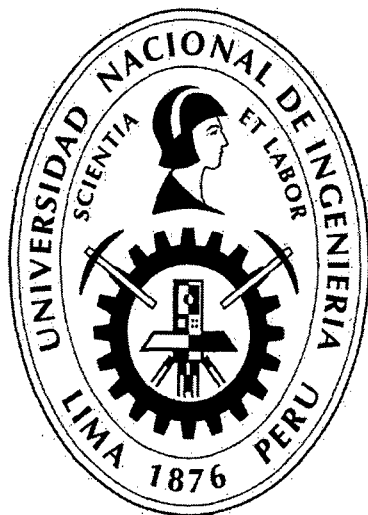


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL



DISEÑO DE DEPÓSITOS DE RELAVES FILTRADOS

TESIS

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

ORLANDO HUAÑA GONZALES

Lima- Perú

2015

Digitalizado por:

**Consortio Digital del
Conocimiento MebLatam,
Hemisferio y Dalse**

ÍNDICE

RESUMEN	5
LISTA DE FIGURAS	8
LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS	10
INTRODUCCIÓN	13
CAPÍTULO I: ESTADO DEL ARTE	16
1.1 ANTECEDENTES.....	16
1.2 GENERALIDADES	18
1.3 OBJETIVO GENERAL.....	19
1.4 EVOLUCION DEL SISTEMA DE DISPOSICION DE RELAVES EN EL PERÚ ..	19
1.5 TECNOLOGÍAS DE ESPESADO Y FILTRADO DE RELAVES	21
1.5.1 Instalaciones existentes	24
CAPÍTULO II: FUNDAMENTO TEÓRICO	27
2 GENERALIDADES	27
2.1 DEPÓSITO DE RELAVES.....	27
2.1.1 Tipología de los depósitos de relaves	28
2.1.2 Características de los diques de contención.....	28
2.1.2.1 <i>Método de crecimiento del dique</i>	28
2.2 SISTEMAS DE FILTRACIÓN PARA LA DISPOSICIÓN DE RELAVES	31
2.2.1 Consideraciones en la construcción de un depósito de relaves filtrados.....	31
2.2.2 Comparación de costos.....	31
2.2.3 Determinación del sistema de disposición de relaves filtrados	33
2.2.3.1 <i>Compactación de los relaves filtrados</i>	33
2.2.3.2 <i>Recuperación de agua</i>	34
2.2.3.3 <i>Percolación</i>	34
2.2.4 Tipos de equipos	34
2.2.4.1 <i>Filtro prensa</i>	34
2.2.4.2 <i>Filtro de discos</i>	35
2.2.4.3 <i>Filtro de bandas</i>	35
2.2.4.4 <i>Espesador de alta densidad</i>	35
2.3 ESTABILIDAD DE LAS PRESAS DE RELAVES	36
2.3.1 Estabilidad y causas de las fallas en las presas de relaves.....	36
2.3.2 Estabilidad estática durante la operación.....	37

2.4	PLANTA DE RELAVES FILTRADOS	40
2.4.1	Caso 1: Depósito en zona de sierra	40
2.4.1.1	<i>Disposición de relaves</i>	40
2.4.1.2	<i>Descripción del proceso de disposición de relaves</i>	41
2.4.1.3	<i>Filtración del relave</i>	41
2.4.2	Caso 2: Depósito en zona de costa.....	43
2.4.2.1	<i>Disposición de relaves</i>	44
2.4.2.2	<i>Descripción del proceso de disposición de relaves</i>	45
2.4.2.3	<i>Filtración del relave</i>	45
CAPÍTULO III: CRITERIOS DE DISEÑO Y OPERACIÓN.....		47
3	GENERALIDADES	47
3.1	CASO 1: DEPÓSITO EN ZONA DE SIERRA.....	47
3.1.1	Dique de pie	49
3.1.2	Terraplén	49
3.1.3	Dique de contención.....	50
3.1.4	Depósito de relaves filtrados	50
3.1.5	Canales de coronación.....	50
3.1.6	Monitoreo de la construcción, inspección y supervisión.....	51
3.1.7	Proceso de conformación de los relaves filtrados - operación	51
3.2	CASO 2: DEPÓSITO EN ZONA DE COSTA.....	54
3.2.1	Poza de contingencias	57
3.2.2	Dique de arranque e intermedio	57
3.2.3	Plataforma de secado inferior y superior.....	57
3.2.4	Presa derivadora (check dam)	58
3.2.5	Proceso de conformación de los relaves filtrados - operación	58
CAPÍTULO IV: DISEÑO DE DEPÓSITOS DE RELAVES FILTRADOS		62
4	GENERALIDADES	62
4.1	CASO 1: DEPