of Slope Stability 2011: International Symposium on Rock Slope Stability in Open Pit Mining and Civil Engineering, Canadá, 2011.
- Piteau Associates Engineering Ltd., “Open Pit Slope Design Studies”, , Reporte interno no-publicado preparado para el tajo abierto de Jangas, Perú, 1998.
- Piteau Engineering Latin America S.A.C., “Evaluación Geotécnica de la Configuración Actual del Tajo Abierto (Abril 2012)”, Reporte interno no-publicado preparado para el tajo abierto de Jangas, Perú, 2012.
- Rose, N. y Hungr, O., “Forecasting Potential Slope Failure In Open Pit Mines - Contingency Planning and Remediation”, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, Canadá, 2006.
- Stacey, P. y Read, J., “Guidelines for Open Pit Slope Design”, CSIRO Publishing, Australia, 2009.
- Wellfield Services Ltda., “Perfiles de Resistividad Eléctrica – Aplicación de la Técnica de Tomografía Eléctrica”, Reporte interno no-publicado preparado para el tajo abierto de Jangas, Chile, 2008

- Wellfield Services Ltda., “Perfiles de Resistividad Eléctrica – Aplicación de la Técnica de Tomografía Eléctrica”, Reporte interno no-publicado preparado para el tajo abierto de Jangas, Chile, 2010.

# **ANEXOS**

**ANEXO A:  
RESUMEN DE RESULTADOS**



**RESUMEN-01:  
RESULTADOS DE TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA  
2008**

**RESUMEN-02:  
RESULTADOS DE TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA  
2010**



**Resumen-02: Resultados de la Tomografía Eléctrica del 2010**

Nombre	Tomografía Eléctrica 2010									Comentario
	Tramo L1 (m)	Tramo L2 (m)	Tramo L3 (m)	Tramo L4 (m)	Tramo L5 (m)	Tramo L6 (m)	Tramo L7 (m)	Tramo L8 (m)	Tramo L9 (m)	
Zona Geotécnica 1	N/A	N/A	N/A	1065 - 1120	0 - 90	N/A	N/A	N/A	N/A	L4: Resistividad de 10-25 ohm.m a los 1065 metros y en el tramo de 1080 y 1110 metros L5: Resistividad de 8 a 25 ohm.m en el tramo de 45 a 65 metros a una profundidad de 15 metros. Resistividad de 18-25 ohm.m en el tramo de 85 a 90 metros.
Zona Geotécnica 2	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Zona Geotécnica 3	N/A	N/A	N/A	860 - 990	175 - 270	N/A	N/A	N/A	N/A	L4: Resistividad de 20-35 ohm.m en el tramo de 860 a 950-960 metros. L5: Resistividad de 20-25 ohm.m en el tramo de 180-200 metros a una profundidad de 20 metros. Resistividad de 8-25 ohm.m a los 225 metros a una profundidad de 15 metros y de 18-25 ohm.m en el tramo de 245 a 260 metros a una profundidad de 20 metros.
Zona Geotécnica 4	N/A	N/A	N/A	990 - 1065	90 - 175	N/A	N/A	N/A	N/A	L4: Resistividad de 10-25 en el tramo de 1050 a 1065 metros. L5: Resistividad de 18-25 en el tramo de 90-110 metros Resistividad de 20-25 ohm.m a los 120 y 135 metros.
Zona Geotécnica 5	N/A	N/A	N/A	540 - 860	270 - 400	N/A	N/A	N/A	N/A	L4: Resistividad de 20-35 ohm.m a los 815 metros. L5: Resistividad de 18 -25 ohm.m a los 270 metros y profundidad de 15 metros. De 18-25 ohm.m en el tramo de 335 a 360 metros a una profundidad de 15 metros.
Zona Geotécnica 6	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	345 - 525	N/A	N/A	N/A	L6: Resistividad de 18-25 ohm.m en el tramo de 350 a 460 metros a una profundidad de 100 metros.
Zona Geotécnica 7	20 - 150	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	L1: Resistividad mínima de 55 ohm.m en todo el tramo

**RESUMEN-03:  
RESULTADOS DE DRENES HORIZONTALES  
2007 - 2012**

**Resumen-03: Resultados de Drenes Horizontales 2007-2012**

Nombre	Antecedentes de Drenes Horizontales 2007	Antecedentes de Drenes Horizontales 2008	Antecedentes de Drenes Horizontales 2009 <sup>1</sup>	Antecedentes de Drenes Horizontales 2010 <sup>1</sup>	Antecedentes de Drenes Horizontales 2011 <sup>1</sup>	Antecedentes de Drenes Horizontales 2012 <sup>1</sup>
Zona Geotécnica 1	PITH-141 = Seco PITH-145 = 50 gpm	PITT-07 = 200 gpm PITH-176 = 300 gpm PITH-177 = 5 gpm PITH-179 = 15 gpm	PITT-10 = 14 gpm	PITT-52 = Seco PITT-62 = 60 gpm PITH-222 = Seco PITH-227 = 50 gpm	N/A	PITH-235 = 50 gpm
Zona Geotécnica 2	PITH-133 = 8 gpm PITH-144 = 10 gpm PITH-146 = 80 gpm PITH-148 = 50 gpm PITH-149 = 55 gpm PITH-154 = 80 gpm PITH-161 = Seco PITH-164 = 2.5 gpm	N/A	PITT-29 = 10 gpm PITT-32 = 50 gpm PITT-33 = 5 gpm PITH-201 = 120 gpm	PITT-47 = 20 gpm PITT-49 = 90 gpm PITT-60 = 2 gpm PITT-63 = 8 gpm PITT-64 = Seco PITH-217 = 15 gpm PITH-221 = 1.5 gpm PITH-226 = Seco	PITT-72 = Seco	PITT-80 = 8 gpm
Zona Geotécnica 3	N/A	PITT-05 = 25 gpm PITT-06 = 0.5 gpm	N/A	PITT-54 = 20 gpm PITT-55 = 8 gpm PITH-225 = Seco	PITT-73 = Seco	PITT-79 = 2 gpm PITT-80 = 8 gpm
Zona Geotécnica 4	PITH-139 = 50 gpm PITH-142 = 55 gpm PITH-143 = 3 gpm PITH-147 = 100 gpm PITH-165 = 13 gpm PITH-163 = 3.85 gpm PITH-167 = Seco	N/A	PITH-181 = 45.8 gpm	PITT-59 = 23 gpm	PITT-71 = 12 gpm	PITT-83 = Seco
Zona Geotécnica 5	N/A	N/A	PITT-36 = Seco	PITT-45 = 14 gpm PITT-53 = Seco PITT-56 = 20 gpm PITH-216 = 8 gpm PITH-218 = Seco PITH-223 = 4 gpm	N/A	PITT-75 = 7 gpm PITT-76 = 6 gpm PITT-78 = 8 gpm PITH-232 = 5 gpm
Zona Geotécnica 6	PITH-136 = 3 gpm PITH-137 = 6 gpm	N/A	PITT-24 = Seco	PITT-61 = 15 gpm	N/A	N/A
Zona Geotécnica 7	PITH-134 = 5 gpm	N/A	N/A	N/A	PITT-65 = 10 gpm PITT-66 = 14 gpm PITT-69 = Seco PITH-228 = 5 gpm	PITT-77 = 8 gpm PITH-233 = 5 gpm

Notas: 1. gpm = galones por minuto

**RESUMEN-04:  
CORRELACIONES DEL MOVIMIENTO DE  
PRISMAS CON LA INFORMACIÓN RECOPIADA**

**Resumen-04: Correlaciones del Movimiento de Prismas con la Información Recopilada**

Nombre	Cantidad de Prismas y/o Extensómetros	Nombre de Prisma o Extensómetro	Velocidad (mm/día)	Dirección de Movimiento Definido (Si/No)	Interpretación de Prisma <sup>1</sup>	Terreno de Cimentación (Alteración) <sup>2</sup>	Probables Causas del Movimiento
Zona Geotécnica 1	3 Prismas	T435	0.25 - 0.50	Si	VCML	AR con Sulfuros	N/A
		T482	0.25 - 0.50	Si	VCML	AR con Sulfuros	N/A
		T509	0.25 - 0.50	Si	VCML	AR con Sulfuros	N/A
Zona Geotécnica 2	9 Prismas	T022	0.25 - 0.50	No	NM	Propilítico	N/A
		T023	0.25 - 0.50	No	NM	AR con Sulfuros	N/A
		T107	0.25 - 0.50	No	NM	Propilítico	N/A
		T540	0.25 - 0.50	Si	VCML	Propilítico	N/A
		T541	0.25 - 0.50	Si	VCML	Propilítico	N/A
		T565	0.25 - 0.50	Si	VCML	Propilítico	N/A
		T566	0.25 - 0.50	Si	VCML	Propilítico	N/A
		T568	0.25 - 0.50	Si	VCML	Propilítico	N/A
		T569	0.25 - 0.50	Si	VCML	Propilítico	N/A
		T569	0.25 - 0.50	Si	VCML	Propilítico	Calidad de Material Sistema en bloque limitado por fallas IRA = 32°
Zona Geotécnica 3	1 Prisma	T508	0.50 - 2.50	Si	DC	AR con Sulfuros	Calidad de Material Sistema en bloque limitado por fallas IRA = 35°
Zona Geotécnica 4	7 Prismas	T169	0.25 - 0.50	Si	VCML	AR con Sulfuros	N/A
		T361	0.25 - 0.50	No	NM	Propilítico	N/A
		T366	0.25 - 1.00	Si	VCML	Silice-Arcilla	N/A
		T367	0.25 - 1.00	Si	VCML	Silice-Arcilla	N/A
		T416	0.25 - 1.00	Si	VCML	AR con Sulfuros	N/A
		T456	0.25 - 0.50	Si	VCML	AR con Sulfuros	N/A
		T570	1.00 - 1.50	Si	AC	Propilítico	Calidad de Material Sistema en bloque limitado por fallas IRA = 32°
Zona Geotécnica 5	8 Prismas	T165	0.25 - 0.75	Si	VCML	Propilítico	N/A
		T312	0.25 - 0.50	Si	VCML	AR con Sulfuros	N/A
		T342	0.25 - 1.00	Si	VCML	AR con Sulfuros	Calidad de Material Cuña IRA = 37°
		T393	0.25 - 0.50	Si	VCML	AR con Sulfuros	N/A
		T410	0.25 - 0.50	Si	VCML	Propilítico	N/A
		T506	0.25 - 1.00	Si	VCML	AR con Sulfuros	Calidad de Material Cuña IRA = 37°
		T507	0.25 - 0.50	Si	VCML	AR con Sulfuros	N/A
T584	0.25 - 0.50	No	NM	Silice-Arcilla	N/A		
Zona Geotécnica 6	4 Prismas	T412	0.25 - 2.00	Si	AC	Propilítico	Calidad del Material IRA = 35°
		T471	0.25 - 2.50	Si	AC	Propilítico	Calidad del Material Arriba de Cuña formada en el T560 IRA = 35°
		T560	0.25 - 3.00	Si	AC	Propilítico	Calidad de Material Cuña IRA = 35°
		T588	0.25 - 0.50	Si	VCML	AR con Sulfuros	N/A
Zona Geotécnica 7	1 Extensómetro	EXT-01	10.00 - 50.00	Si	DC	Silice-Arcilla	Calidad de Material Sistema en bloque limitado por fallas y PSL IRA = 30°
		T604	30.00 - 45.00	Si	DC	Silice-Arcilla	Calidad de Material Sistema en bloque limitado por fallas y PSL IRA = 30°
		T605	10.00 - 35.00	Si	DC	Silice-Arcilla	Calidad de Material Sistema en bloque limitado por fallas y PSL IRA = 30°
		T606	10.00 - 40.00	Si	DC	AR con Sulfuros	Calidad de Material Sistema en bloque limitado por fallas y PSL IRA = 30°
		T607	2.00 - 5.00	Si	DC	AR con Sulfuros	Calidad de Material Sistema en bloque limitado por fallas y PSL IRA = 30°
		T608	10.00 - 45.00	Si	DC	Silice-Arcilla	Calidad de Material Sistema en bloque limitado por fallas y PSL IRA = 30°

**Notas:**

- NM = No se Mueve, el prisma no tiene dirección de movimiento definido aunque puede mostrar velocidades debido al error de medición.  
 VCML = Velocidad Constante Muy Lenta (< 1mm/día)  
 VCML0 = Velocidad Constante Muy Lenta en Observación (< 1mm/día), el prisma ha tenido periodos de aceleración y ahora su velocidad es menor a 1 mm/día  
 VC = Velocidad Constante (>= 1 mm/día)  
 DC = Desaceleración, el prisma ha tenido un periodo de aceleración y luego su velocidad se reduce. Se deberá considerar en esta categoría por lo menos dos meses antes que pase a VC, VCML0 o VCML  
 AC = Aceleración (>= 1 mm/día), se caracteriza por tener velocidades con tendencia exponencial

- AR = Argilico



**RESUMEN-05:  
RECOPIACIÓN DE ANTECEDENTES**

Resumen-05: Recopilación de Antecedentes

Evento	Año 2007	Año 2008	Año 2009	Año 2010	Año 2011	Año 2012	
Zona Geotécnica 1	Precipitación	1,106.60	1,126.00	1,564.90	1,038.10	914.90	1,174.20
	Periodo de Ocurrencia	3T-2007	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	Remediación	N/A	N/A	A fines de 2009 e inicios del 2010, se realizó un repliegue para en la geometría de los taludes.	N/A	N/A	N/A
	Tomografía Eléctrica	N/A	Tomografía detecta amplios sectores de baja resistividad de 8 a 20 ohm-m	N/A	Tomografía detecta tramos con resistividad de 8 a 25 ohm-m	N/A	N/A
Drenes Horizontales	PITH-141 = Seco PITH-145 = 50 gpm	PITT-07 = 200 gpm PITH-176 = 300 gpm PITH-177 = 5 gpm PITH-179 = 15 gpm	PITT-10 = 14 gpm	PITT-52 = Seco PITT-62 = 60 gpm PITH-222 = Seco PITH-227 = 50 gpm	N/A	PITH-235 = 50 gpm	
Zona Geotécnica 2	Precipitación	1,106.60	1,126.00	1,564.90	1,038.10	914.90	1,174.20
	Periodo de Ocurrencia	N/A	N/A	1T-2009	N/A	N/A	N/A
	Remediación	N/A	N/A	N/A	N/A	En el primer trimestre del 2011 y en la parte más al norte de la zona, se realizó un repliegue en la geometría de los taludes	N/A
	Tomografía Eléctrica	N/A	Tomografía detecta pequeños sectores separados por 20 m con resistividad de 10 a 20 ohm-m	N/A	N/A	N/A	N/A
Drenes Horizontales	PITH-133 = 8 gpm PITH-144 = 10 gpm PITH-146 = 80 gpm PITH-148 = 50 gpm PITH-149 = 55 gpm PITH-154 = 80 gpm PITH-161 = Seco PITH-164 = 2.5 gpm	N/A	PITT-29 = 10 gpm PITT-32 = 50 gpm PITT-33 = 5 gpm PITH-201 = 120 gpm	PITT-47 = 20 gpm PITT-49 = 90 gpm PITT-60 = 2 gpm PITT-63 = 8 gpm PITT-64 = Seco PITH-217 = 15 gpm PITH-22 = 1.5 gpm PITH-226 = Seco	PITT-72 = Seco	PITT-80 = 8 gpm	
Zona Geotécnica 3	Precipitación	1,106.60	1,126.00	1,564.90	1,038.10	914.90	1,174.20
	Periodo de Ocurrencia	N/A	N/A	1T-2009	N/A	N/A	N/A
	Remediación	N/A	N/A	En el primer trimestre del 2009, se realizó un repliegue en la geometría de los taludes.	N/A	N/A	N/A
	Tomografía Eléctrica	N/A	Tomografía detecta pequeños sectores separados por 20 m con resistividad de 15 a 20 ohm-m	N/A	Tomografía detecta pequeños sectores separados por 20 m con resistividad de 20 a 25 ohm-m	N/A	N/A
Drenes Horizontales	N/A	PITT-05 = 25 gpm PITT-06 = 0.5 gpm	N/A	PITT-54 = 20 gpm PITT-55 = 8 gpm PITH-225 = Seco	PITT-73 = Seco	PITT-79 = 2 gpm PITT-80 = 8 gpm	
Zona Geotécnica 4	Precipitación	1,106.60	1,126.00	1,564.90	1,038.10	914.90	1,174.20
	Periodo de Ocurrencia	N/A	N/A	3T-2009	N/A	N/A	N/A
	Remediación	N/A	N/A	A fines de 2009 e inicios del 2010, se realizó un repliegue para en la geometría de los taludes	N/A	N/A	N/A
	Tomografía Eléctrica	N/A	Tomografía detecta pequeños sectores separados por 20 m con resistividad de 10 a 20 ohm-m	N/A	Resistividades obtenidas en tramos aislados en el rango de 10 a 25 ohm-m en varios tramos	N/A	N/A
Drenes Horizontales	PITH-139 = 50 gpm PITH-142 = 55 gpm PITH-143 = 3 gpm PITH-147 = 100 gpm PITH-165 = 13 gpm PITH-163 = 3.85 gpm PITH-167 = Seco	N/A	PITH-181 = 45.8 gpm	PITT-59 = 23 gpm	PITT-71 = 12 gpm	PITT-83 = Seco	
Zona Geotécnica 5	Precipitación	1,106.60	1,126.00	1,564.90	1,038.10	914.90	1,174.20
	Periodo de Ocurrencia	N/A	N/A	4T-2009	N/A	N/A	N/A
	Remediación	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	Tomografía Eléctrica	N/A	Tomografía detecta pequeños sectores separados por 20 m con resistividad de 10 a 20 ohm-m	N/A	Resistividades obtenidas en el rango de 20-25 ohm-m	N/A	N/A
Drenes Horizontales	N/A	N/A	PITT-36 = Seco	PITT-45 = 14 gpm PITT-53 = Seco PITT-56 = 20 gpm PITH-216 = 8 gpm PITH-218 = Seco PITH-223 = 4 gpm	N/A	PITT-75 = 7 gpm PITT-76 = 6 gpm PITT-78 = 8 gpm PITH-232 = 5 gpm	
Zona Geotécnica 6	Precipitación	1,106.60	1,126.00	1,564.90	1,038.10	914.90	1,174.20
	Periodo de Ocurrencia	N/A	N/A	N/A	1T-2010	N/A	N/A
	Remediación	N/A	N/A	N/A	En el primer trimestre se realizó un repliegue en la geometría de los taludes	N/A	N/A
	Tomografía Eléctrica	N/A	Tomografía detecta un tramo con resistividad de 15 a 20 ohm-m	N/A	Amplio sector de resistividad baja de 18-25 ohm-m pero a 100 metros de profundidad desde Rampa InPit	N/A	N/A
Drenes Horizontales	PITH-136 = 3 gpm PITH-137 = 6 gpm	N/A	PITT-24 = Seco	PITT-61 = 15 gpm	N/A	N/A	
Zona Geotécnica 7	Precipitación	1,106.60	1,126.00	1,564.90	1,038.10	914.90	1,174.20
	Periodo de Ocurrencia	N/A	N/A	N/A	3T-2010	N/A	N/A
	Remediación	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	En el primer trimestre se realizó un repliegue en la geometría de los taludes Actualmente se encuentra a 5 metros del botadero principal.
	Tomografía Eléctrica	N/A	N/A	N/A	Resistividad mínima de 55 ohm-m	N/A	N/A
Drenes Horizontales	PITH-134 = 5 gpm	N/A	N/A	N/A	PITT-65 = 10 gpm PITT-66 = 14 gpm PITT-69 = Seco PITH-228 = 5 gpm	PITT-77 = 8 gpm PITH-233 = 5 gpm	

1. 1T = Primer Trimestre, 3T = Tercer Trimestre, 4T = Cuarto Trimestre  
2. gpm = galones por minuto

**RESUMEN-06:  
EVALUACIÓN GEOTÉCNICA DE LAS  
SECCIONES**

Resumen-06: Evaluación Geotécnica de las Secciones

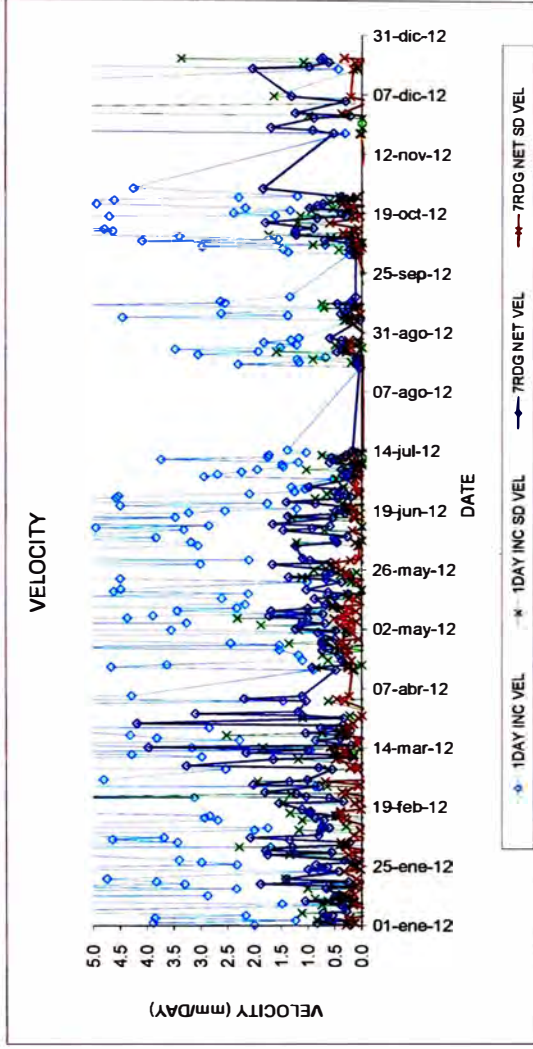
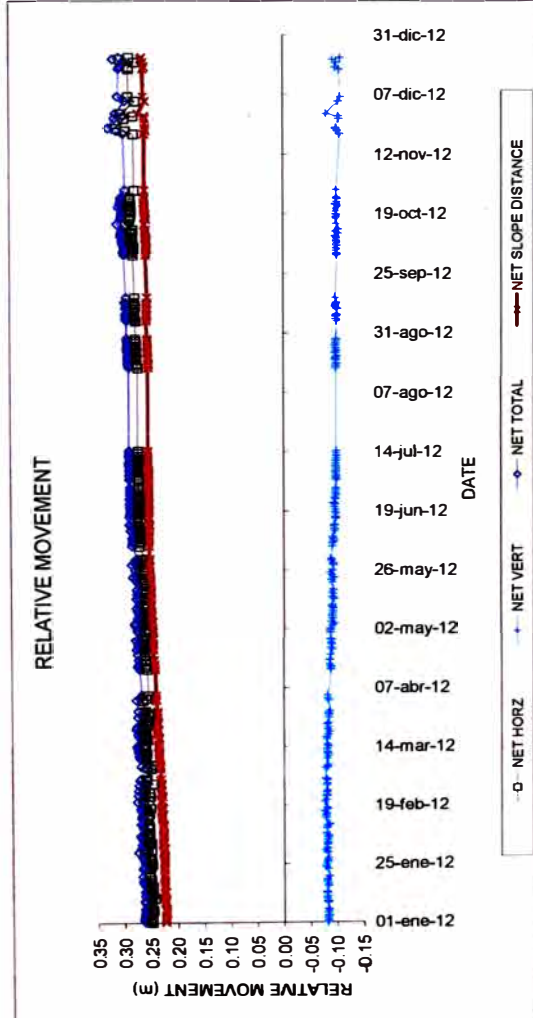
Sección Geotécnica	Nombres de las Zonas de Análisis	¿Piezómetros en la influencia de 0 - 50 metros? (Si/No)	¿Piezómetros en la influencia de 50 - 100 metros? (Si/No)	Nombre de Prisma a Evaluar	Velocidad (mm/día)	Dirección de Movimiento Definido (Si/No)	Integración de Prisma	Comentario acerca del estado	Tipo de Ángulo de Talud (IRA/OA/N/A)	Ángulo de Talud (°)	Altura de Talud (m)	Alteración Predominante (A/QA)	Estructuras geológicas desfavorables (Si/No)		
Sección A	Zonas Geotécnicas 1 y 4	Si	Si	3 piezómetros	4 piezómetros	T361	0.25 - 0.50	No	NM	N/A	OA	25	260	AR	Si Tres estructuras
						T366	0.25 - 1.00	Si	VCML	N/A					
						T367	0.25 - 1.00	Si	VCML	N/A					
						T414	0.25 - 0.50	Si	VCML	N/A					
						T435	0.25 - 0.50	Si	VCML	N/A					
						T482	0.25 - 0.50	Si	VCML	N/A					
T509	0.25 - 0.50	Si	VCML	N/A											
Sección B	Zonas Geotécnicas 2, 3 y 6	Si	Si	1 Piezómetro	1 Piezómetro	T412	0.25 - 2.00	Si	AC	Seguimiento	OA	28	300	AR	Si Seis estructuras
						T471	0.25 - 2.50	Si	AC	Seguimiento					
						T508	0.50 - 2.50	Si	DC	Seguimiento					
						T540	0.25 - 0.50	Si	VCML	N/A					
						T560	0.25 - 3.00	Si	AC	Seguimiento					
						T569	0.25 - 0.50	Si	VCML	Seguimiento					
Sección C	Zonas Geotécnicas 2, 5 y 6	Si	No	4 Piezómetros	No	T165	0.25 - 0.75	Si	VCML	N/A	OA	30	345	AR	Si Once estructuras
						T410	0.25 - 0.50	Si	VCML	N/A					
						T565	0.25 - 0.50	Si	VCML	N/A					
						T588	0.25 - 0.50	Si	VCML	N/A					
Sección D	Zonas Geotécnicas 2 y 5	Si	Si	6 Piezómetros	4 Piezómetros	P4130	0.25 - 0.50	No	NM	N/A	OA	31	395	AR	Si Ocho estructuras
						T021	0.25 - 0.50	No	NM	N/A					
						T022	0.25 - 0.50	No	NM	N/A					
						T101	0.25 - 0.50	No	NM	N/A					
						T102	0.25 - 0.50	Si	VCML	N/A					
						T342	0.25 - 1.00	Si	VCML	Seguimiento					
						T350	0.25 - 0.50	No	NM	N/A					
						T452	0.25 - 0.50	Si	VCML	N/A					
						T506	0.25 - 1.00	Si	VCML	Seguimiento					
						T584	0.25 - 0.50	Si	VCML	N/A					
T587	0.25 - 0.50	Si	VCML	N/A											
Sección E	Zona Geotécnica 7	No	Si	2 Piezómetros	No	EXT-01	10.00 - 50.00	Si	AC	Seguimiento	IRA	30	140	AR	Si Una estructura
						T604	30.00 - 45.00	Si	AC	Seguimiento					
						T608	10.00 - 45.00	Si	AC	Seguimiento					

Notas:

- NM = No se Mueve, el prisma no tiene dirección de movimiento definido aunque puede mostrar velocidades debido al error de medición.  
VCML = Velocidad Constante Muy Lenta (< 1mm/día).  
VCMLO = Velocidad Constante Muy Lenta en Observación (< 1mm/día), el prisma ha tenido periodos de aceleración y ahora su velocidad es menor a 1 mm/día.  
VC = Velocidad Constante (>= 1 mm/día).  
DC = Desaceleración, el prisma ha tenido un periodo de aceleración y luego su velocidad se reduce. Se deberá considerar en esta categoría por lo menos dos meses antes que pase a VC, VCMLO o VCML.  
AC = Aceleración (>= 1 mm/día), se caracteriza por tener velocidades con tendencia exponencial.
- IRA = Del inglés Inter Ramp Angle. Ángulo Inter-Rampa  
GA = Del inglés Global Angle. Ángulo Global  
N/A = No Aplica
- AR = Argilico; QA = Cuarzo-Alunita

**ANEXO B:  
REGISTRO DE DEFORMACIÓN DE  
PRISMAS Y EXTENSÓMETROS**

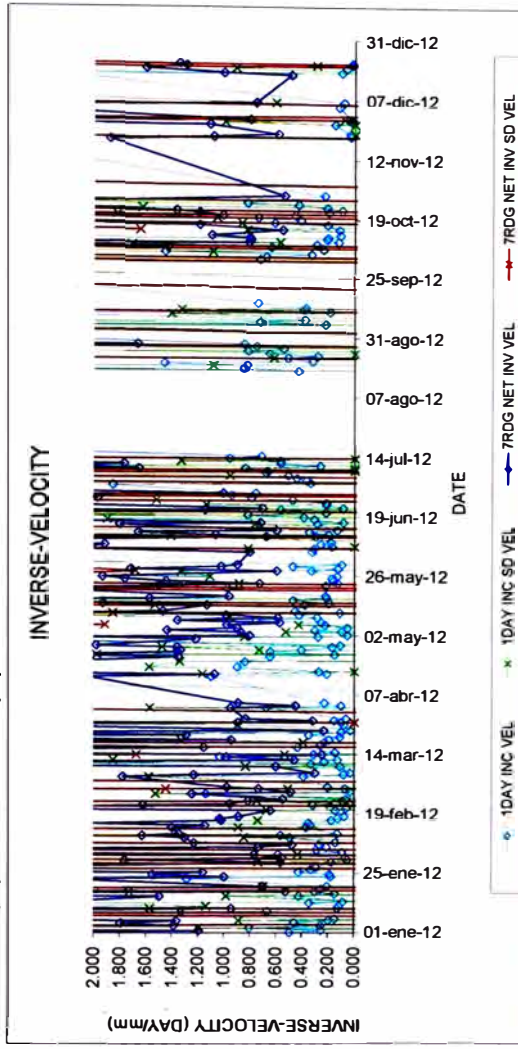
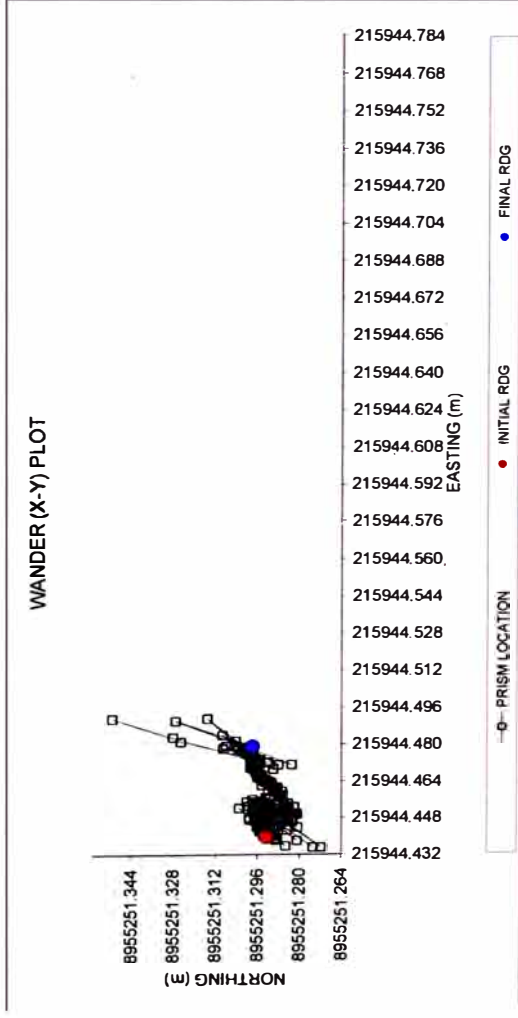
# **ZONA GEOTÉCNICA 1**

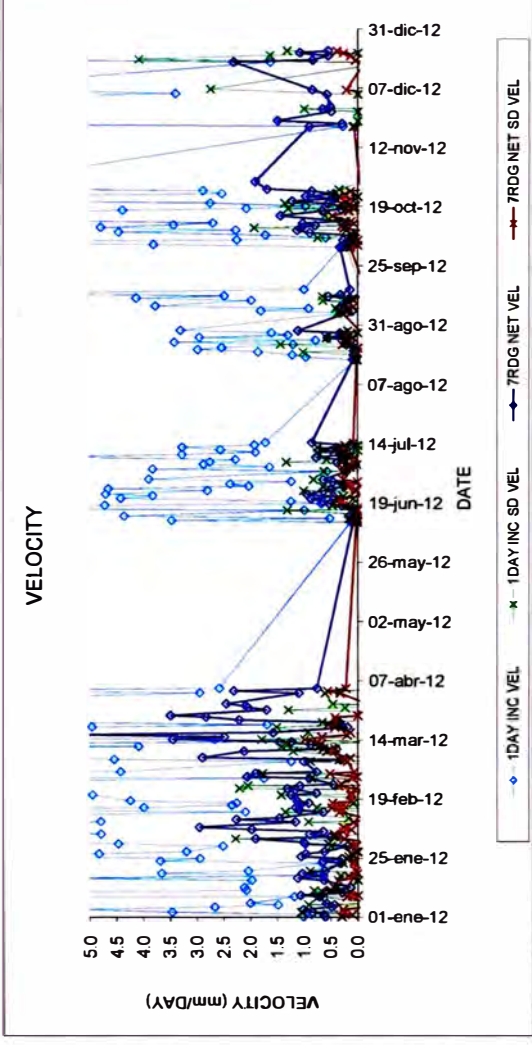
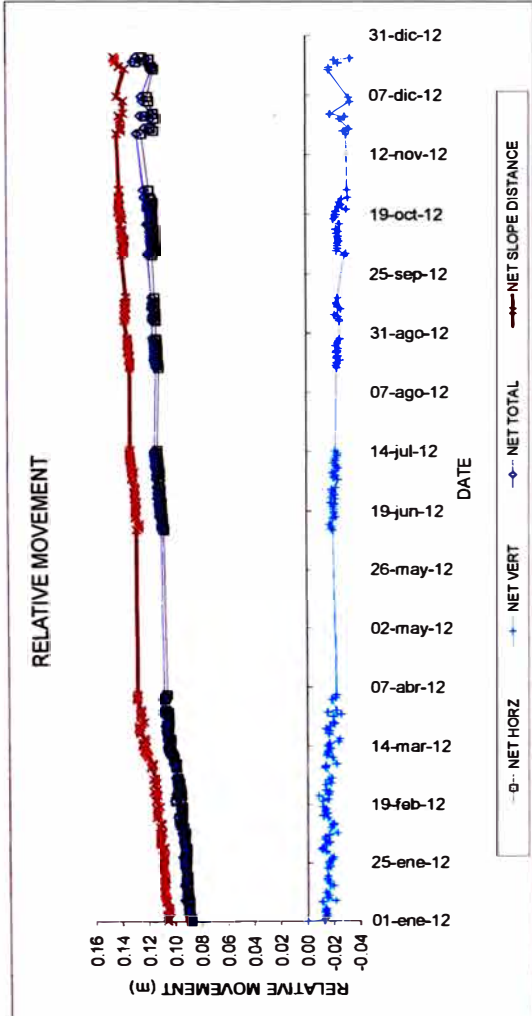


T435

INITIAL SURVEY READING MAR 09, 2010 8:13 A.M.

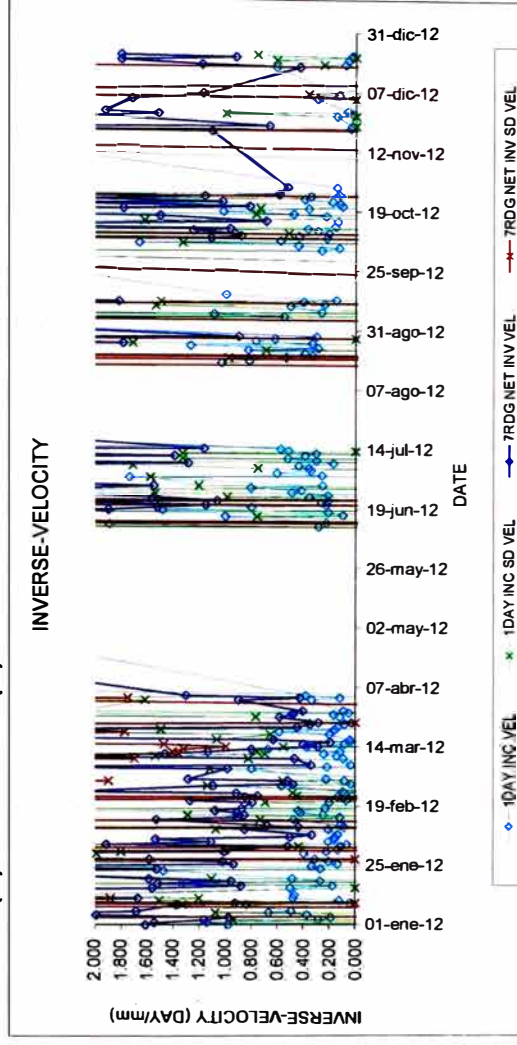
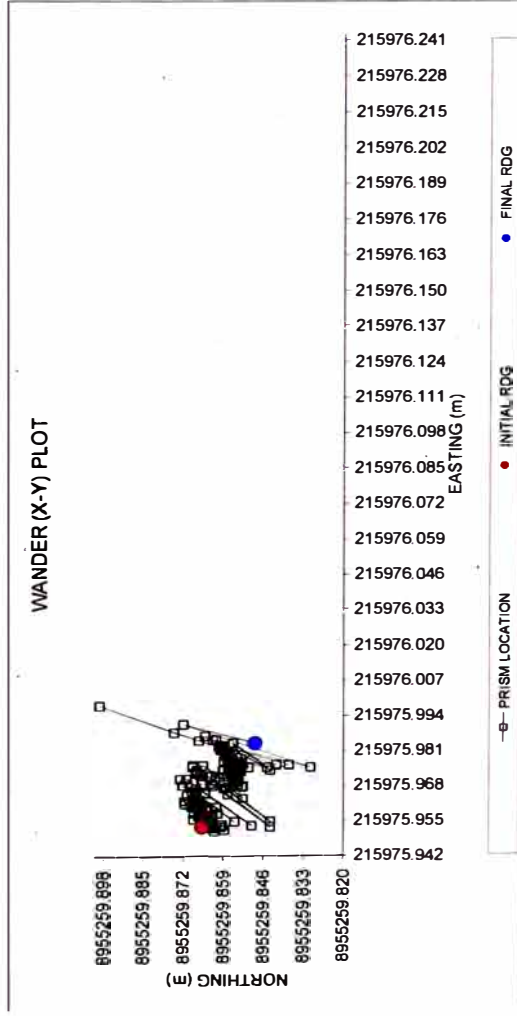
1 DAY AVERAGE CALCS : 0 OUTLIER(S) : 0 RESET(S)



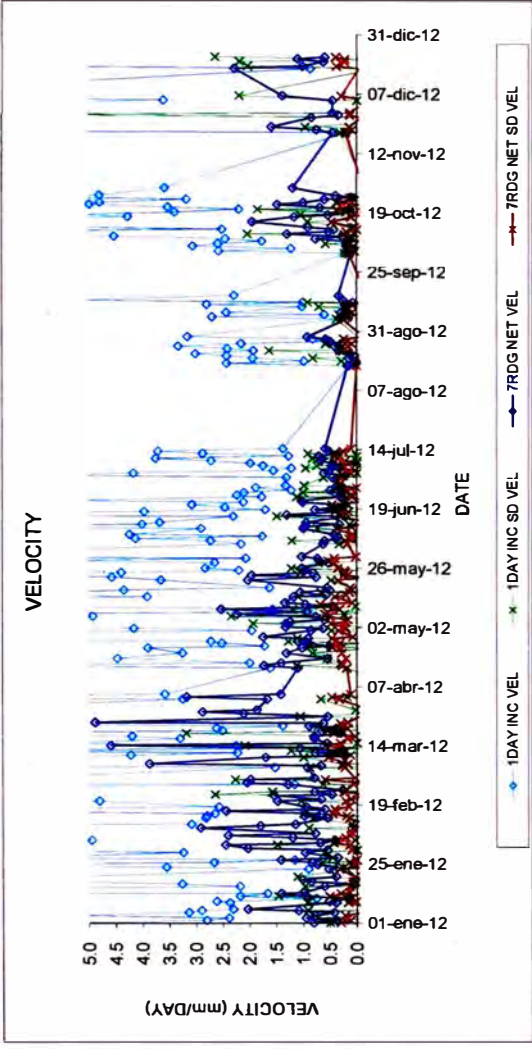
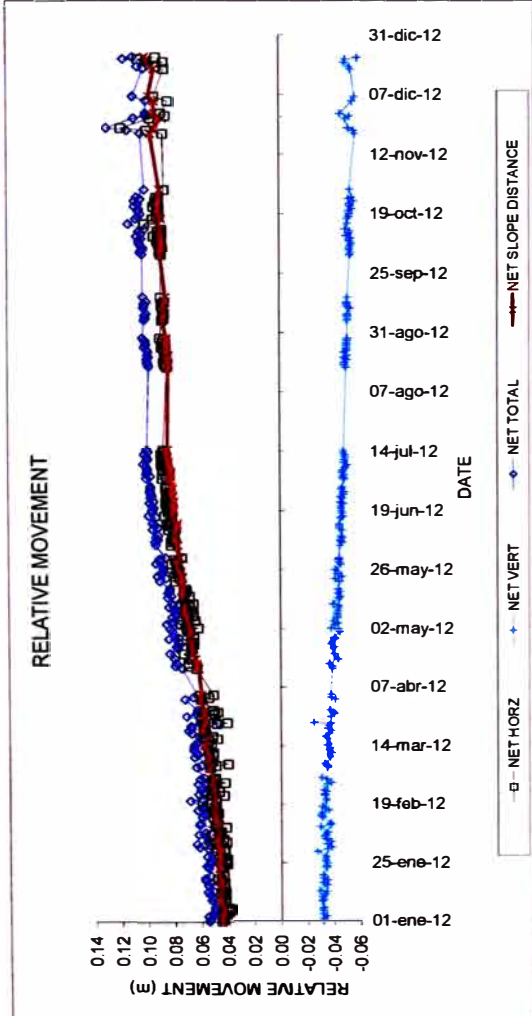


T482

**INITIAL SURVEY READING NOV 07, 2010 11:02 A.M.  
1 DAY AVERAGE CALCS : 0 OUTLIER(S) : 0 RESET(S)**

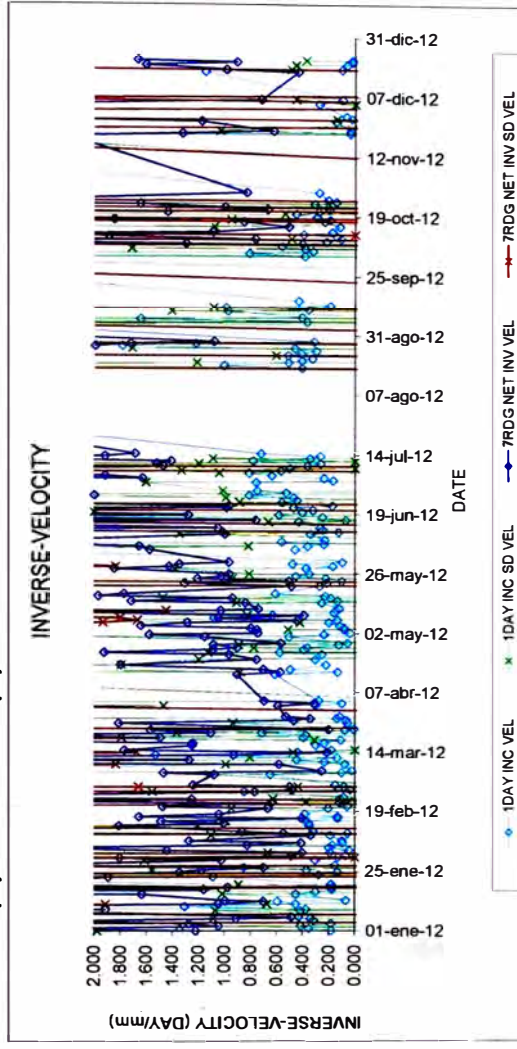
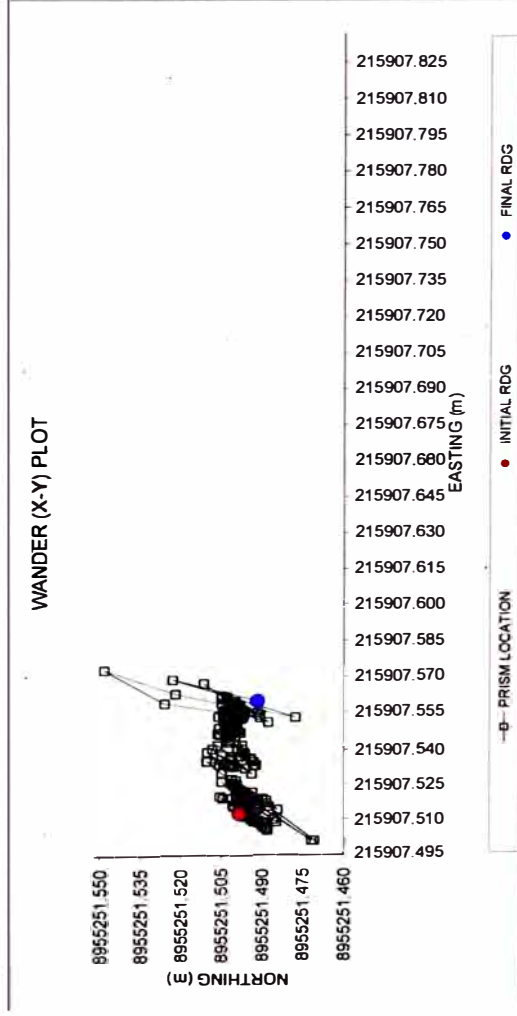




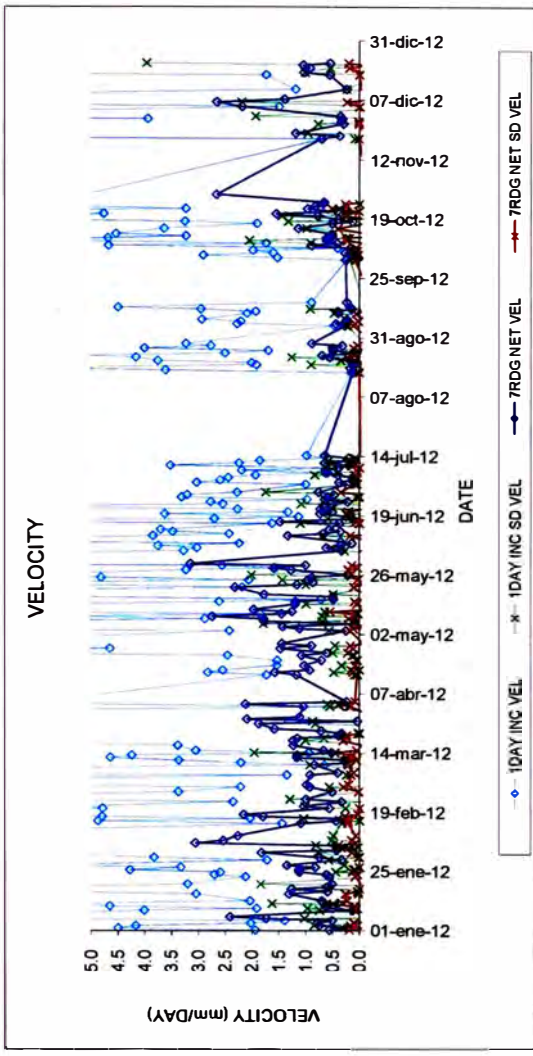
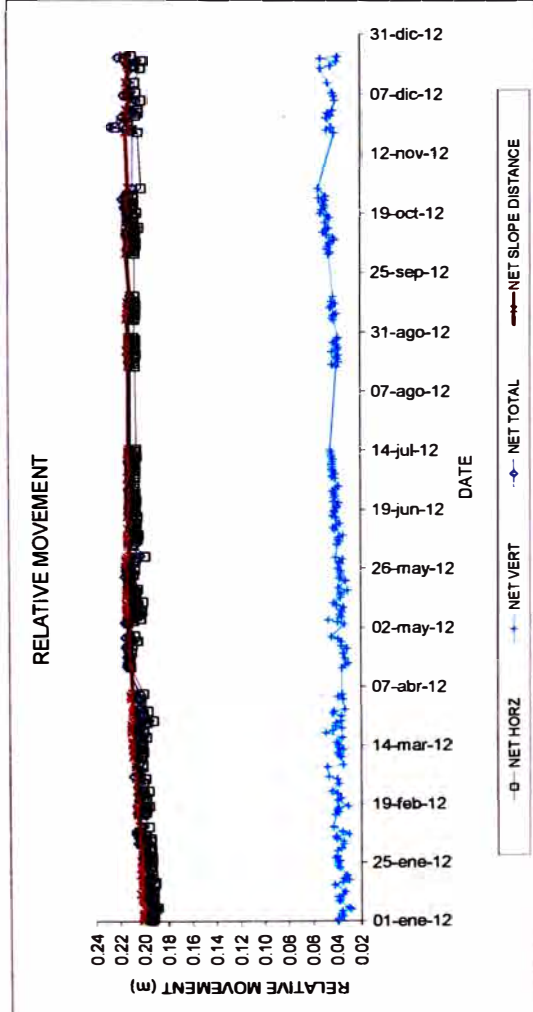


T509

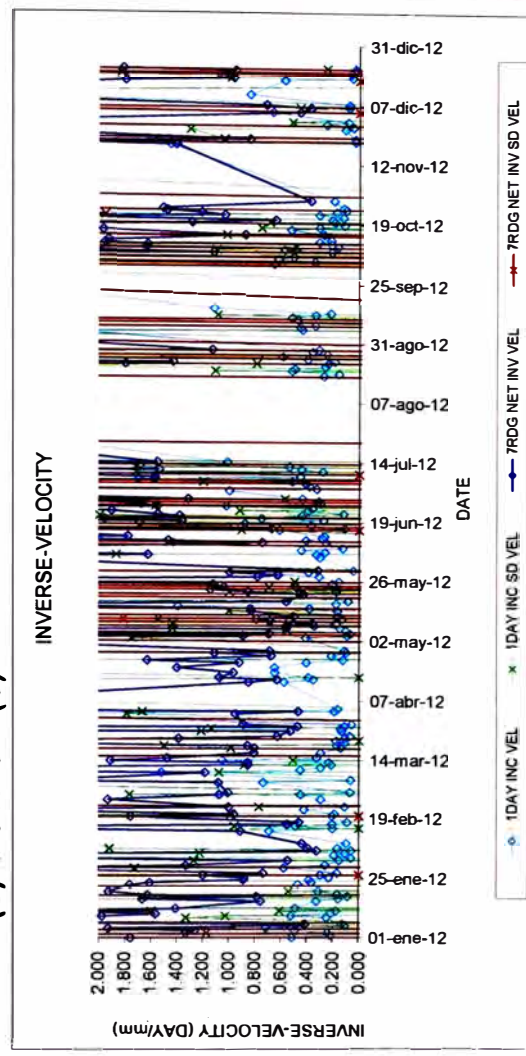
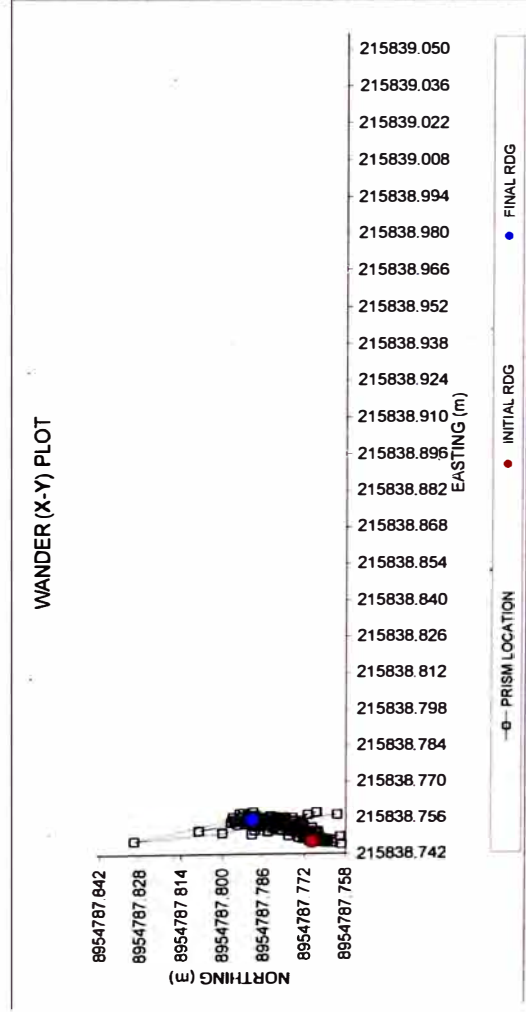
**INITIAL SURVEY READING ABR 08, 2011 11:17 A.M.  
1 DAY AVERAGE CALCS : 0 OUTLIER(S) : 0 RESET(S)**

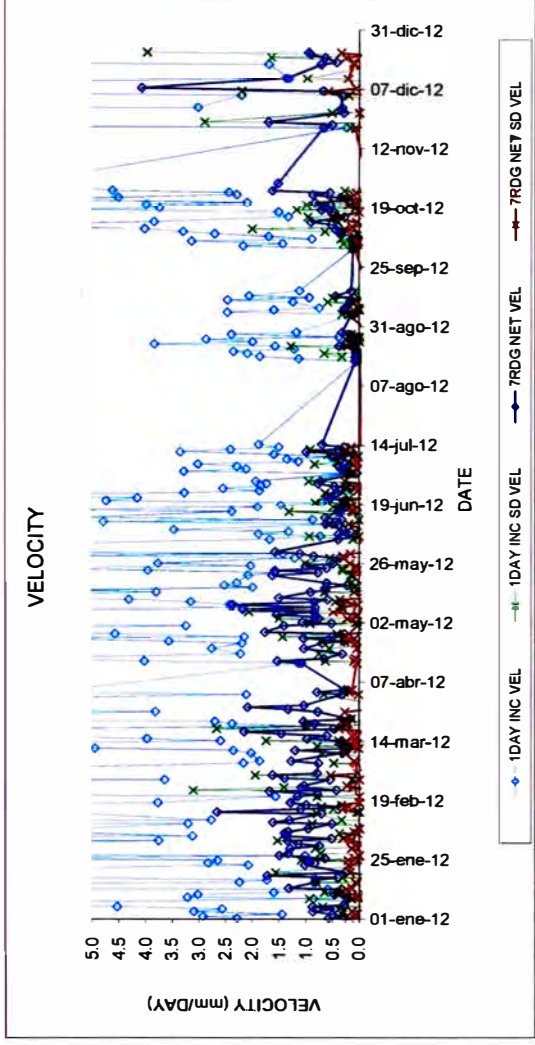
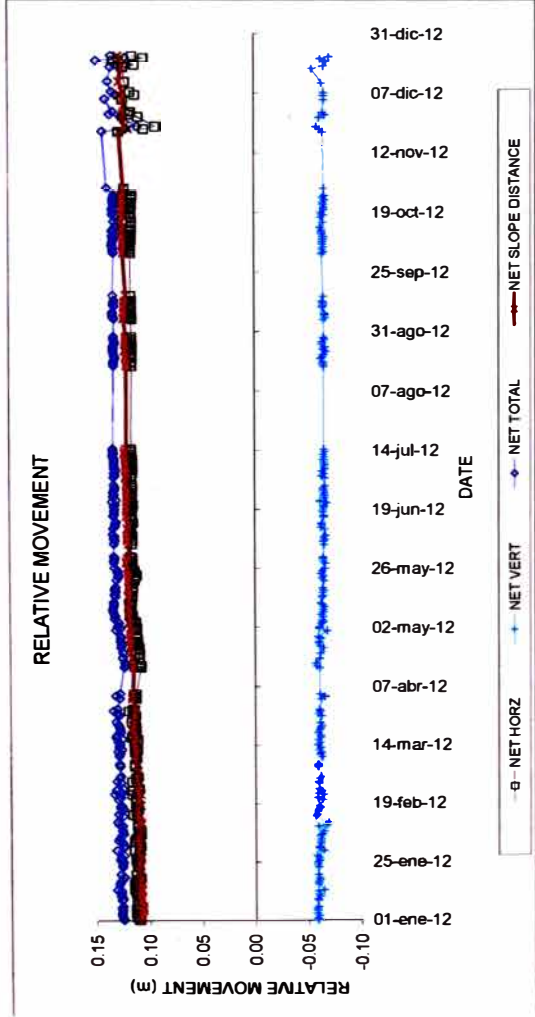


## **ZONA GEOTÉCNICA 2**



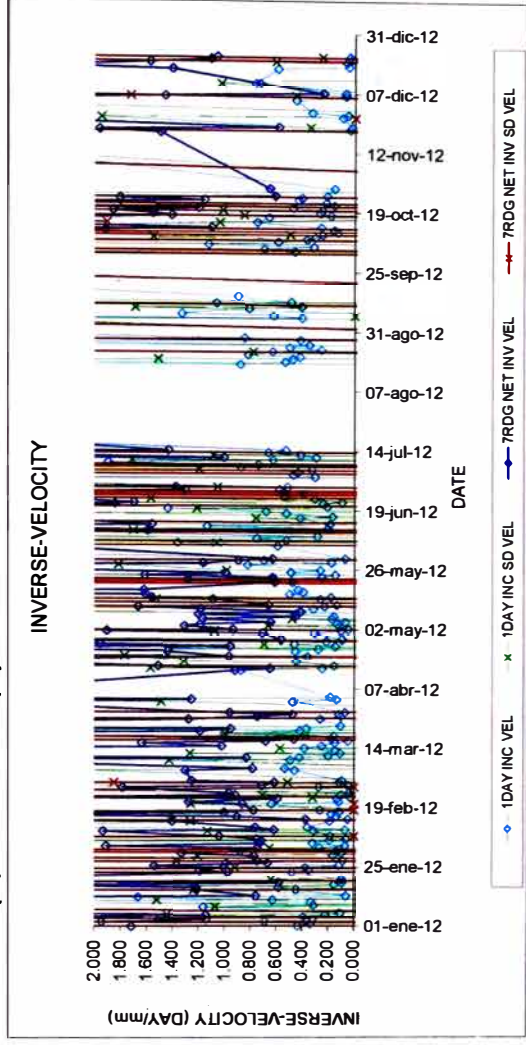
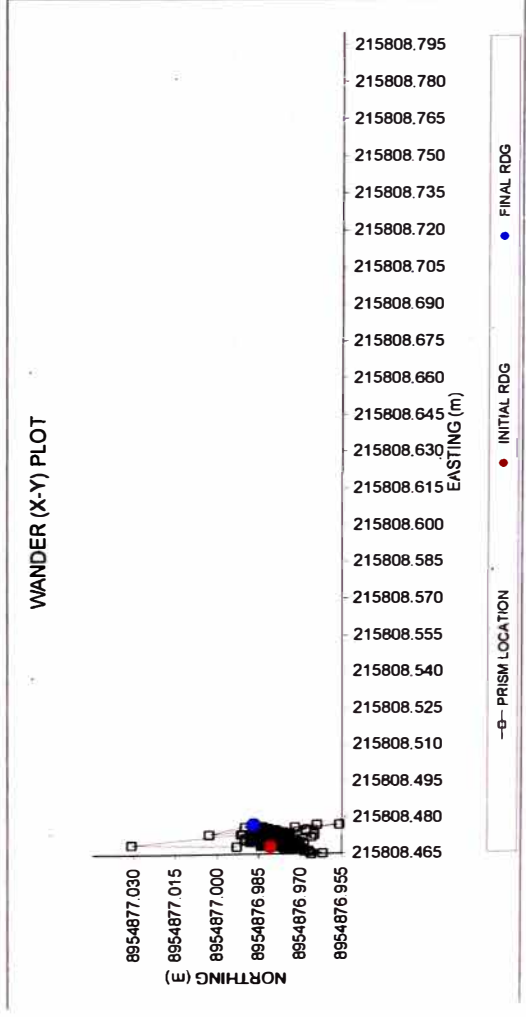
**T022**  
**INITIAL SURVEY READING AGO 20, 2009 1:48 A.M.**  
**1 DAY AVERAGE CALCS : 0 OUTLIER(S) : 0 RESET(S)**

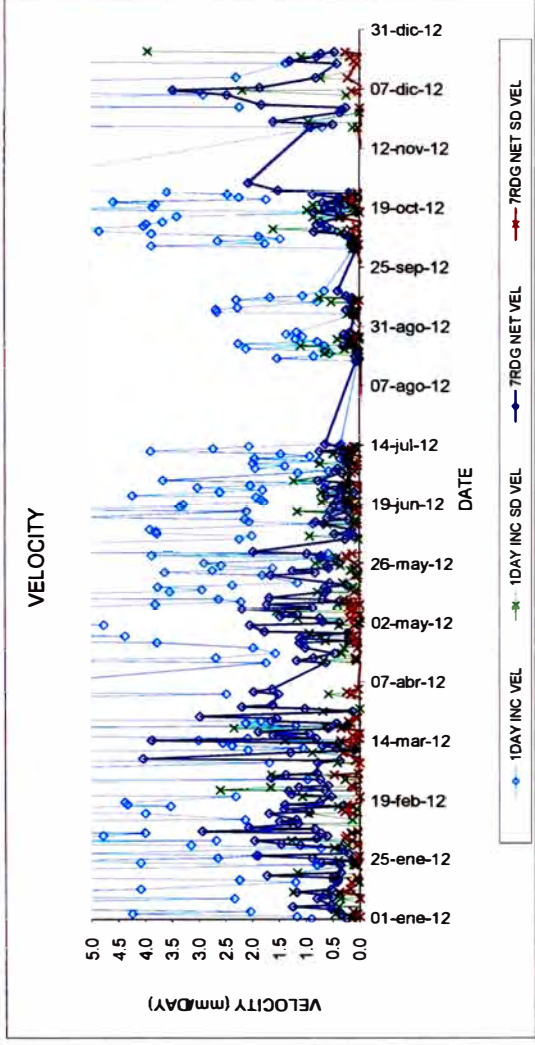
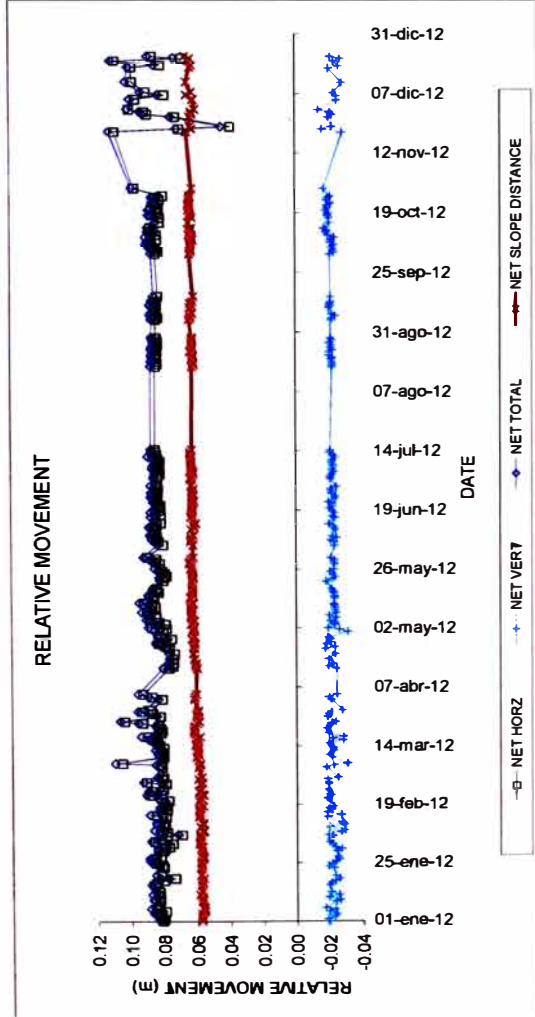




T023

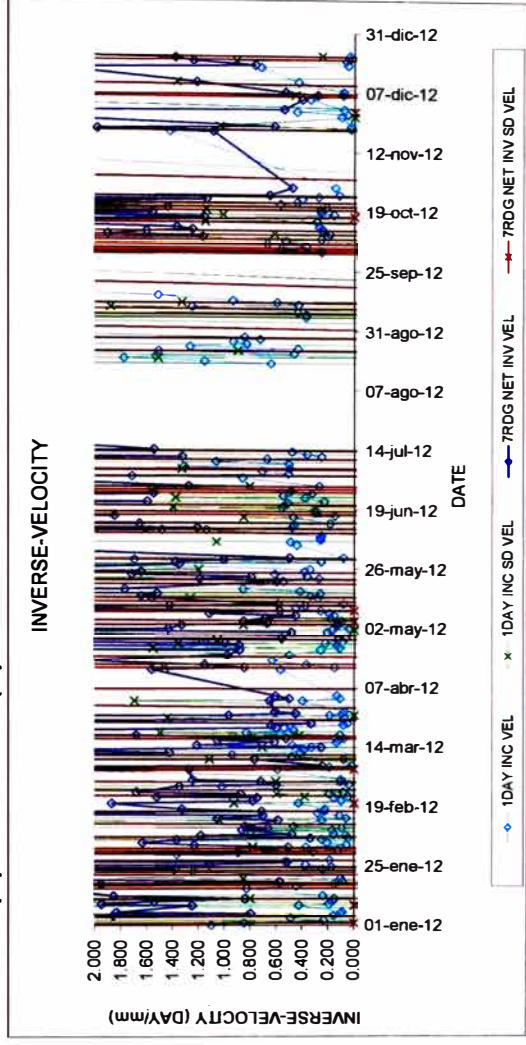
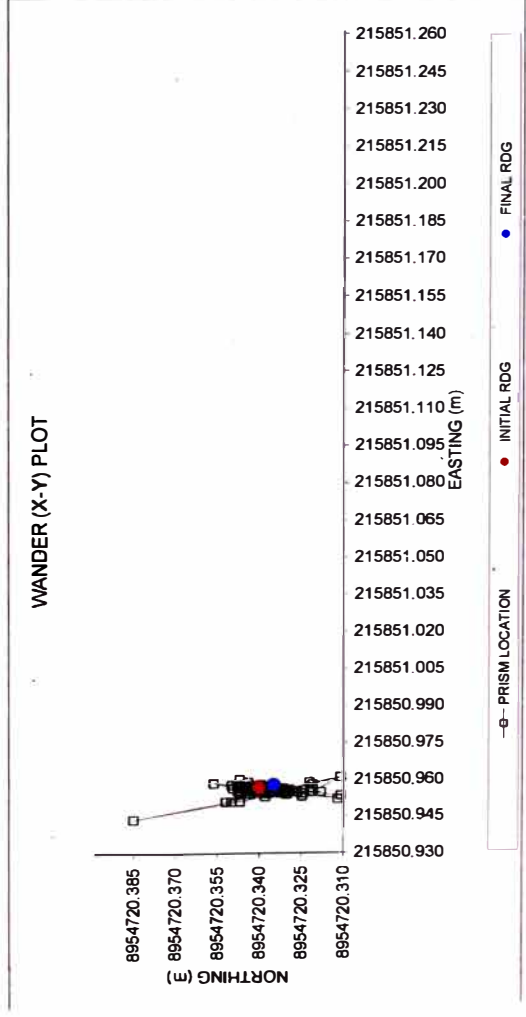
**INITIAL SURVEY READING ENE 07, 2010 1:12 P.M.  
1 DAY AVERAGE CALCS : 0 OUTLIER(S) : 0 RESET(S)**

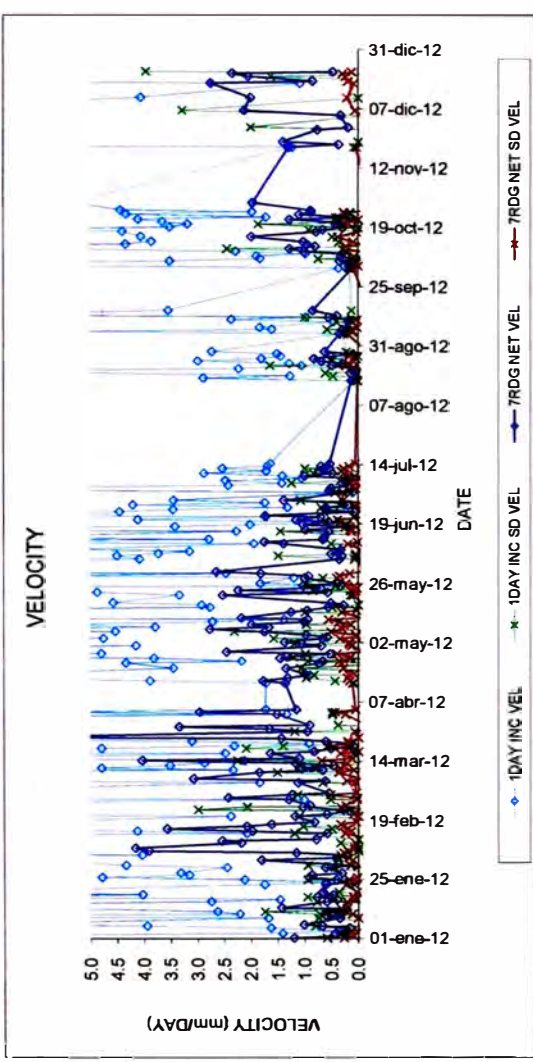
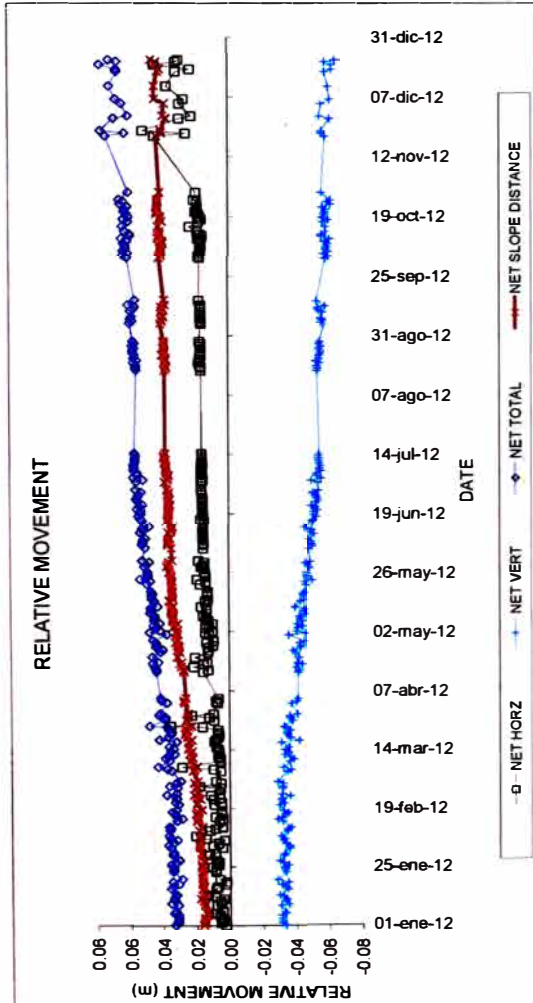




T107

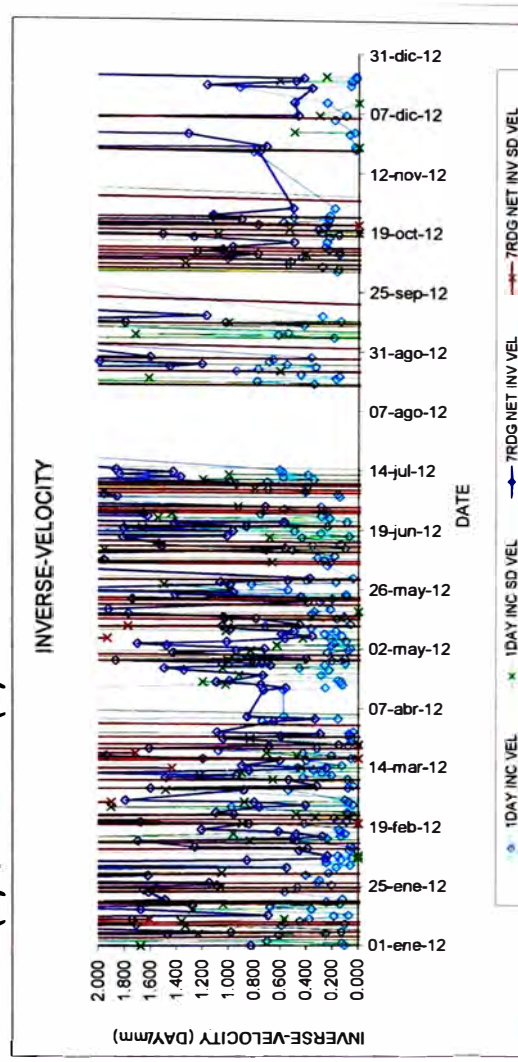
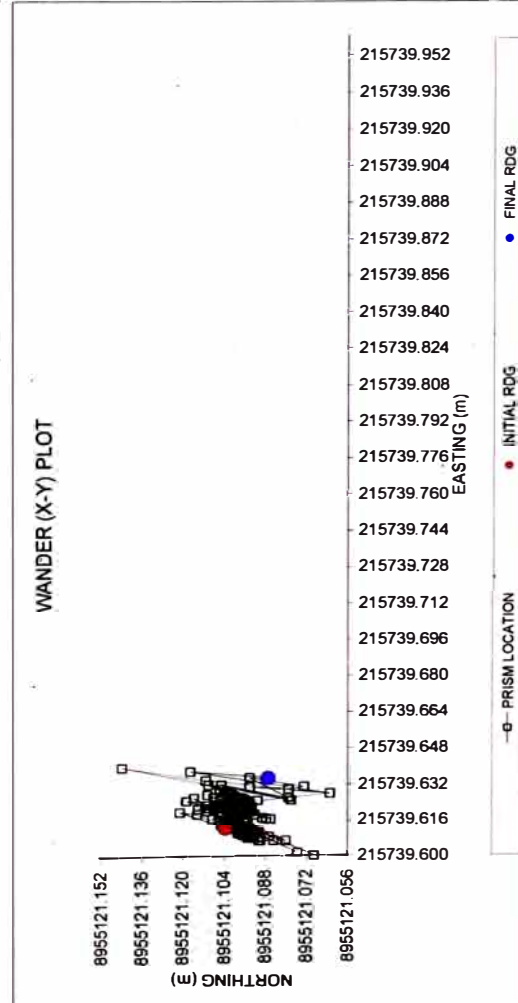
**INITIAL SURVEY READING ENE 07, 2010 1:20 P.M.**  
**1 DAY AVERAGE CALCS : 0 OUTLIER(S) : 0 RESET(S)**

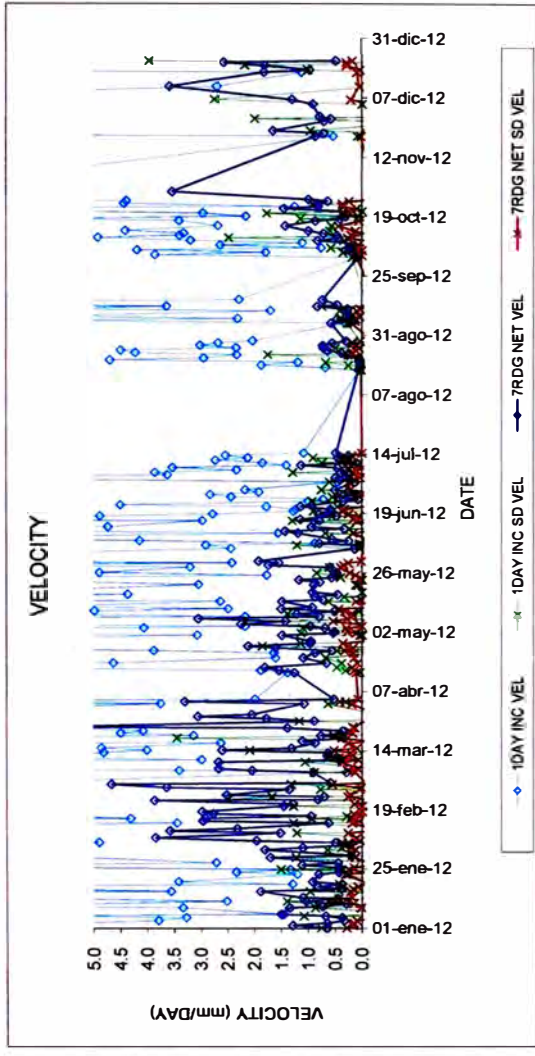
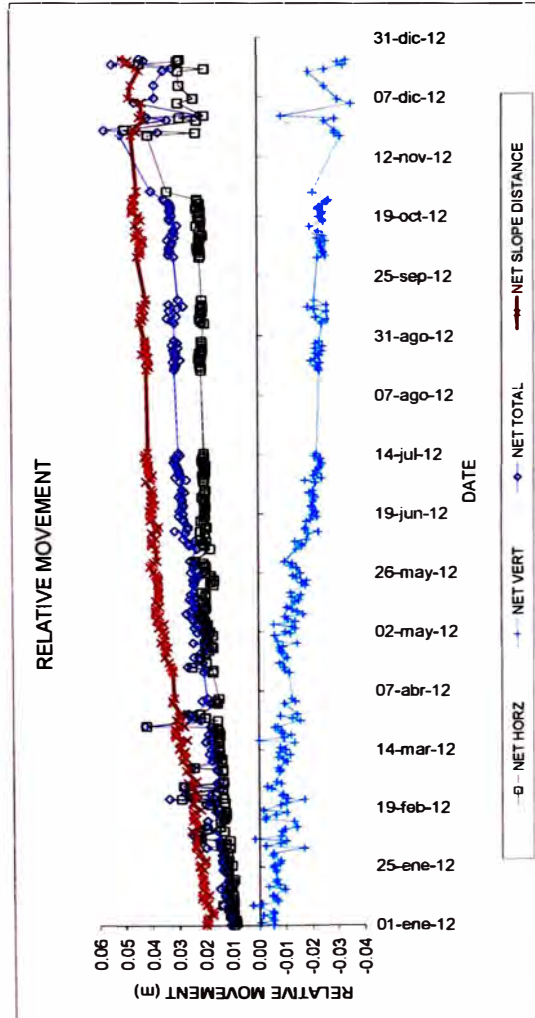




T540

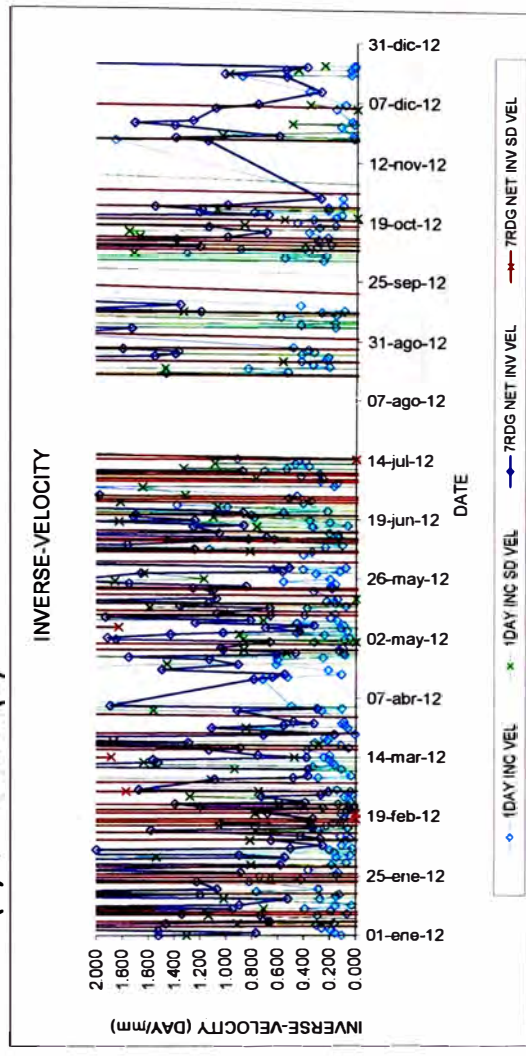
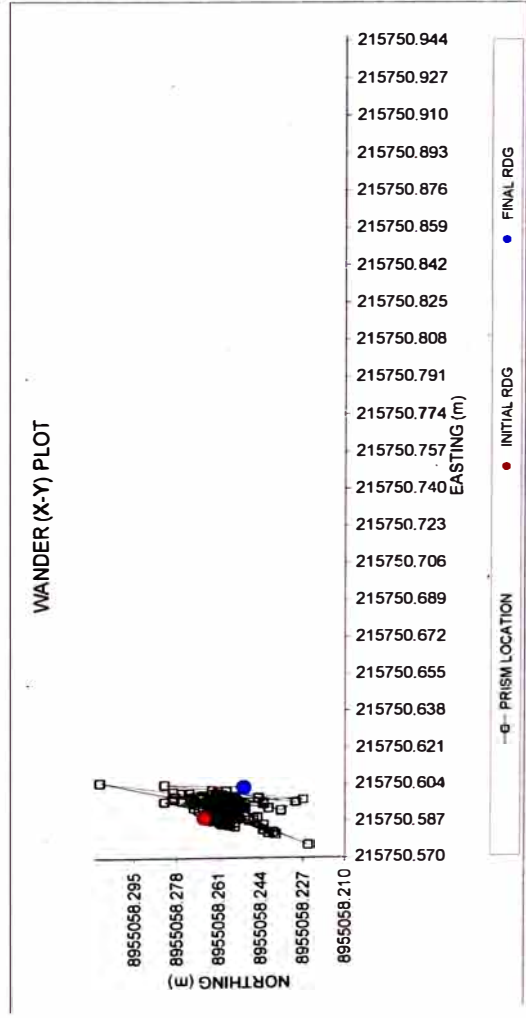
INITIAL SURVEY READING MAY 03, 2011 6:34 P.M.  
 1 DAY AVERAGE CALCS : 0 OUTLIER(S) : 0 RESET(S)

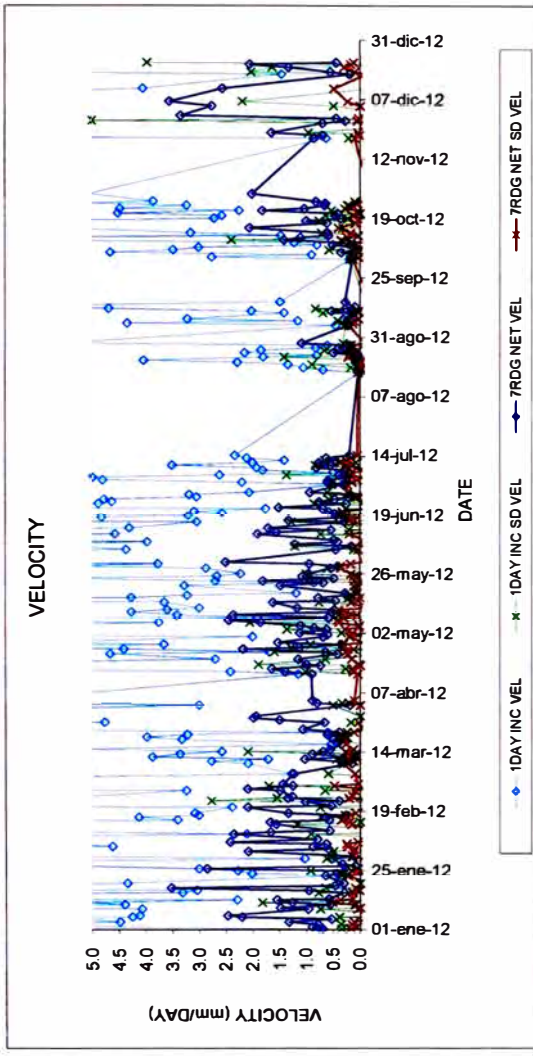
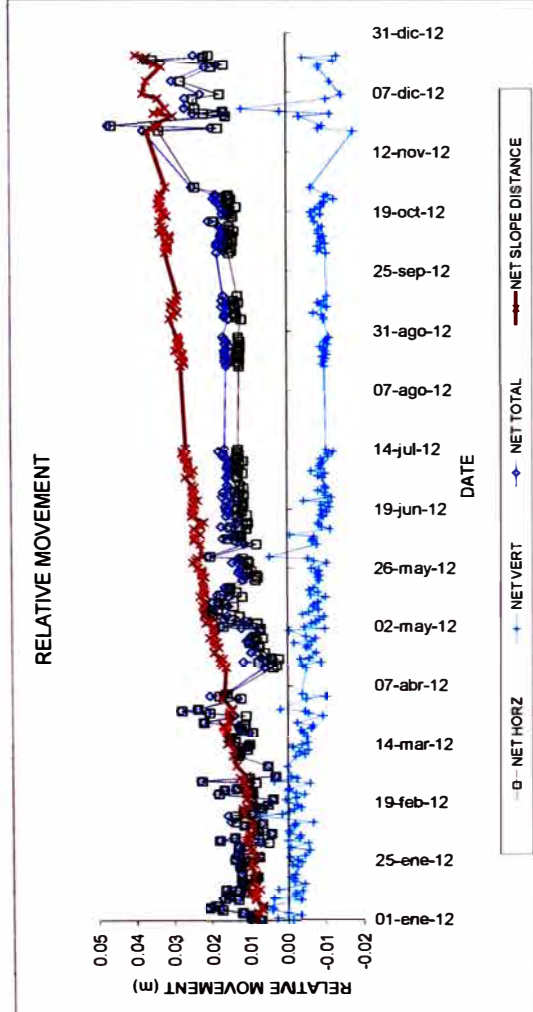




T541

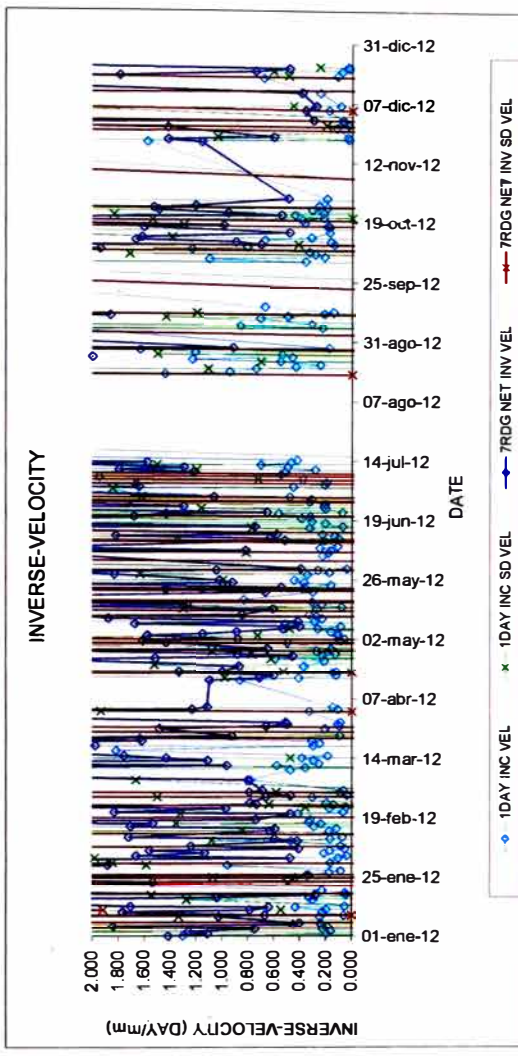
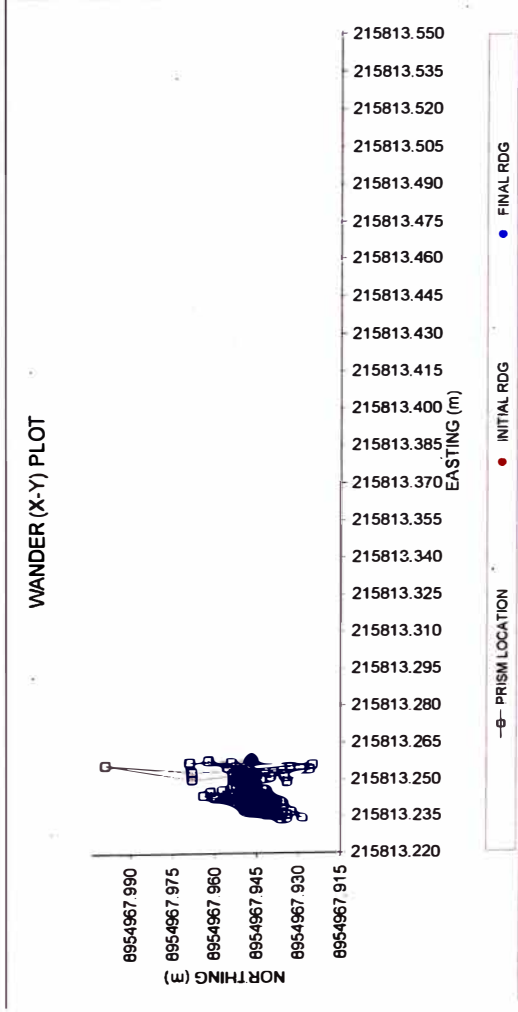
**INITIAL SURVEY READING MAY 03, 2011 6:34 P.M.  
1 DAY AVERAGE CALCS : 0 OUTLIER(S) : 0 RESET(S)**



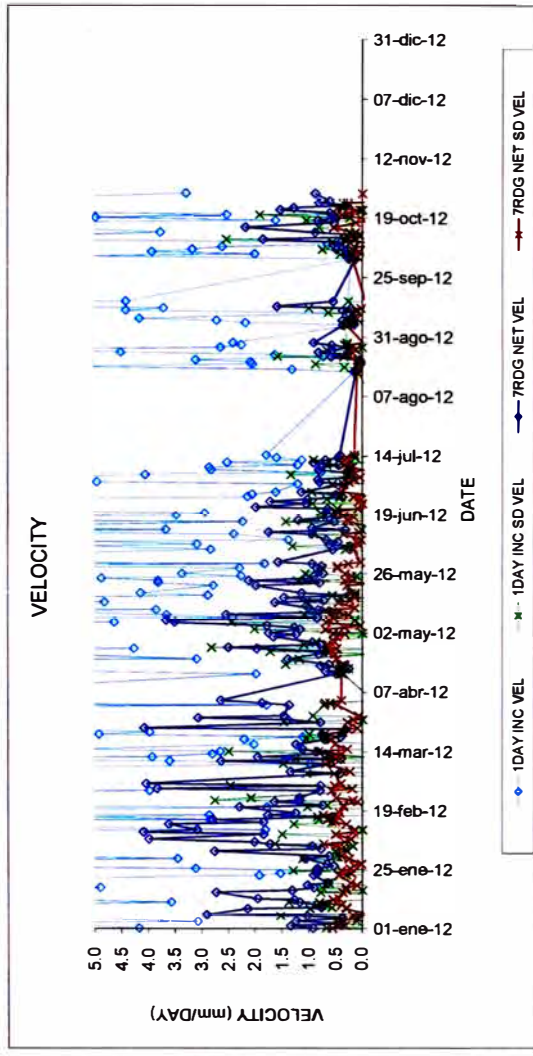
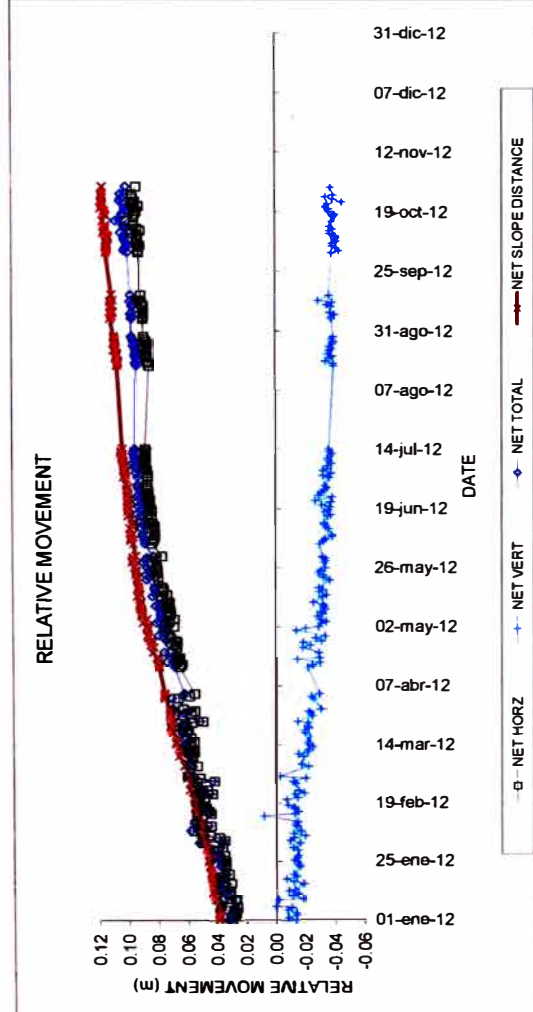


**T565**

**INITIAL SURVEY READING AGO 06, 2011 1:07 A.M.  
1 DAY AVERAGE CALCS : 0 OUTLIER(S) : 0 RESET(S)**

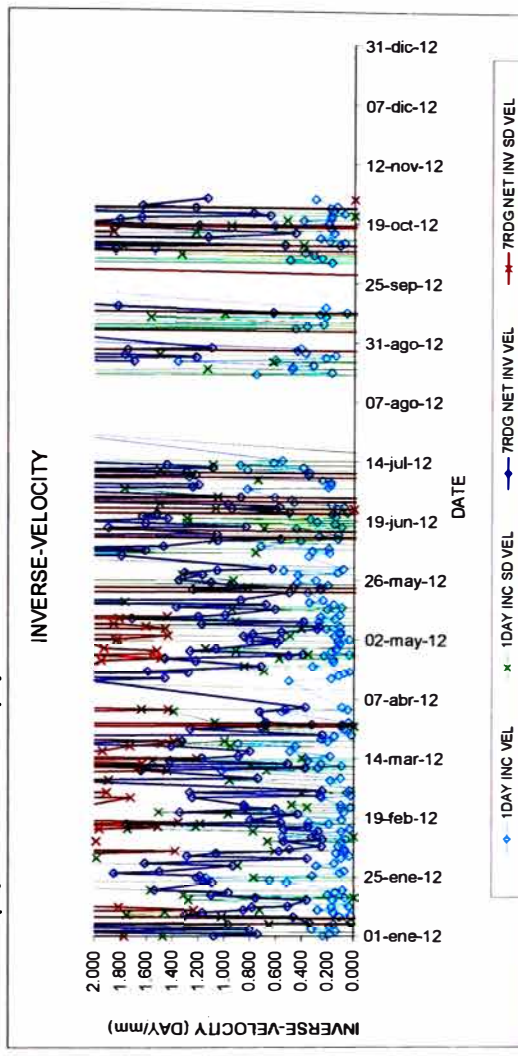
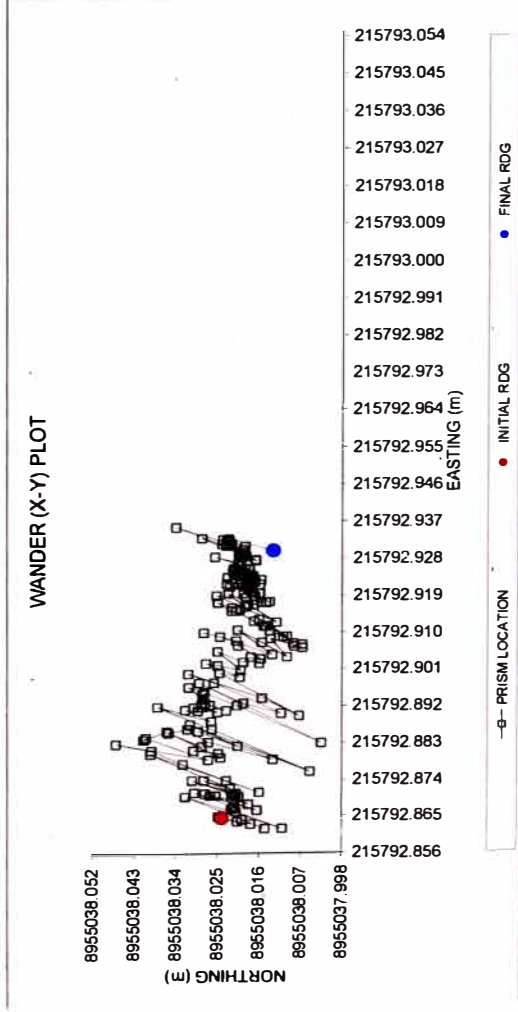


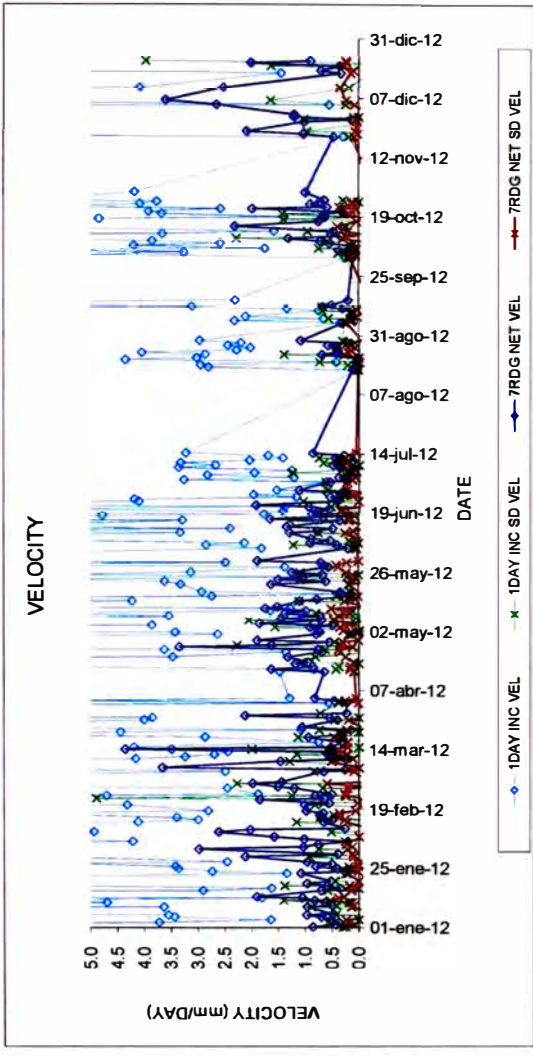
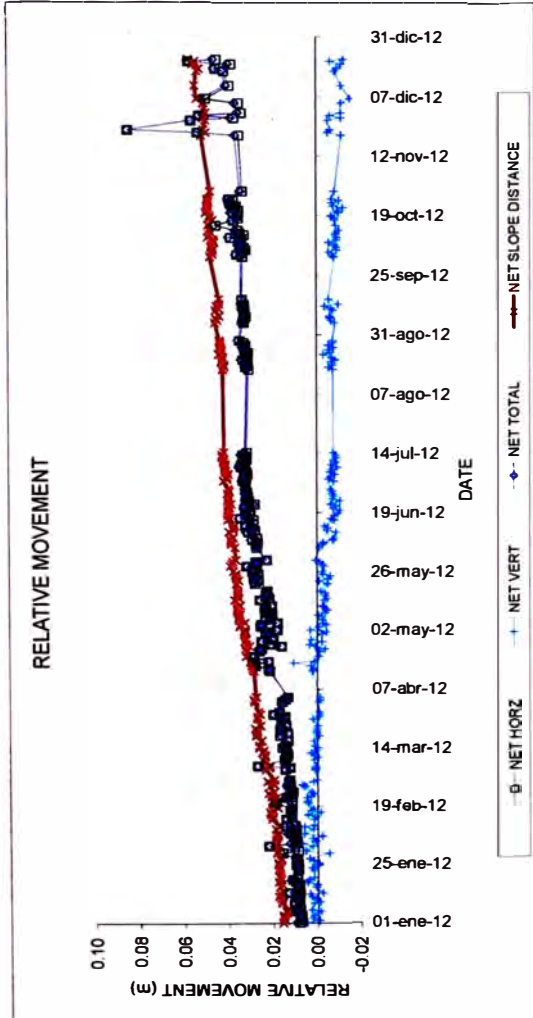




**T566**

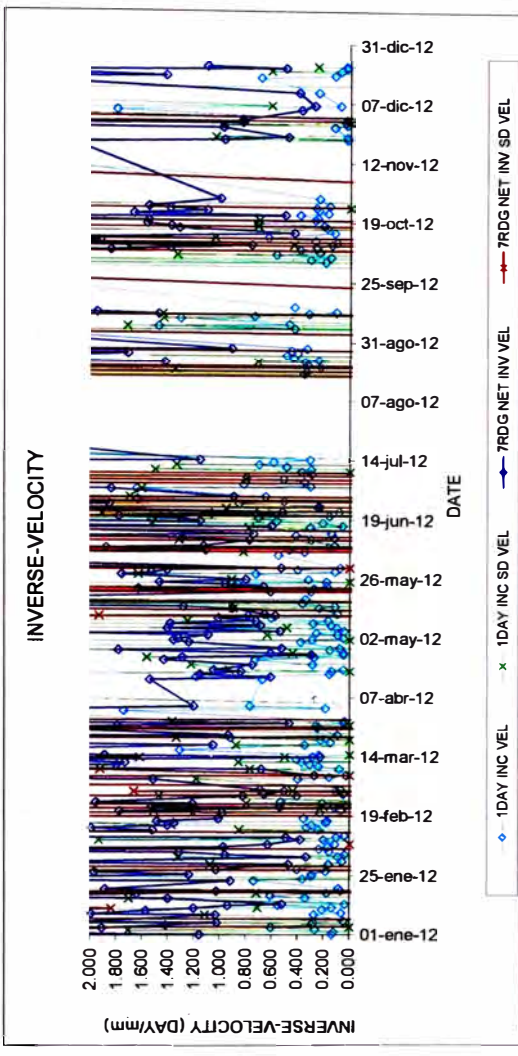
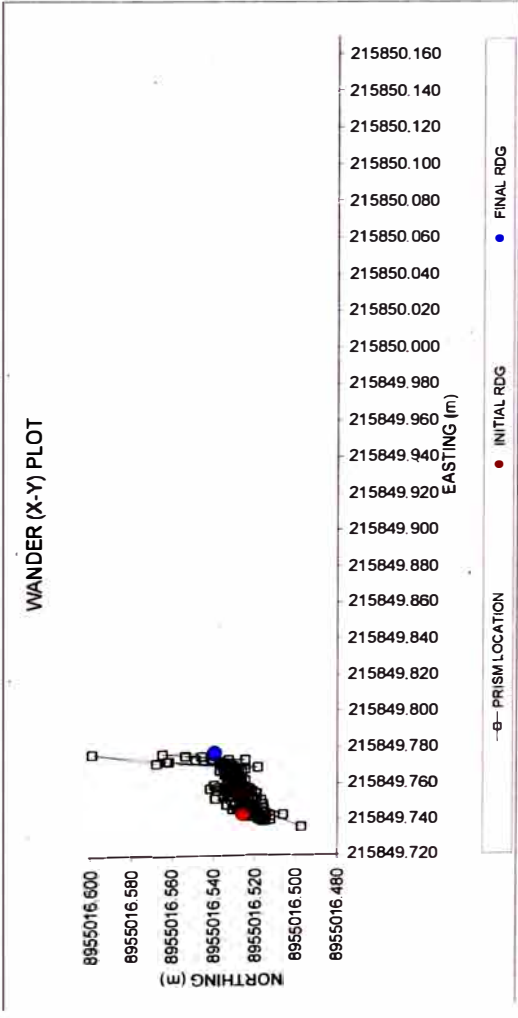
**INITIAL SURVEY READING AGO 06, 2011 3:09 A.M.  
1 DAY AVERAGE CALCS : 0 OUTLIER(S) : 0 RESET(S)**

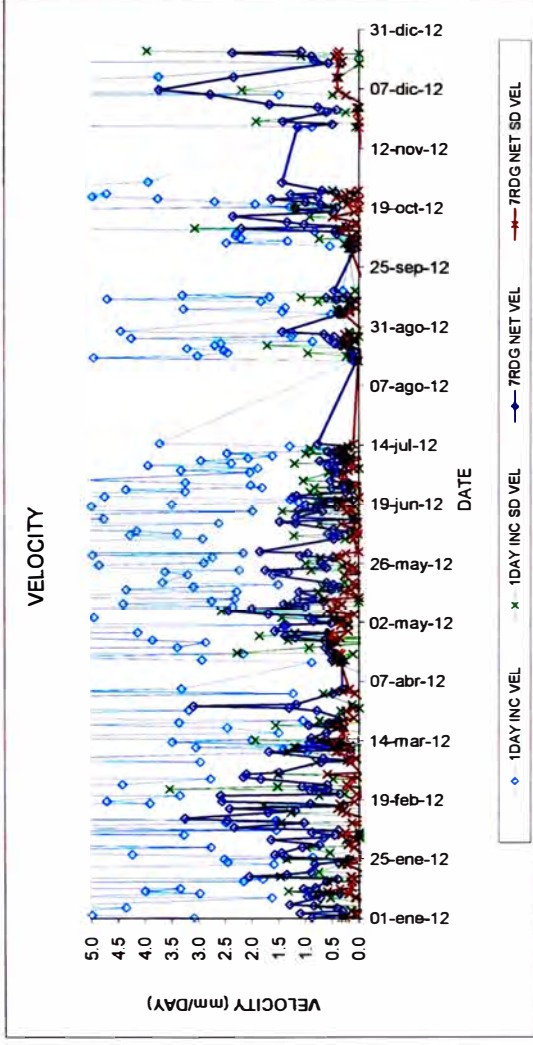
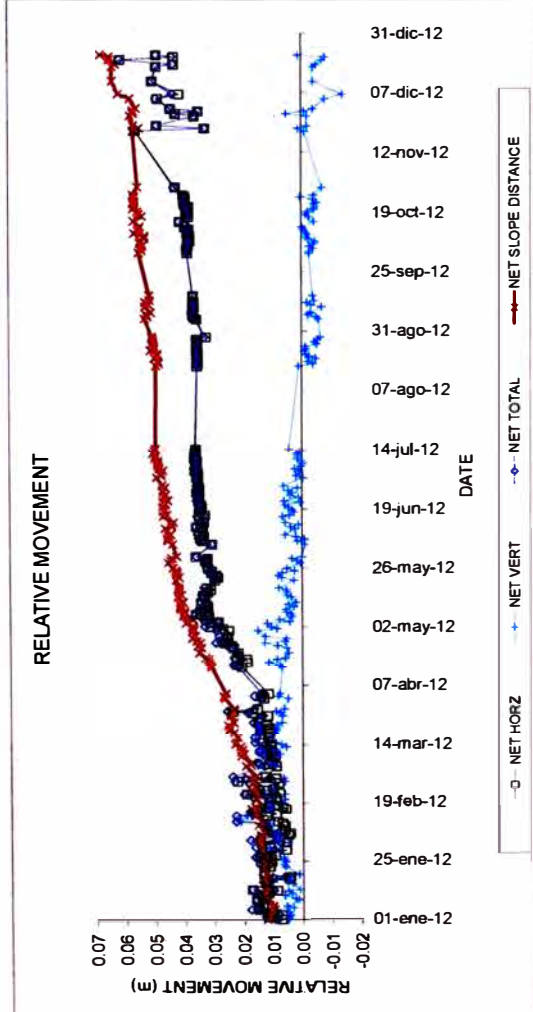




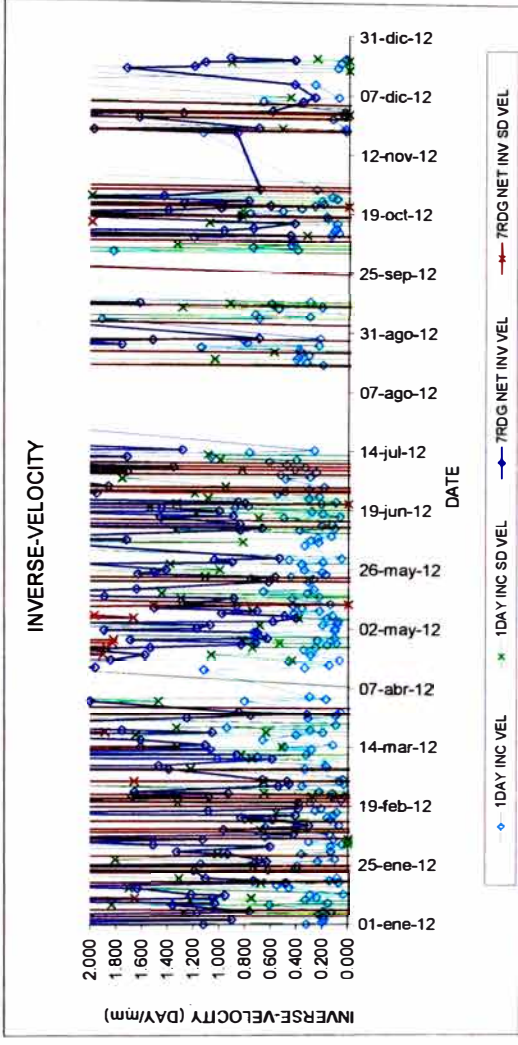
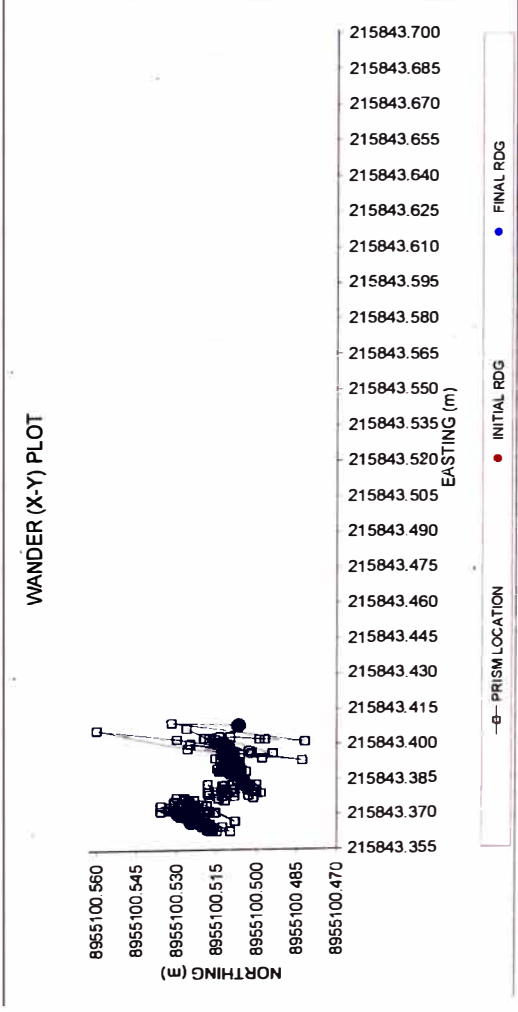
T568

**INITIAL SURVEY READING AGO 06, 2011 1:09 A.M.**  
**1 DAY AVERAGE CALCS : 0 OUTLIER(S) : 0 RESET(S)**

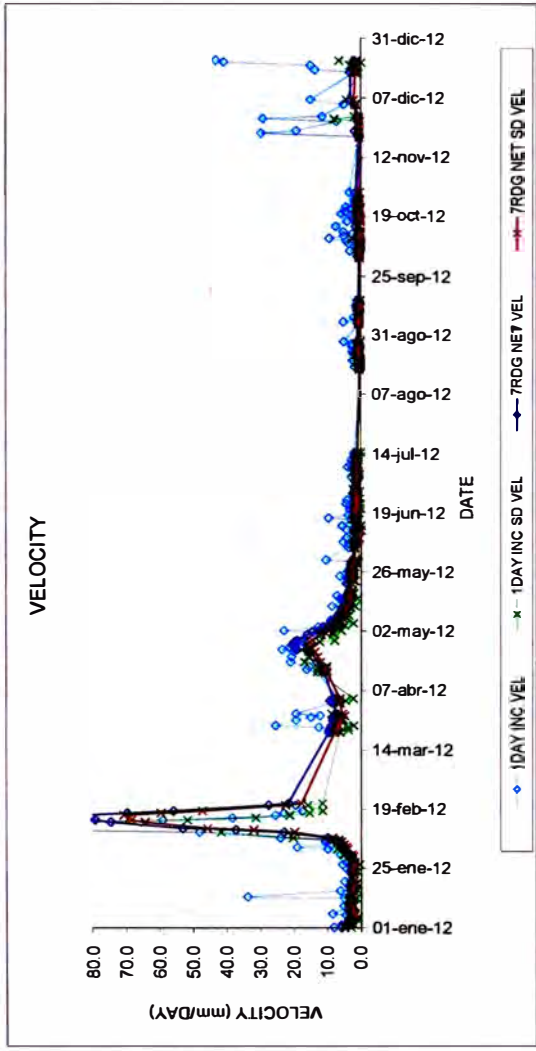
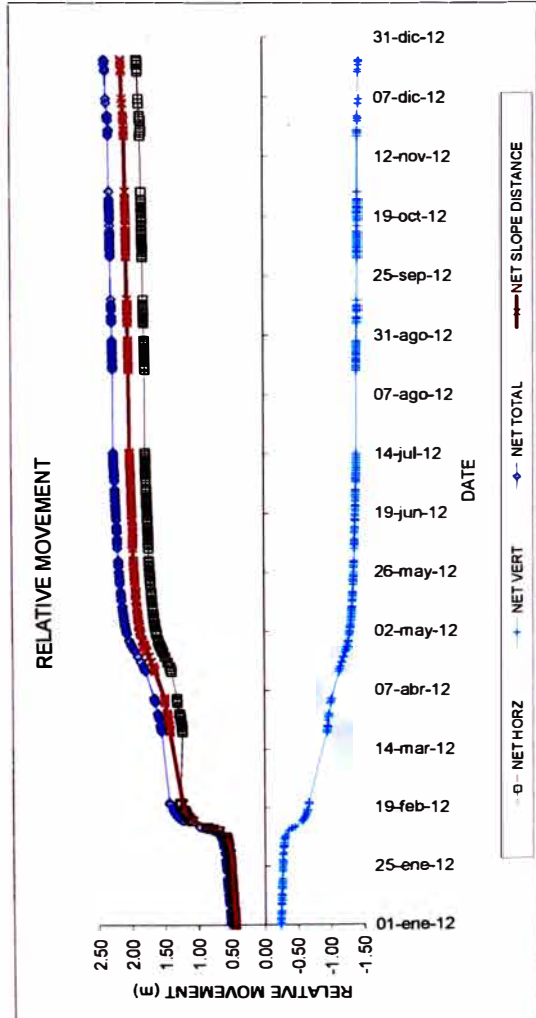




**T569**  
**INITIAL SURVEY READING AGO 06, 2011 1:10 A.M.**  
**1 DAY AVERAGE CALCS : 0 OUTLIER(S) : 0 RESET(S)**

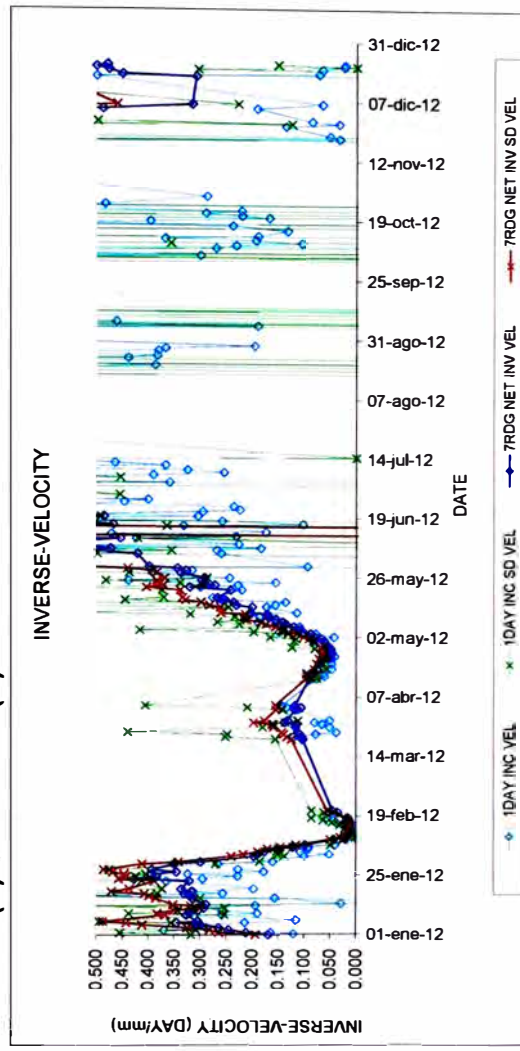
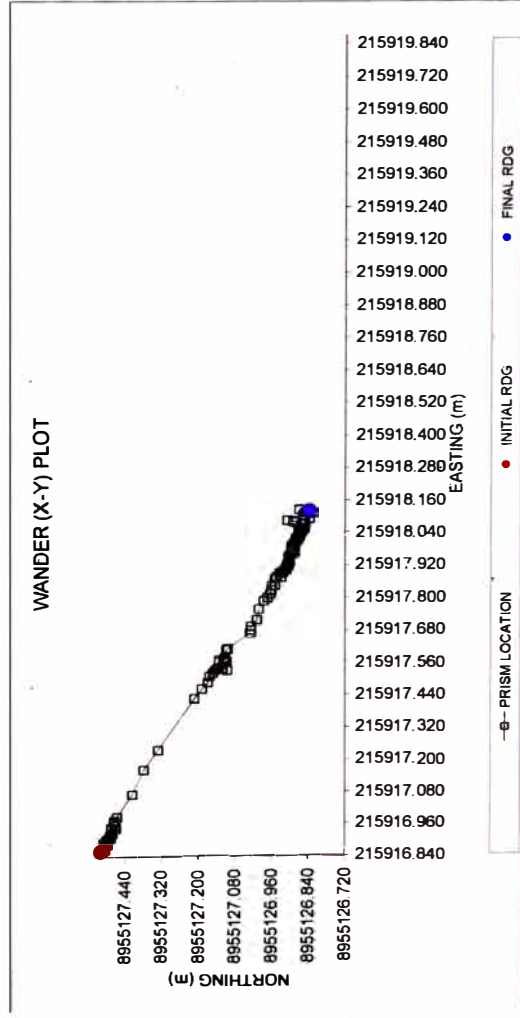


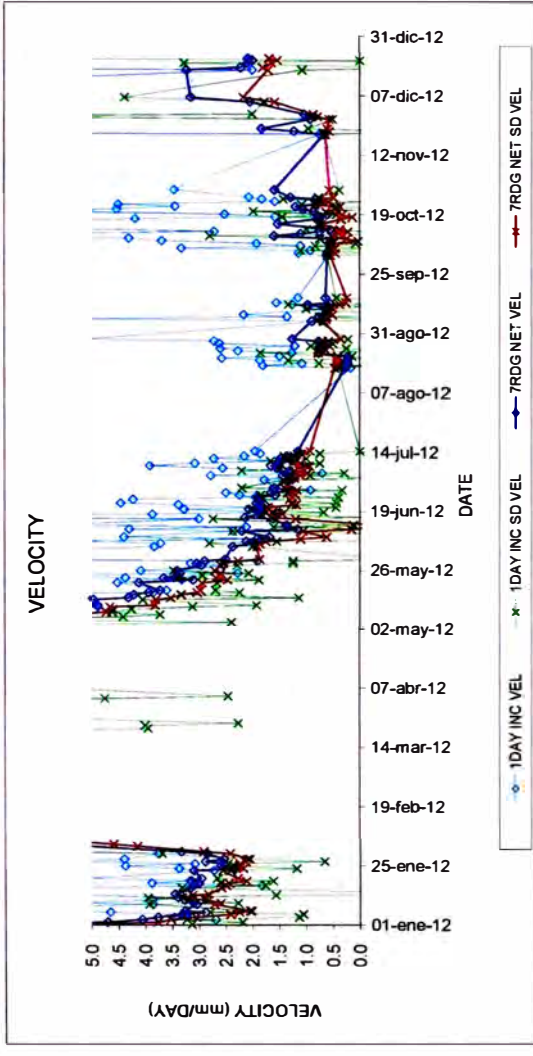
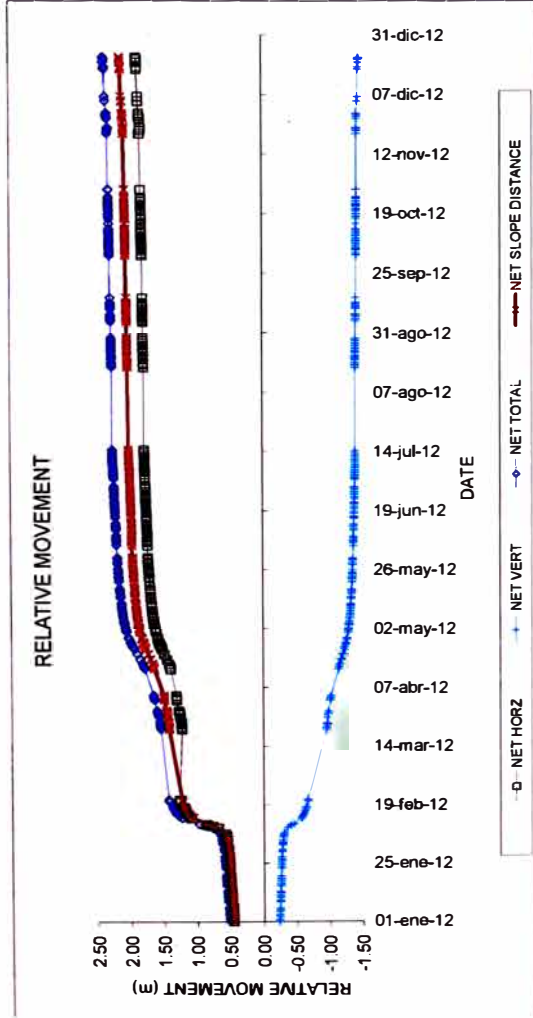
## **ZONA GEOTÉCNICA 3**



T508

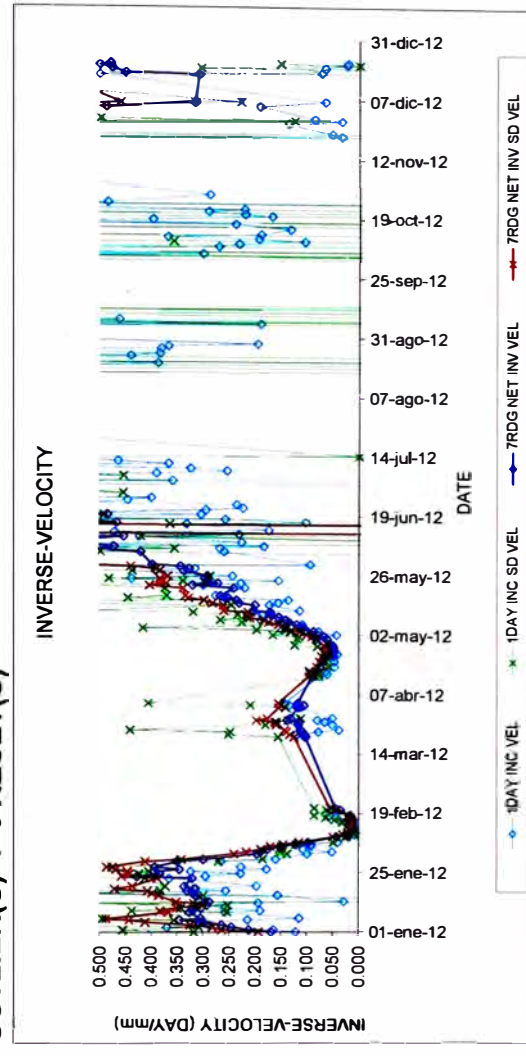
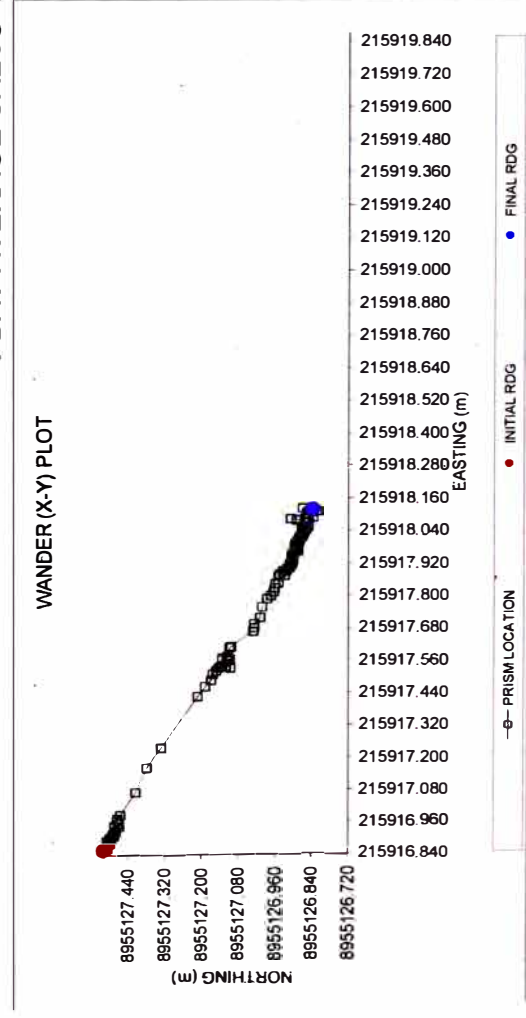
**INITIAL SURVEY READING ABR 08, 2011 11:17 A.M.**  
**1 DAY AVERAGE CALCS : 0 OUTLIER(S) : 0 RESET(S)**



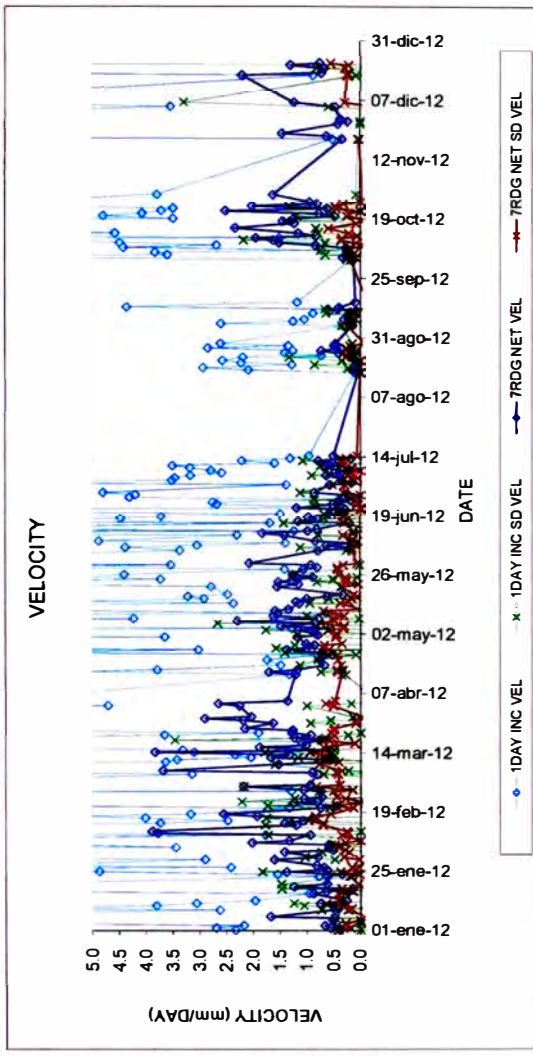
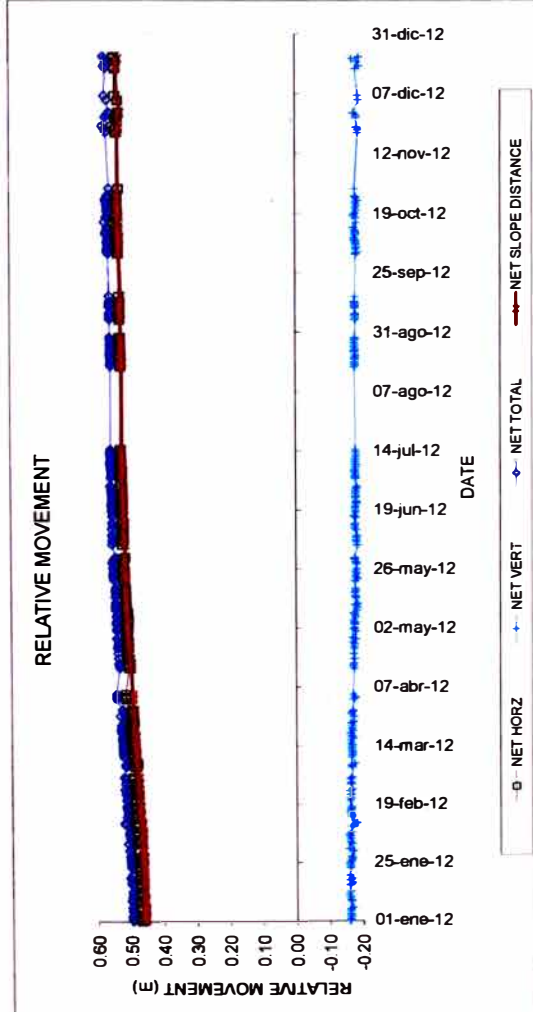


T508

**INITIAL SURVEY READING ABR 08, 2011 11:17 A.M.  
1 DAY AVERAGE CALCS : 0 OUTLIER(S) : 0 RESET(S)**

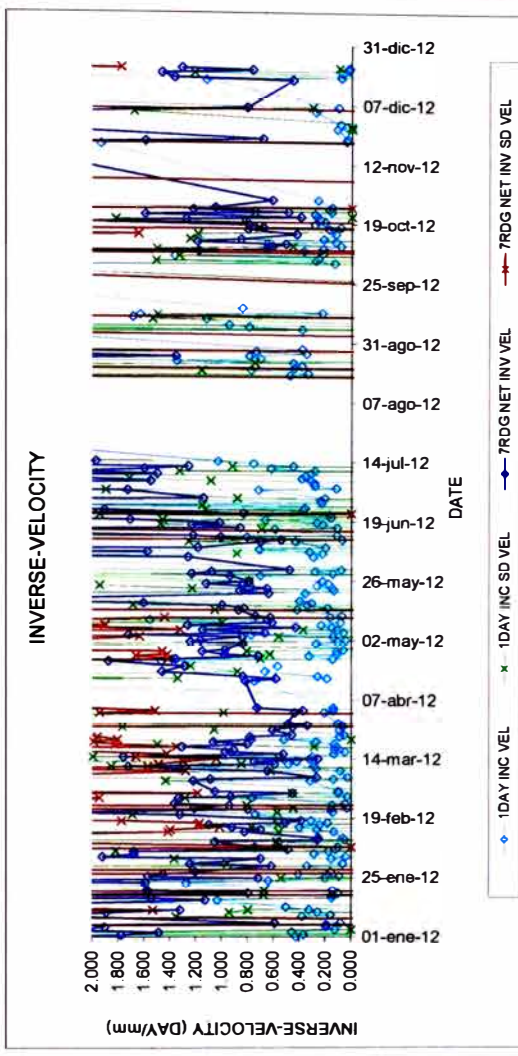
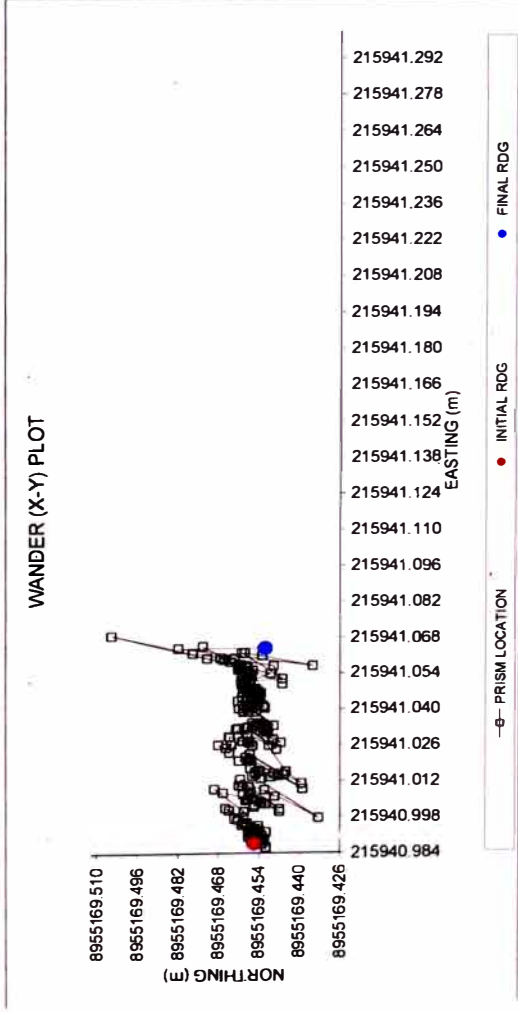


## **ZONA GEOTÉCNICA 4**

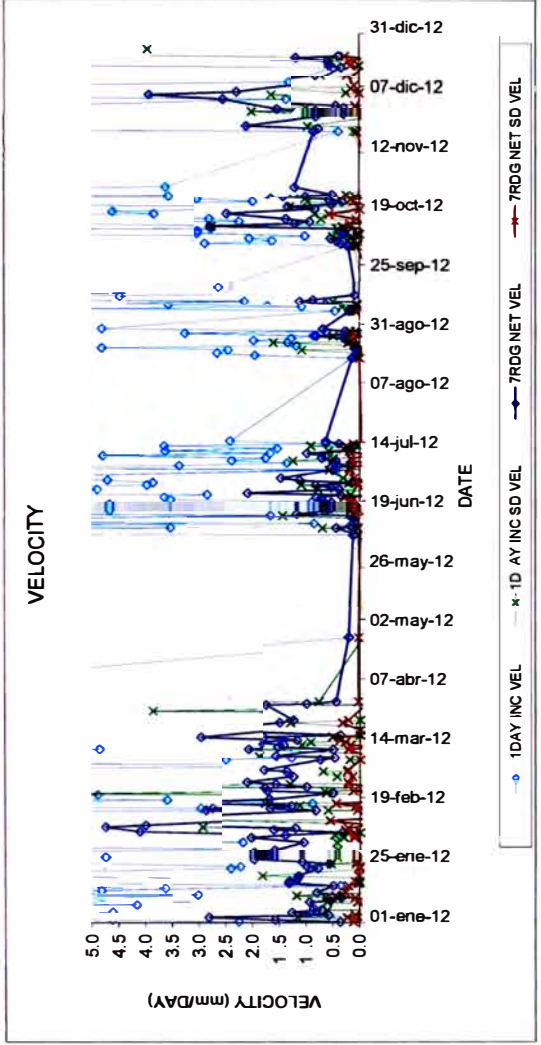
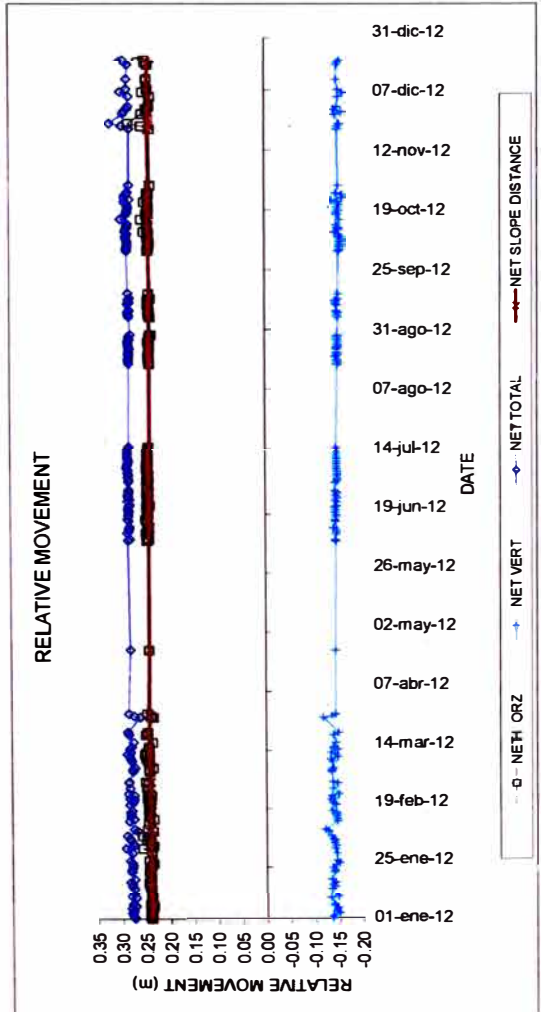


T169

**INITIAL SURVEY READING AGO 20, 2009 2:27 A.M.  
1 DAY AVERAGE CALCS : 0 OUTLIER(S) : 0 RESET(S)**

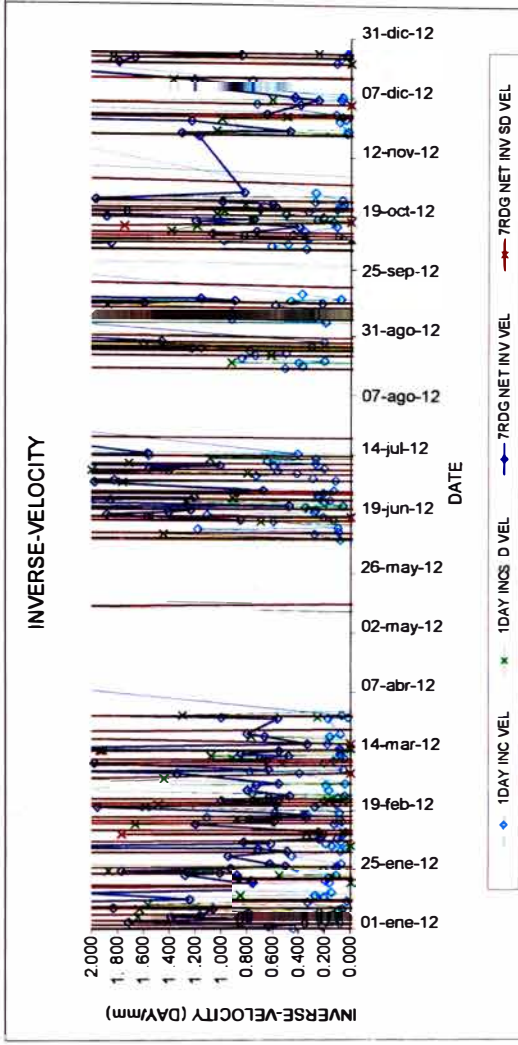
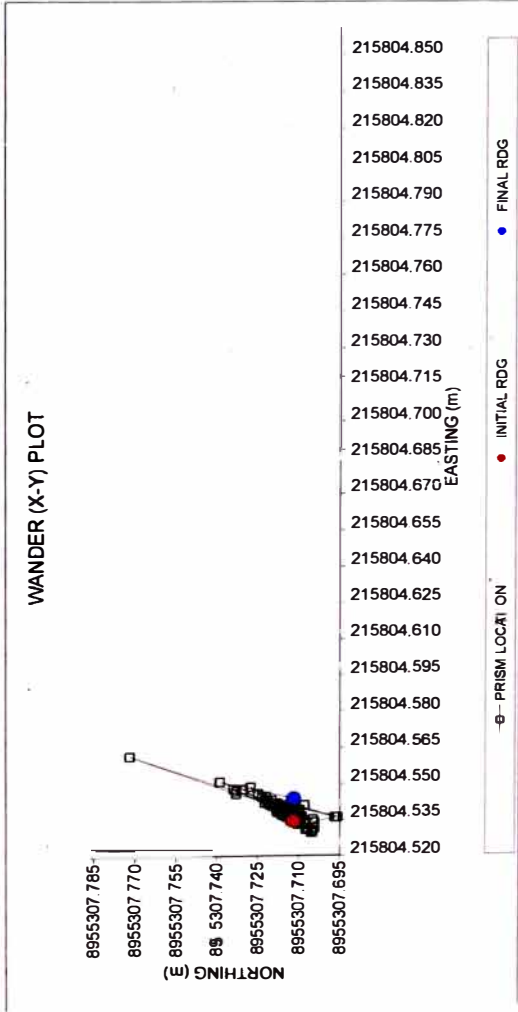


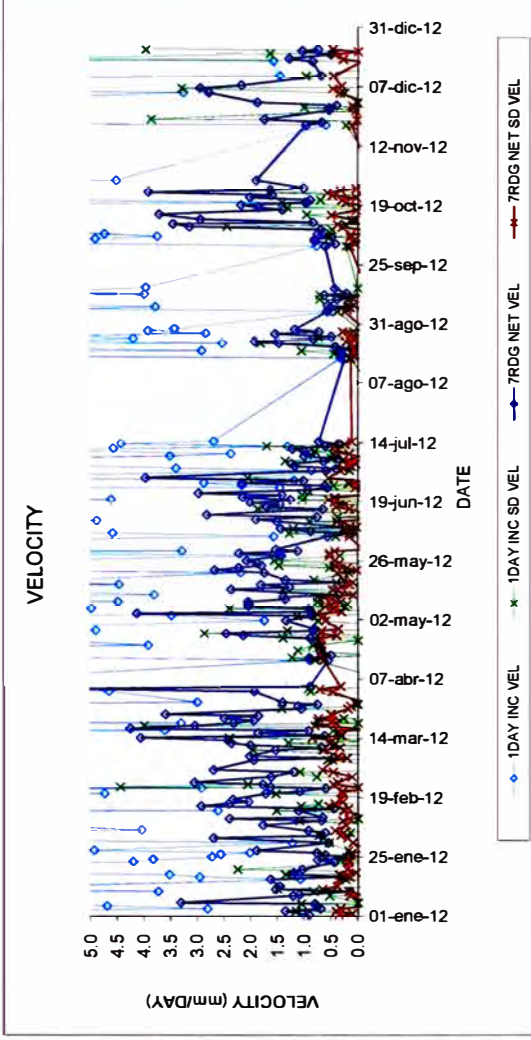
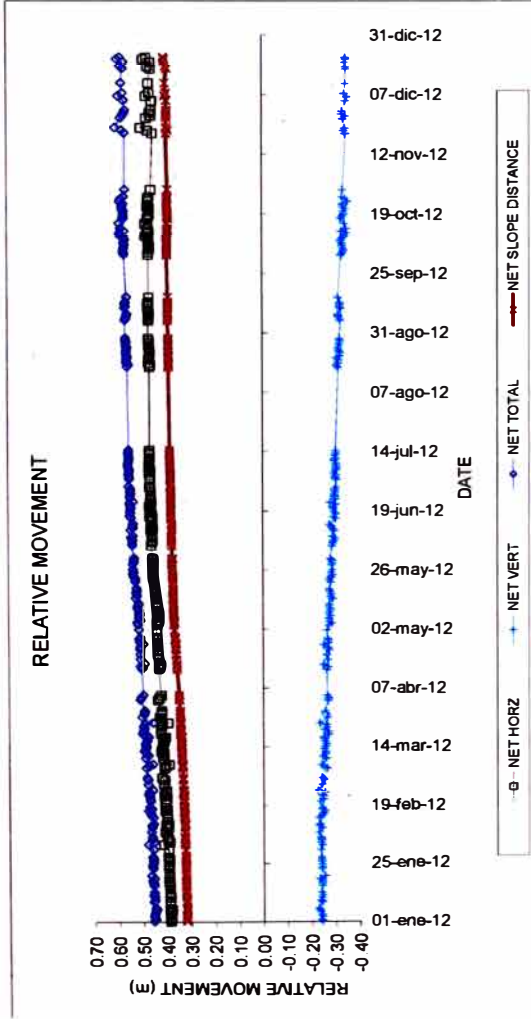




T361

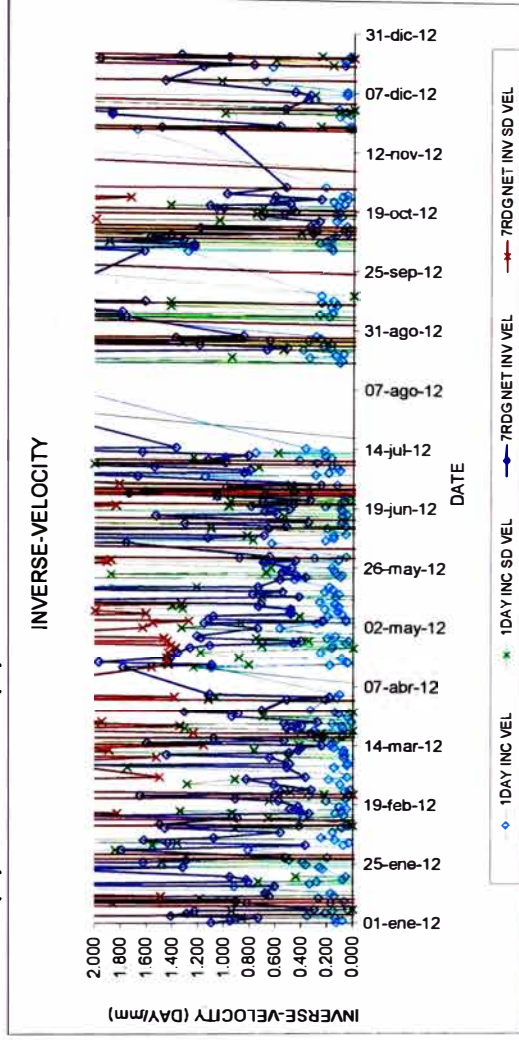
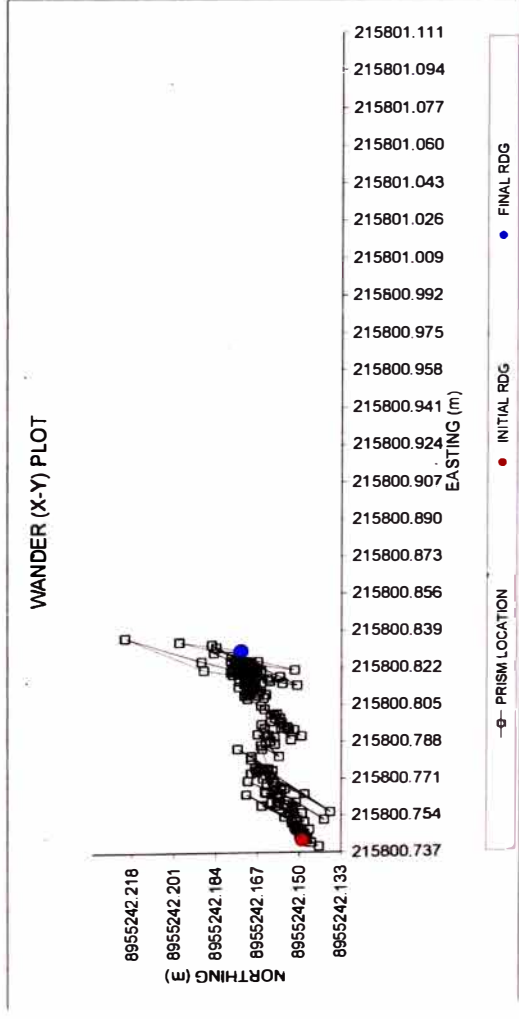
**INITIAL SURVEY READING SEP 20, 2009 8 26 A.M**  
**1 DAY AVERAGE CALCS : 0 OUTLIER(S) : 0 RESET(S)**

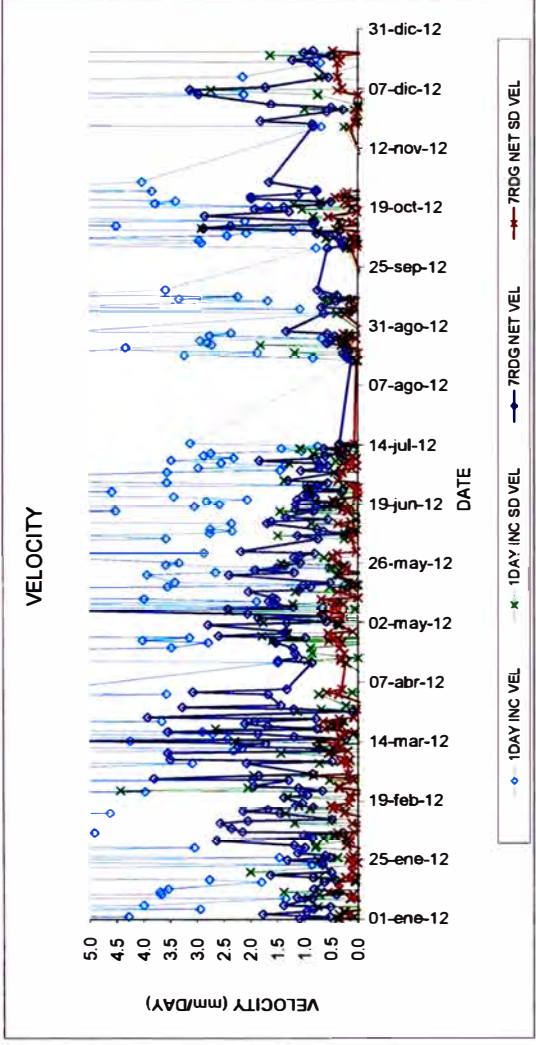
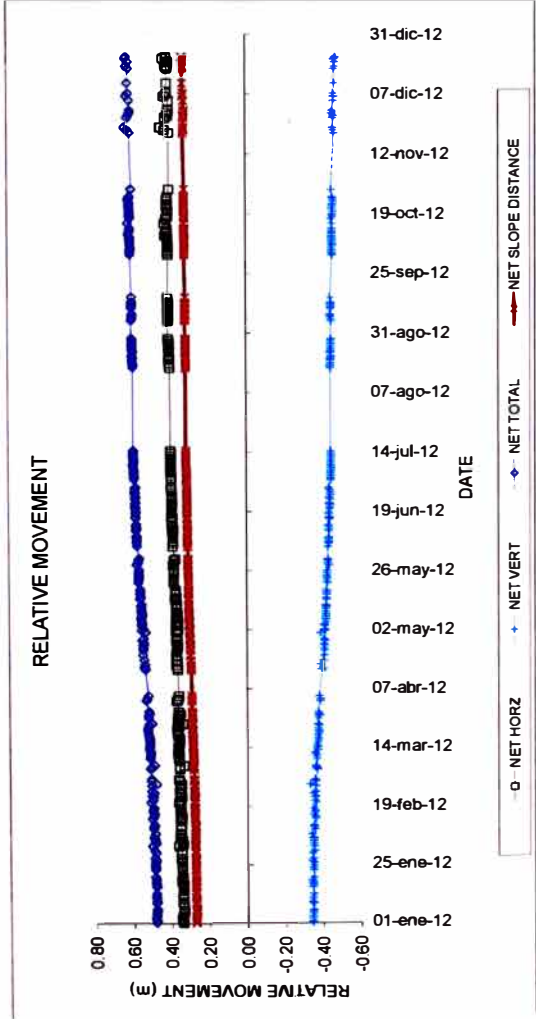




T366

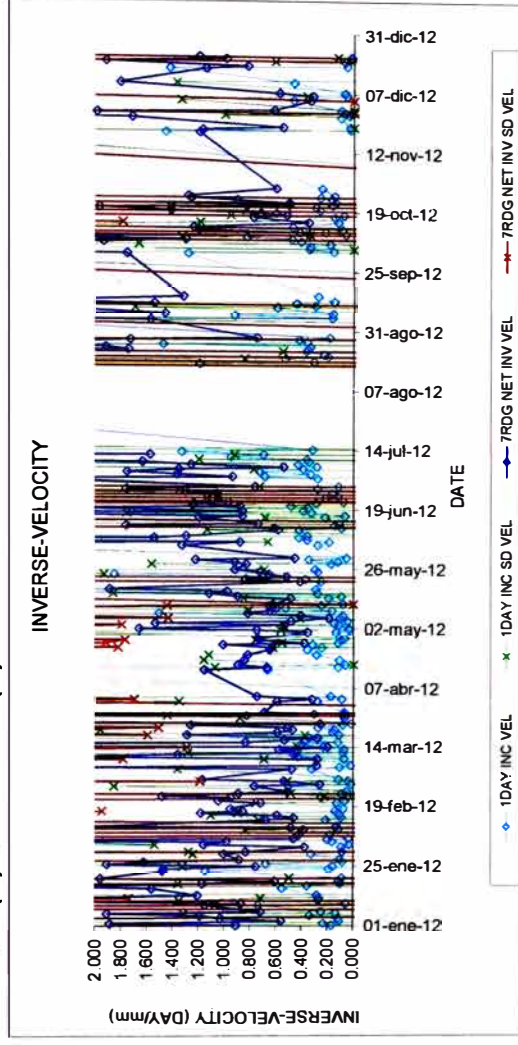
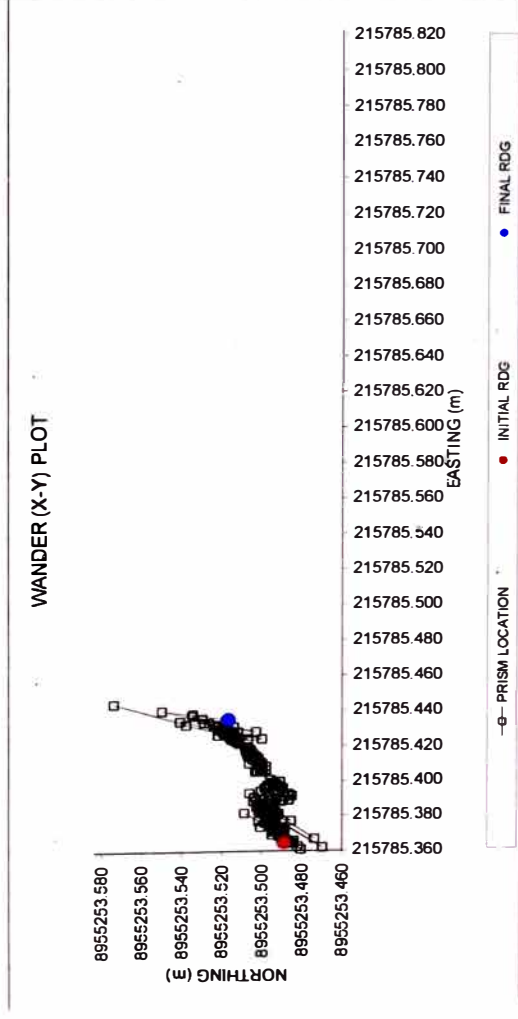
INITIAL SURVEY READING NOV 03, 2009 5:59 P.M.  
 1 DAY AVERAGE CALCS : 0 OUTLIER(S) : 0 RESET(S)

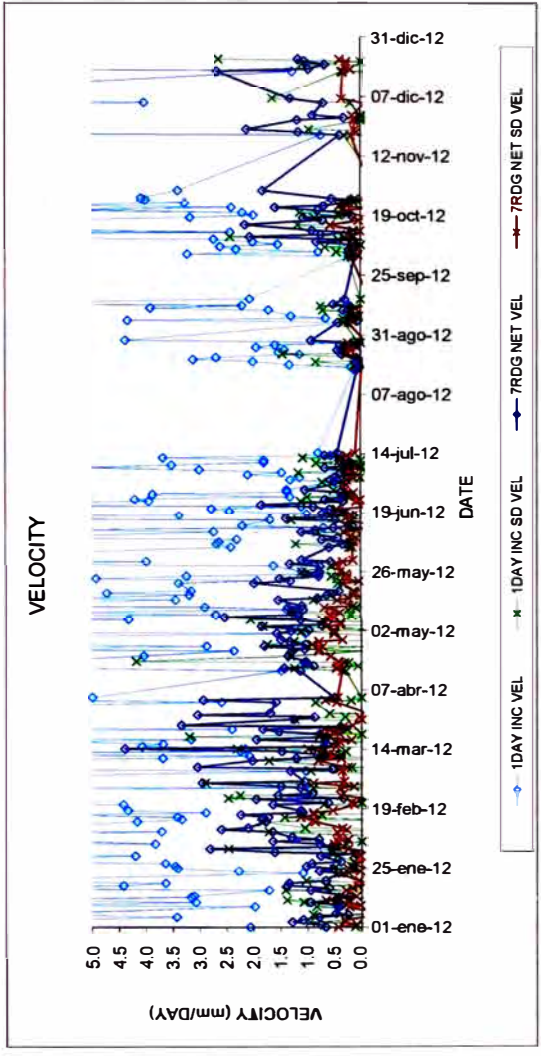
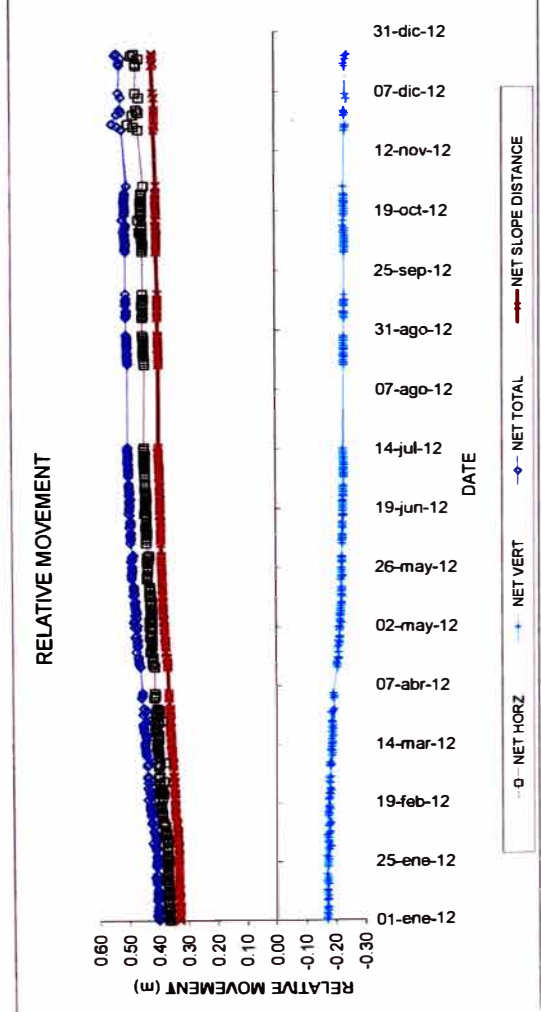




T367

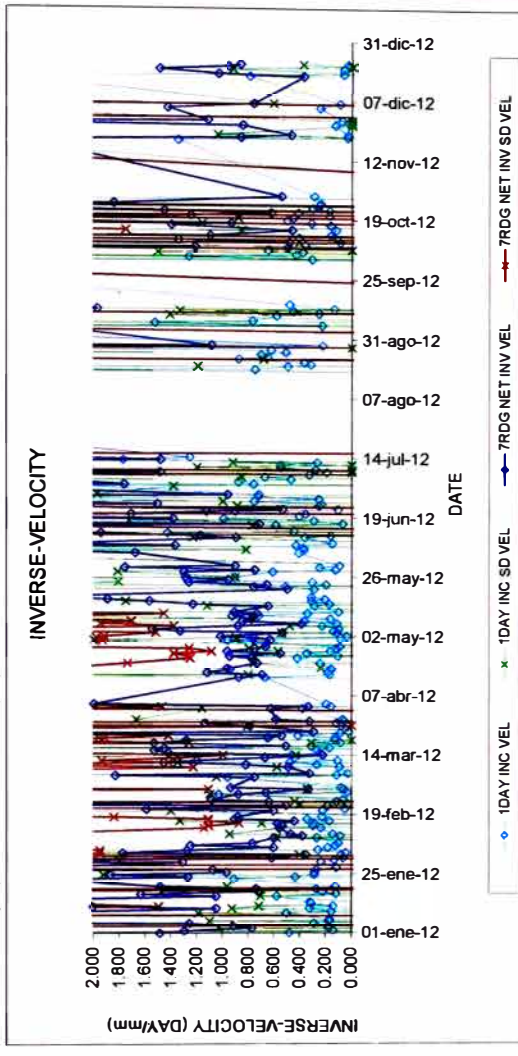
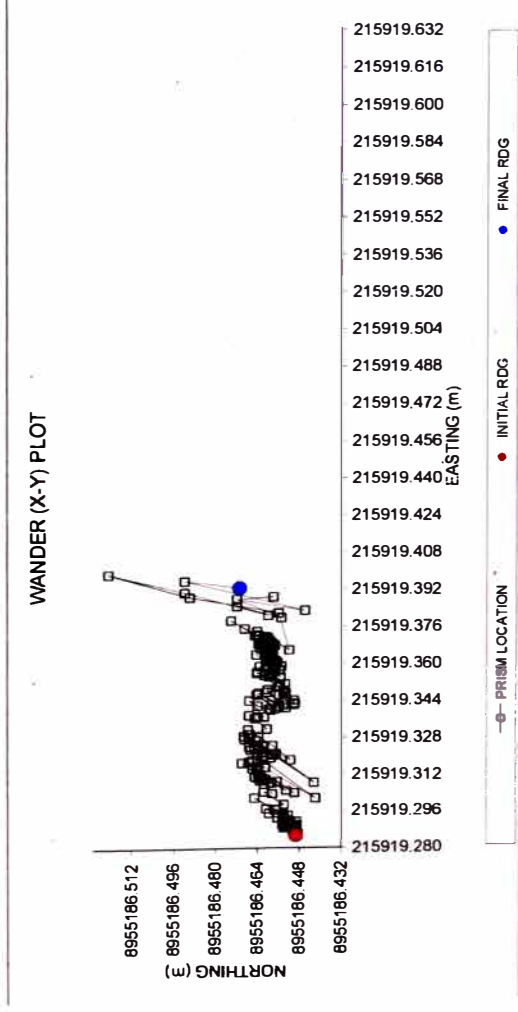
INITIAL SURVEY READING NOV 03, 2009 5:56 P.M.  
 1 DAY AVERAGE CALCS : 0 OUTLIER(S) : 0 RESET(S)

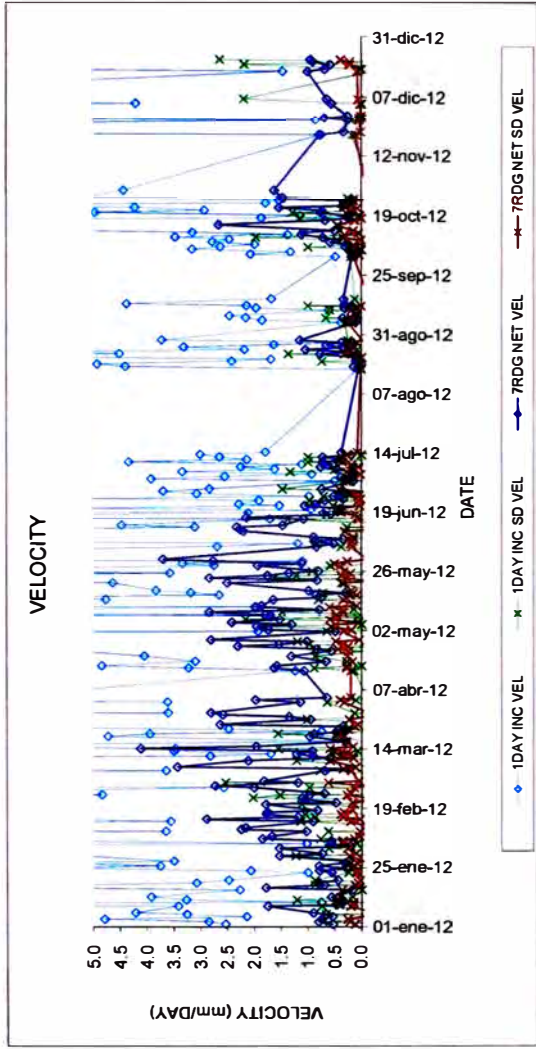
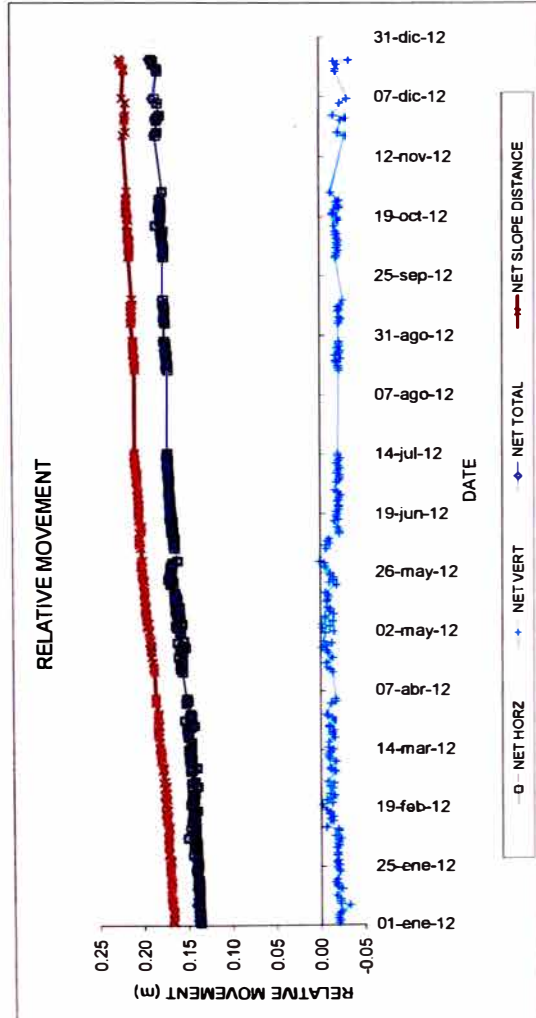




T416

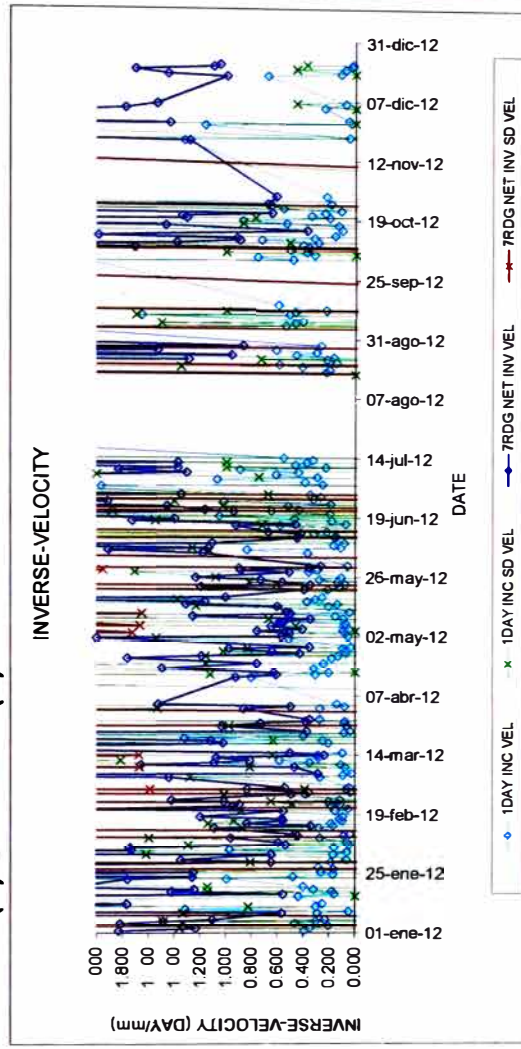
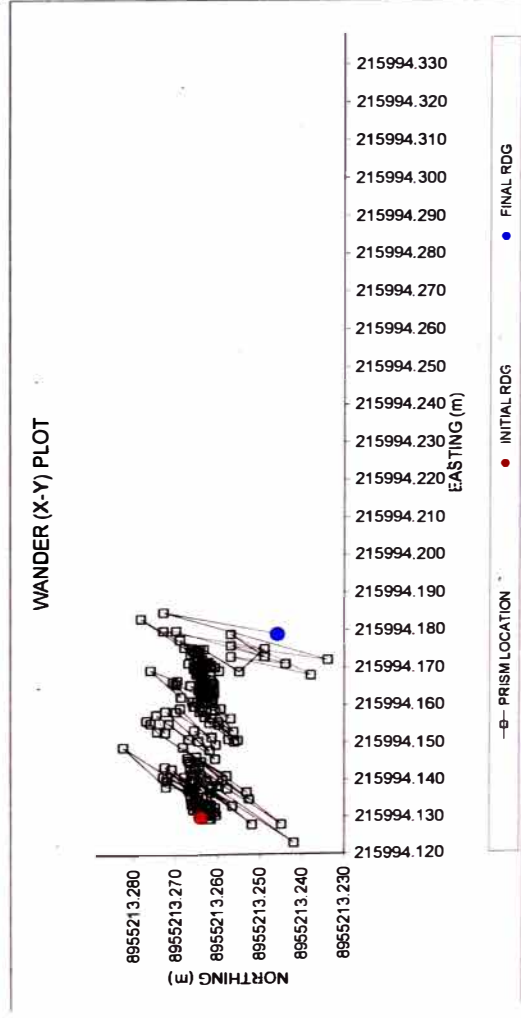
**INITIAL SURVEY READING DIC 07, 2009 5:43 P.M.**  
**1 DAY AVERAGE CALCS : 0 OUTLIER(S) : 0 RESET(S)**

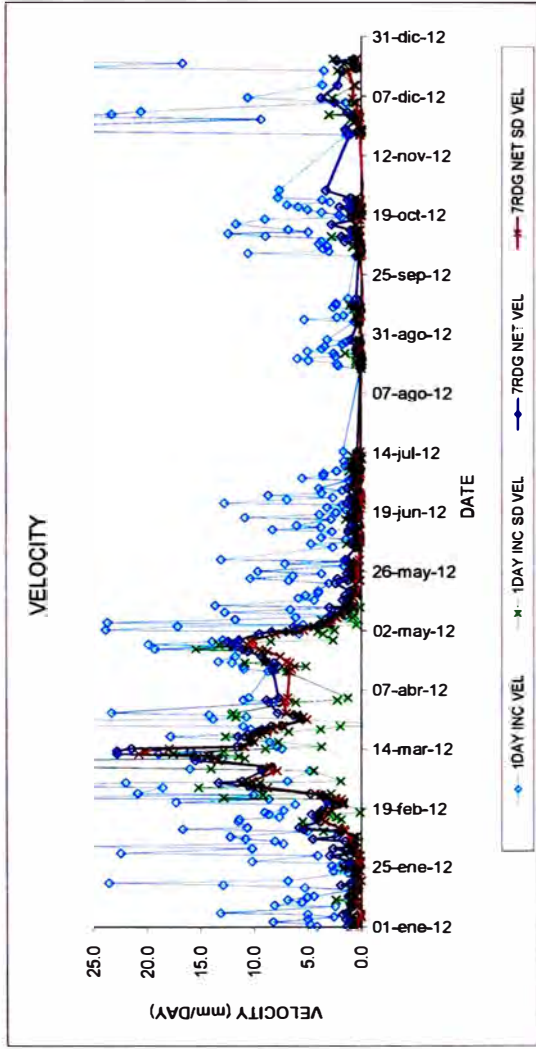
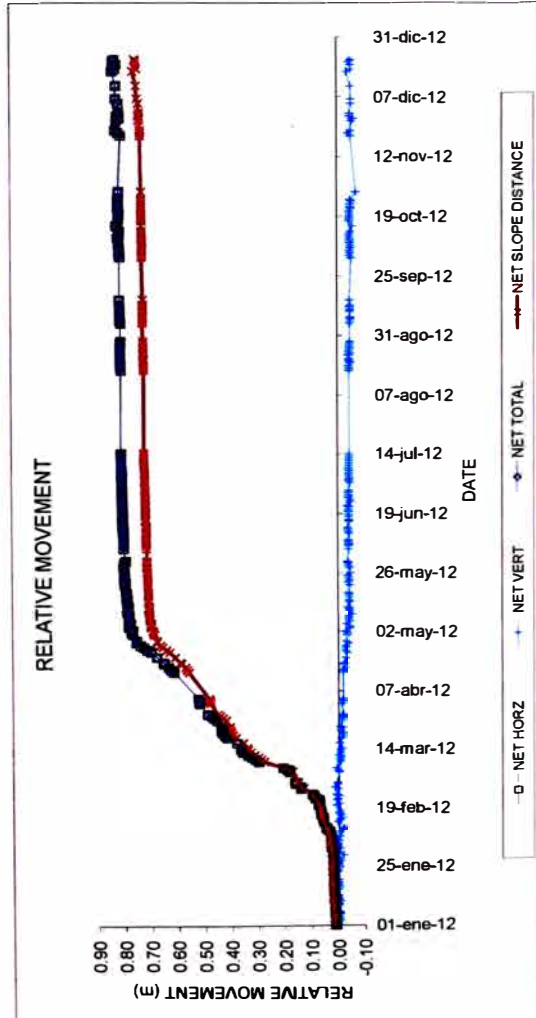




T456

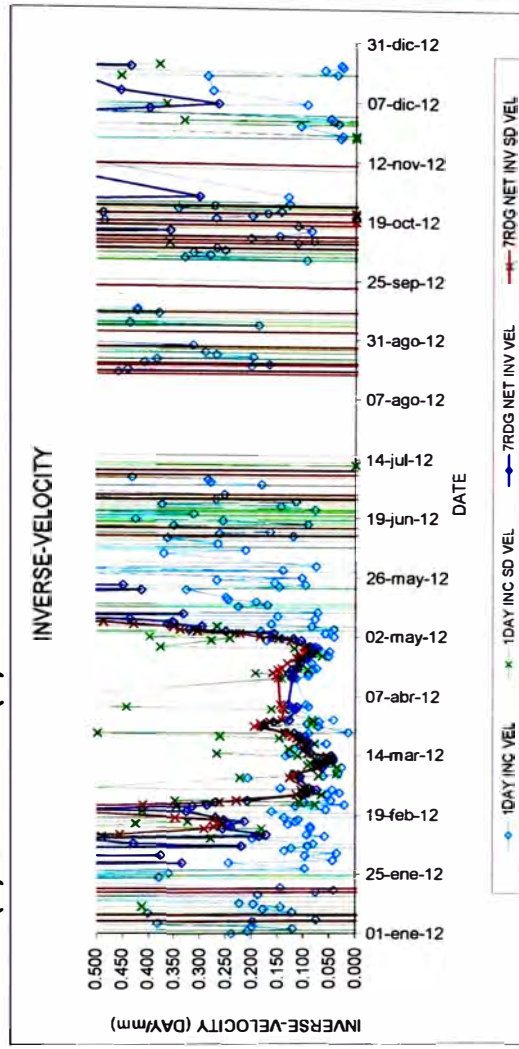
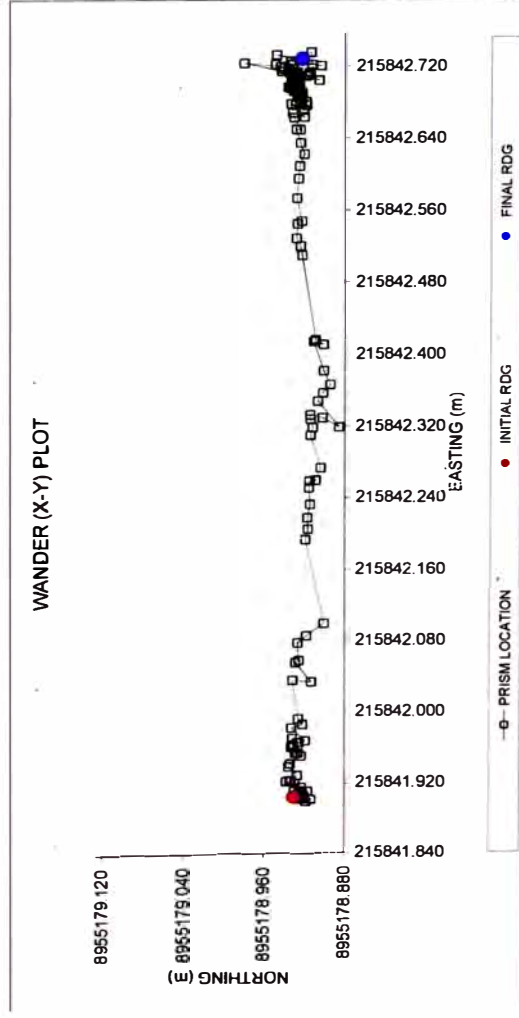
**INITIAL SURVEY READING MAY 17, 2010 10:18 A.M.**  
**1 DAY AVERAGE CALCS : 0 OUTLIER(S) : 0 RESET(S)**

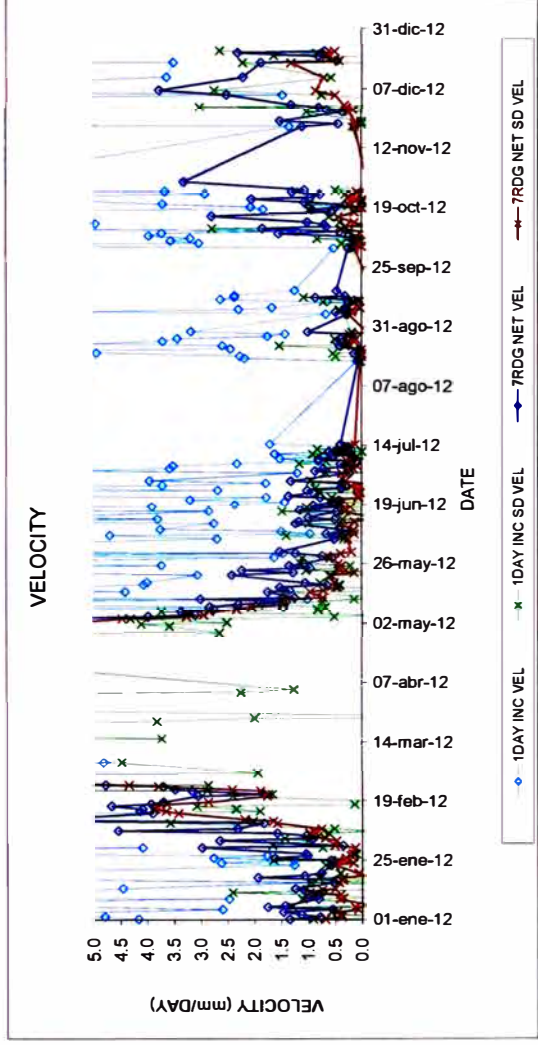
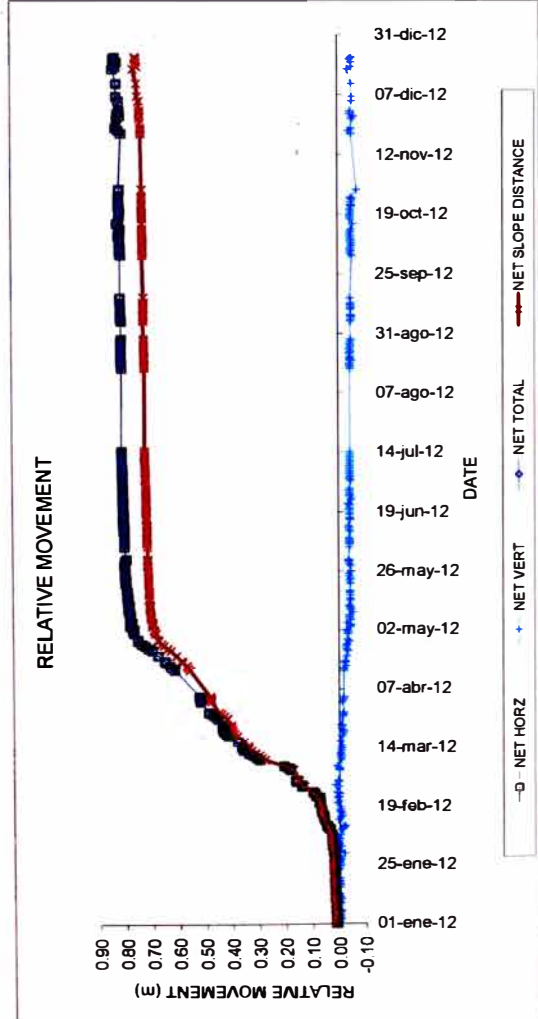




T570

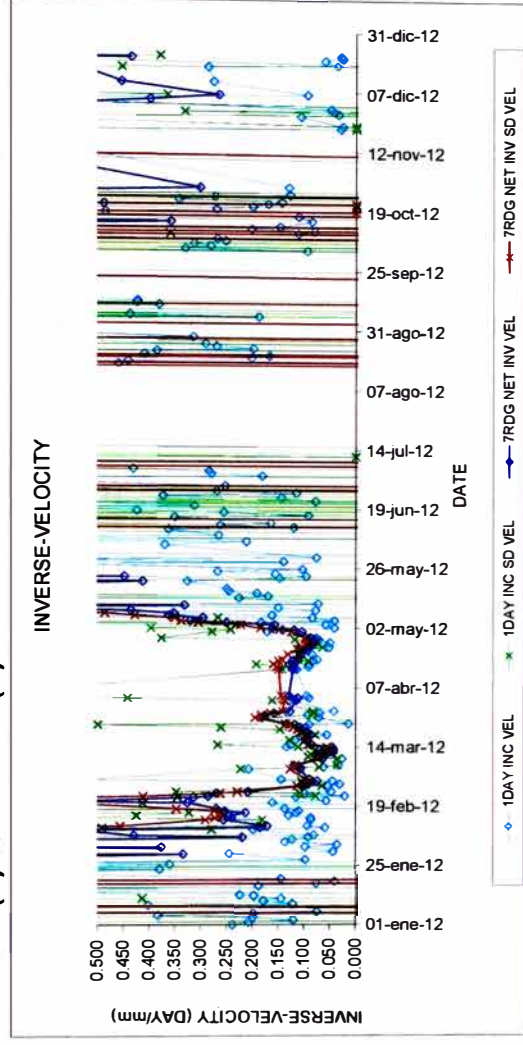
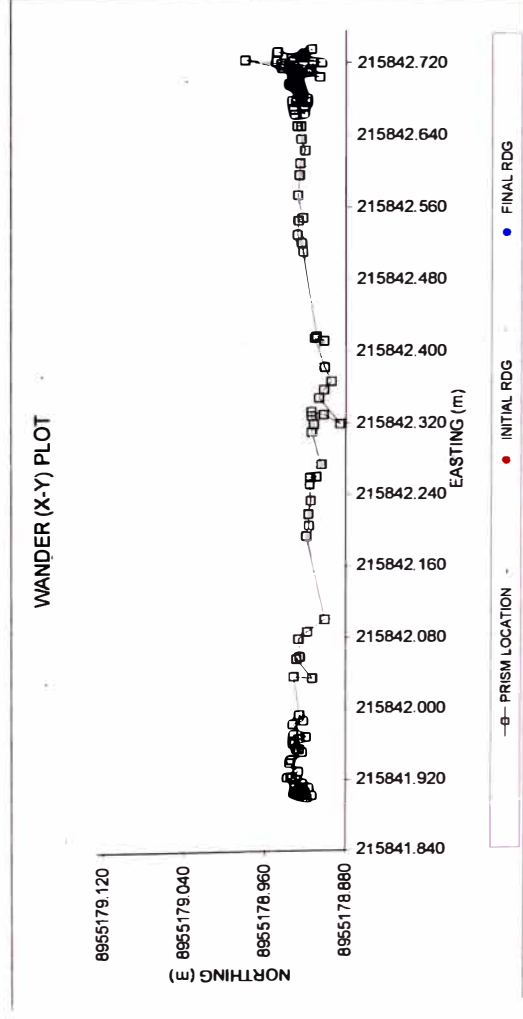
**INITIAL SURVEY READING AGO 06, 2011 1:10 A.M.  
1 DAY AVERAGE CALCS : 0 OUTLIER(S) : 0 RESET(S)**





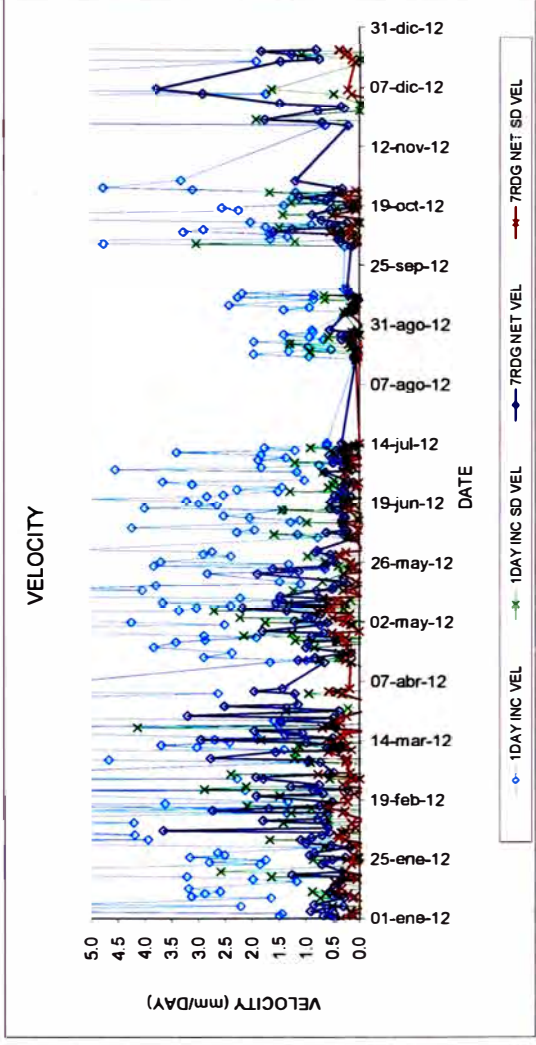
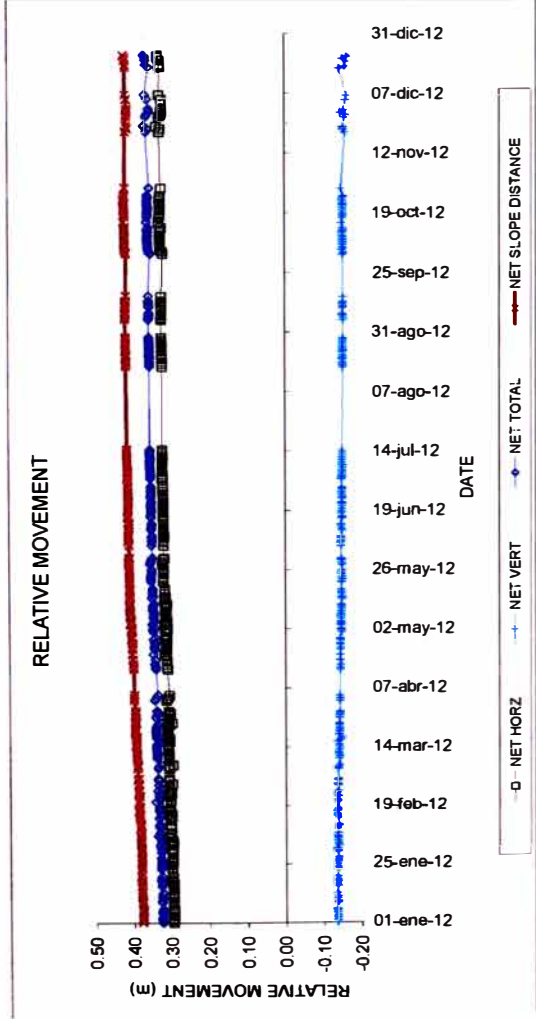
T570

**INITIAL SURVEY READING AGO 06, 2011 1:10 A.M.  
1 DAY AVERAGE CALCS : 0 OUTLIER(S) : 0 RESET(S)**

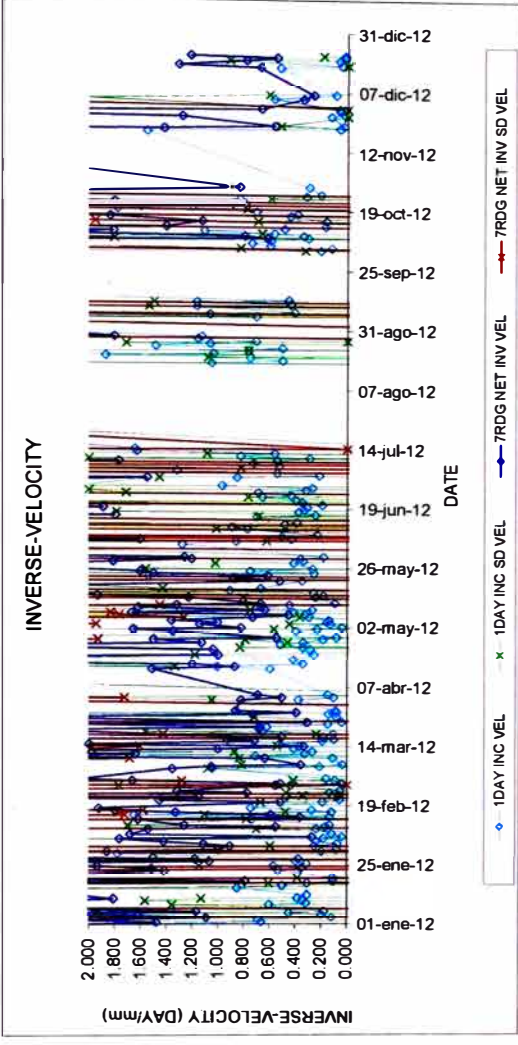
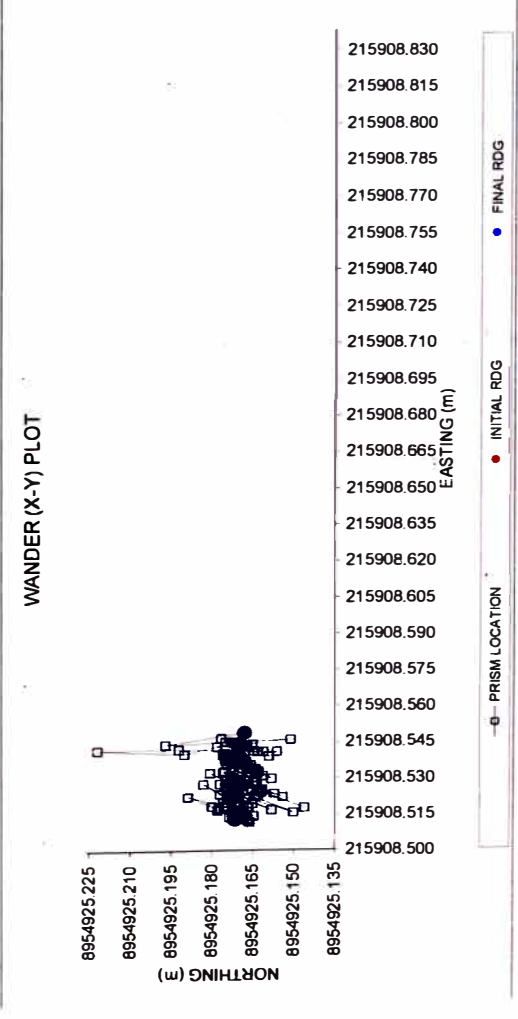


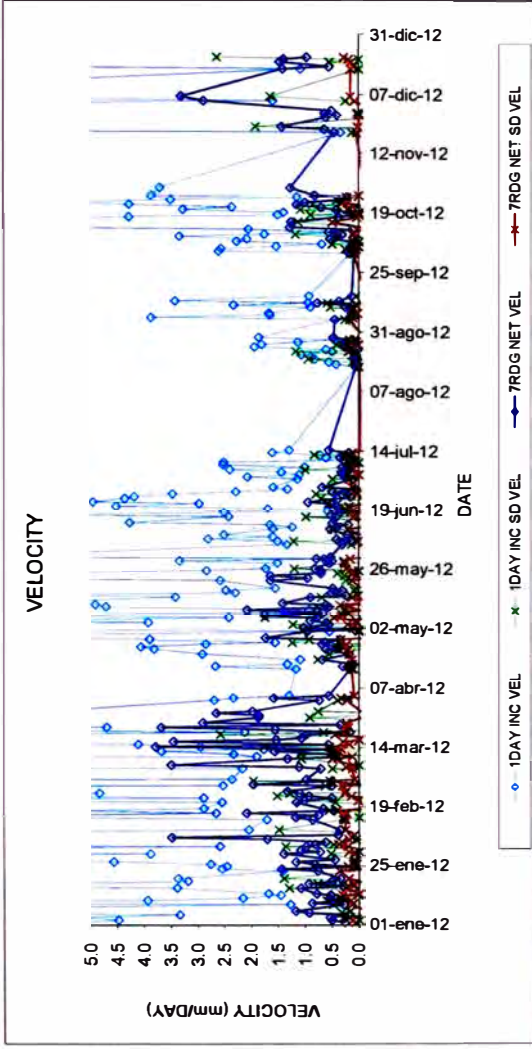
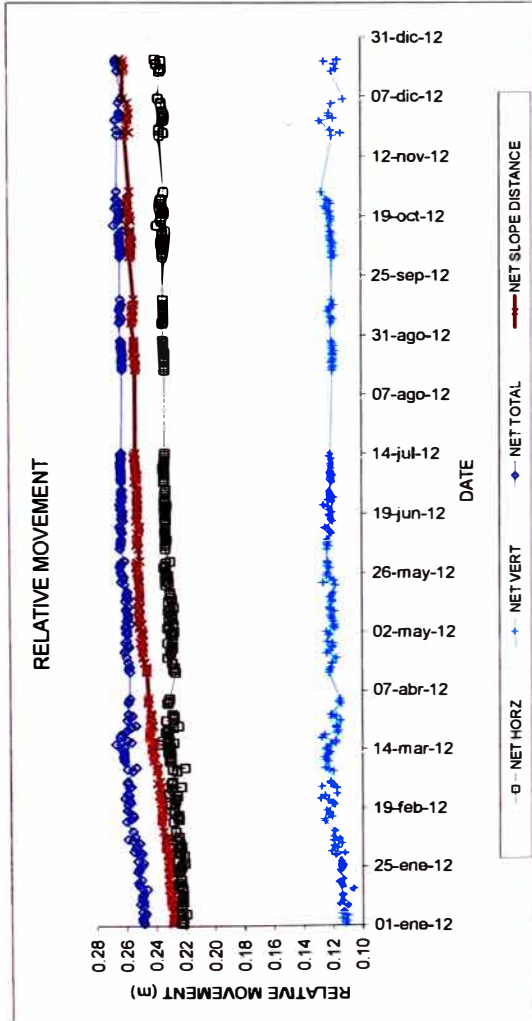
## **ZONA GEOTÉCNICA 5**





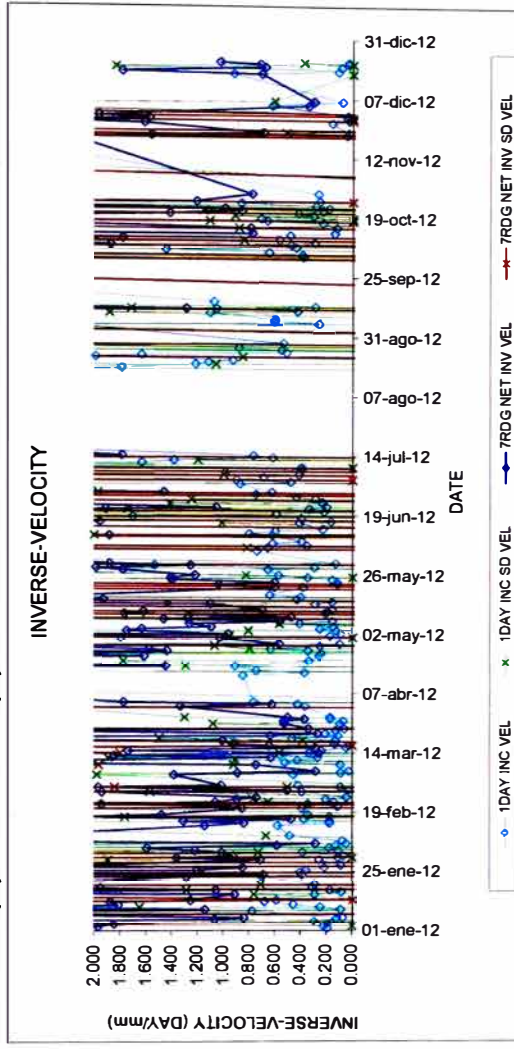
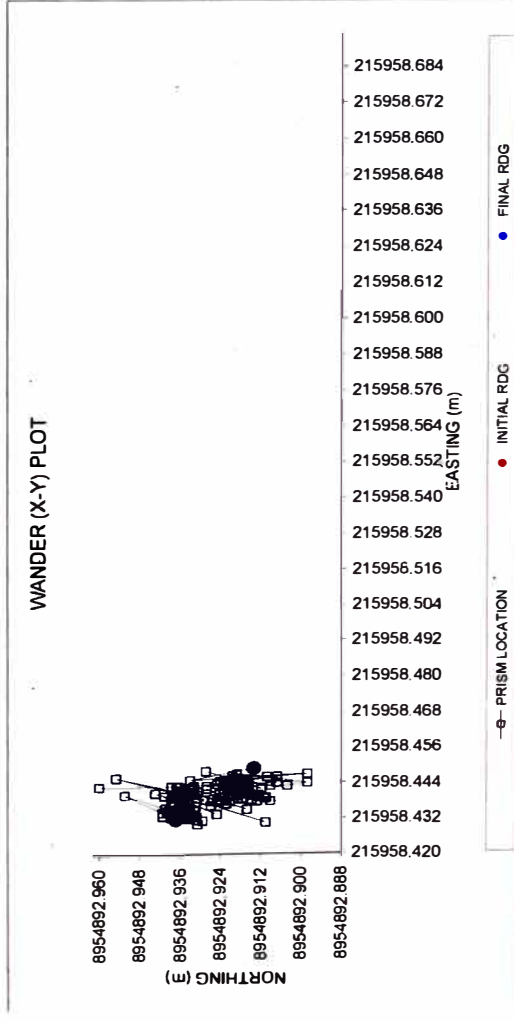
**T165**  
**INITIAL SURVEY READING AGO 20, 2009 1:50 A.M.**  
**1 DAY AVERAGE CALCS : 0 OUTLIER(S) : 0 RESET(S)**

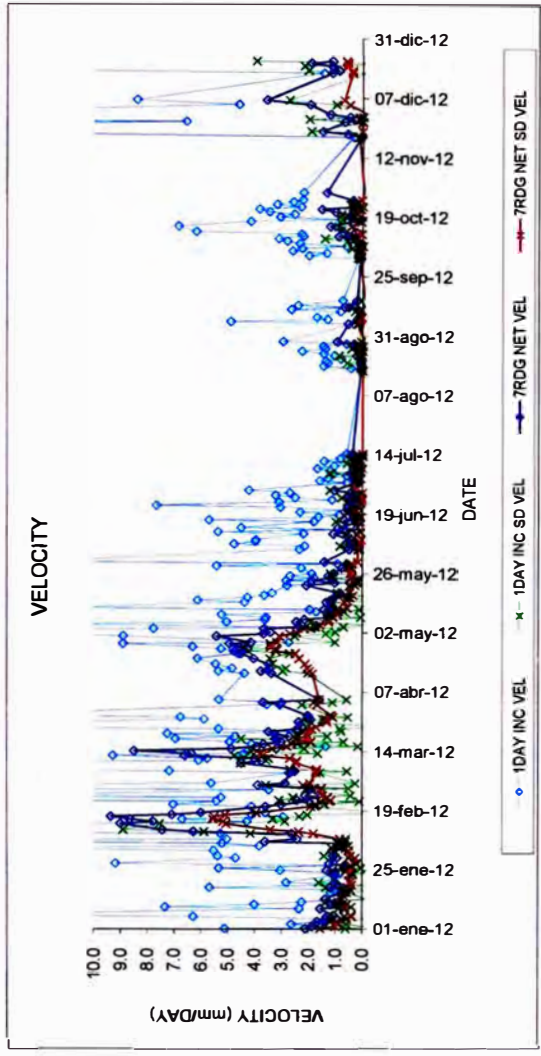
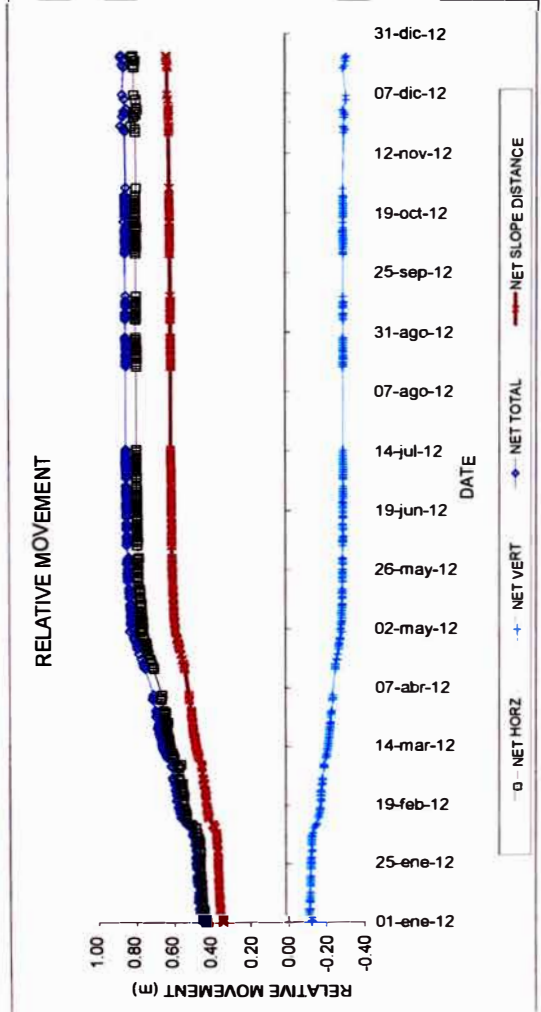




T312

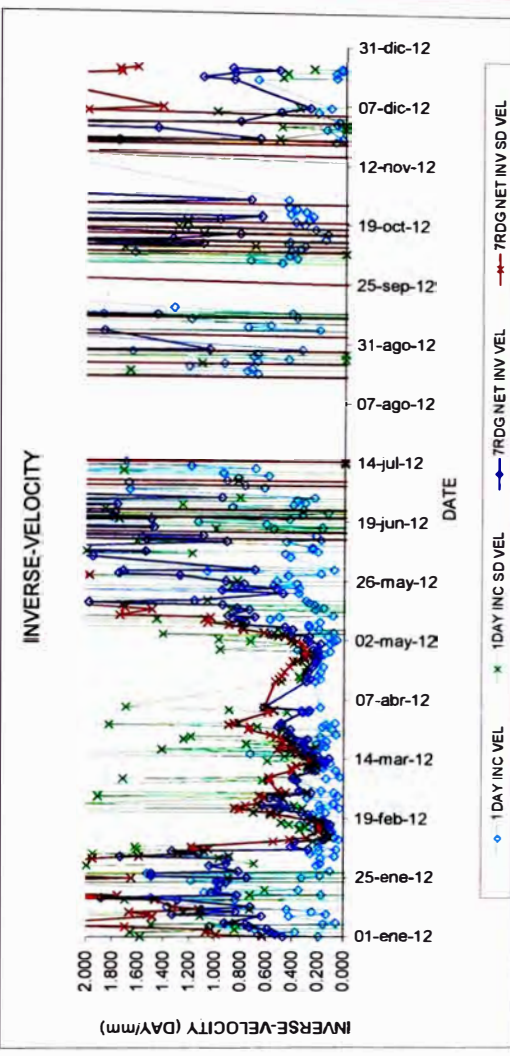
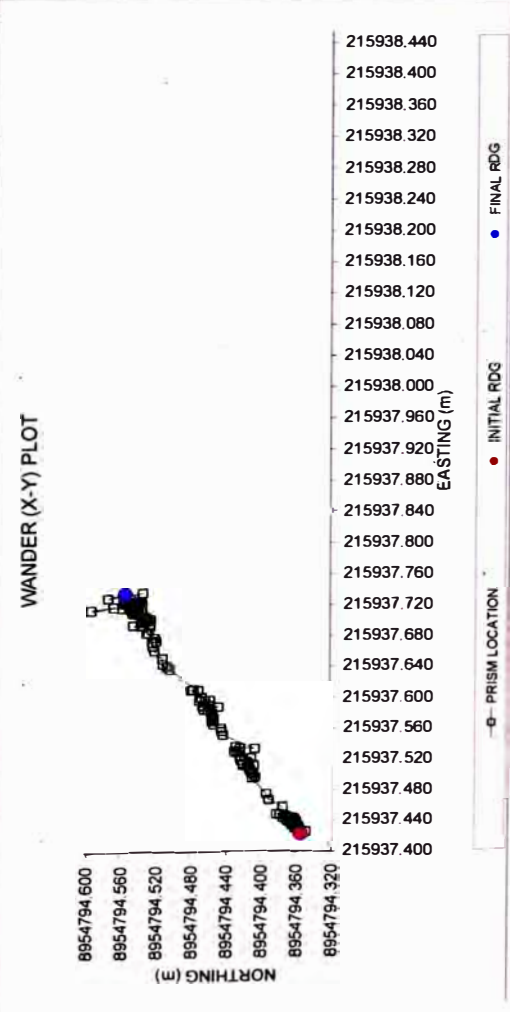
INITIAL SURVEY READING AGO 20, 2009 3:08 A.M.  
1 DAY AVERAGE CALCS : 0 OUTLIER(S) : 0 RESET(S)

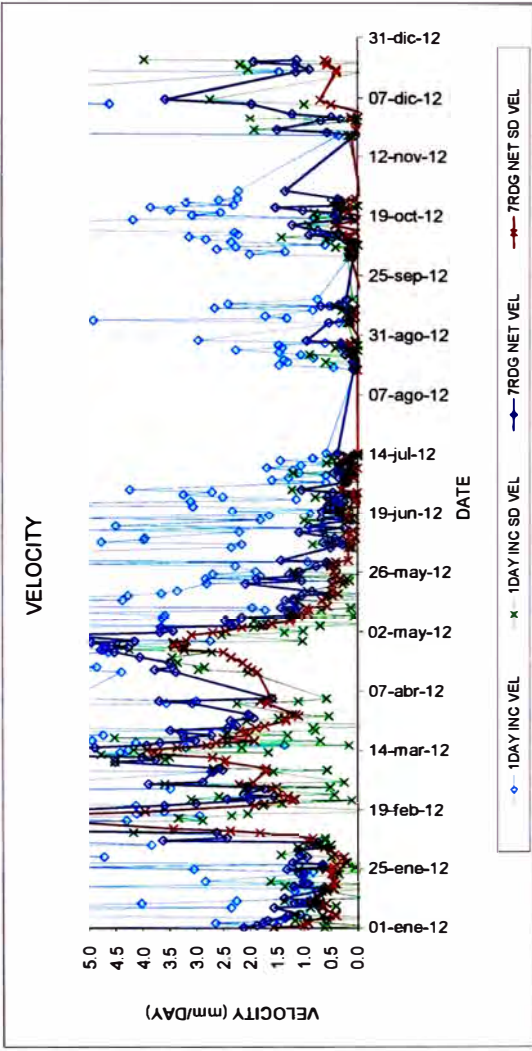
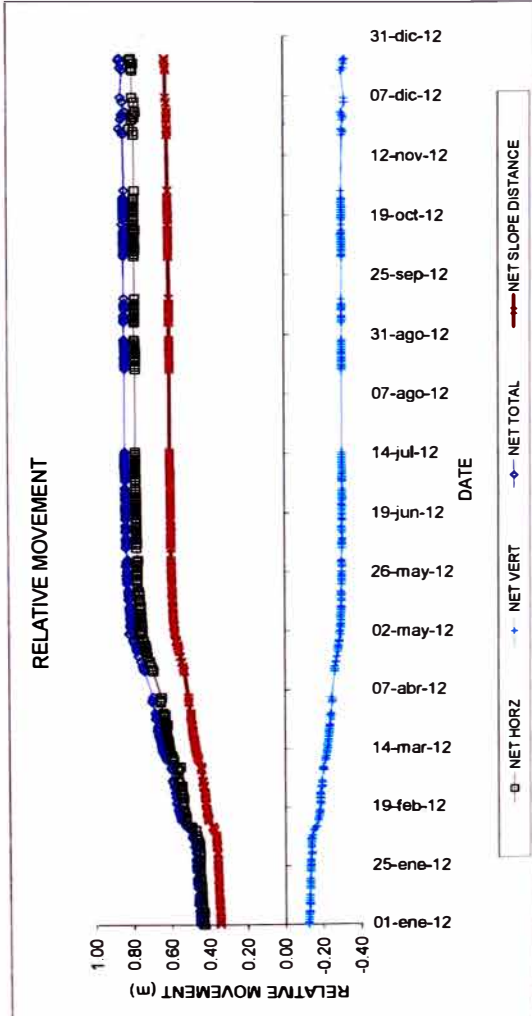




T342

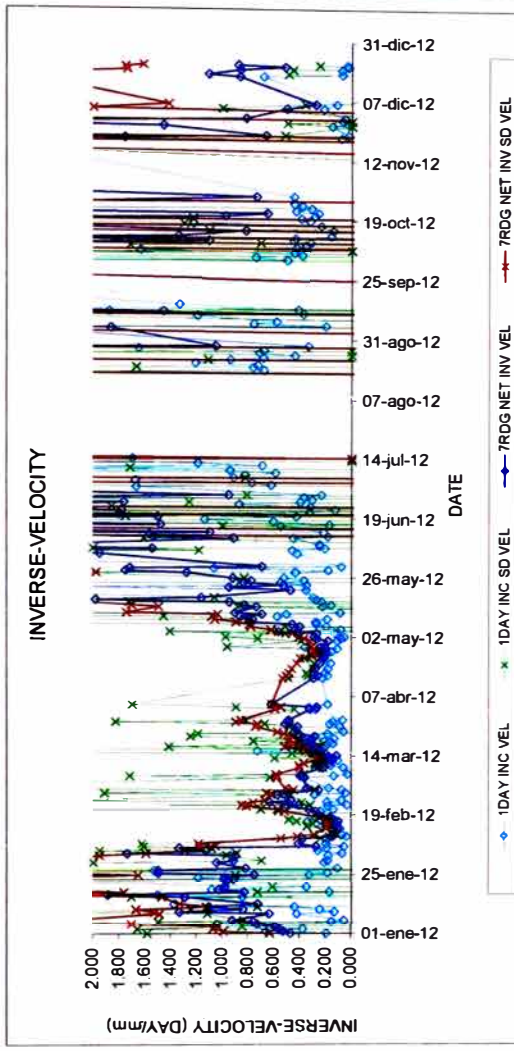
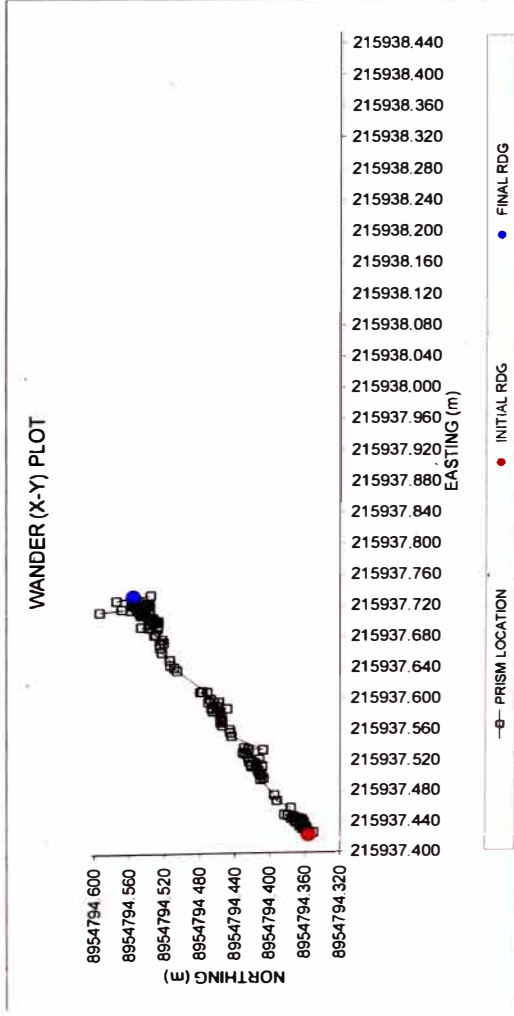
**INITIAL SURVEY READING AGO 18, 2009 1:52 A.M.**  
**1 DAY AVERAGE CALCS : 0 OUTLIER(S) : 0 RESET(S)**

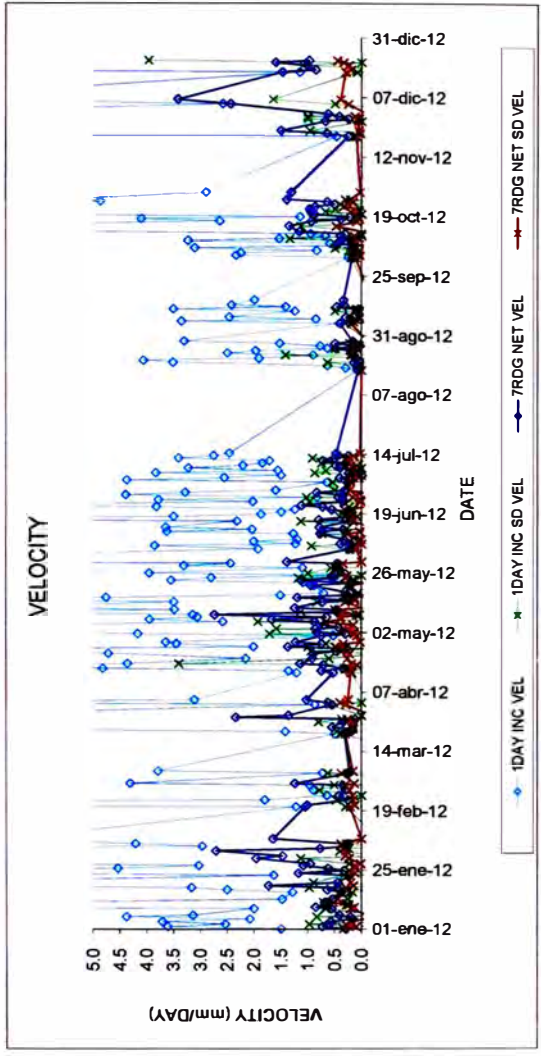
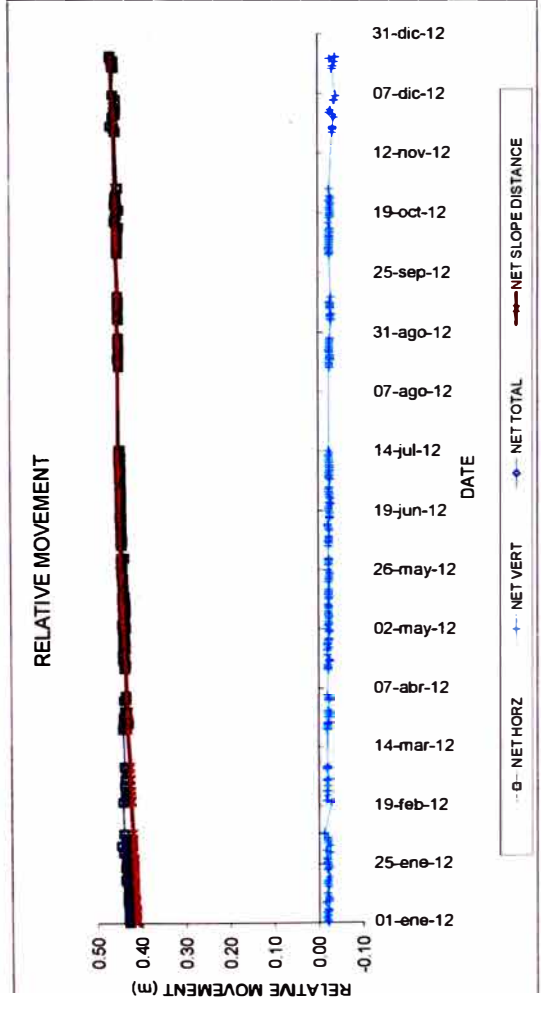




7342

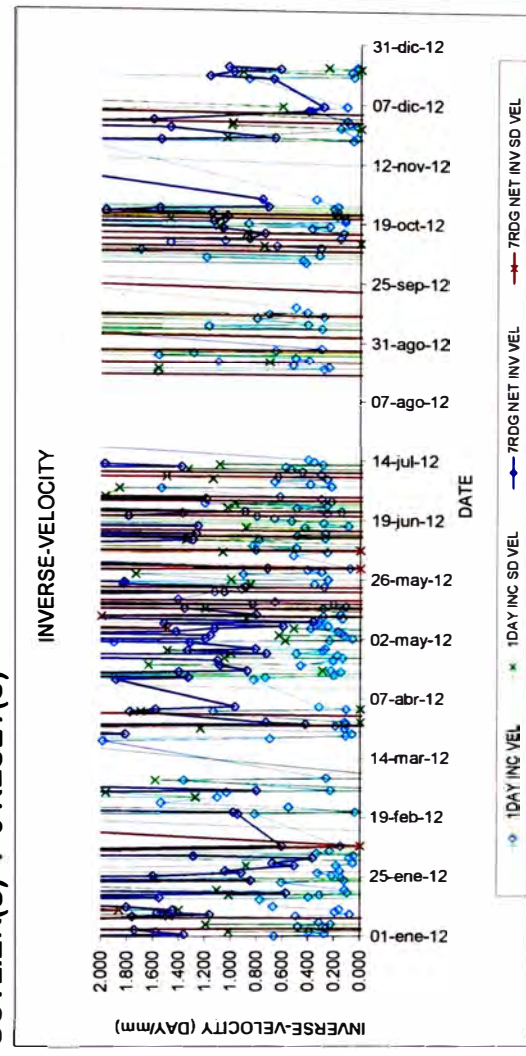
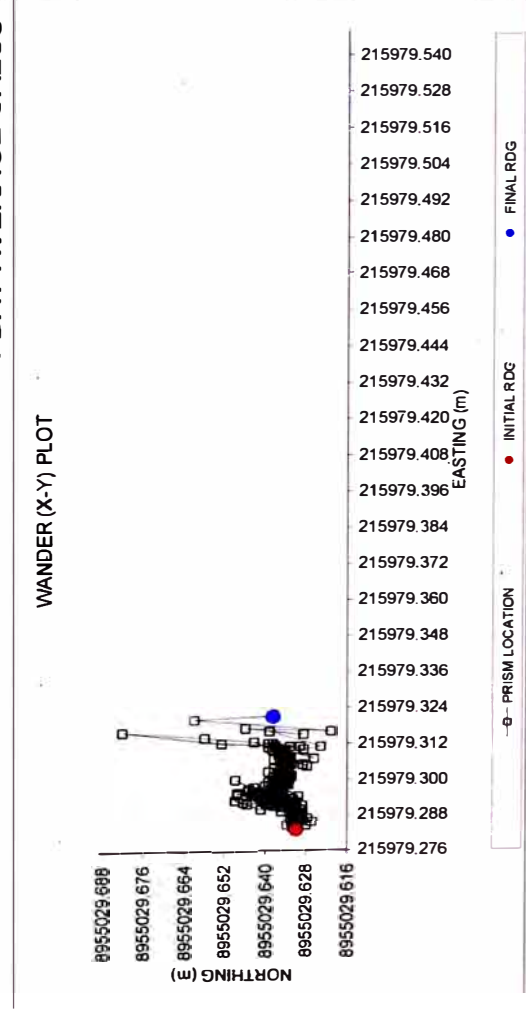
**INITIAL SURVEY READING AGO 18, 2009 1:52 A.M.  
1 DAY AVERAGE CALCS : 0 OUTLIER(S) : 0 RESET(S)**

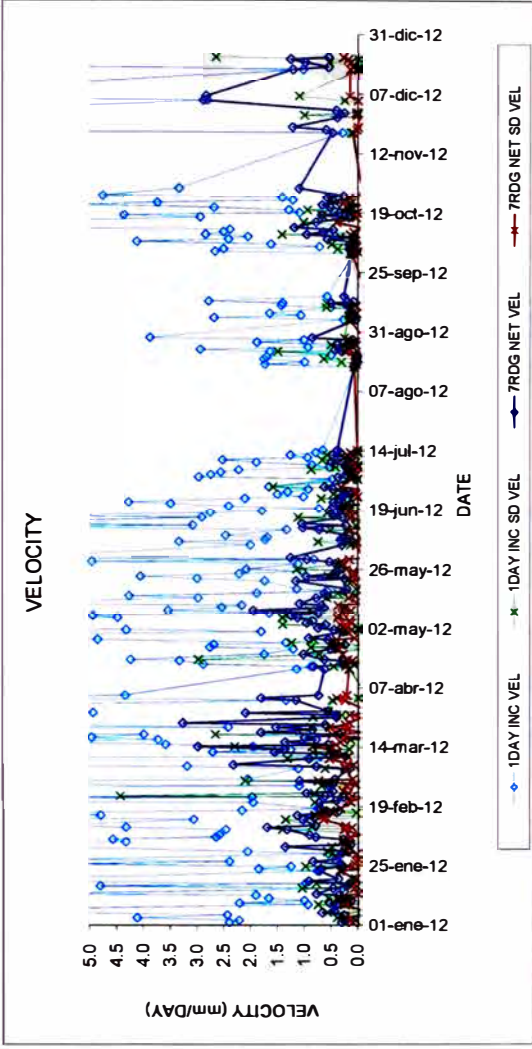
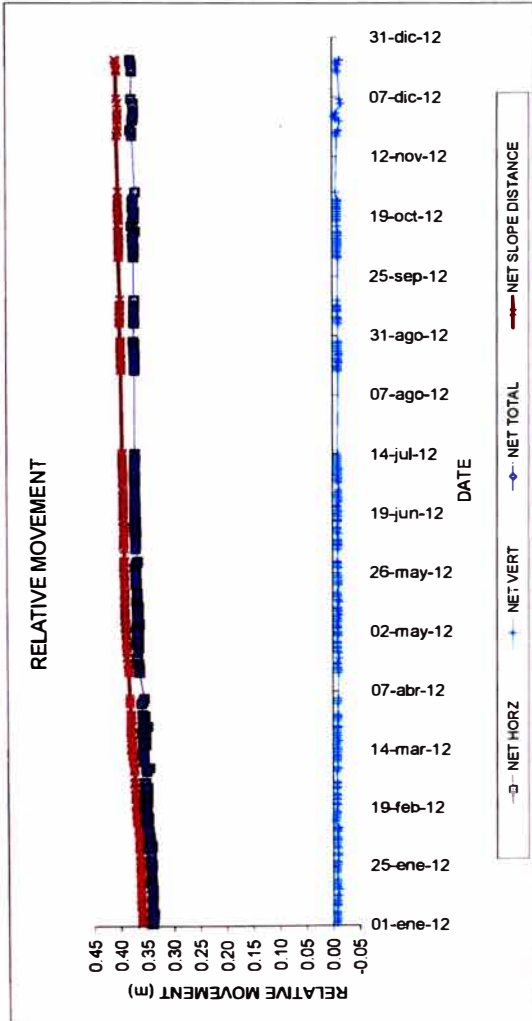




T393

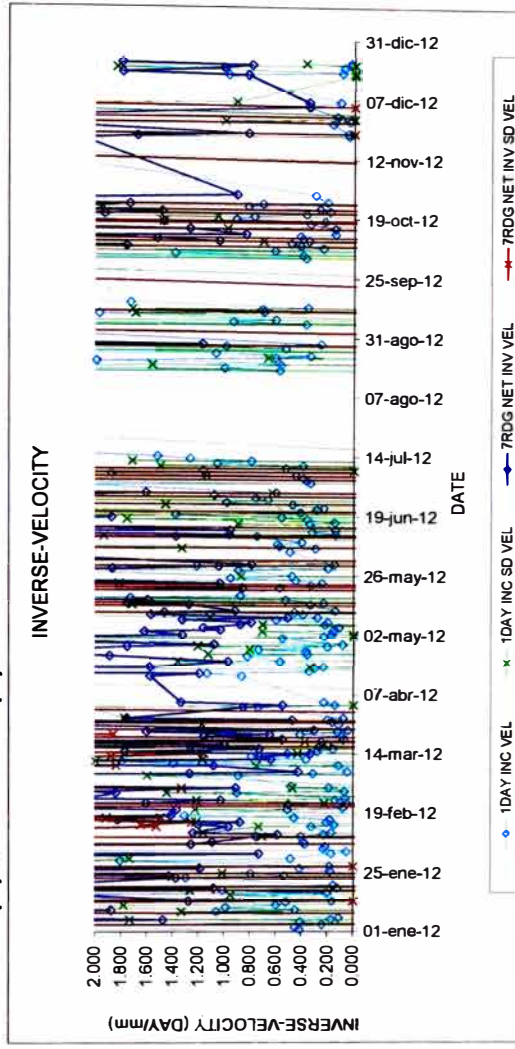
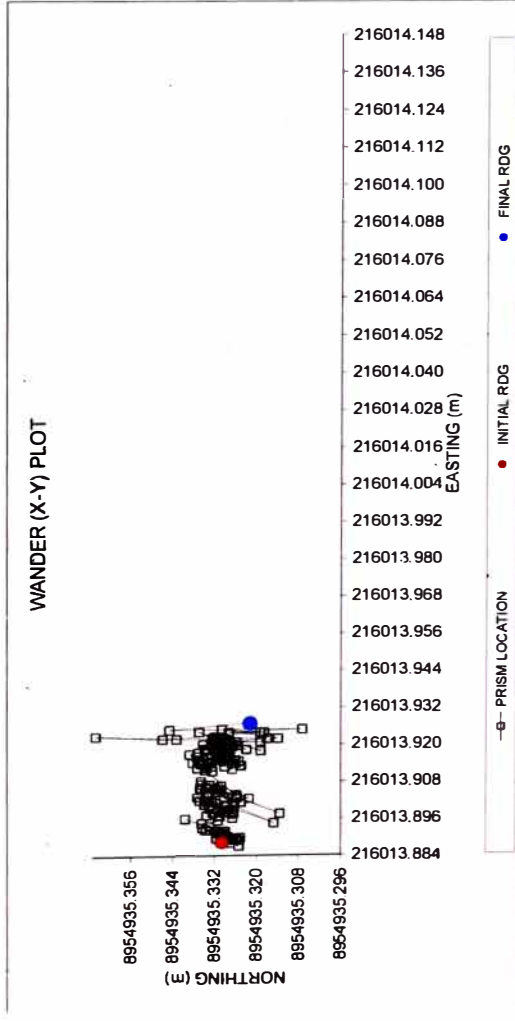
**INITIAL SURVEY READING NOV 04, 2009 11:47 A.M.  
1 DAY AVERAGE CALCS : 0 OUTLIER(S) : 0 RESET(S)**

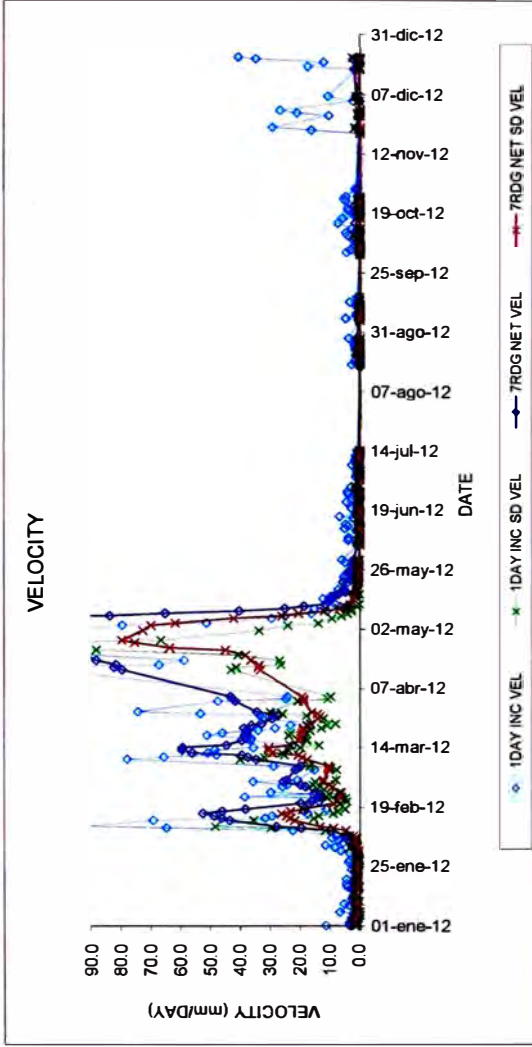
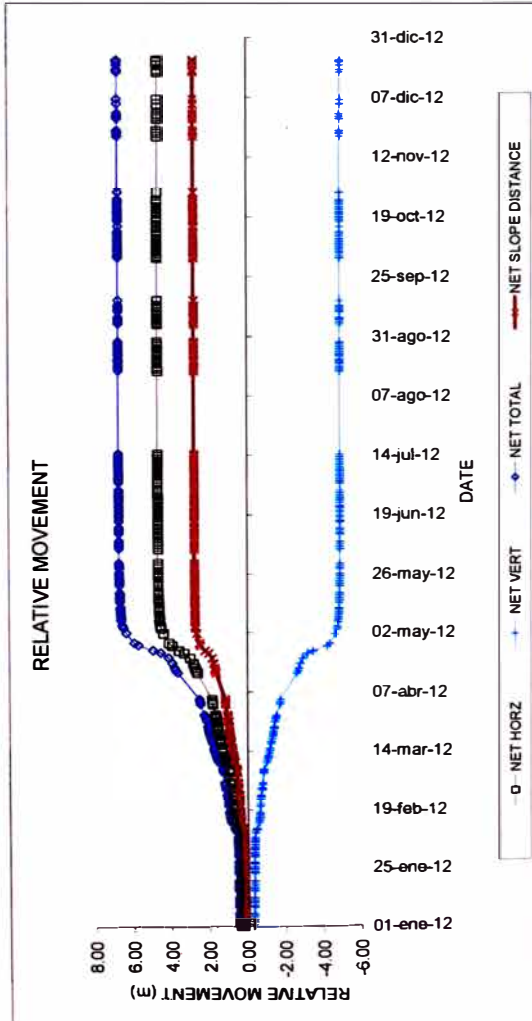




T410

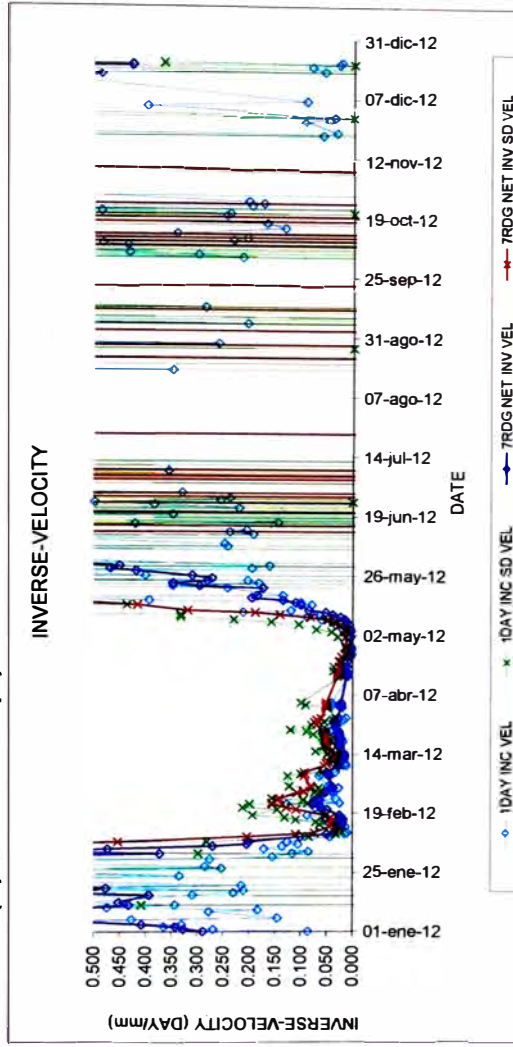
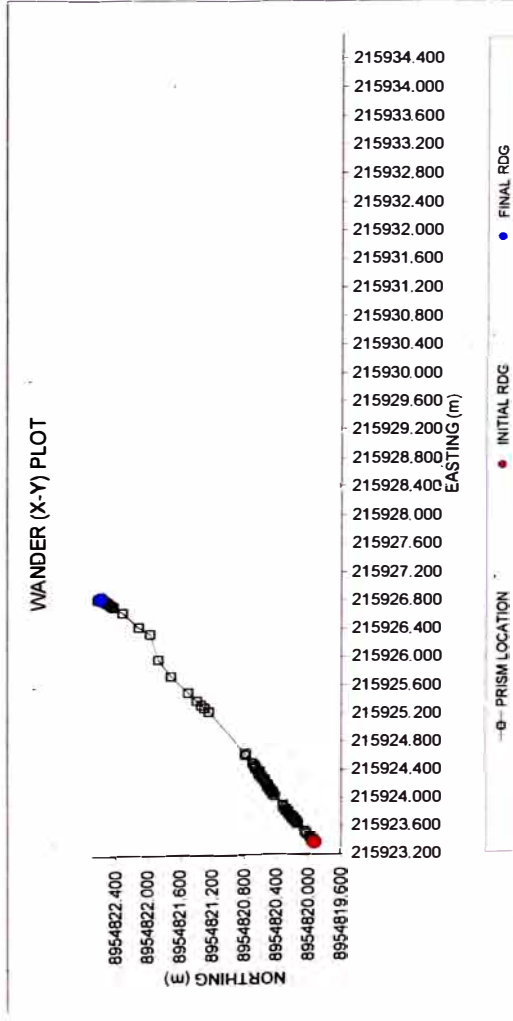
**INITIAL SURVEY READING NOV 29, 2009 7:36 P.M.**  
**1 DAY AVERAGE CALCS : 0 OUTLIER(S) : 0 RESET(S)**

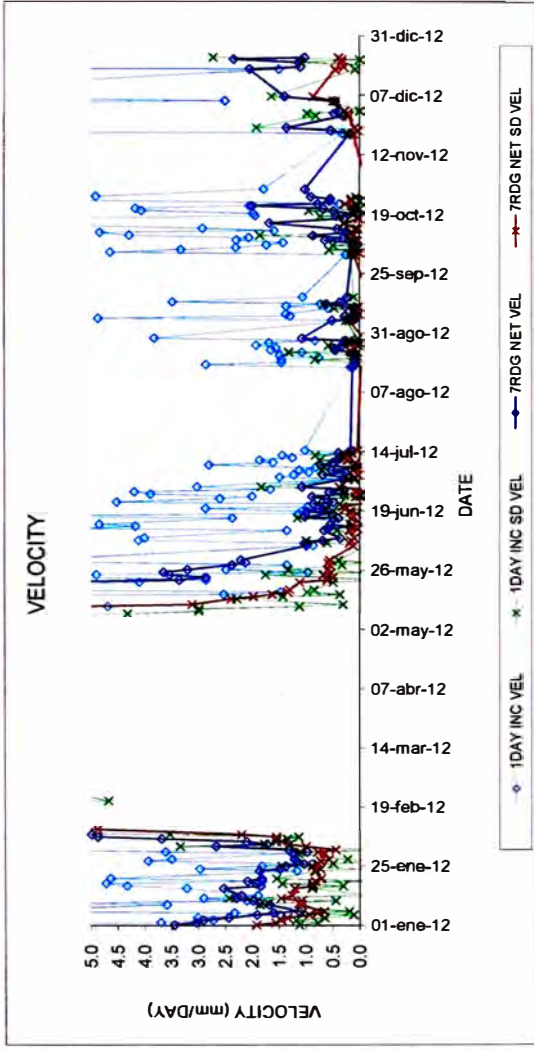
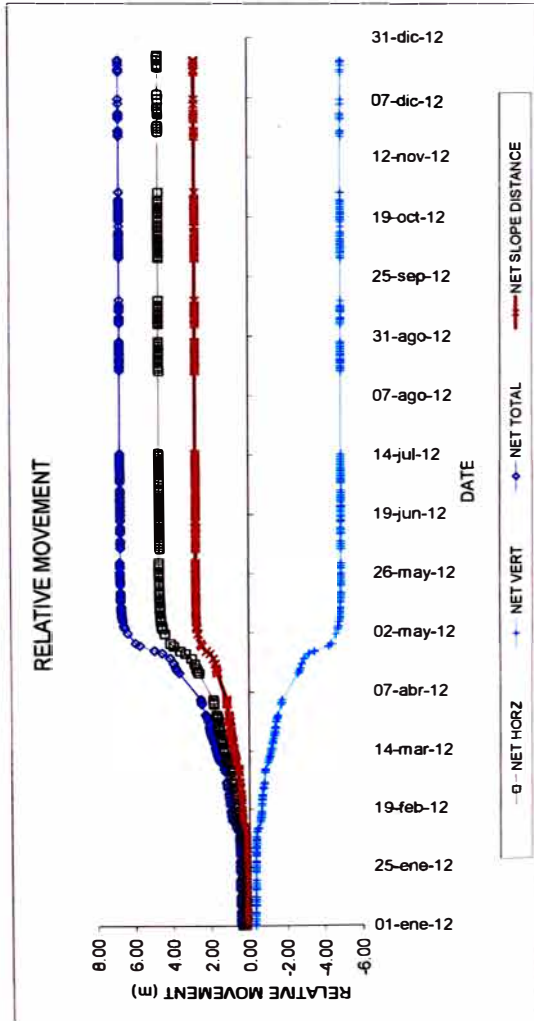




T506

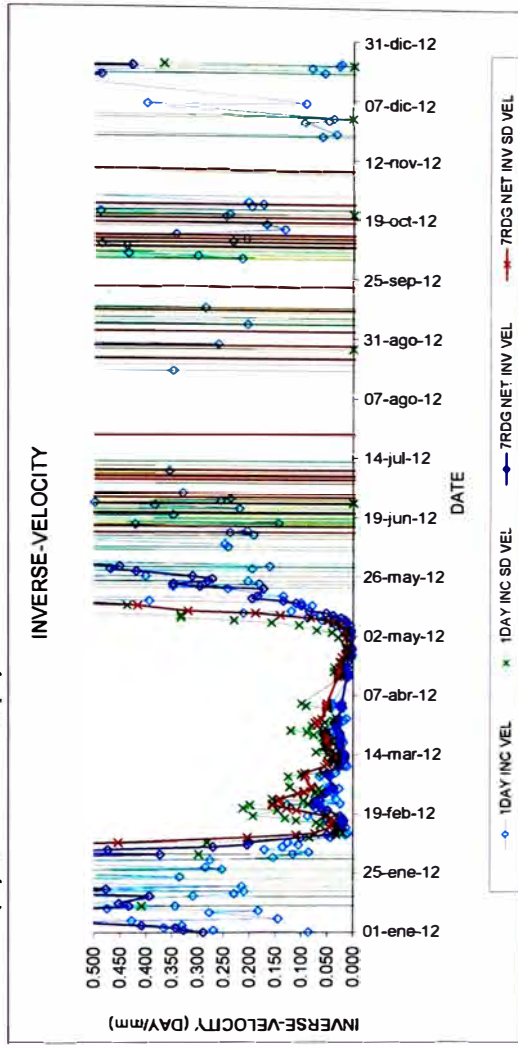
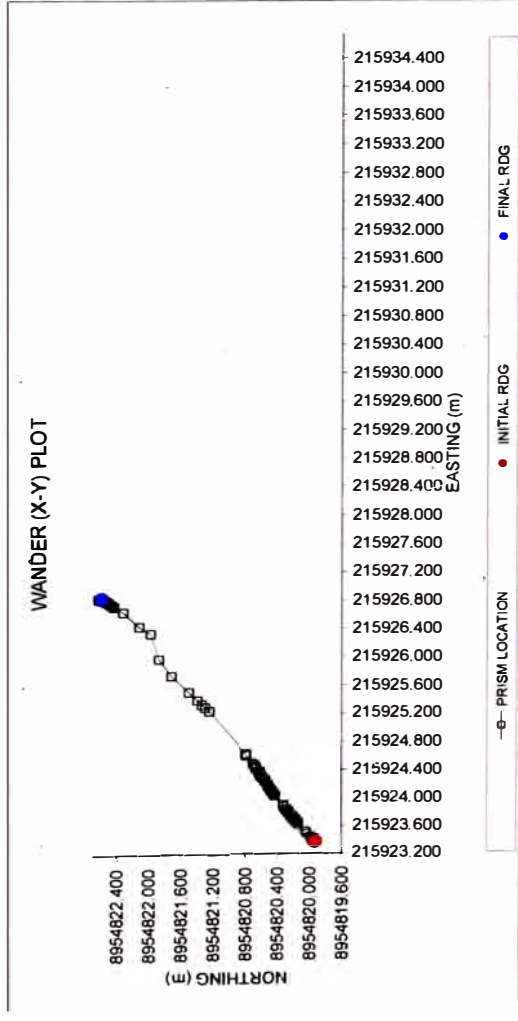
INITIAL SURVEY READING ABR 08, 2011 11:17 A.M.  
1 DAY AVERAGE CALCS : 0 OUTLIER(S) : 0 RESET(S)



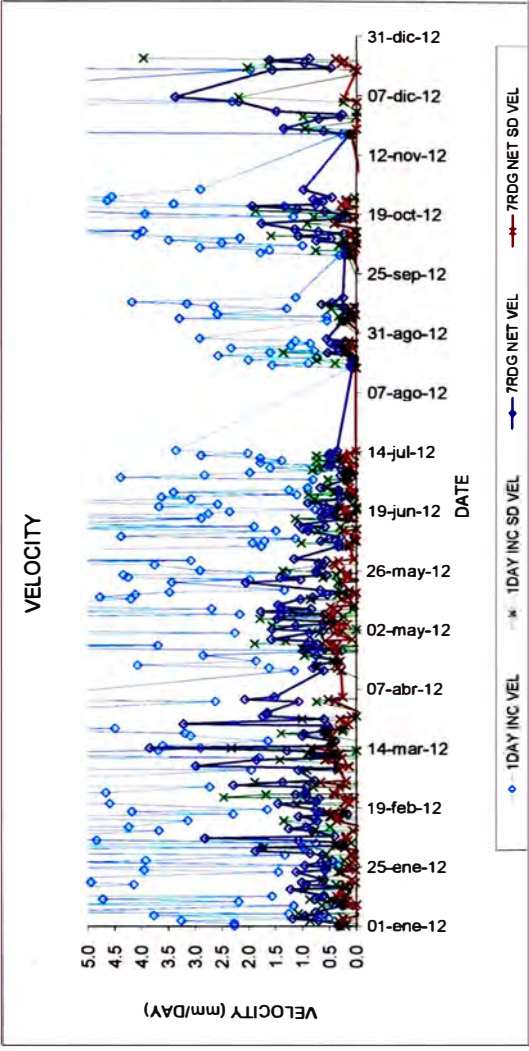
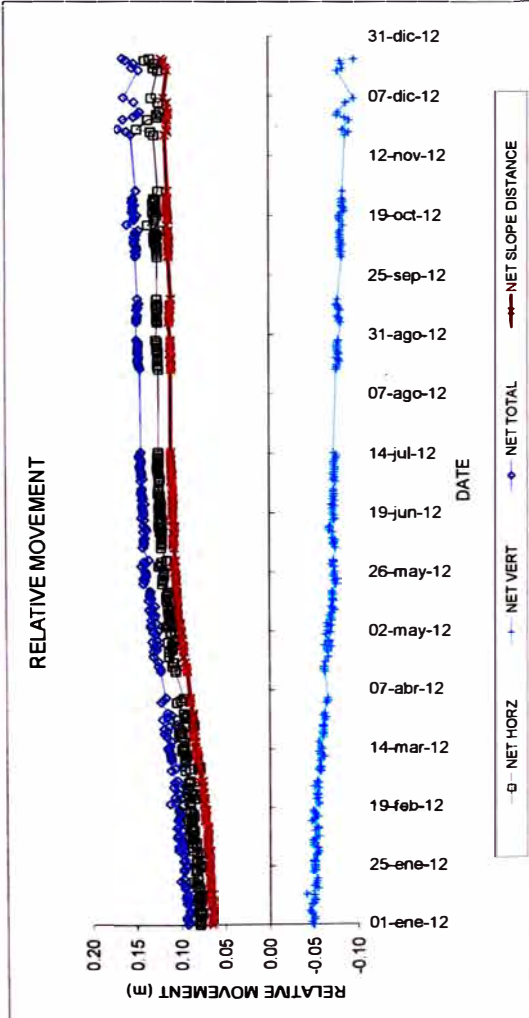


T506

INITIAL SUR EY READING ABR 08, 2011 11:17 A.M.  
 1 DAY AVERAGE CALCS : 0 OUTLIER(S) : 0 RESET(S)

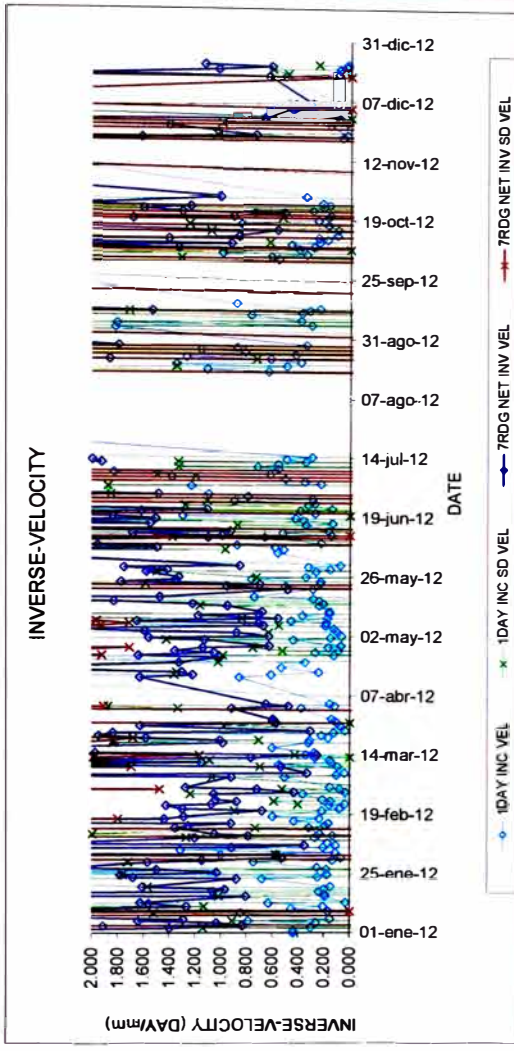
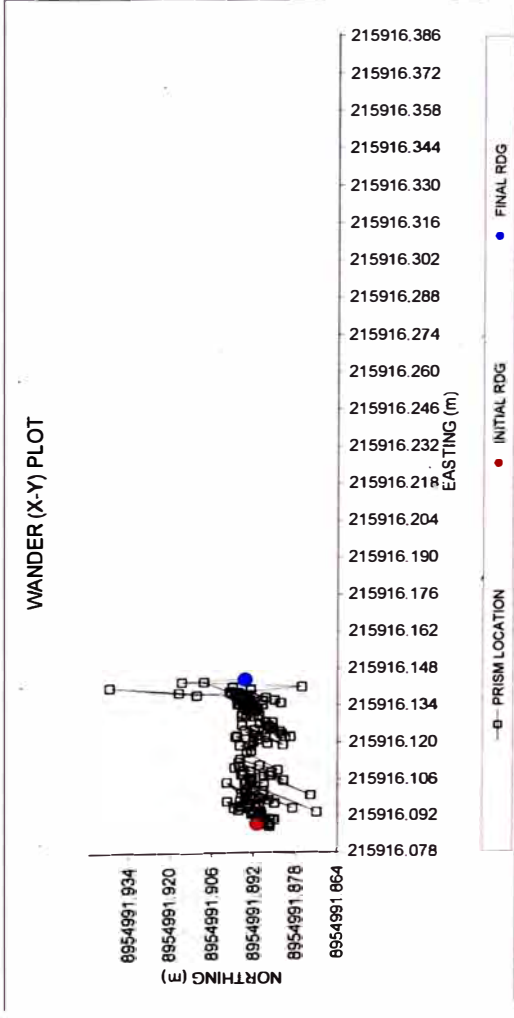


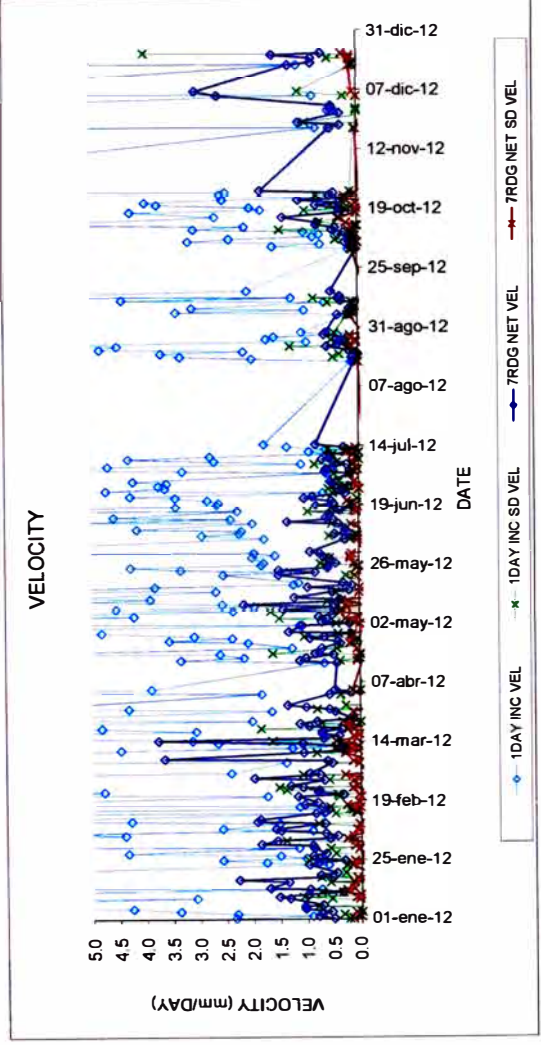
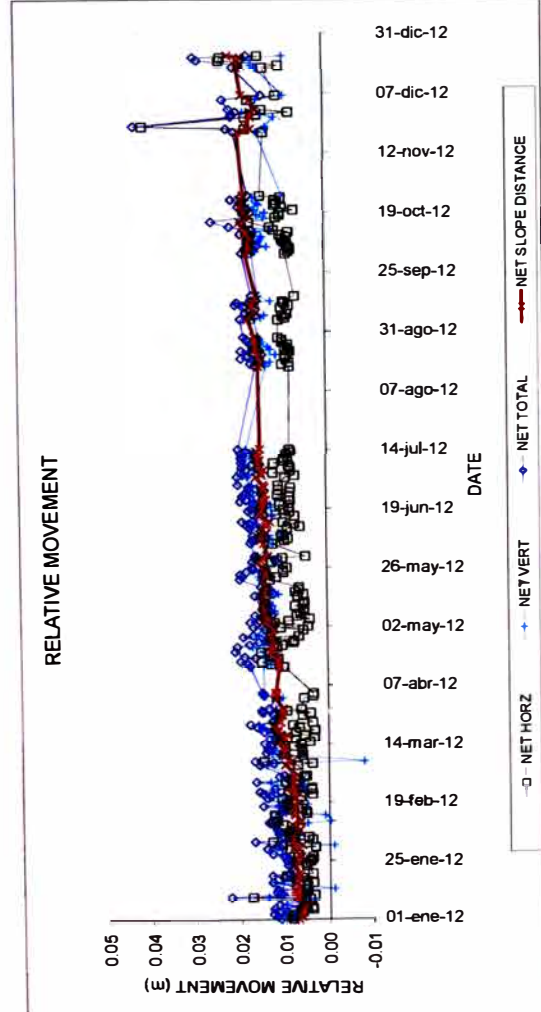




T507

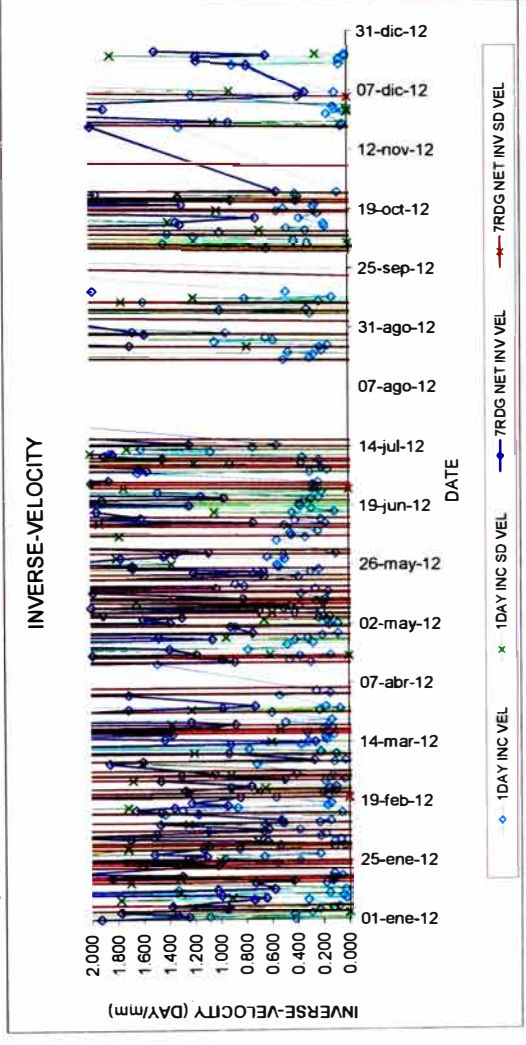
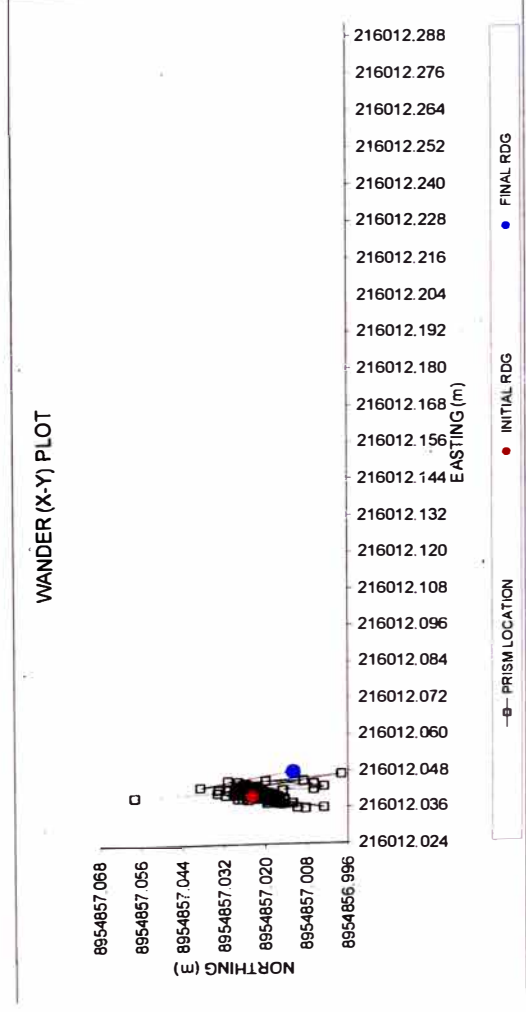
INITIAL SURVEY READING ABR 08, 2011 11:17 A.M.  
 1 DAY AVERAGE CALCS : 0 OUTLIER(S) : 0 RESET(S)



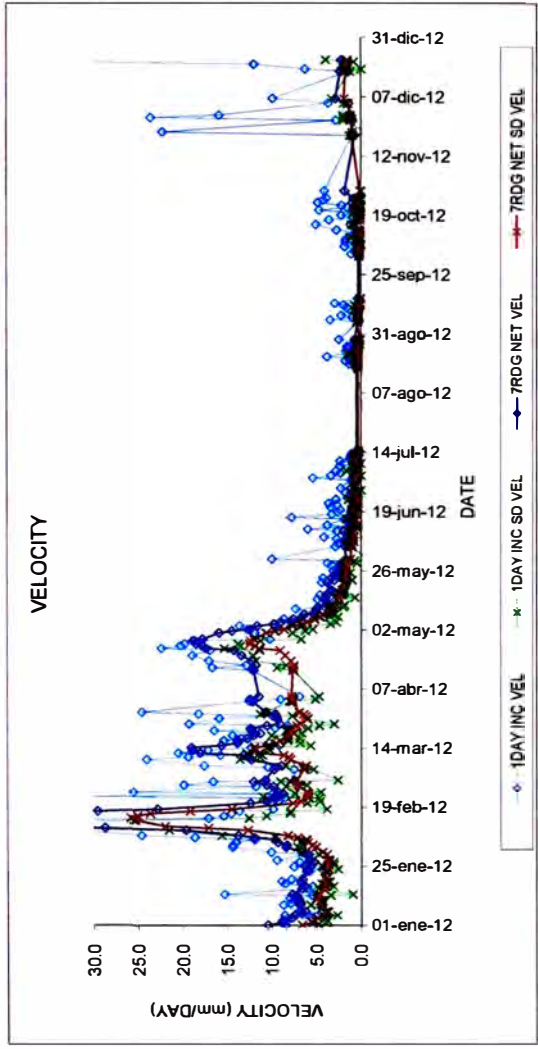
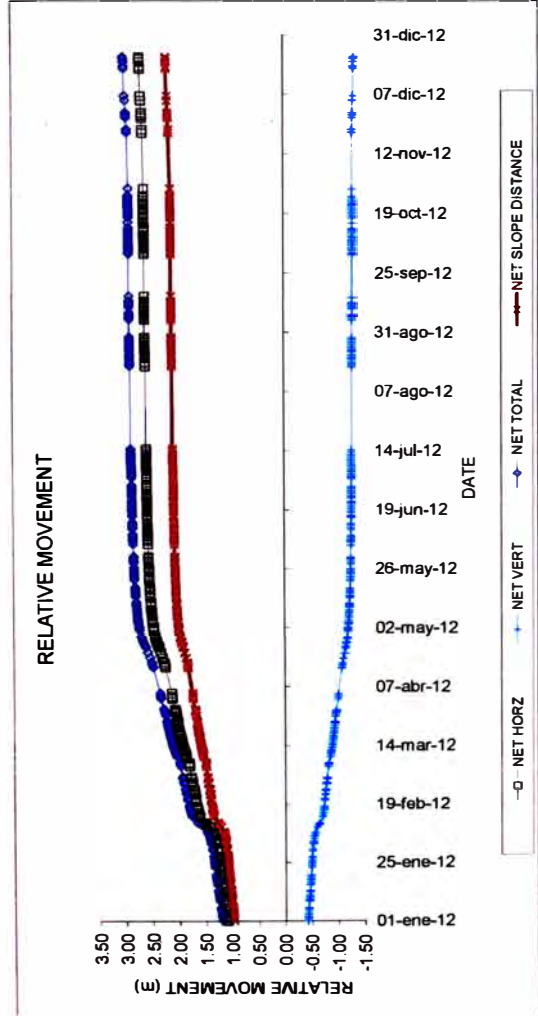


T584

**INITIAL SURVEY READING OCT 26, 2011 6:41 P.M.**  
**1 DAY AVERAGE CALCS : 0 OUTLIER(S) : 0 RESET(S)**

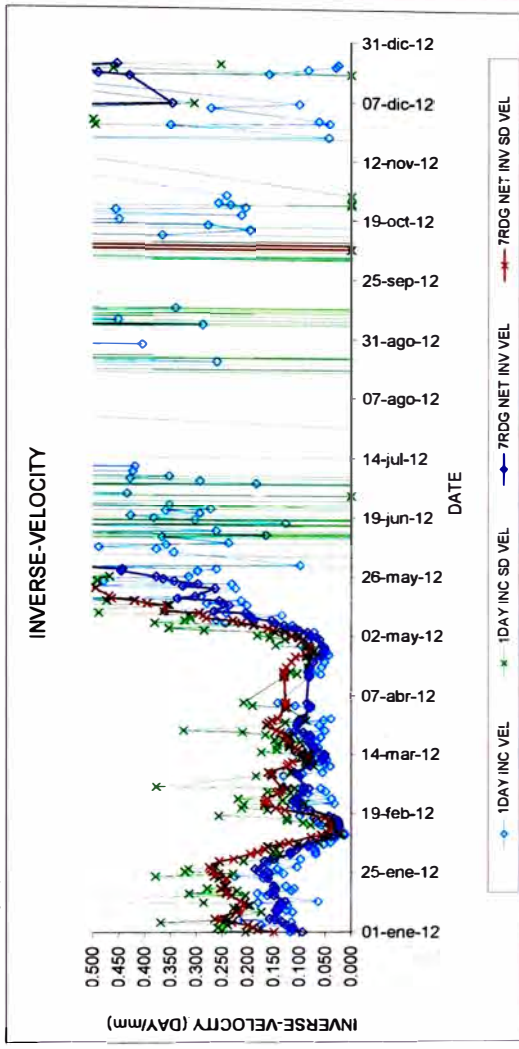
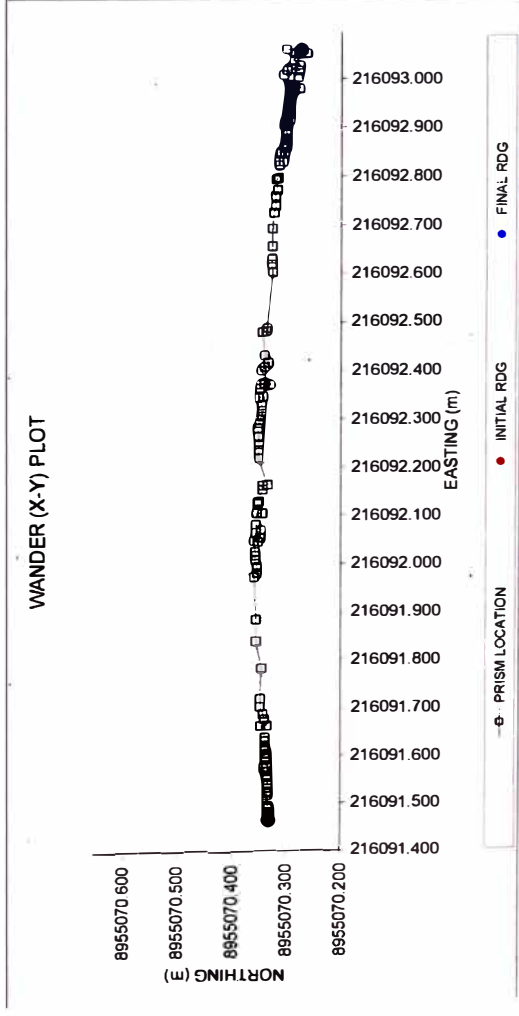


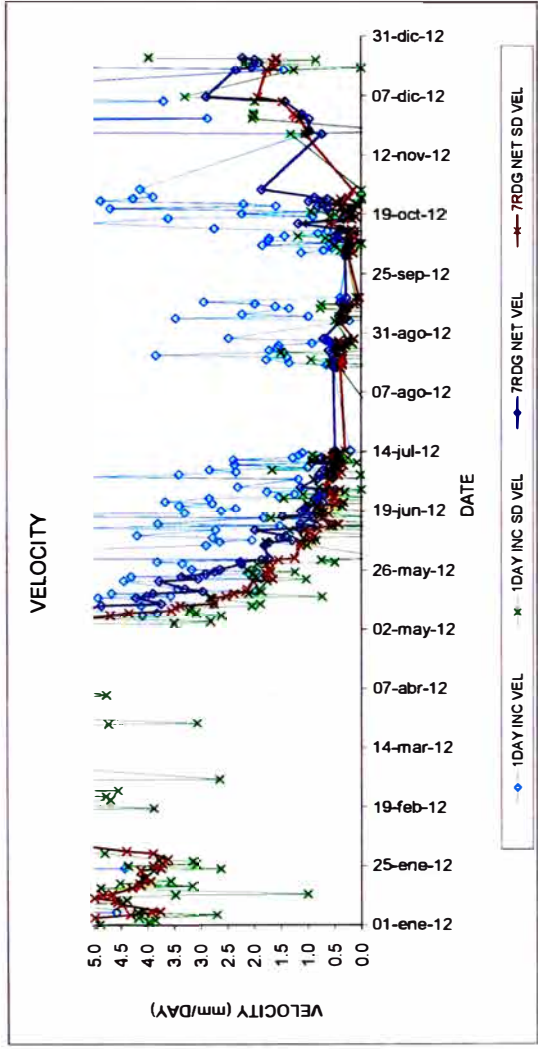
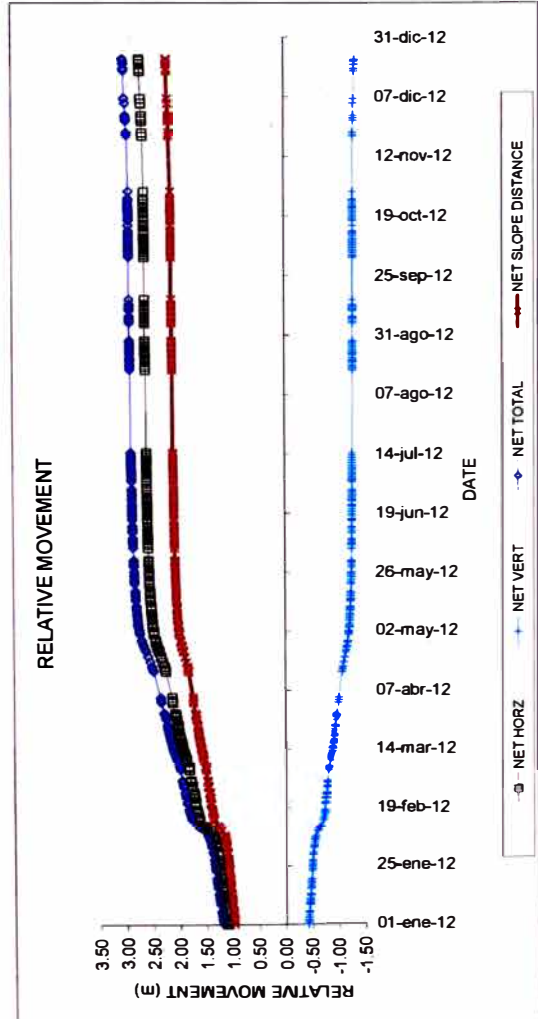
## **ZONA GEOTÉCNICA 6**



T412

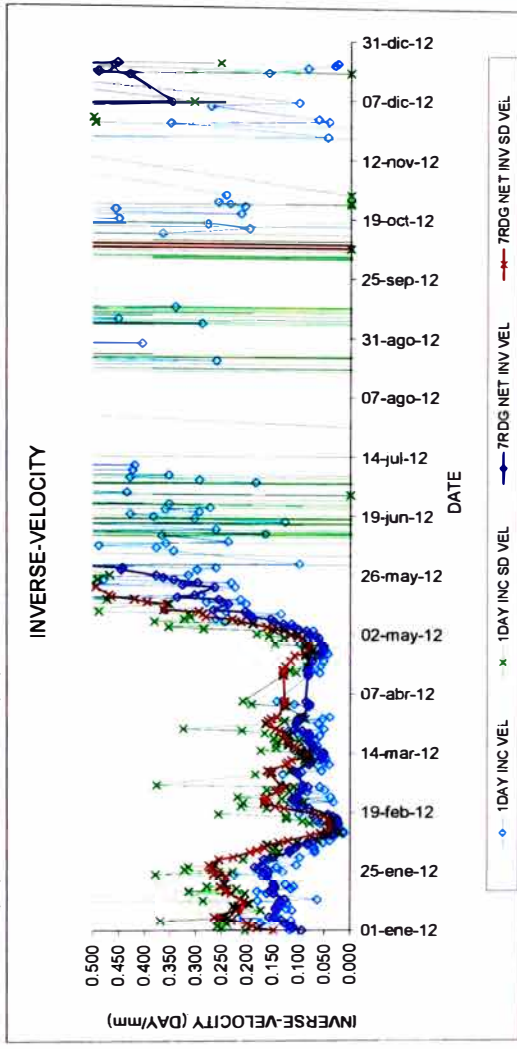
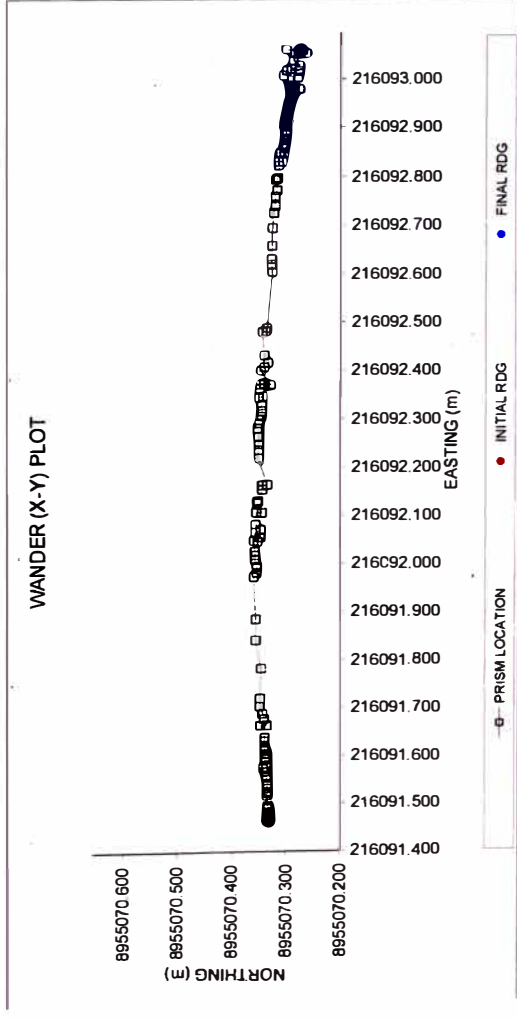
**INITIAL SURVEY READING NOV 30, 2009 4:23 P.M.**  
**1 DAY AVERAGE CALCS : 0 OUTLIER(S) : 0 RESET(S)**

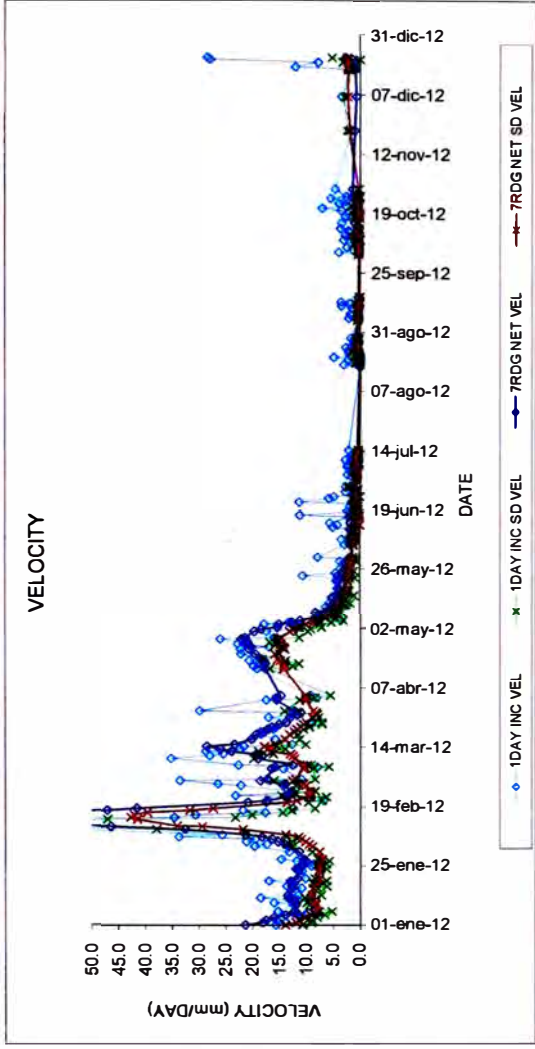
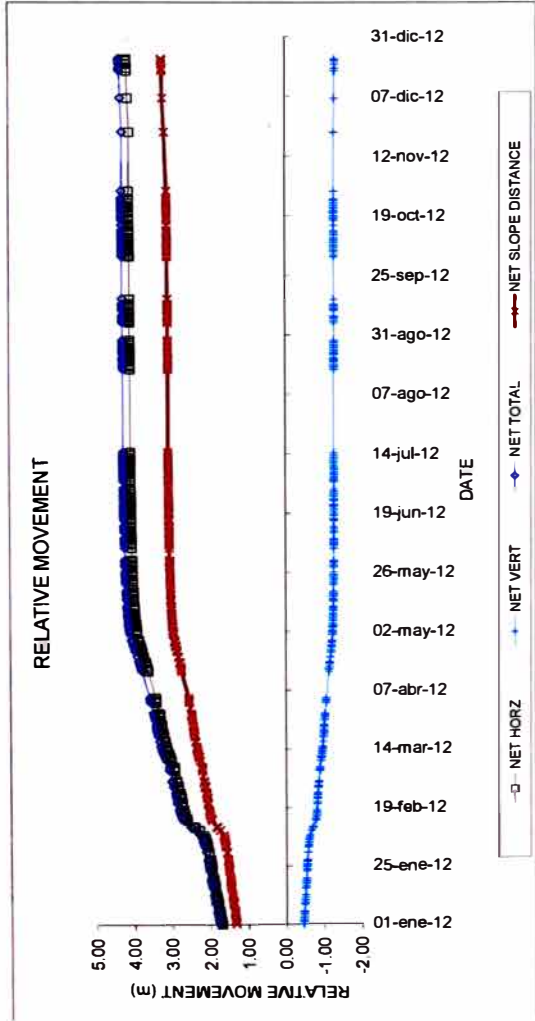




T412

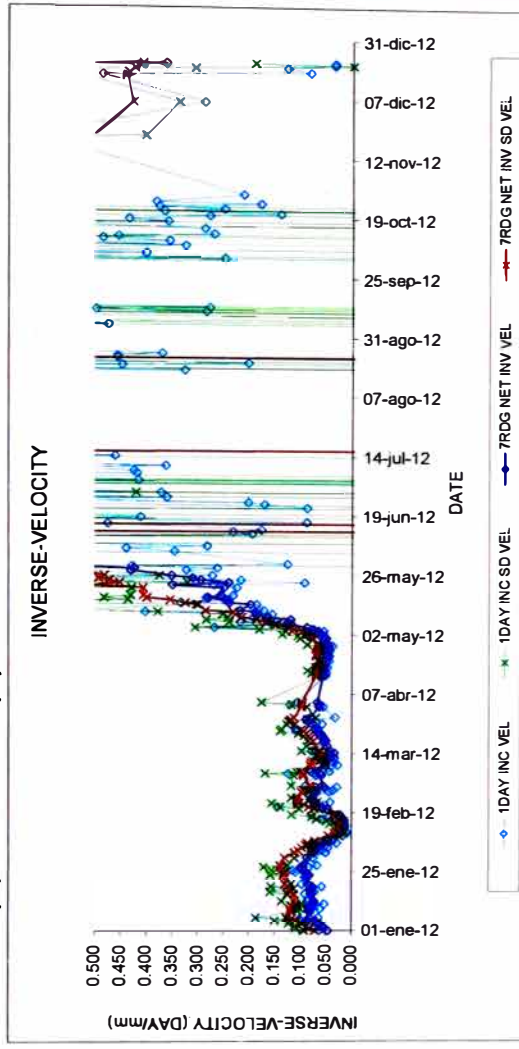
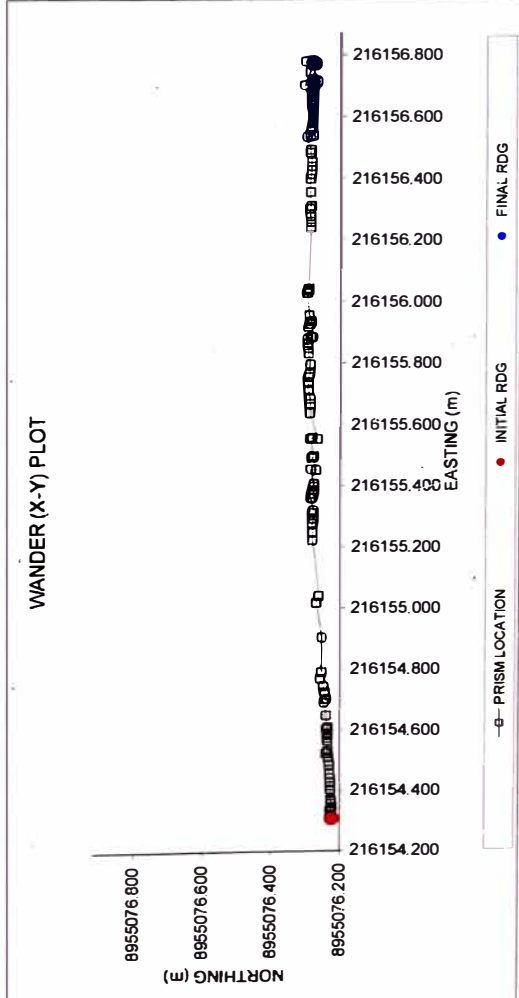
**INITIAL SURVEY READING NOV 30, 2009 4:23 P.M.**  
**1 DAY AVERAGE CALCS : 0 OUTLIER(S) : 0 RESET(S)**

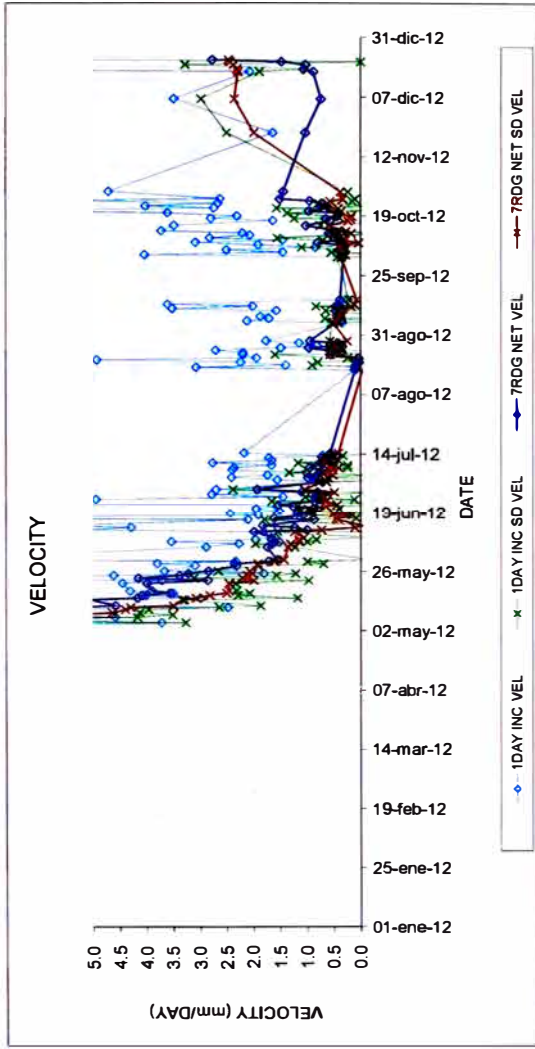
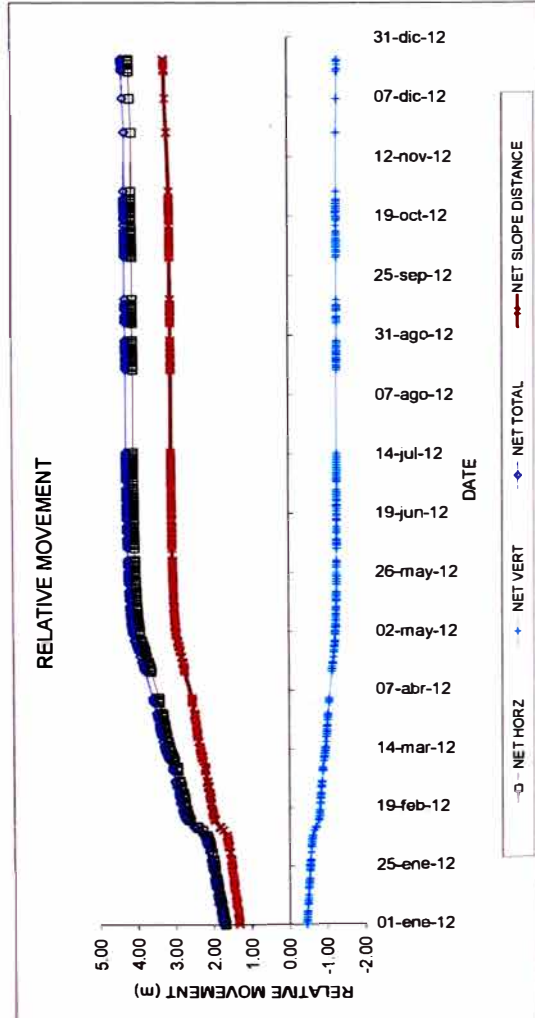




T471

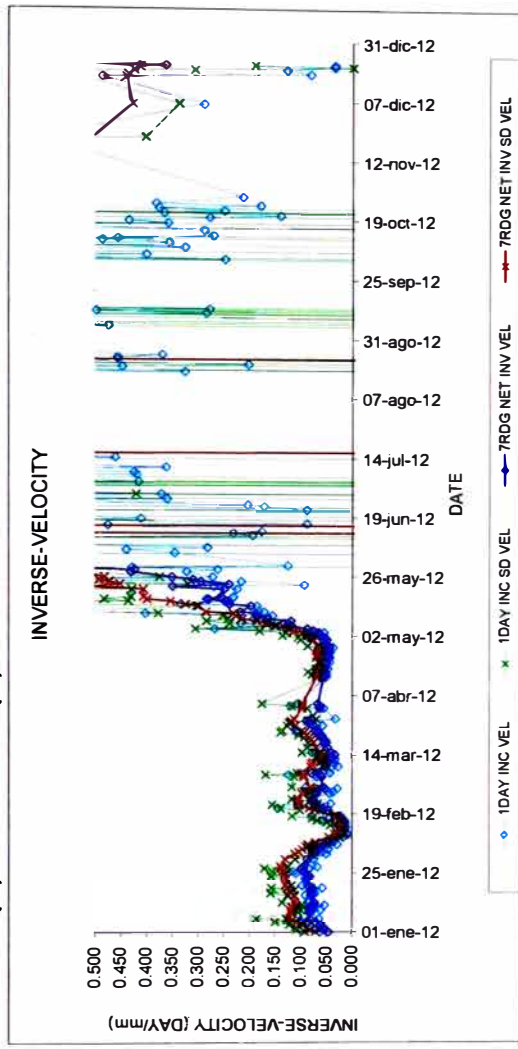
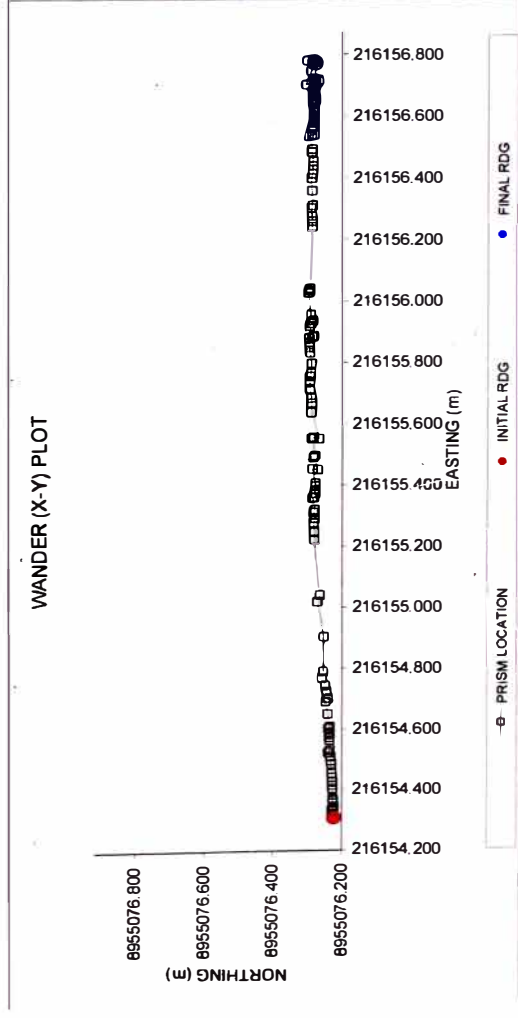
**INITIAL SURVEY READING MAY 29, 2010 4:02 P.M.  
1 DAY AVERAGE CALCS : 0 OUTLIER(S) : 0 RESET(S)**

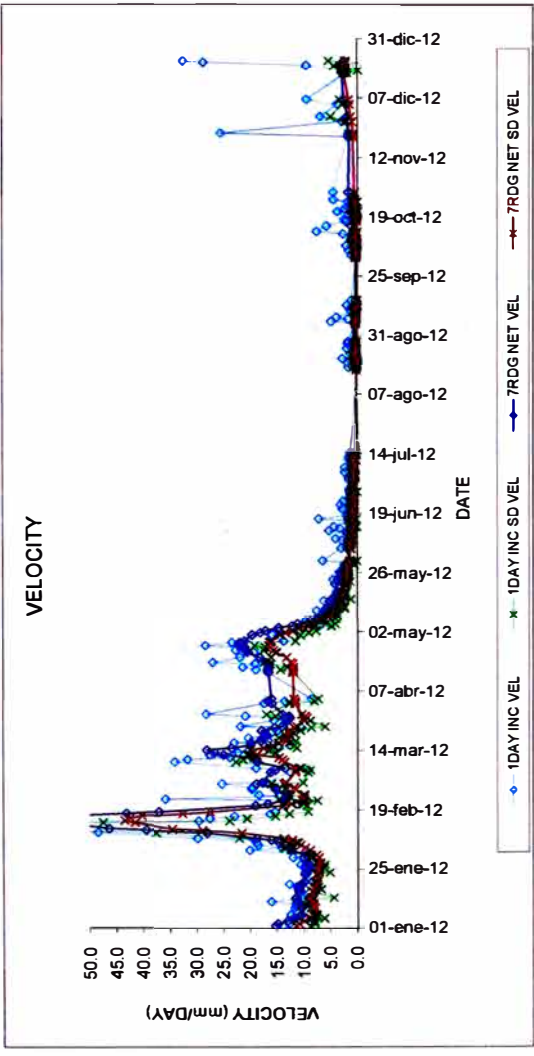
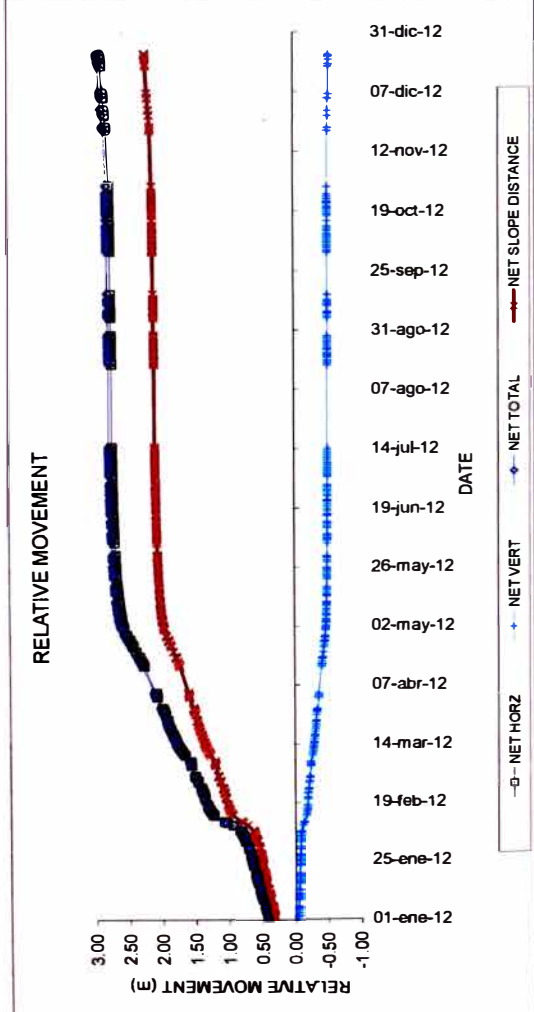




T471

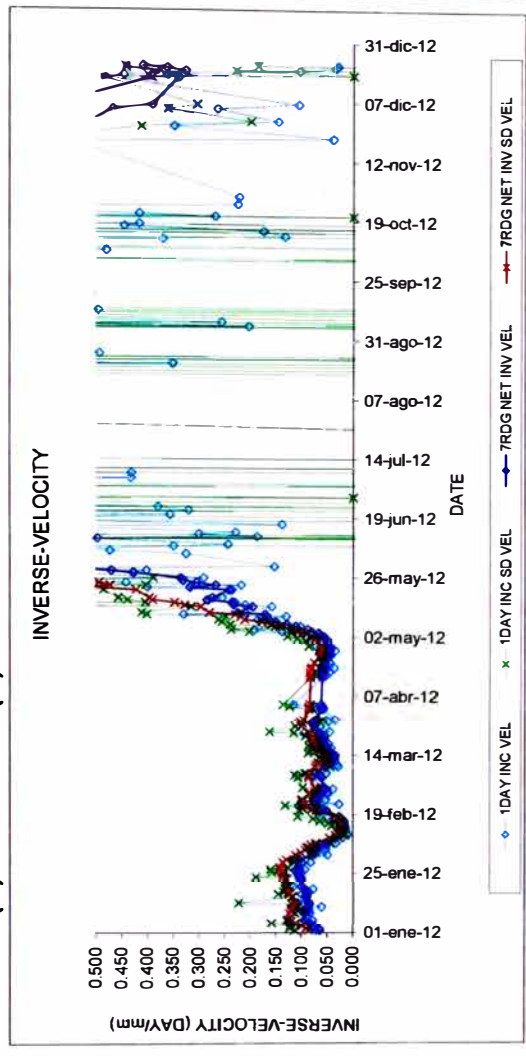
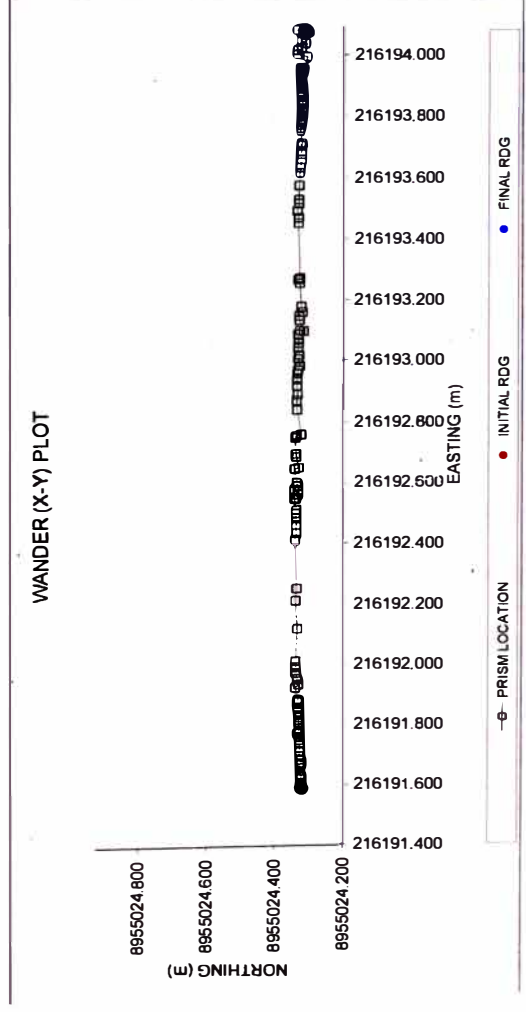
INITIAL SURVEY READING MAY 29, 2010 4:02 P.M.  
 1 DAY AVERAGE CALCS : 0 OUTLIER(S) : 0 RESET(S)



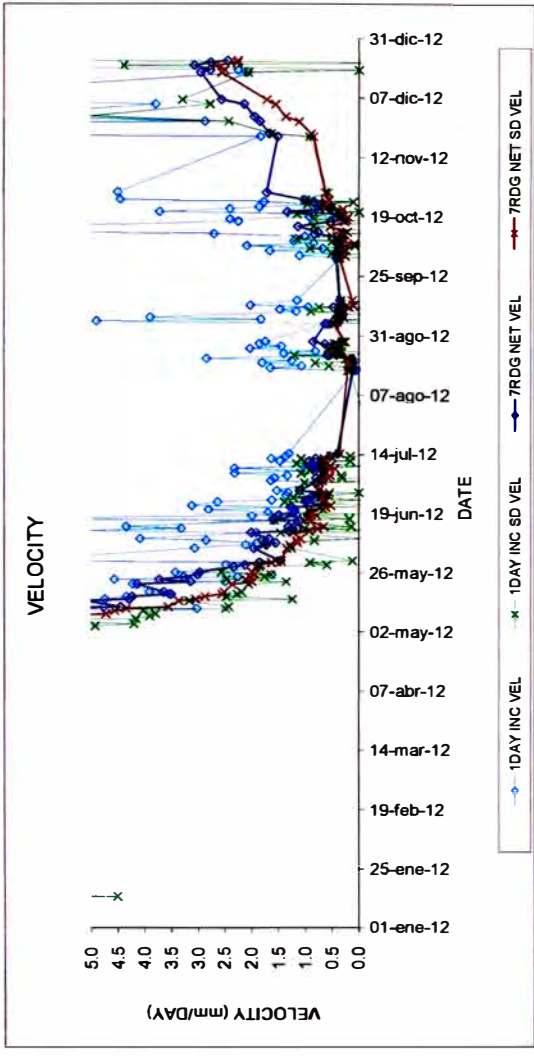
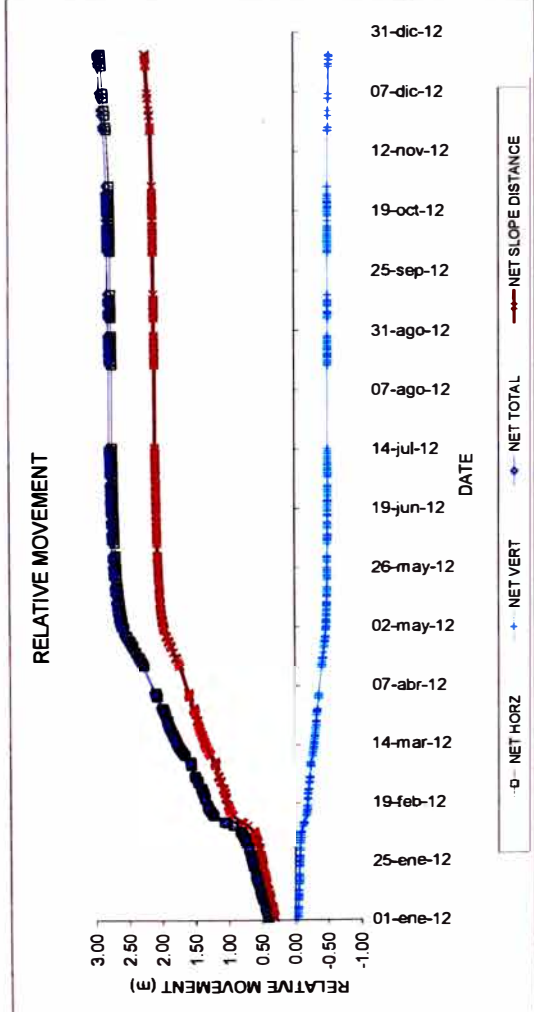


T560

INITIAL SURVEY READING JUN 22, 2011 5:07 P.M.  
1 DAY AVERAGE CALCS : 0 OUTLIER(S) : 0 RESET(S)

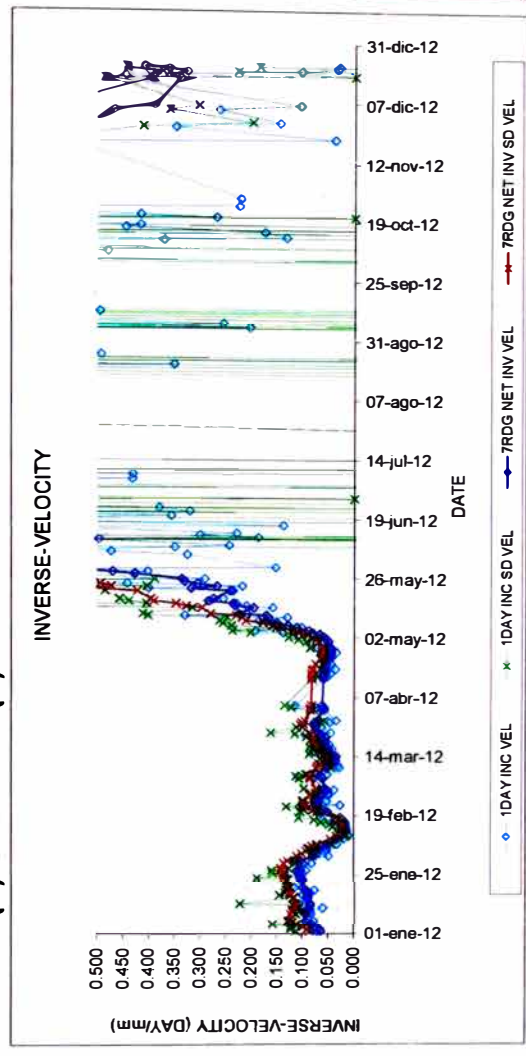
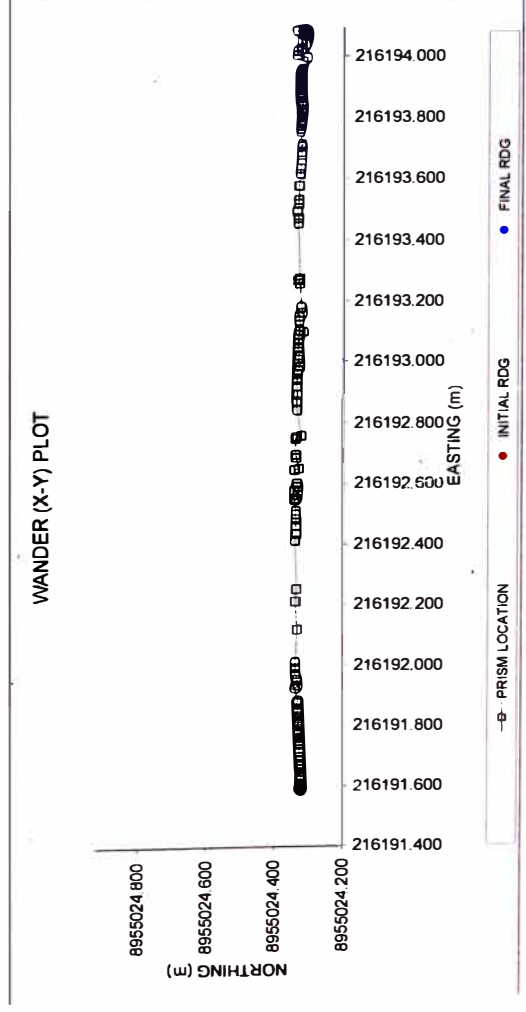


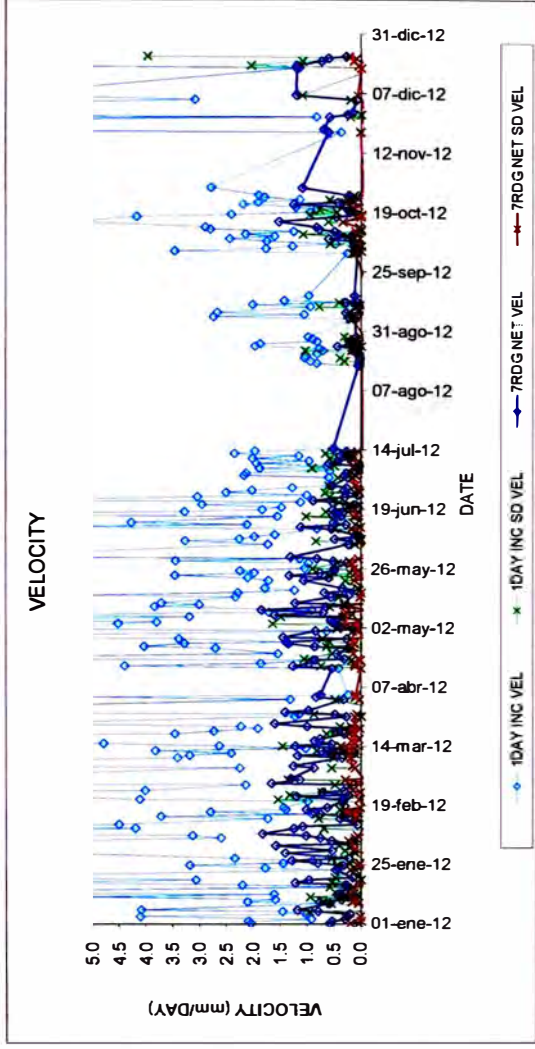
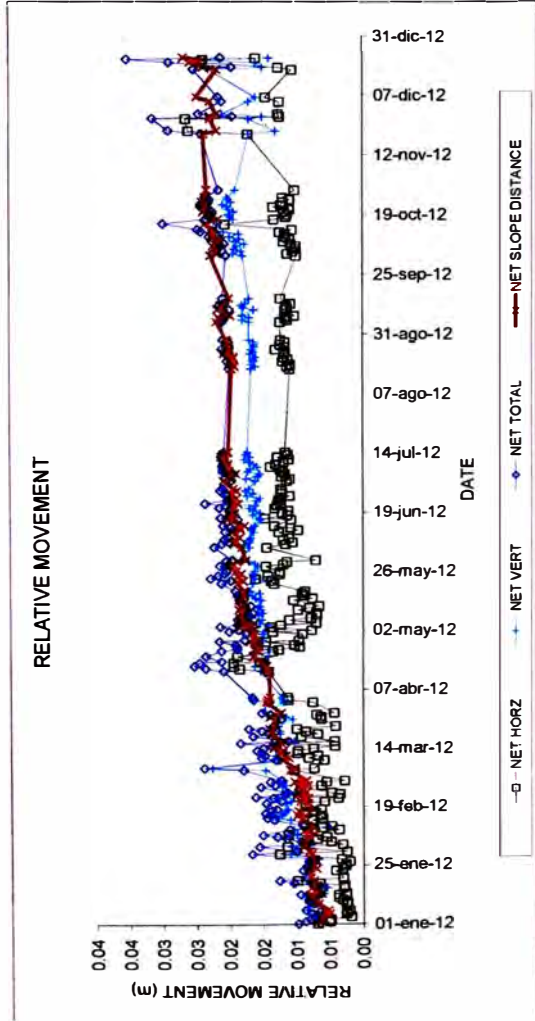




T560

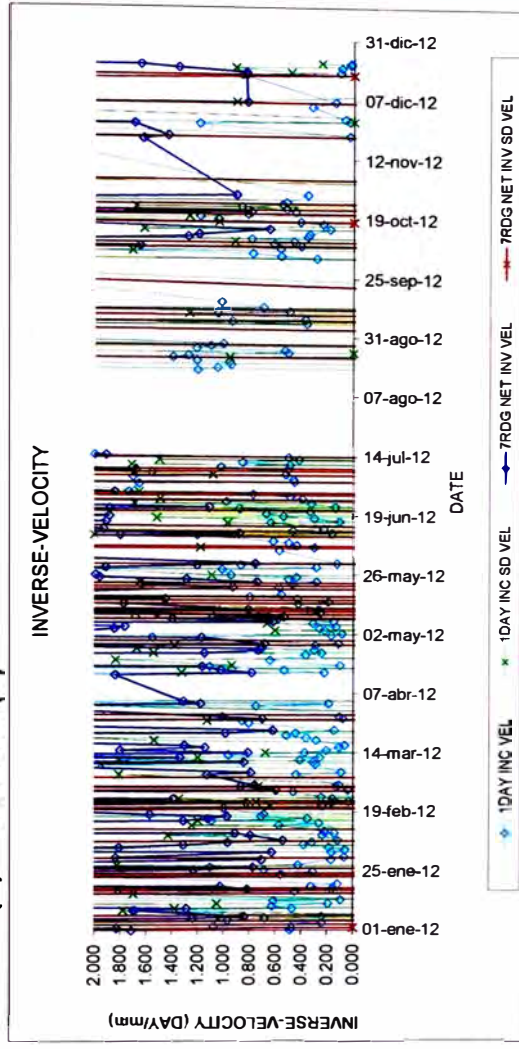
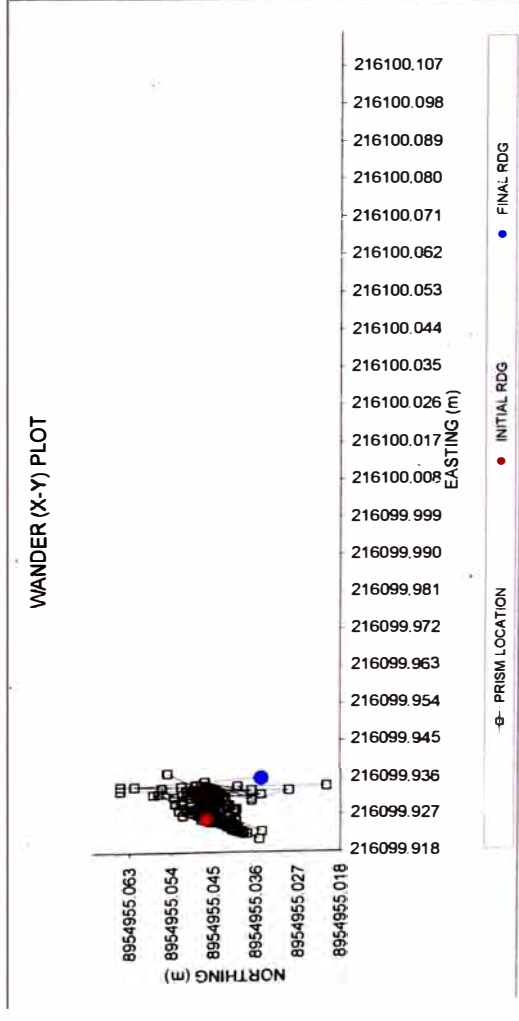
**INITIAL SURVEY READING JUN 22, 2011 5:07 P.M.**  
**1 DAY AVERAGE CALCS : 0 OUTLIER(S) : 0 RESET(S)**





T588

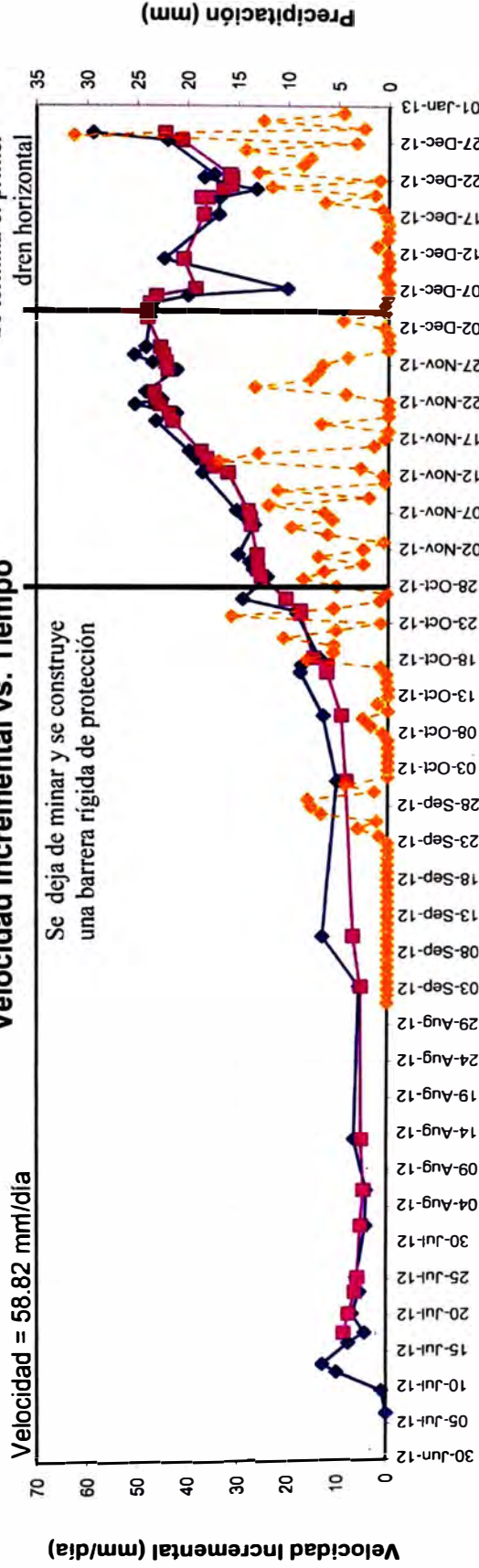
**INITIAL SURVEY READING OCT 26, 2011 6:42 P.M.**  
**1 DAY AVERAGE CALCS : 0 OUTLIER(S) : 0 RESET(S)**

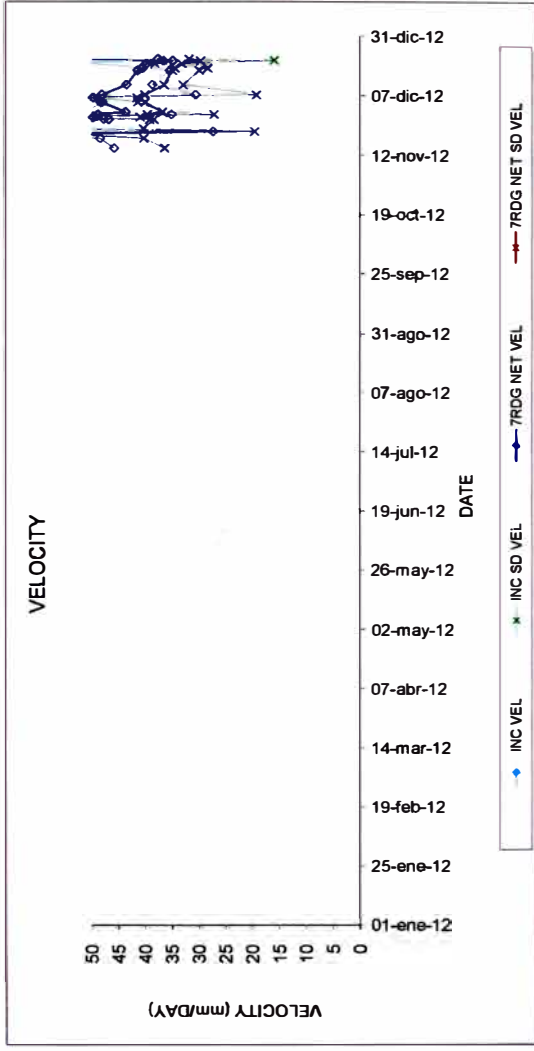
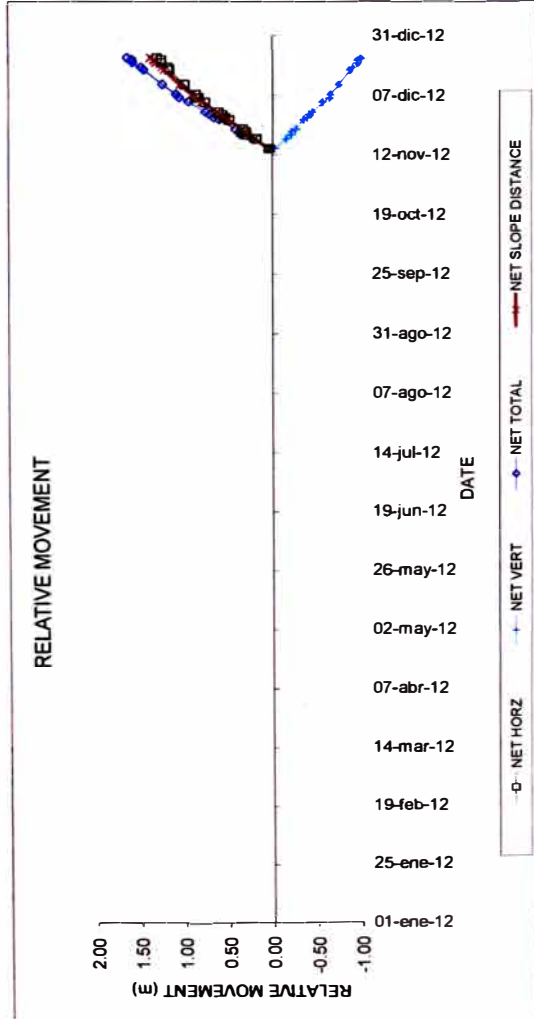


## **ZONA GEOTÉCNICA 7**

# EXTENSÓMETRO EXT-01

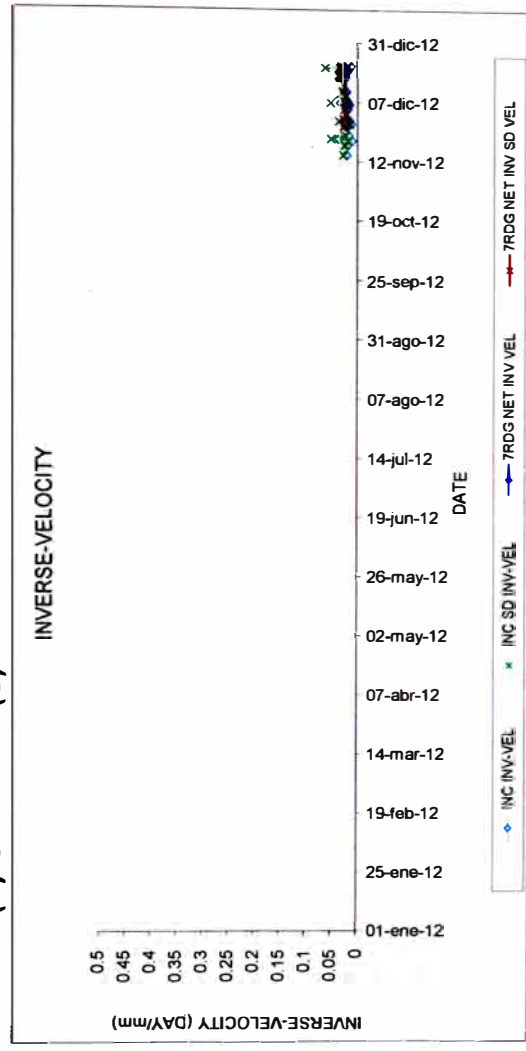
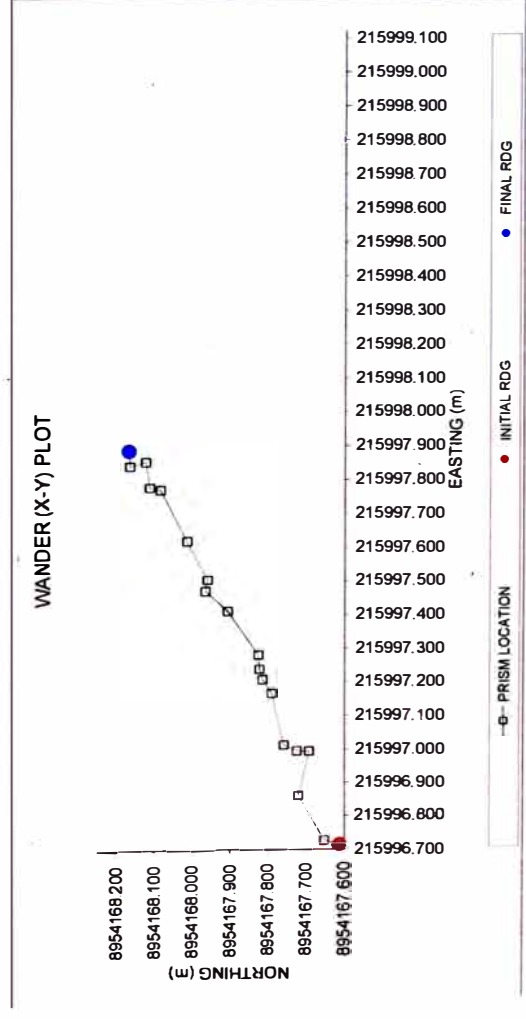
## Velocidad Incremental vs. Tiempo

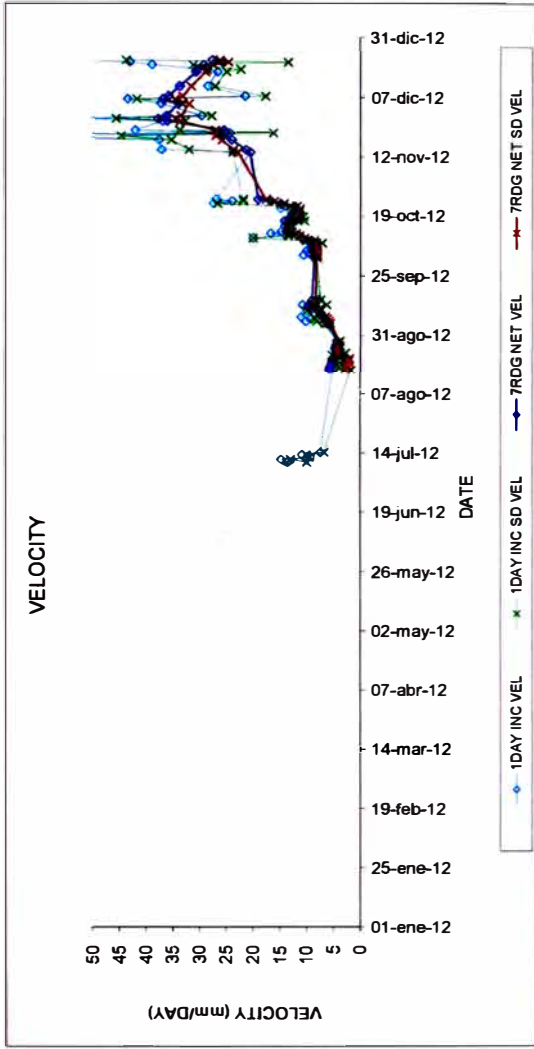
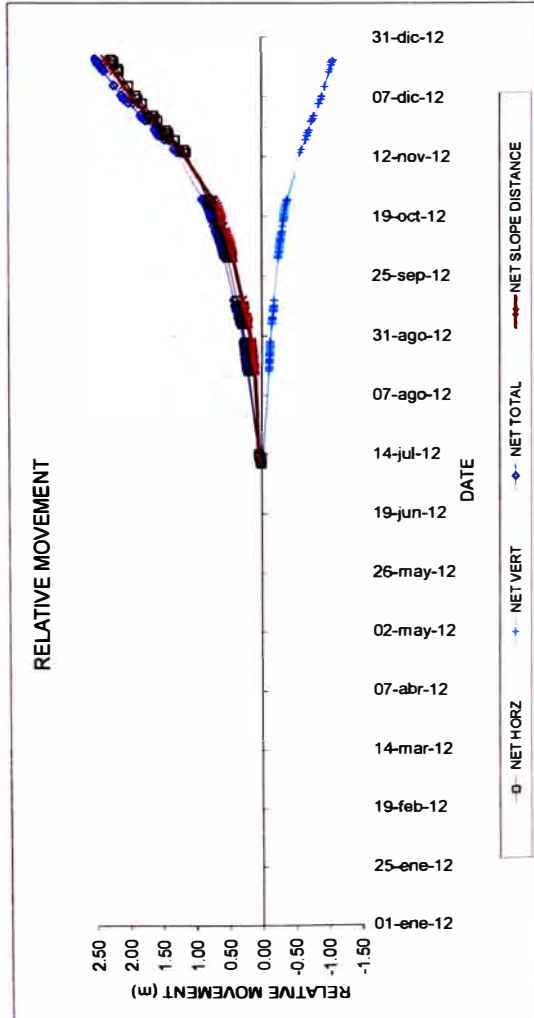




T604

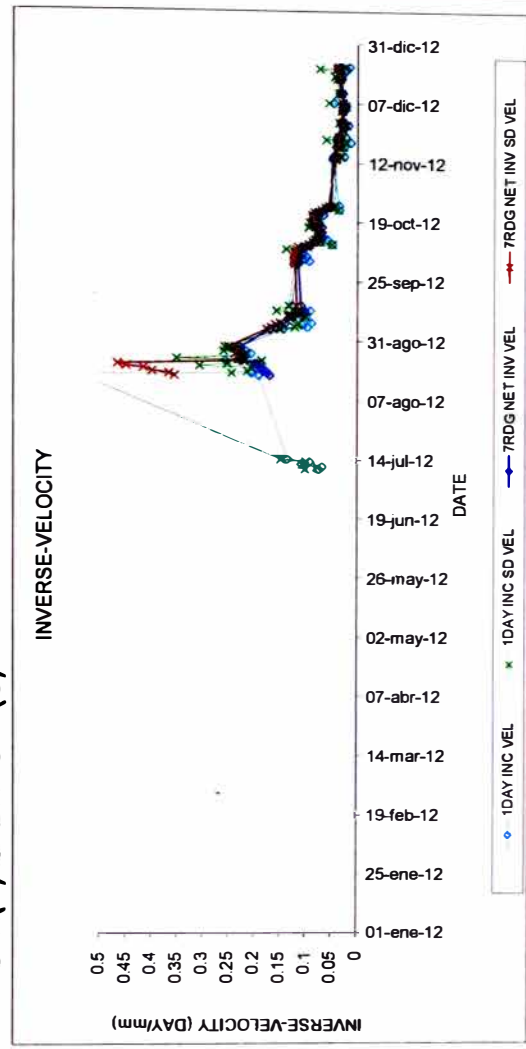
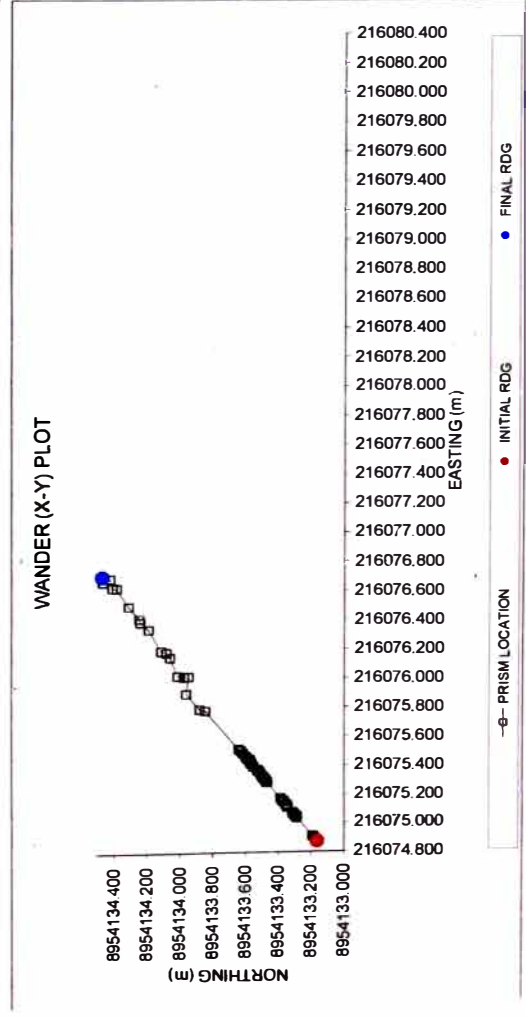
**INITIAL SURVEY READING NOV 14, 2012 10:22 A.M.  
1 DAY AVERAGE CALCS : 0 OUTLIER(S) : 0 RESET(S)**

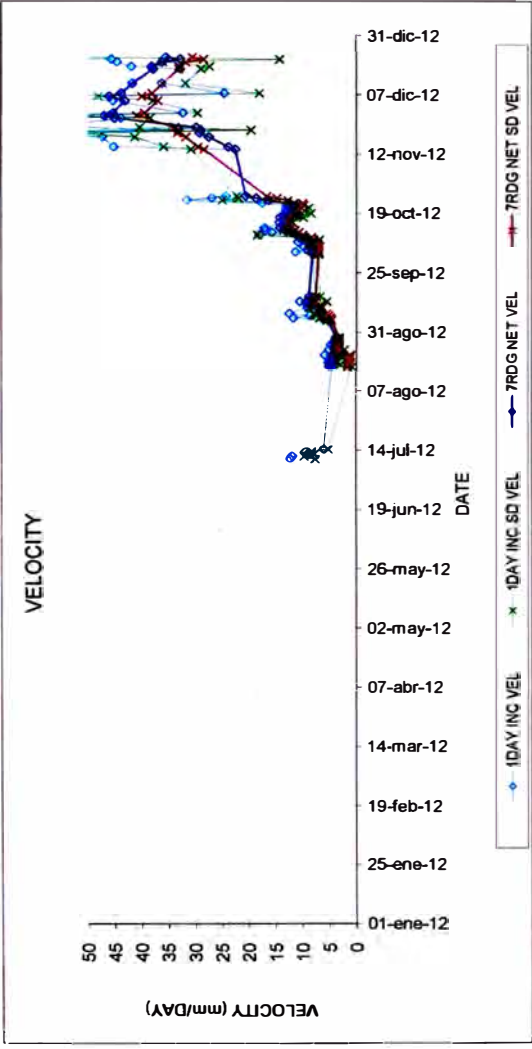
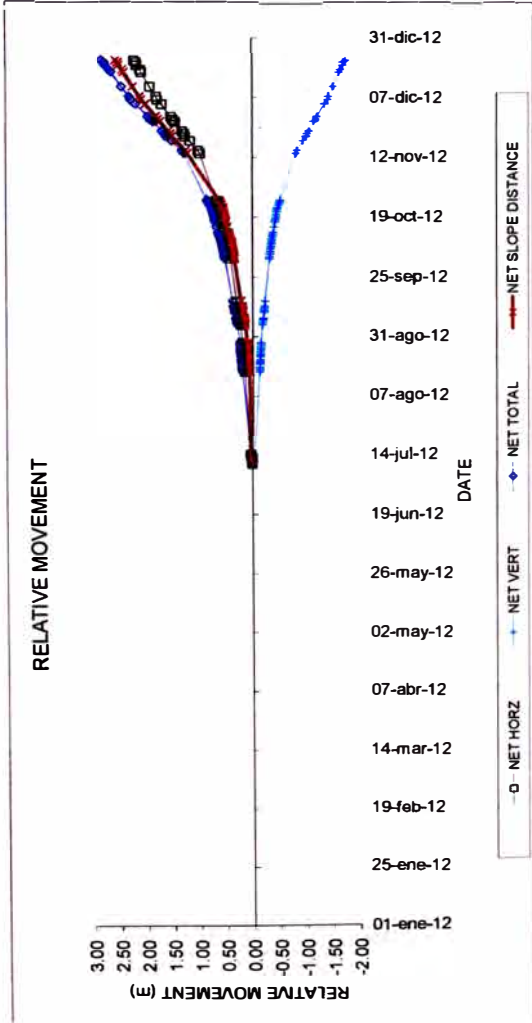




T605

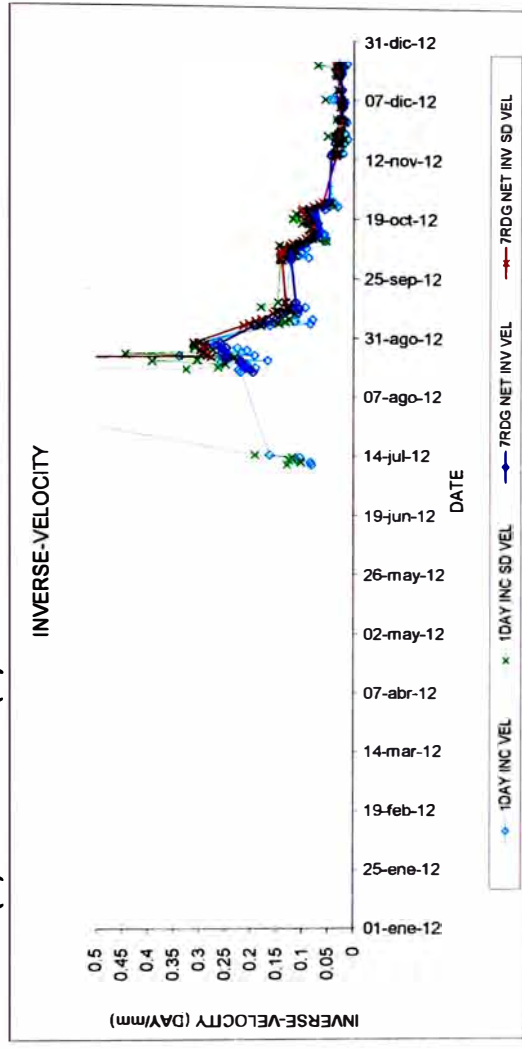
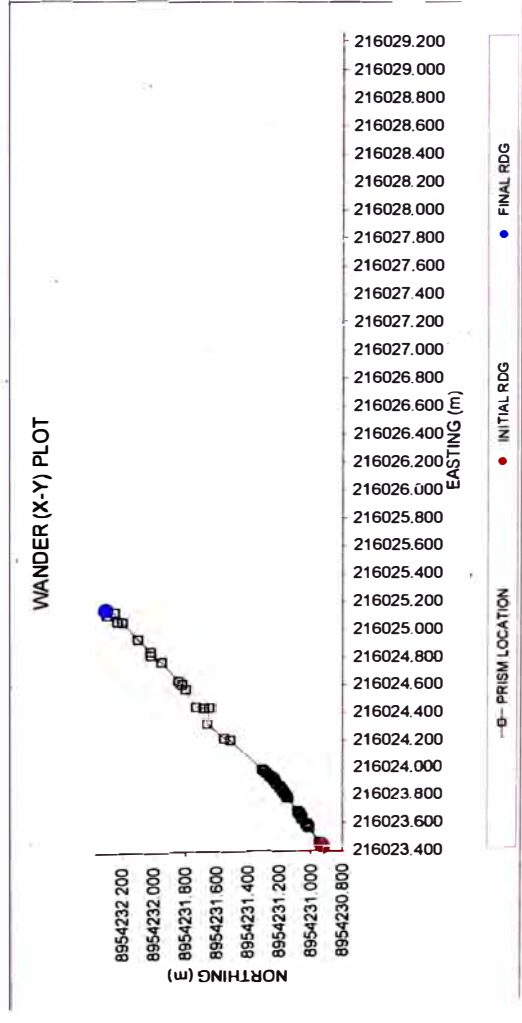
**INITIAL SURVEY READING JUL 09, 2012 6:40 P.M.**  
**1 DAY AVERAGE CALCS : 0 OUTLIER(S) : 0 RESET(S)**

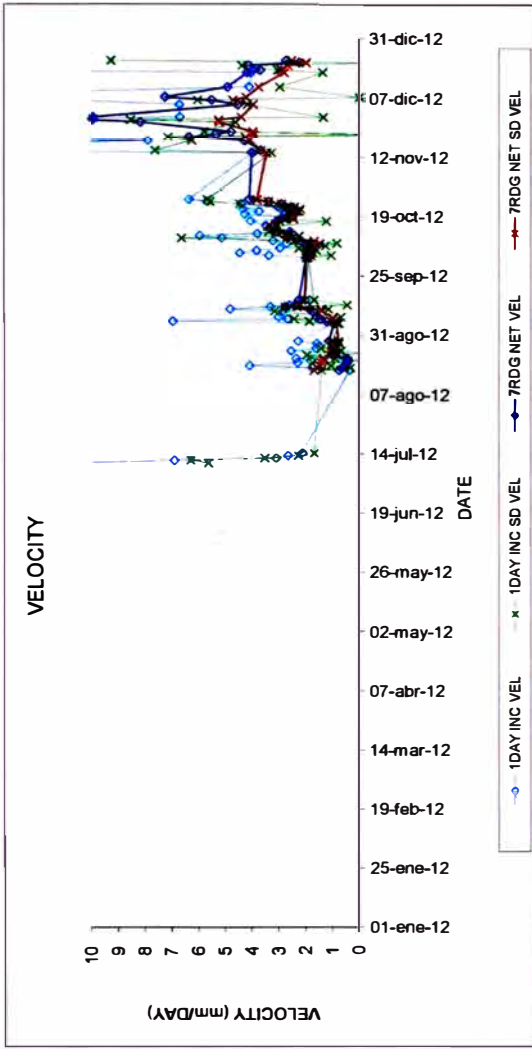
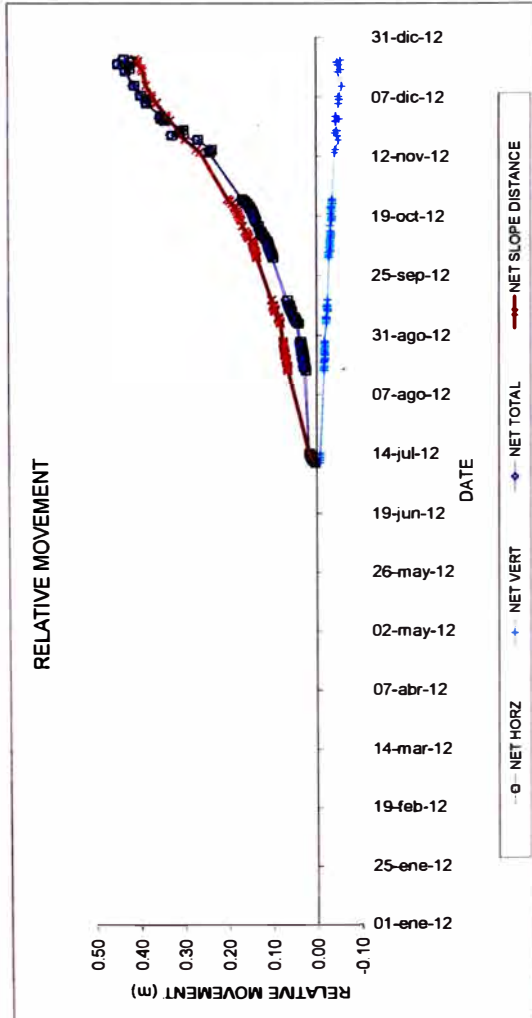




T606

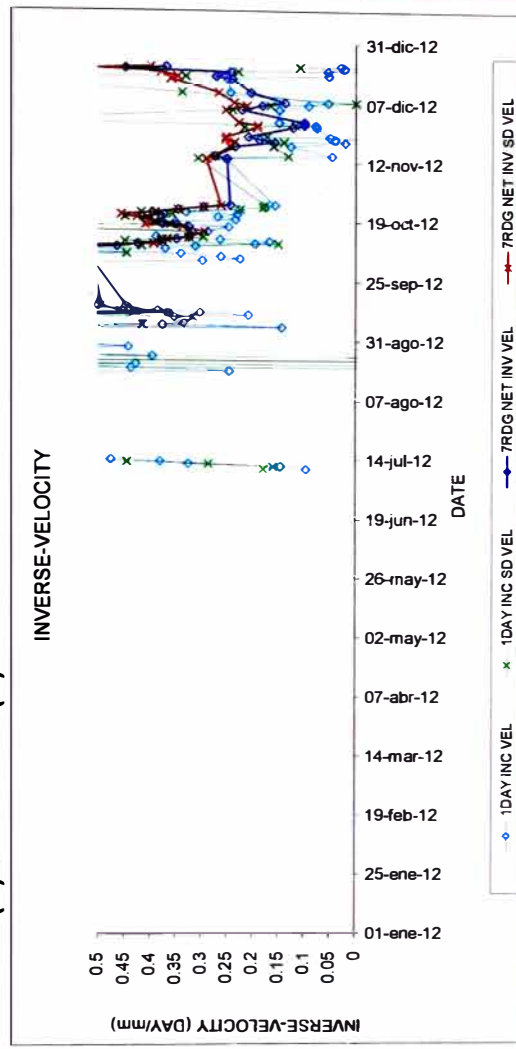
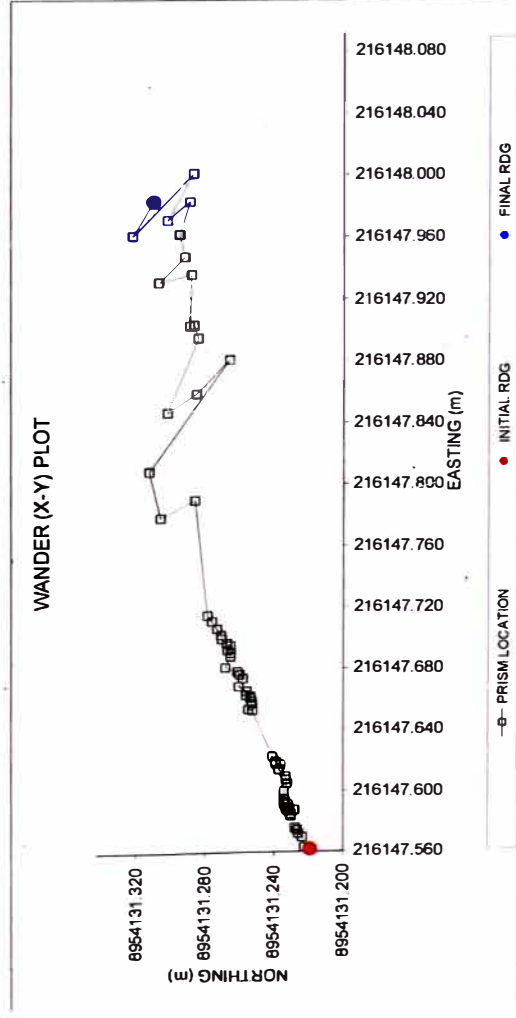
**INITIAL SURVEY READING JUL 09, 2012 6:40 P.M.**  
**1 DAY AVERAGE CALCS : 0 OUTLIER(S) : 0 RESET(S)**



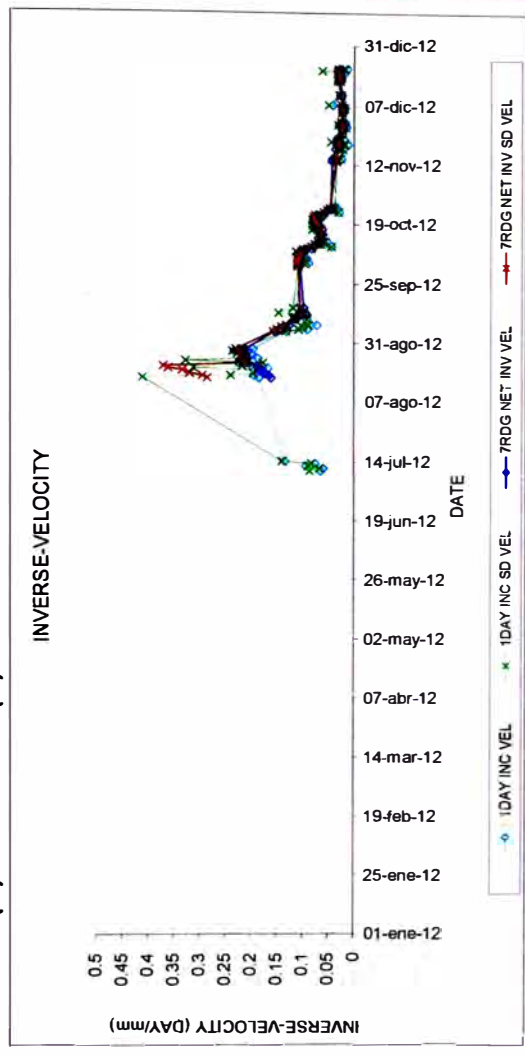
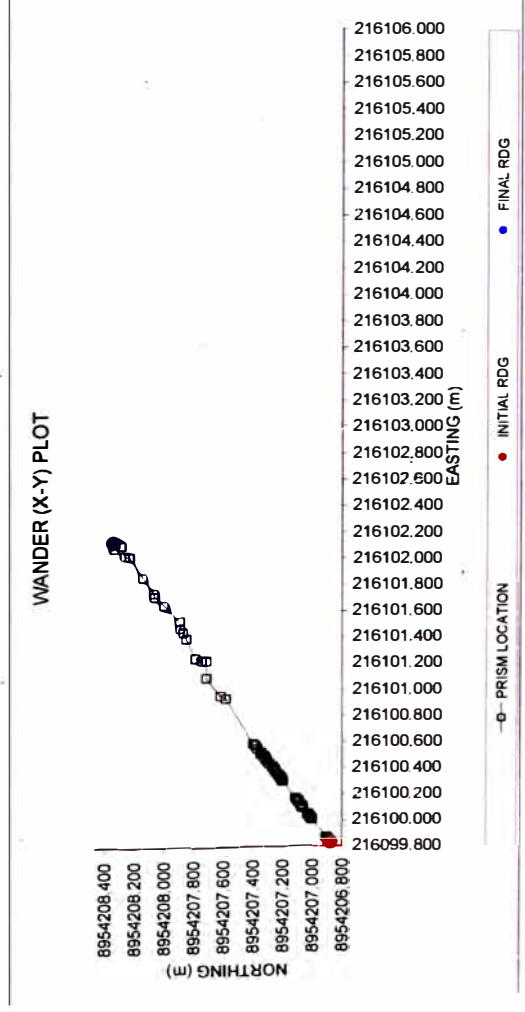
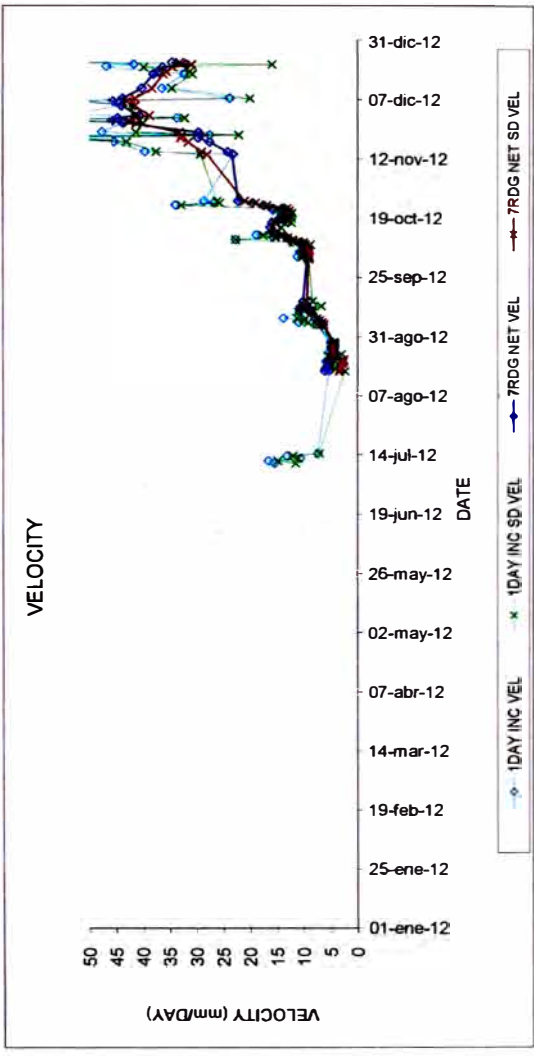
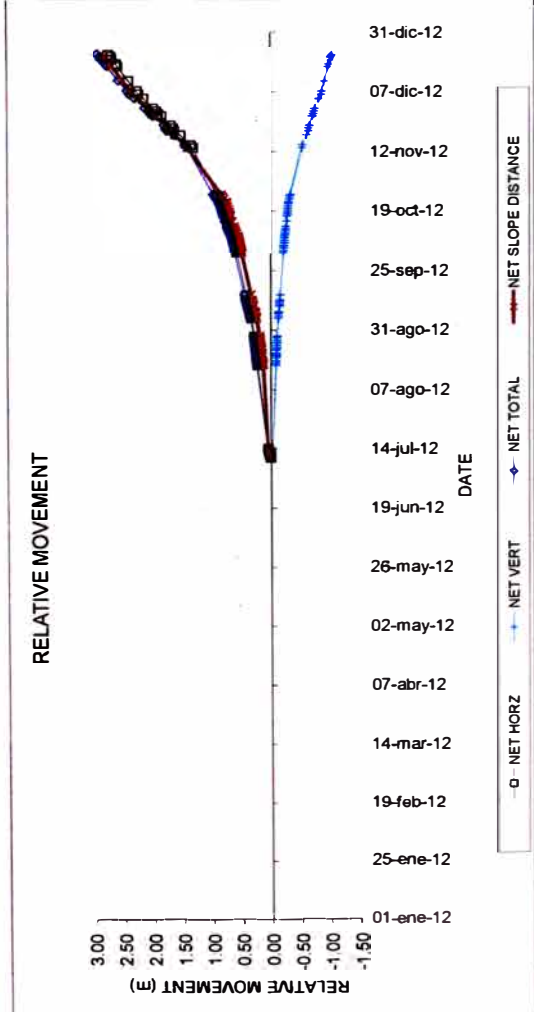


T607

**INITIAL SURVEY READING JUL 09, 2012 6:41 P.M.**  
**1 DAY AVERAGE CALCS : 0 OUTLIER(S) : 0 RESET(S)**

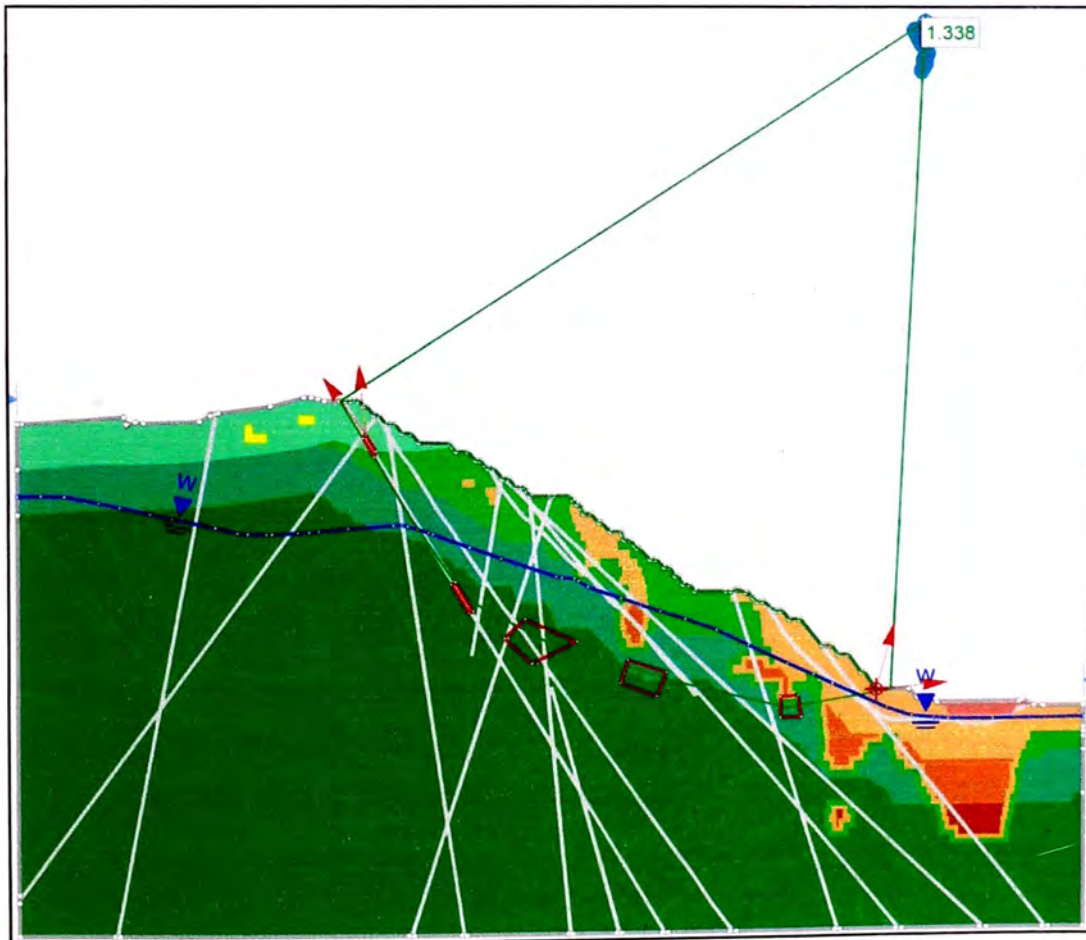




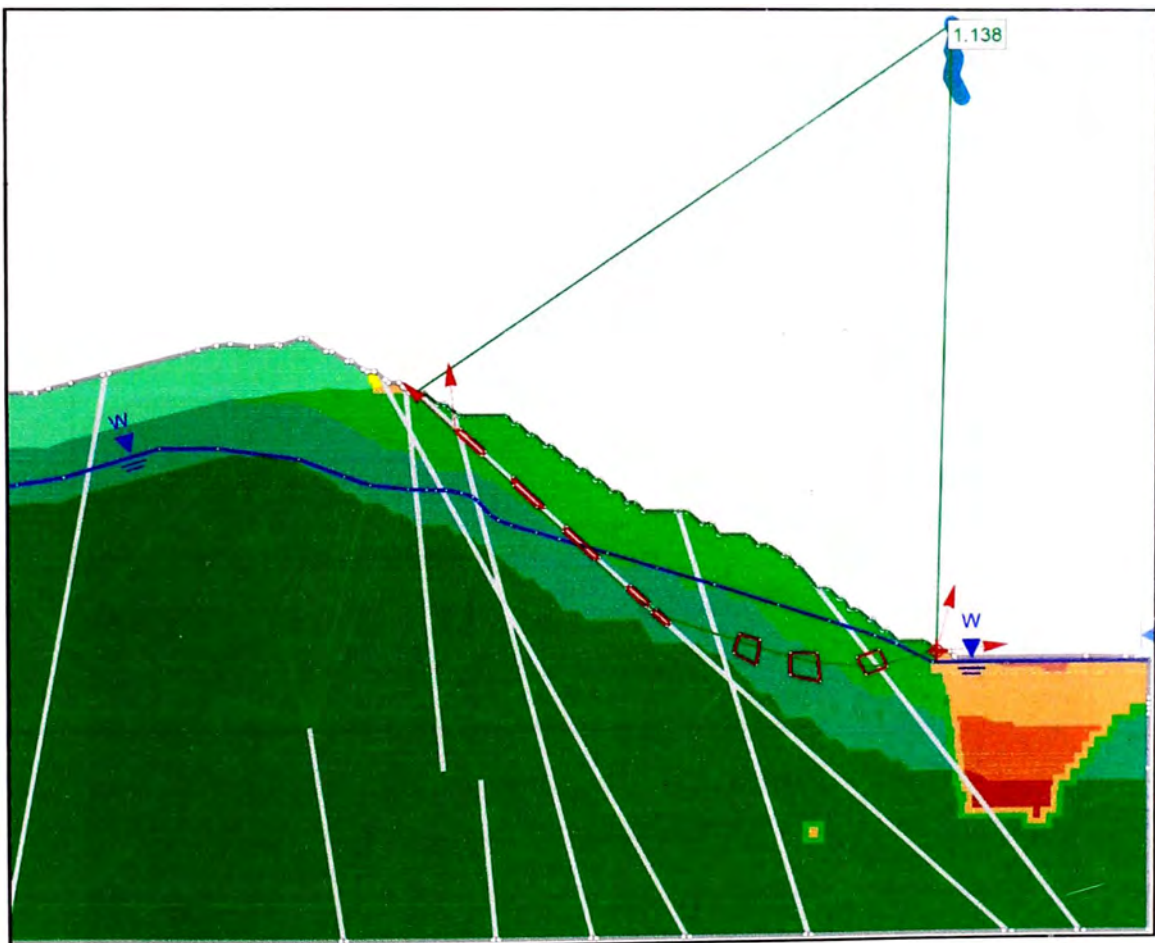


**T608**  
**INITIAL SURVEY READING JUL 09, 2012 6:41 P.M.**  
**1 DAY AVERAGE CALCS : 0 OUTLIER(S) : 0 RESET(S)**

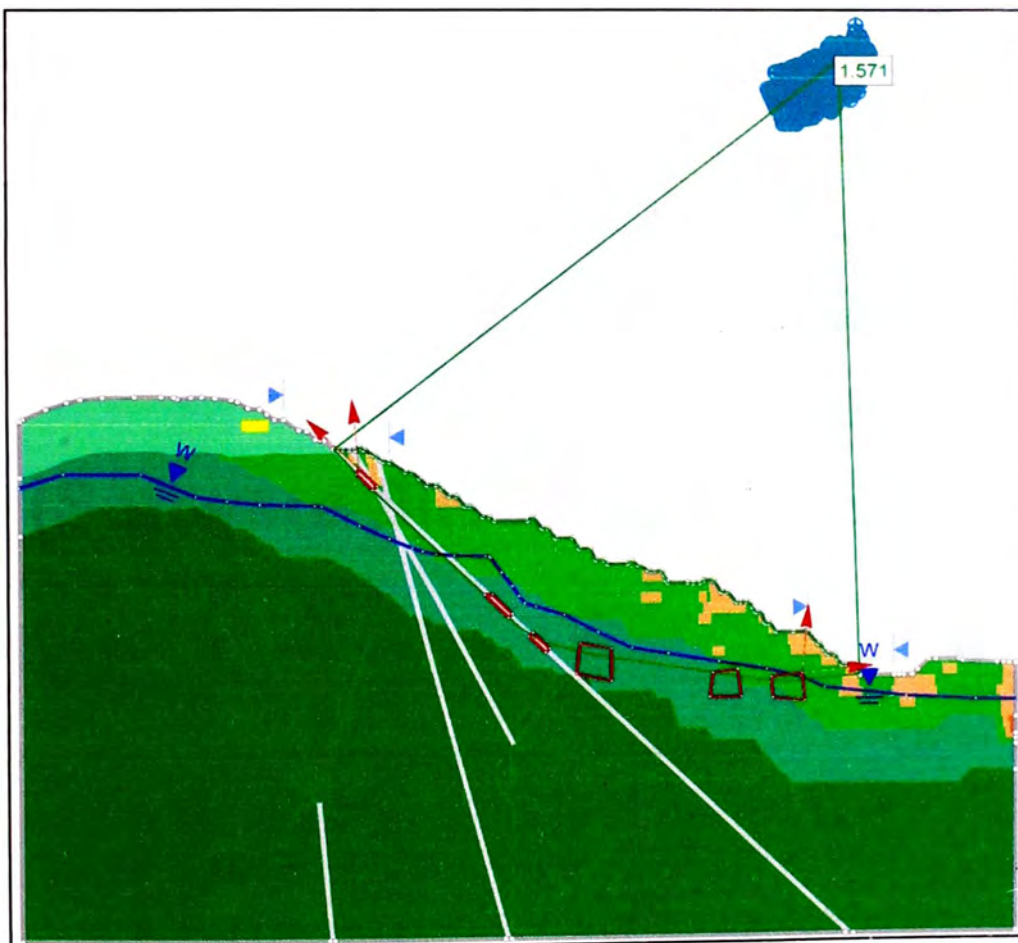
## SECCIÓN GEOTÉCNICA C



## SECCIÓN GEOTÉCNICA B

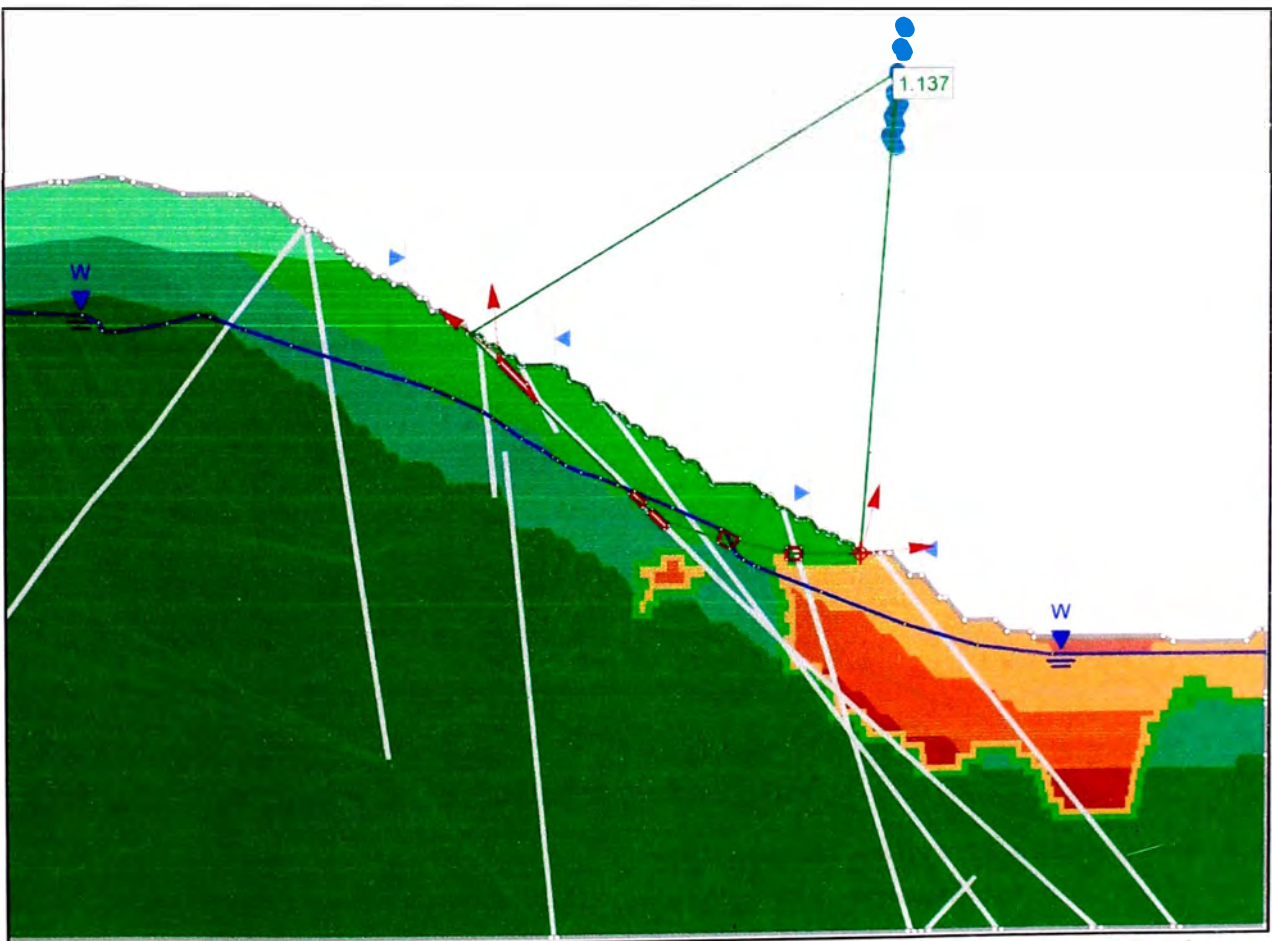


# SECCIÓN GEOTÉCNICA A

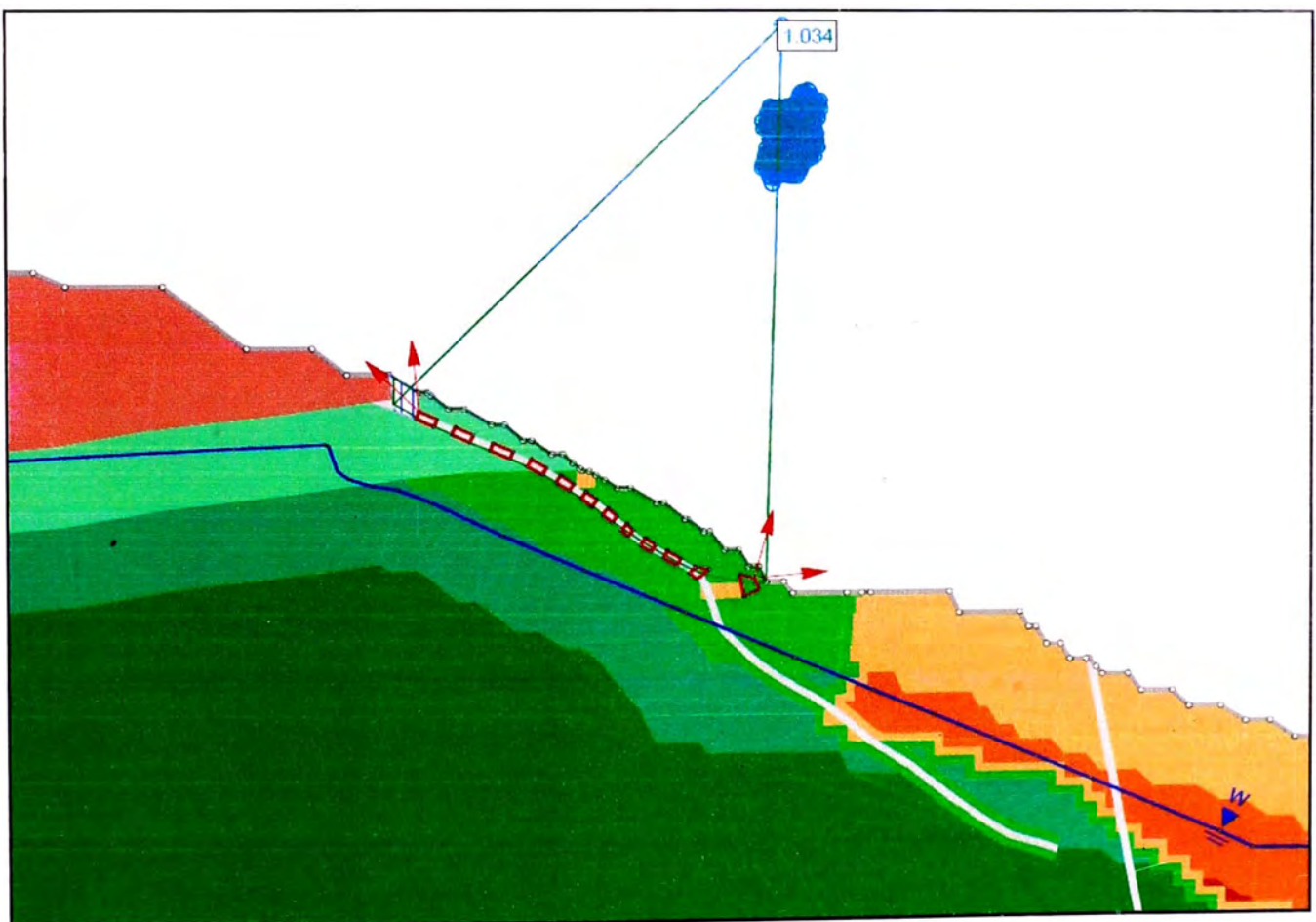


**ANEXO C**  
**RESULTADOS DE ESTABILIDAD DE**  
**TALUDES**  
**(Software Slide versión 6.005)**

## SECCIÓN GEOTÉCNICA D



## SECCIÓN GEOTÉCNICA E



# **ANEXO D: PLANOS**

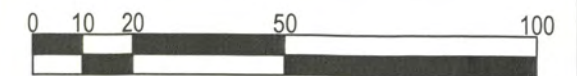




**UBICACION**

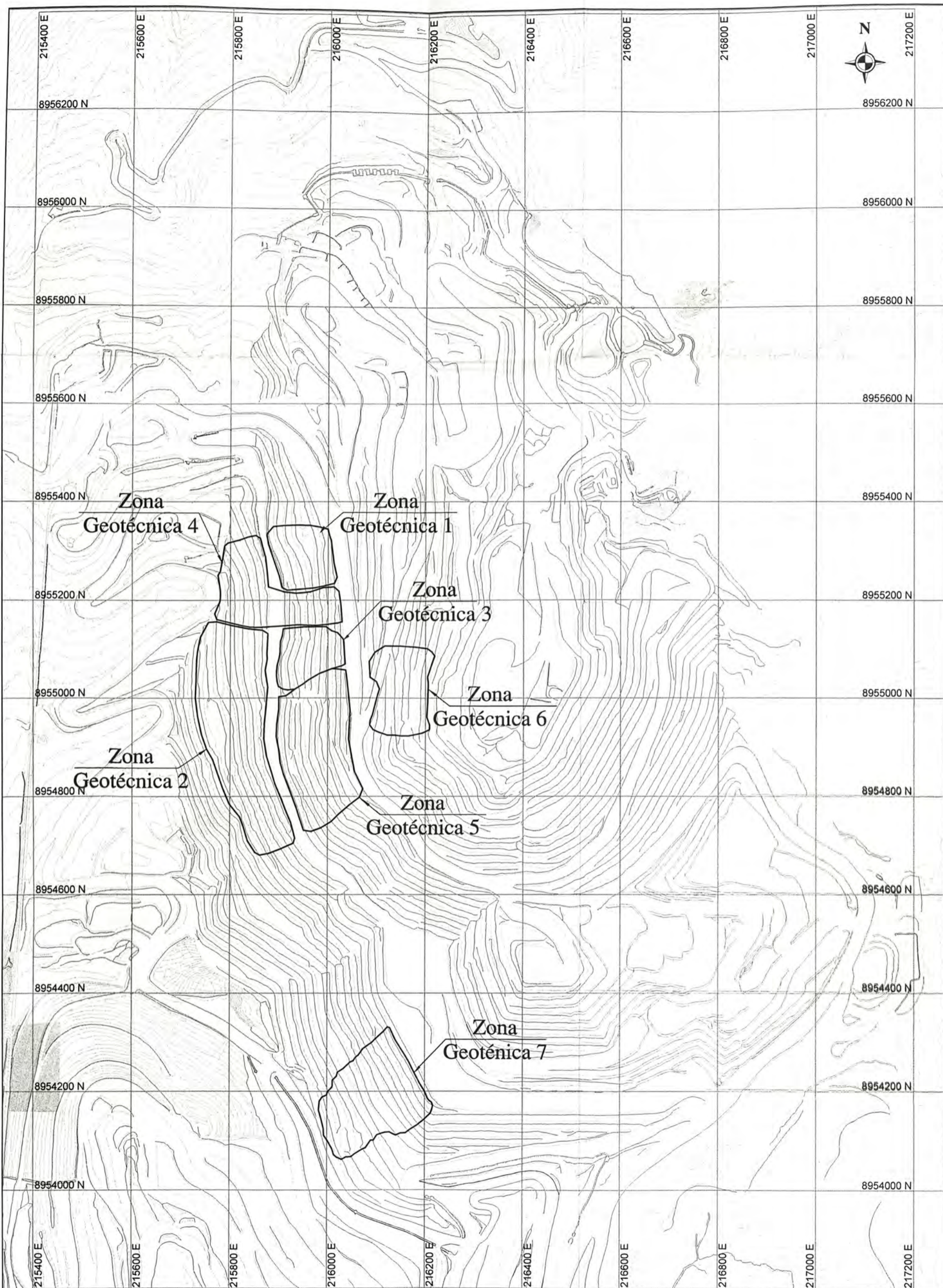
Departamento: Ancash  
 Provincia: Huaraz  
 Distrito: Jangas

Proyección: UTM Zona 18S  
 Datum: WGS84





ESCALA GRAFICA (km)

Universidad Nacional de Ingeniería Facultad de Ingeniería Civil	
Consideraciones Geotécnicas Para La Estabilidad De Taludes De La Excavación Minera Tipo Tajo Abierto En Huaraz - Ancash	
Ubicación del Tajo Abierto en Estudio	
Escala : 1/1'500,000	Elaborado : Bach. Marco Rubén Yalle Barrios
Fecha : Febrero de 2013	Asesor : Ing. Luis Serafin González Hjar
Plano <b>01</b>	



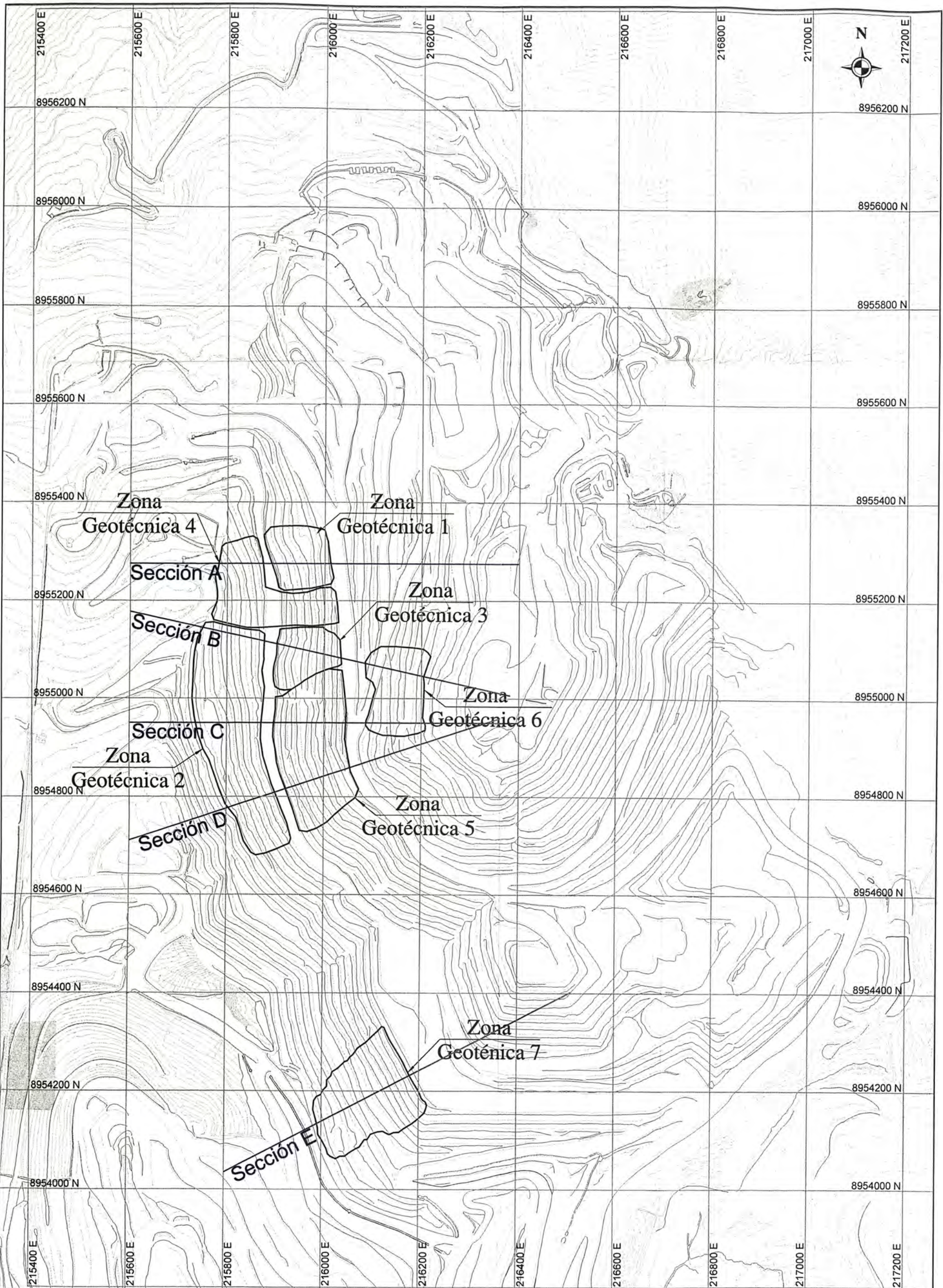
**LEYENDA**


 Nombre de la Zona  

 Contorno de Zona

**NOTA:**  
Topografía del 31 de Diciembre de 2012

Universidad Nacional de Ingeniería  
 Facultad de Ingeniería Civil  
 Consideraciones Geotécnicas Para La Estabilidad De Taludes De La  
 Excavación Minera Tipo Tajo Abierto En Huaraz - Ancash  
**Ubicación de las Zonas Geotécnicas en Estudio**

Escala : 1/7.500	Elaborado : Bach. Marco Rubén Yalle Barrios	Plano <b>02</b>
Fecha : Febrero de 2013	Asesor : Ing. Luis Serafin Gonzáles Hjar	



**LEYENDA**

Nombre de la Zona  
 Contorno de Zona  
 Sección Geotécnica

NOTA:  
 Topografía del 31 de Diciembre de 2012

**Universidad Nacional de Ingeniería**  
**Facultad de Ingeniería Civil**

Consideraciones Geotécnicas Para La Estabilidad De Taludes De La  
 Excavación Minera Tipo Tajo Abierto En Huaraz - Ancash

**Secciones Geotécnicas del Tajo Abierto**

Escala : 1/7 500	Elaborado : Bach. Marco Rubén Yalle Barrios	<b>Plano</b> <b>03</b>
Fecha : Febrero de 2013	Asesor : Ing. Luis Seralín Gonzáles Hajar	



**LEYENDA**

HW-06-11(A) ← Nombre del Piezómetro

⊗ ← Ubicación del Piezómetro

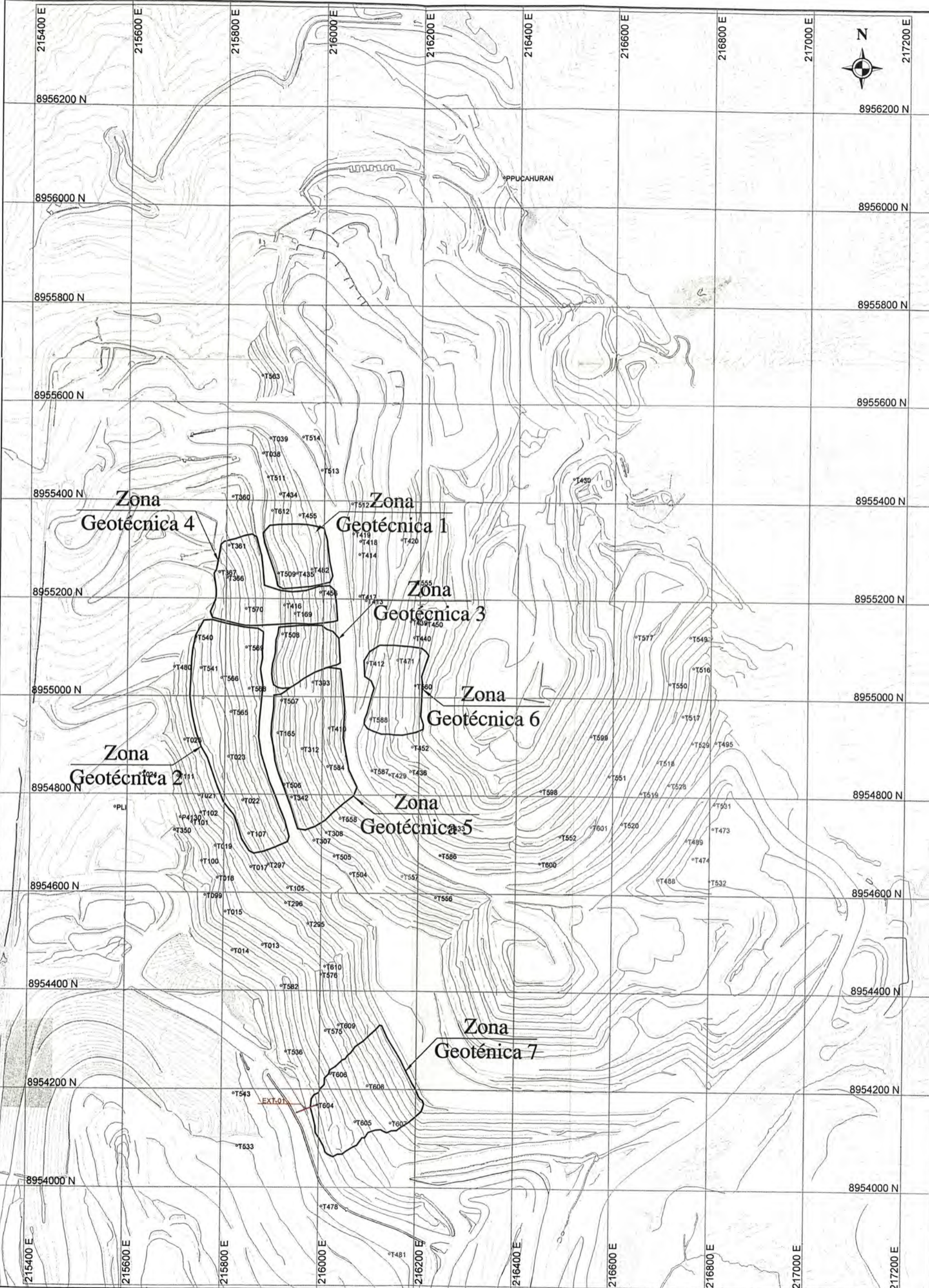
**NOTA:**  
Topografía del 31 de Diciembre de 2012

Universidad Nacional de Ingeniería  
Facultad de Ingeniería Civil

Consideraciones Geotécnicas Para La Estabilidad De Taludes De La  
Excavación Minera Tipo Tajo Abierto En Huaraz - Ancash

**Ubicación de Piezómetros en el Tajo Abierto**

Escala : 1/7,500	Elaborado : Bach. Marco Rubén Yalle Barrios	Plano <b>04</b>
Fecha : Febrero de 2013	Asesor : Ing. Luis Serafin Gonzáles Hjar	



Zona Geotécnica 4

Zona Geotécnica 1

Zona Geotécnica 3

Zona Geotécnica 6

Zona Geotécnica 2

Zona Geotécnica 5

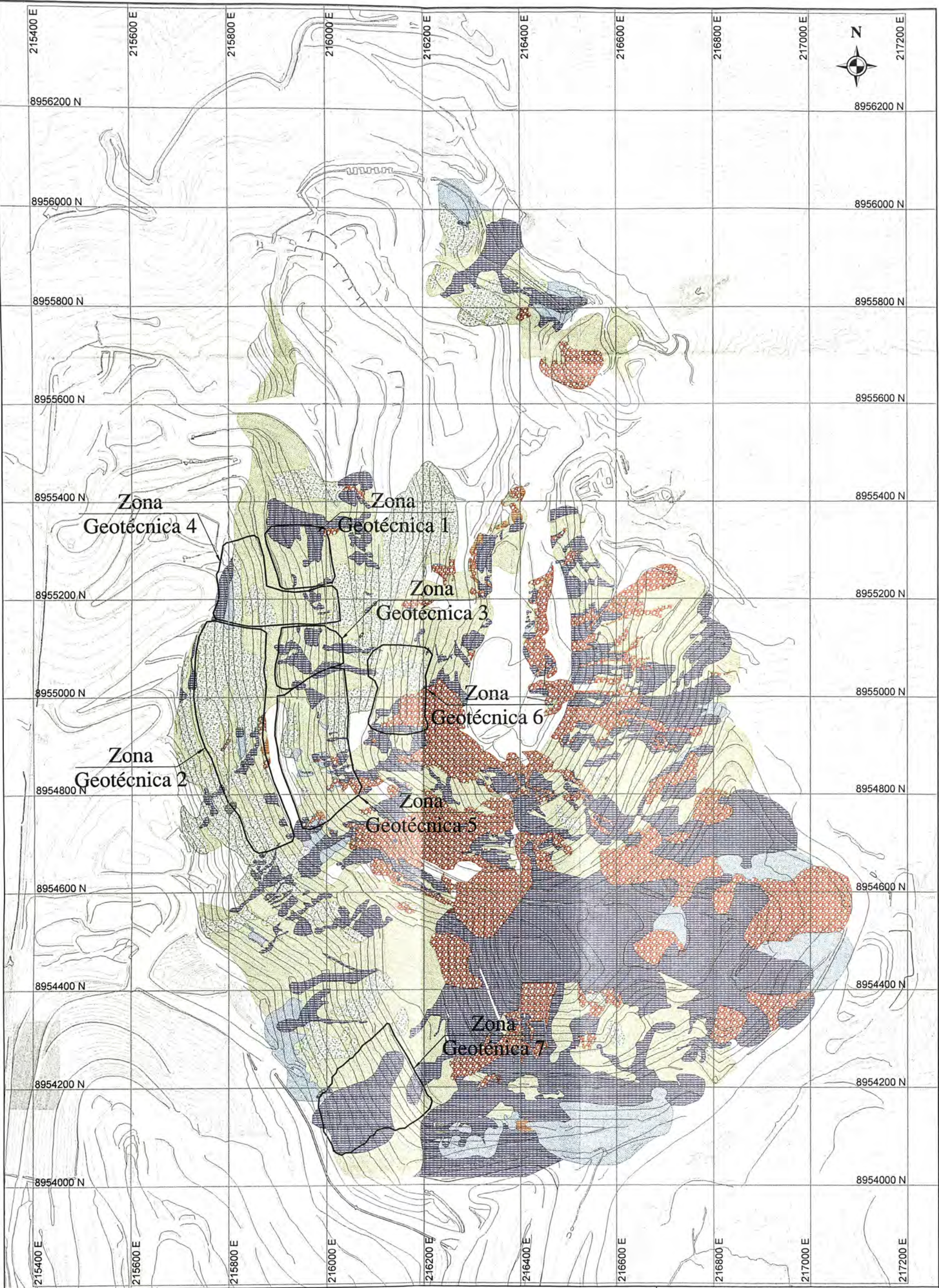
Zona Geotécnica 7

**LEYENDA**

T533	Nombre de Prisma
o	Ubicación de Prisma
EXT-01	Nombre de Extensómetro
—	Ubicación de Extensómetro

NOTA:  
Topografía del 31 de Diciembre de 2012

Universidad Nacional de Ingeniería		Plano
Facultad de Ingeniería Civil		
Consideraciones Geotécnicas Para La Estabilidad De Taludes De La Excavación Minera Tipo Tajo Abierto En Huaraz - Ancash		
Ubicación de Prismas en el Tajo Abierto		
Escala : 1/7.500	Elaborado : Bach. Marco Rubén Yalle Barrios	05
Fecha : Febrero de 2013	Asesor : Ing. Luis Serafin Gonzáles Hajar	

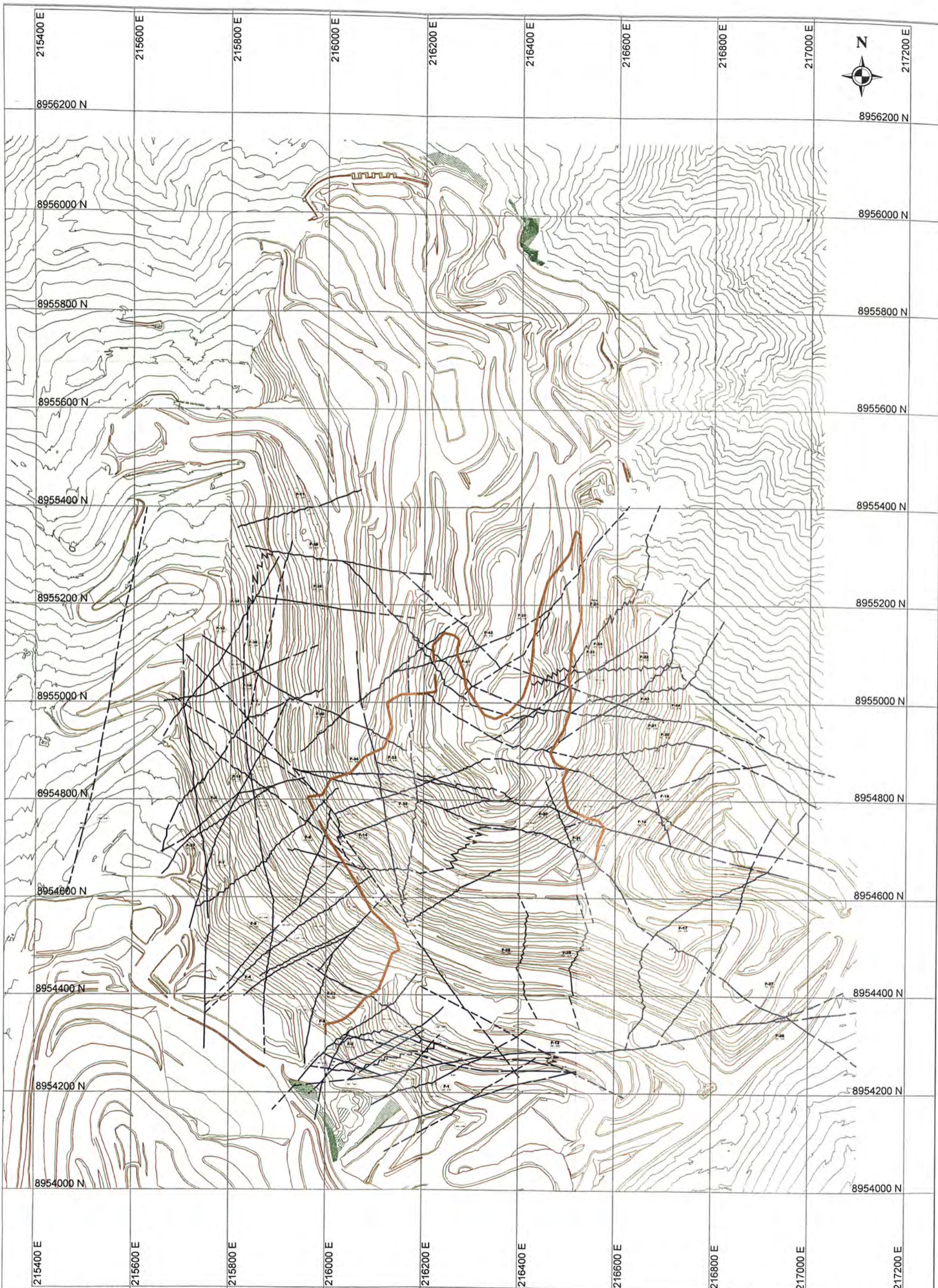


**LEYENDA**


NOTA:  
Topografía del 31 de Diciembre de 2012

**Universidad Nacional de Ingeniería**  
**Facultad de Ingeniería Civil**  
 Consideraciones Geotécnicas Para La Estabilidad De Taludes De La  
 Excavación Minera Tipo Tajo Abierto En Huaraz - Ancash  
**Mapeo de Alteraciones Geológicas**

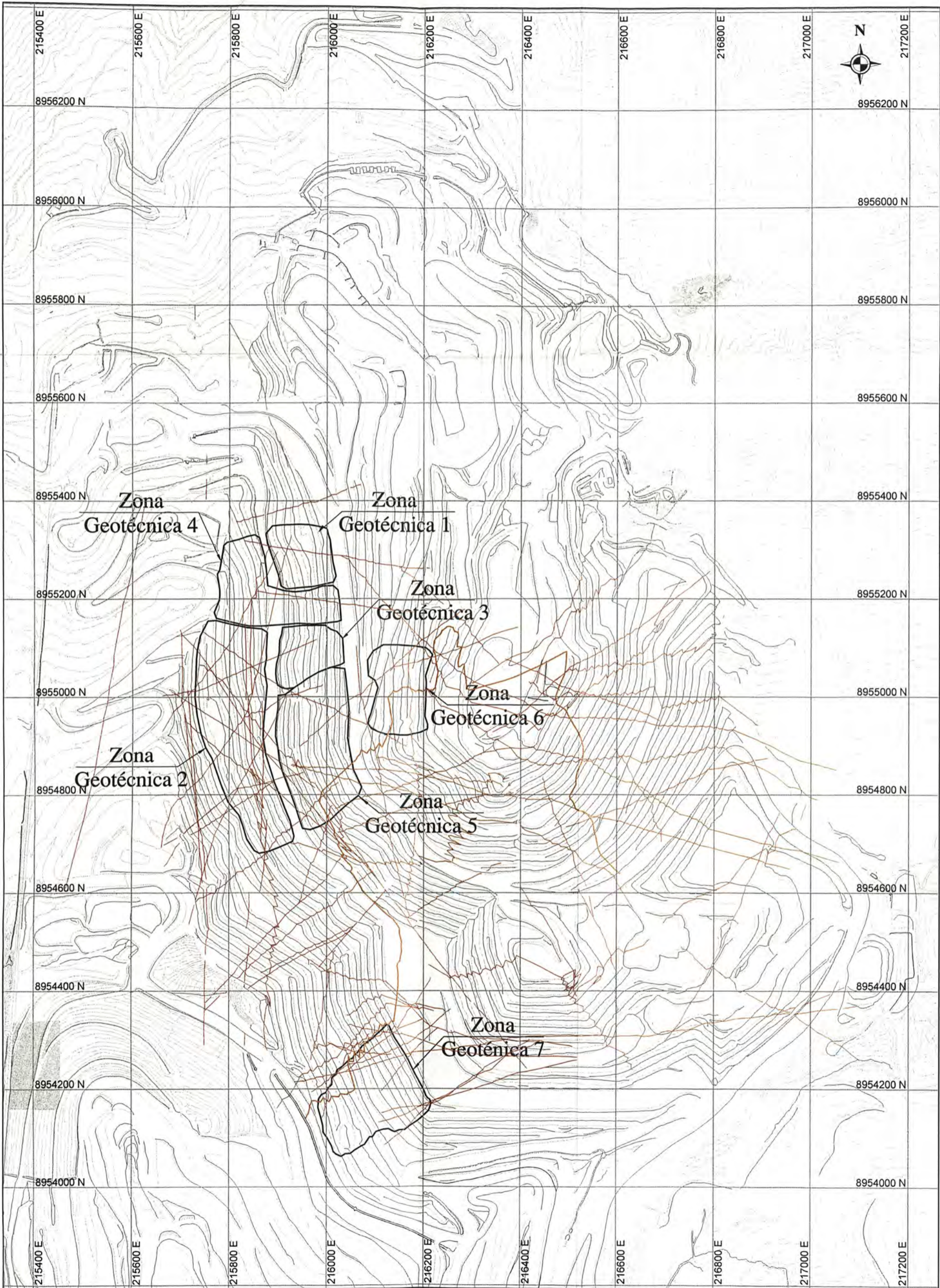
Escala : 1/7.500	Elaborado : Bach. Marco Rubén Yalle Barrios	<b>Plano</b> <b>06</b>
Fecha : Febrero de 2013	Asesor : Ing. Luis Serafin Gonzáles Hjar	



	Falla Dextral
	Falla Sinistral
	Falla Sinistral Normal
	Falla Normal Sinistral
	Falla Dextral Normal
	Falla Normal Dextral
	Paleo-Superficie Lupe

**F-29**  
Escala: 1:7,000

Universidad Nacional de Ingeniería Facultad de Ingeniería Civil	
Consideraciones Geotécnicas Para La Estabilidad De Taludes De La Excavación Minera Tipo Tajo Abierto En Huaraz - Ancash	
<b>Geología Estructural 2010</b>	
Escala : 1/7.500 Fecha : Febrero de 2013	Elaborado : Bach. Marco Rubén Yalle Barrios Asesor : Ing. Luis Serafin Gonzáles Híjar
Plano <b>07</b>	



**LEYENDA**

- Traza de Falla
- Traza de PSL

NOTA:  
Topografía del 31 de Diciembre de 2012

Universidad Nacional de Ingeniería  
Facultad de Ingeniería Civil

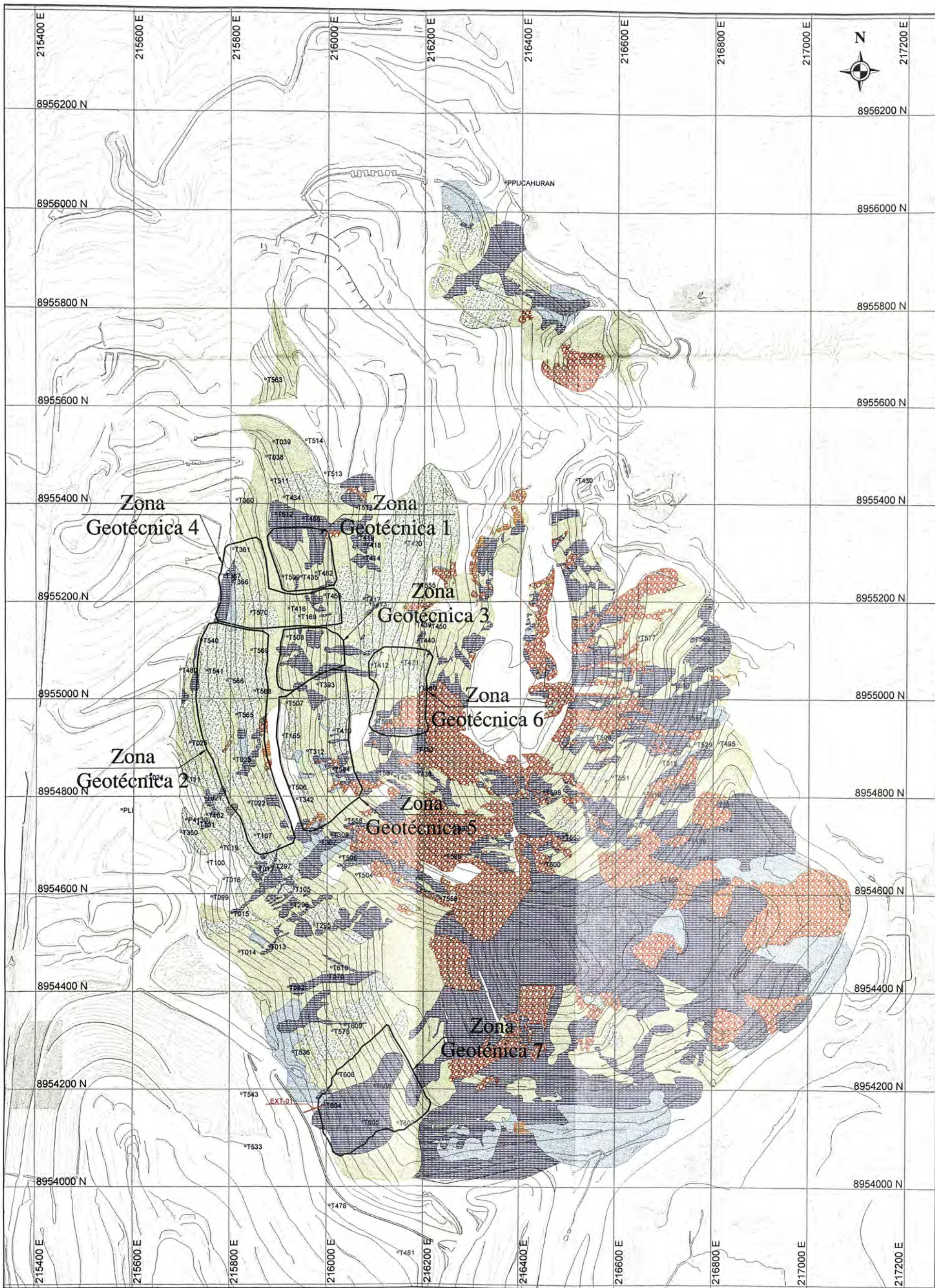
Consideraciones Geotécnicas Para La Estabilidad De Taludes De La  
Excavación Minera Tipo Tajo Abierto En Huaraz - Ancash

**Geología Estructural 2012**

<small>Escala : 1/7.500</small>	<small>Elaborado : Bach. Marco Rubén Yalle Barrios</small>
<small>Fecha : Febrero de 2013</small>	<small>Asesor : Ing. Luis Serafín Gonzáles Hjar</small>

**Plano 08**





Zona Geotécnica 4

Zona Geotécnica 1

Zona Geotécnica 3

Zona Geotécnica 6

Zona Geotécnica 2

Zona Geotécnica 5

Zona Geotécnica 7

**LEYENDA DE INSTRUMENTACION**

T533	Nombre de Prisma
O	Ubicación de Prisma
EXT-01	Nombre de Extensómetro
→	Ubicación de Extensómetro

**LEYENDA DE ALTERACIONES**

Alunita Arcilla	Propilítico
Silice Arcilla	Cuarzo Alunita
Argilico con Oxidos	Silice Querqueso
Argilico con Sulfuros	

NOTA:  
Topografía del 31 de Diciembre de 2012

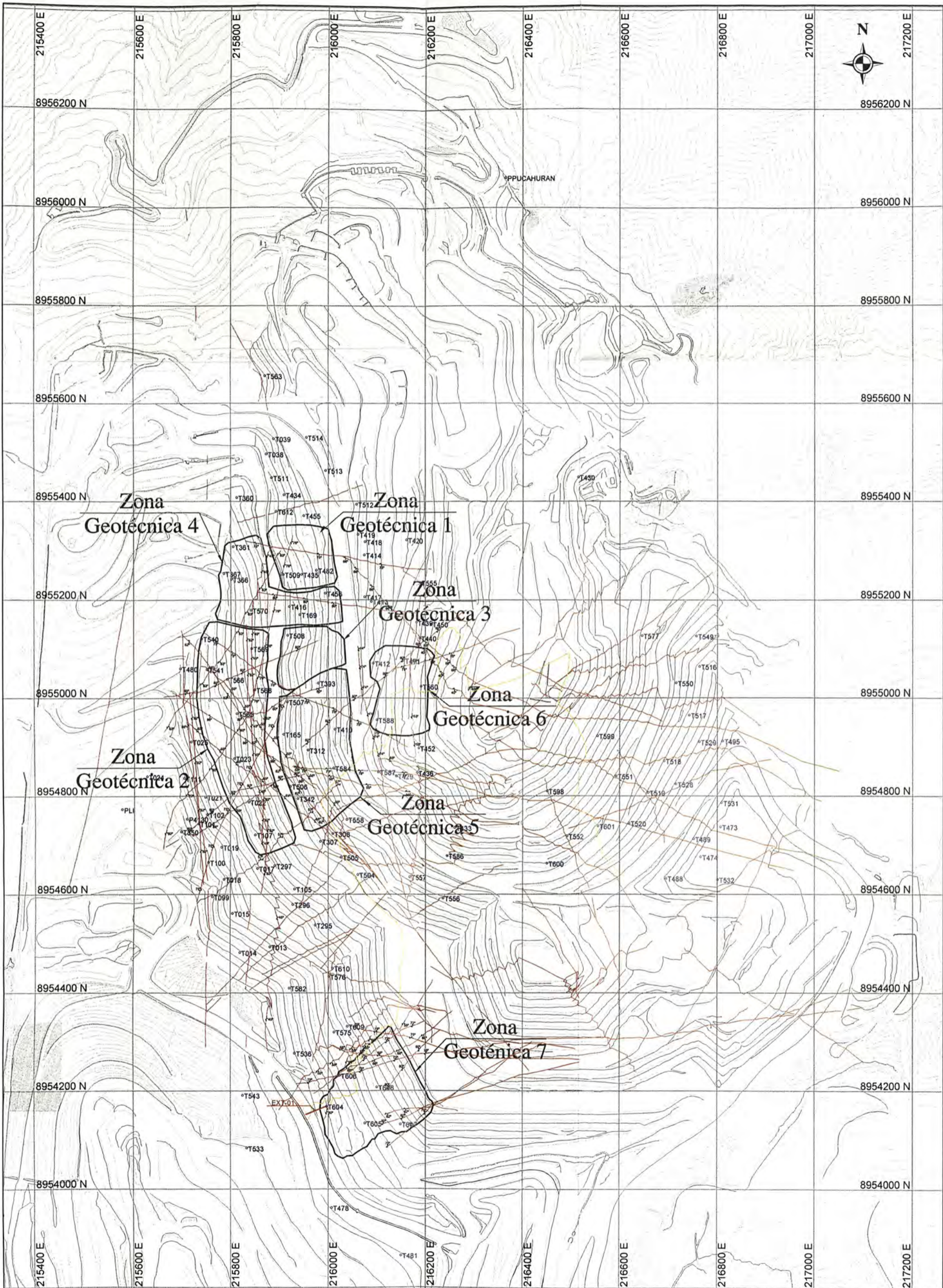
**Universidad Nacional de Ingeniería**  
Facultad de Ingeniería Civil

Consideraciones Geotécnicas Para La Estabilidad De Taludes De La  
Excavación Minera Tipo Tajo Abierto En Huaraz - Ancash

**Ubicación de Prismas y Alteraciones Geológicas**

Escala : 1/7.500	Elaborado : Bach. Marco Rubén Yalle Barrios
Fecha : Febrero de 2013	Asesor : Ing. Luis Serafin Gonzales Hajar

Plano  
**09**



Zona Geotécnica 4

Zona Geotécnica 1

Zona Geotécnica 3

Zona Geotécnica 6

Zona Geotécnica 2

Zona Geotécnica 5

Zona Geotécnica 7

LEYENDA DE ESTRUCTURAS

	Traza de Falla
	Inclinación de Falla
	Traza de PSL

LEYENDA DE INSTRUMENTACION

	Nombre de Prisma
	Ubicación de Prisma
	Nombre de Extensómetro
	Ubicación de Extensómetro

NOTA:  
Topografía del 31 de Diciembre de 2012

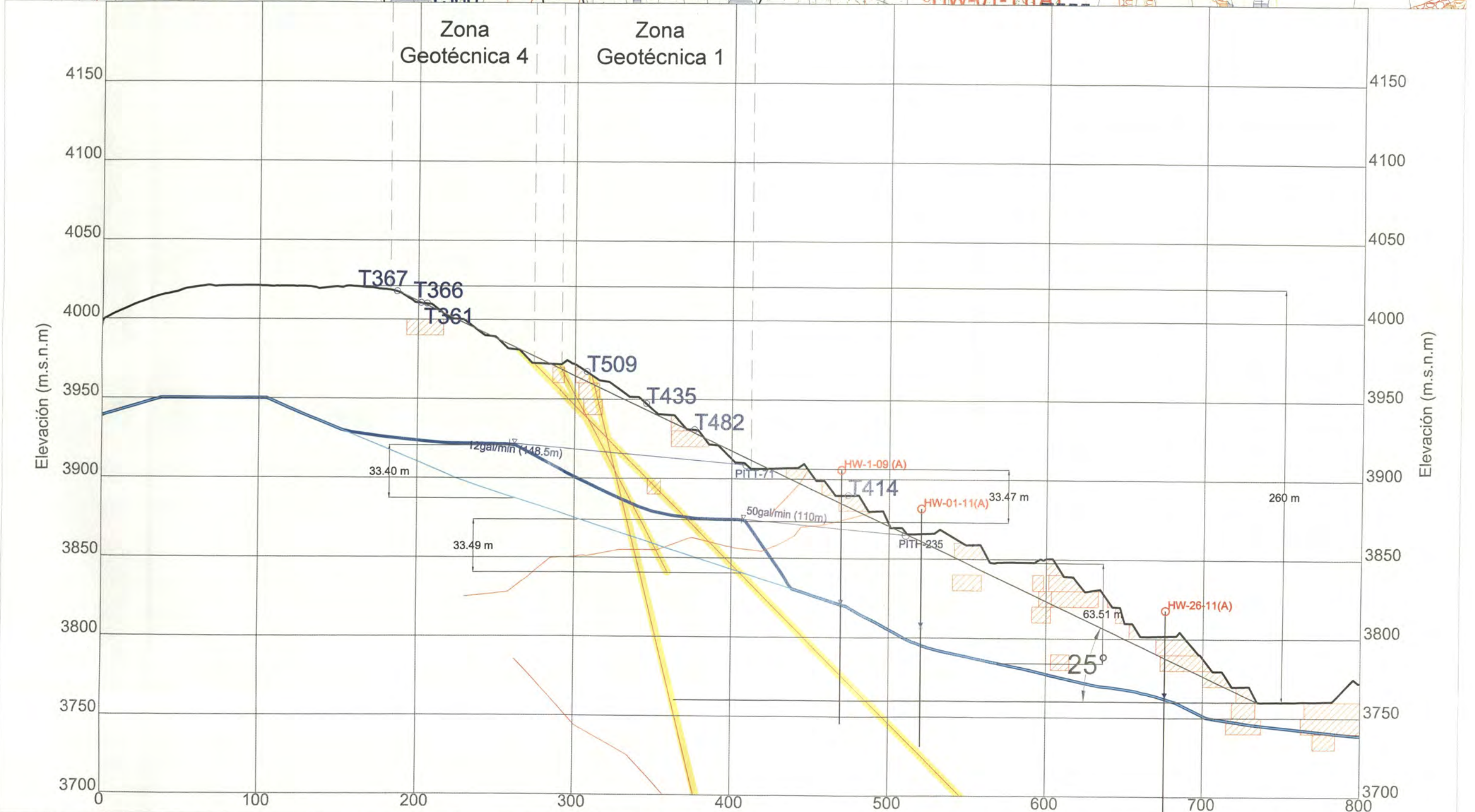
Universidad Nacional de Ingeniería  
Facultad de Ingeniería Civil

Consideraciones Geotécnicas Para La Estabilidad De Taludes De La  
Excavación Minera Tipo Tajo Abierto En Huaraz - Ancash

Ubicación de Prismas y Geología Estructural

Escala : 1/7.500	Elaborado : Bach. Marco Rubén Yalle Barrios	Plano <b>10</b>
Fecha : Febrero de 2013	Asesor : Ing. Luis Serafin Gonzales Hajar	

# Sección A



**LEYENDA DE ALTERACIONES - SUPERFICIE**

Alunita Arcilla	Propilítico
Silíce Arcilla	Cuarzo Alunita
Argilico con Ovidos	Silíce Oqueroso
Argilico con Sulfuros	

NOTA:  
Topografía del 31 de Diciembre de 2012

**LEYENDA DE ESTRUCTURAS - SUPERFICIE**

Traza de Falla	Inclinación de Falla
Traza de PSL	

**LEYENDA DE ALTERACIONES - SECCION**

Cuarzo Alunita (Unidad Geotécnica)
Argilico (Unidad Geotécnica)

**SUPERFICIE FREÁTICA - SECCION**

Superficie Freática
Superficie Freática Actualizada

**LEYENDA - SECCION**

Topografía 31-12-2012
Falla Geológica
Paleo-superficie

**LEYENDA DE INSTRUMENTACION**

PITT-73	Nombre del Dren 2011
PITT-84	Nombre del Dren 2012
	Ubicación de Dren 2011
	Ubicación de Dren 2012

**LEYENDA DE INSTRUMENTACION**

HW-06-11(A)	Nombre del Piezómetro
	Ubicación del Piezómetro
T533	Nombre de Prisma
	Ubicación de Prisma
EXT-01	Nombre de Extensómetro
	Ubicación de Extensómetro

Universidad Nacional de Ingeniería  
Facultad de Ingeniería Civil

Consideraciones Geotécnicas Para La Estabilidad De Taludes De La  
Excavación Minera Tipo Tajo Abierto En Huaraz - Ancash

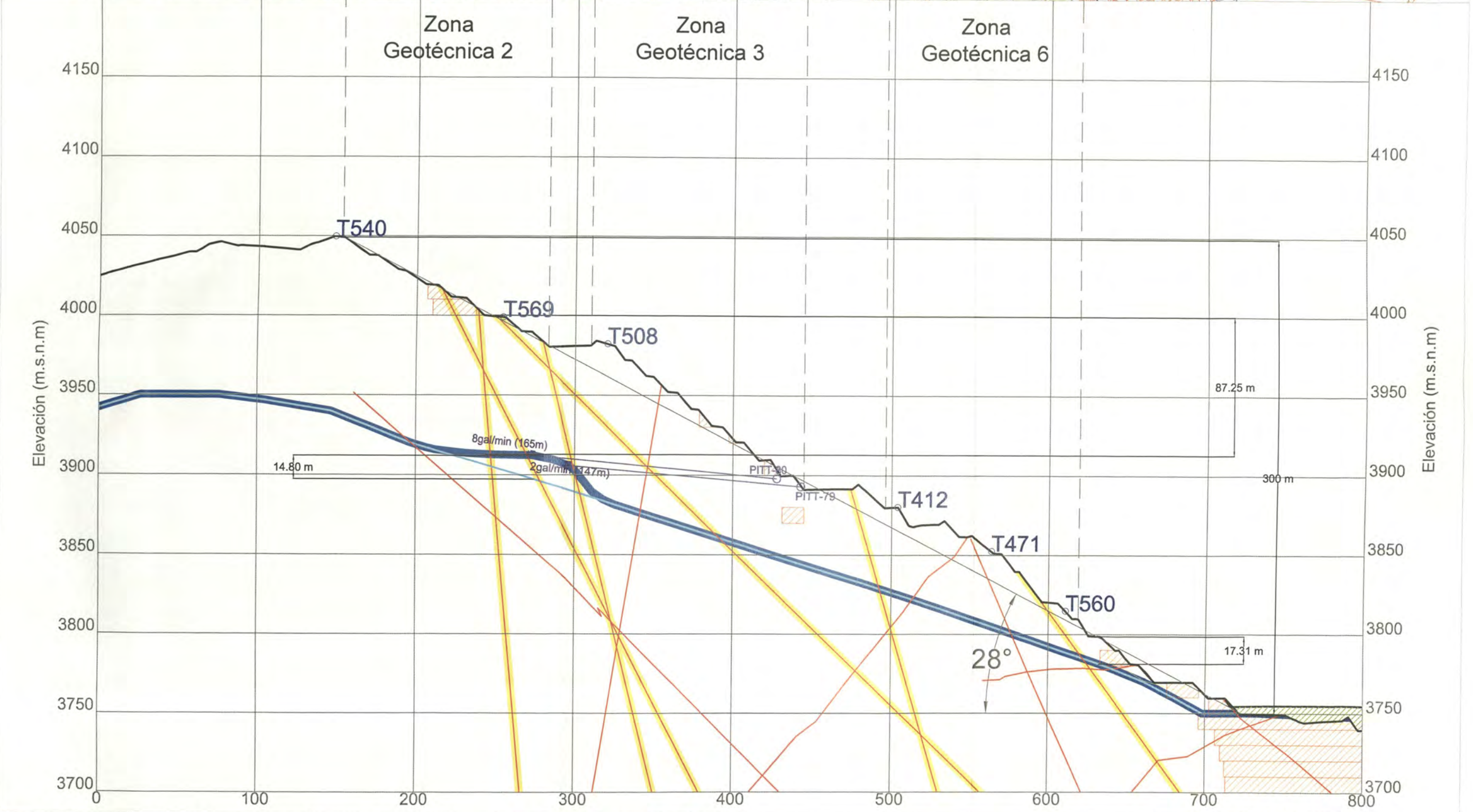
Sección A - Análisis Geotécnico

Escala : 1/2,500  
Fecha : Febrero de 2013

Elaborado : Bach. Marco Rubén Yalle Barrios  
Asesor : Ing. Luis Serafín Gonzáles Hajar

Plano  
**11**

# Sección B



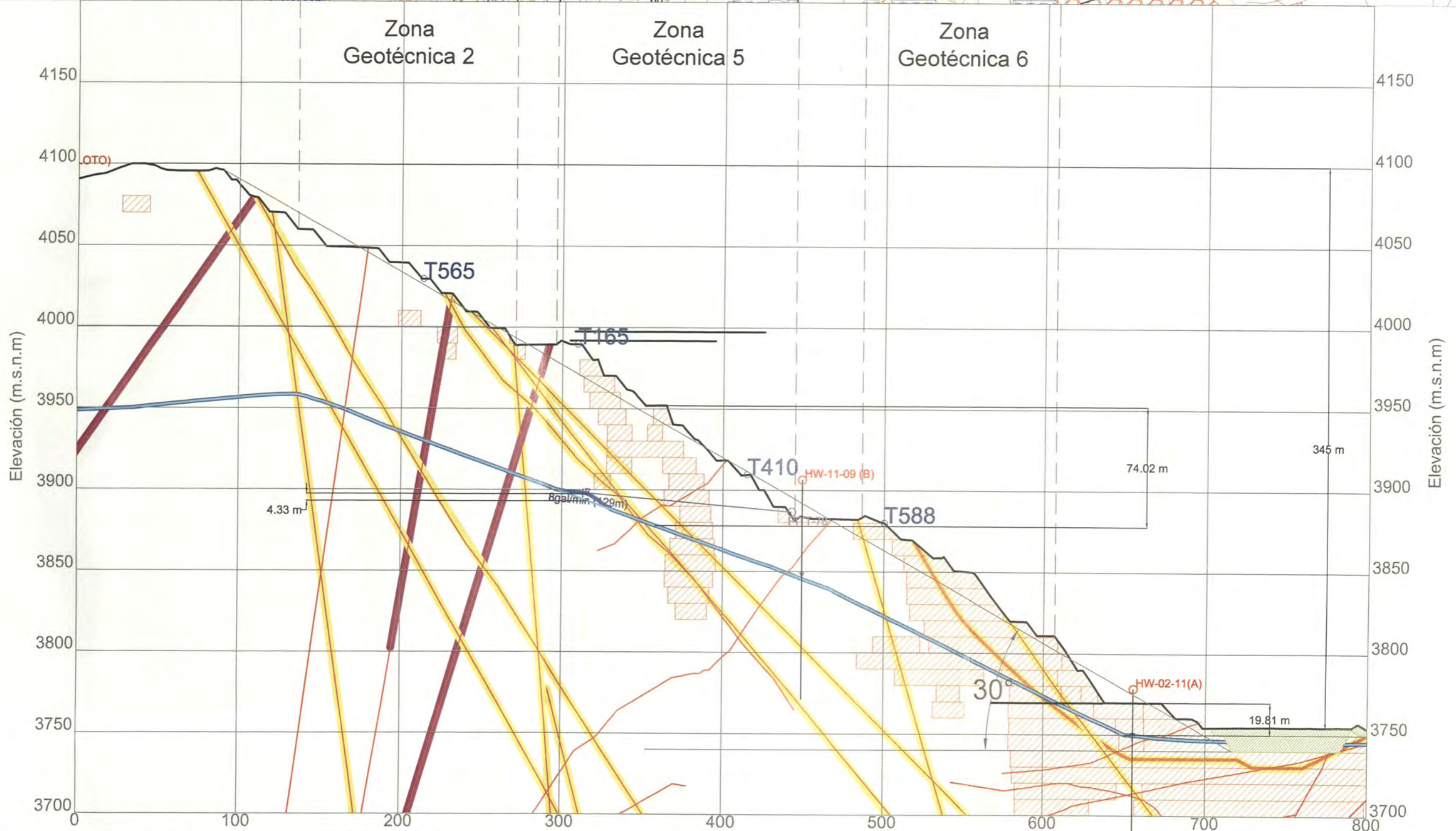
<b>LEYENDA DE ALTERACIONES - SUPERFICIE</b> Alunita Arcilla Sílice Arcilla Argilico con Oxidos Argilico con Sulfuros Propilítico Cuarzo Alunita Sílice Queroso	<b>LEYENDA DE ESTRUCTURAS - SUPERFICIE</b> Trazo de Falla Inclinación de Falla Trazo de PSL	<b>LEYENDA DE ALTERACIONES - SECCION</b> Cuarzo Alunita (Unidad Geotécnica) Argilico (Unidad Geotécnica) <b>SUPERFICIE FREATICA - SECCION</b> Superficie Freatica Superficie Freatica Actualizada	<b>LEYENDA - SECCION</b> Topografía 31-12-2012 Falla Geológica Paleo-superficie PITT-73 PITT-84	<b>LEYENDA DE INSTRUMENTACION</b> HW-06-11(A) T533 EXT-01
<b>NOTA:</b> Topografía del 31 de Diciembre de 2012			Nombre del Dren 2011 Ubicación de Dren 2011 Nombre del Dren 2012 Ubicación de Dren 2012	Nombre del Piezómetro Ubicación del Piezómetro Nombre de Pirneta Ubicación de Pirneta Nombre de Extensómetro Ubicación de Extensómetro

**Universidad Nacional de Ingeniería**  
**Facultad de Ingeniería Civil**  
 Consideraciones Geotécnicas Para La Estabilidad De Taludes De La  
 Excavación Minera Tipo Tajo Abierto En Huaraz - Ancash  
**Sección B - Análisis Geotécnico**

Escala : 1/2.500 Fecha : Febrero de 2013	Elaborado : Bach. Marco Rubén Yalle Barrios Asesor : Ing. Luis Serafin Gonzáles Hajar	Plano <b>12</b>
---	--	--------------------



# Sección C



**LEYENDA DE ALTERACIONES - SUPERFICIE**

Alunita Arcilla	Propilítico
Silíce Arcilla	Cuarzo Alunita
Argílico con Óxidos	Silíce Oqueroso
Argílico con Sulfuros	

**NOTA:**  
Topografía del 31 de Diciembre de 2012

**LEYENDA DE ESTRUCTURAS - SUPERFICIE**

Traza de Falla	Traza de PSL
Inclinación de Falla	

**LEYENDA DE ALTERACIONES - SECCION**

Cuarzo Alunita (Unidad Geotécnica)	Superficie Freatica
Argílico (Unidad Geotécnica)	Superficie Freatica Actualizada

**LEYENDA - SECCION**

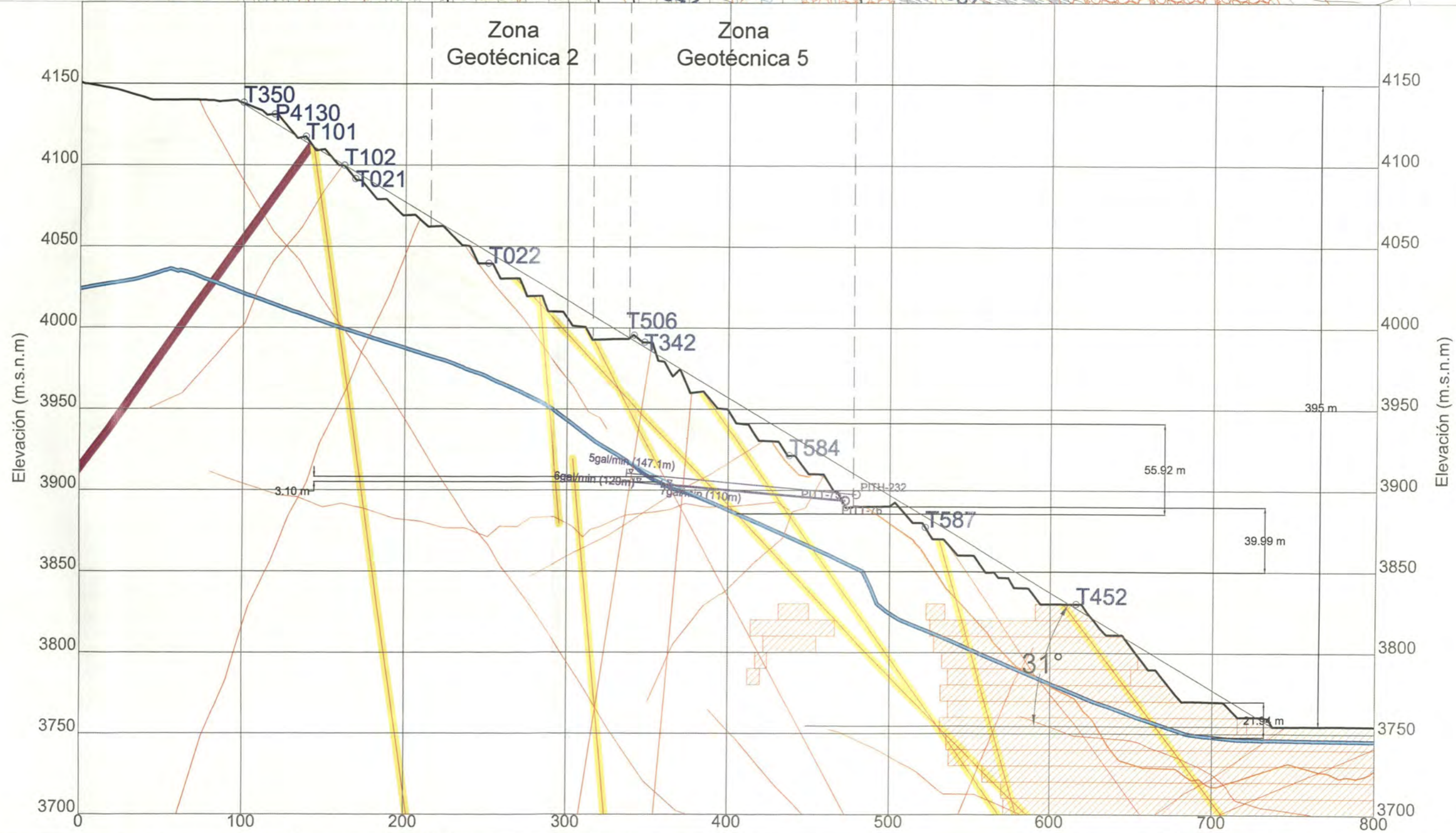
Topografía 31-12-2012	PIT-73
Falla Geológica	PIT-84
Paleo-superficie	Ubicación de Dren 2011
	Ubicación de Dren 2012

**LEYENDA DE INSTRUMENTACION**

HW-06-11(A)	Nombre del Piezómetro
Ubicación del Piezómetro	Nombre de Prisma
T533	Ubicación de Prisma
EXT-01	Nombre de Extensómetro
Ubicación de Extensómetro	

**Universidad Nacional de Ingeniería**  
**Facultad de Ingeniería Civil**  
 Consideraciones Geotécnicas Para La Estabilidad De Taludes De La  
 Excavación Minera Tipo Tajo Abierto En Huaraz - Ancash  
**Sección C - Análisis Geotécnico**  
 Escala : 1/2,500      Elaborado : Bach. Marco Rubén Yalle Barrios  
 Fecha : Febrero de 2013      Asesor : Ing. Luis Serafín Gonzáles Hjar

Plano  
**13**



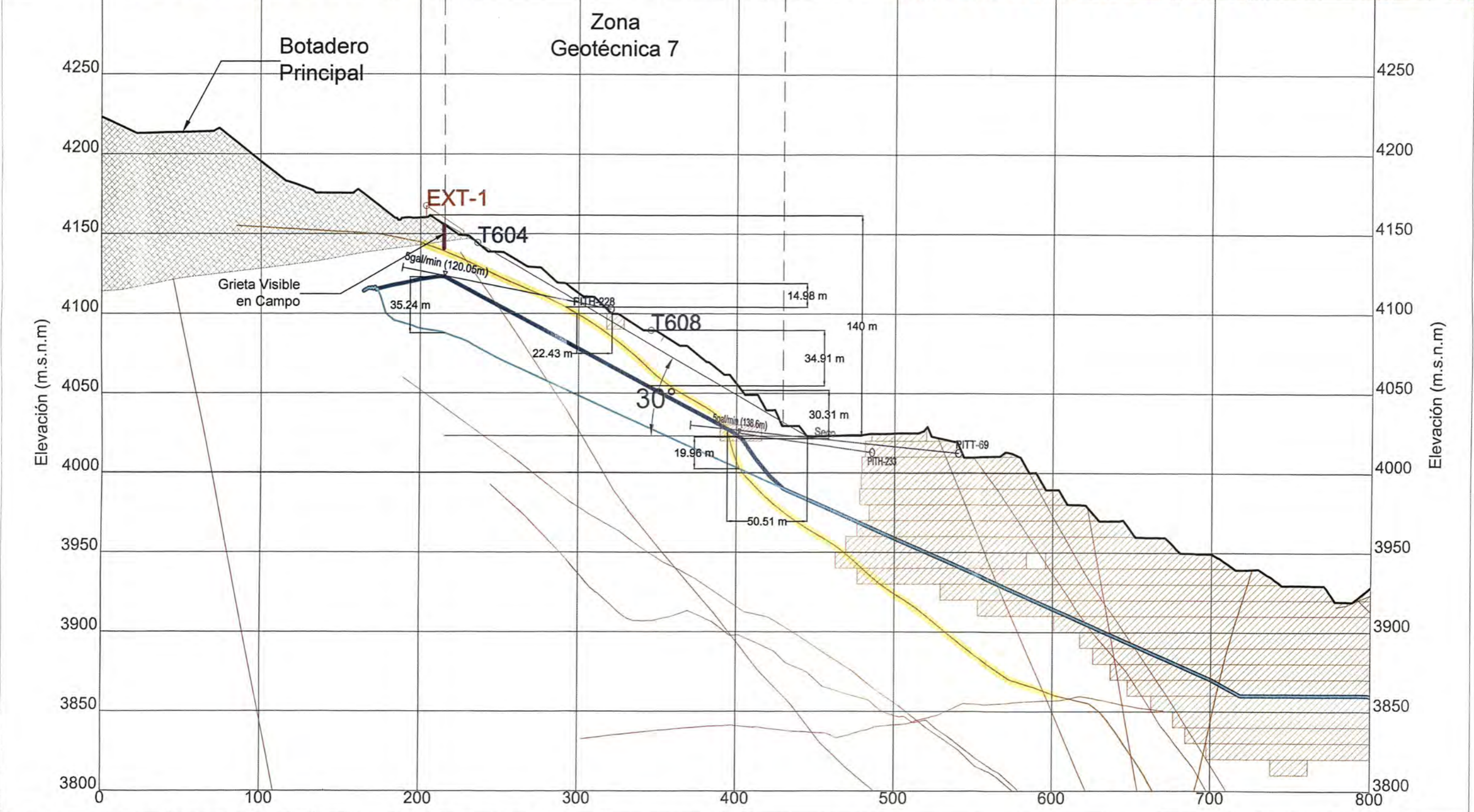
<b>LEYENDA DE ALTERACIONES - SUPERFICIE</b> Alunita Arcilla Silíceo Arcilla Argilico con Óxidos Argilico con Sulfuros Propilítico Cuarzo Alunita Silíceo Oqueroso	<b>LEYENDA DE ESTRUCTURAS - SUPERFICIE</b> Traza de Falla Inclinación de Falla Traza de PSL	<b>LEYENDA DE ALTERACIONES - SECCION</b> Cuarzo Alunita (Unidad Geotécnica) Argilico (Unidad Geotécnica) <b>SUPERFICIE FREATICA - SECCION</b> Superficie Freatica Superficie Freatica Actualizada	<b>LEYENDA - SECCION</b> Topografía 31-12-2012 Falla Geológica Paleo-superficie PITT-73 Nombre del Dren 2011 PITT-84 Nombre del Dren 2012 Ubicación de Dren 2011 Ubicación de Dren 2012	<b>LEYENDA DE INSTRUMENTACION</b> HW-06-11(A) Nombre del Piezómetro Ubicación del Piezómetro T533 Nombre de Prisma Ubicación de Prisma EXT-01 Nombre de Extensómetro Ubicación de Extensómetro
--	--	--	--	--

NOTA:  
Topografía del 31 de Diciembre de 2012

Universidad Nacional de Ingeniería  
 Facultad de Ingeniería Civil  
 Consideraciones Geotécnicas Para La Estabilidad De Taludes De La  
 Excavación Minera Tipo Tajo Abierto En Huaraz - Ancash  
 Sección D - Análisis Geotécnico

Escala: 1/2,500 Fecha: Febrero de 2013	Elaborado: Bach. Marco Rubén Yalle Barrios Asesor: Ing. Luis Serafín Gonzáles Hjar	Plano <b>14</b>
---	---	--------------------

# Sección E



**LEYENDA DE ALTERACIONES - SUPERFICIE**

Alunita Arcilla	Propilítico
Silíce Arcilla	Cuarzo Alunita
Argílico con Óxidos	Silíce Oqueroso
Argílico con Sulfuros	

NOTA:  
Topografía del 31 de Diciembre de 2012

**LEYENDA DE ESTRUCTURAS - SUPERFICIE**

Traza de Falla	Inclinación de Falla
Traza de PSL	

**LEYENDA DE ALTERACIONES - SECCION**

Cuarzo Alunita (Unidad Geotécnica)
Argílico (Unidad Geotécnica)

**SUPERFICIE FREÁTICA - SECCION**

Superficie Freática
Superficie Freática Actualizada

**LEYENDA - SECCION**

Topografía 31-12-2012	Falla Geológica
Paleo-superficie	

**LEYENDA DE INSTRUMENTACION**

PITT-73	Nombre del Dren 2011
PITT-84	Nombre del Dren 2012

**LEYENDA DE INSTRUMENTACION**

HW-05-11(A)	Nombre del Piezómetro
T533	Nombre de Prisma
EXT-01	Nombre de Extensómetro

Universidad Nacional de Ingeniería  
Facultad de Ingeniería Civil

Consideraciones Geotécnicas Para La Estabilidad De Taludes De La  
Excavación Minera Tipo Tajo Abierto En Huaraz - Ancash

Sección E - Análisis Geotécnico

Escala : 1/2,500 | Elaborado : Bach. Marco Rubén Yalle Barrios | Plano  
Fecha : Febrero de 2013 | Asesor : Ing. Luis Serafín Gonzáles Hajar | 15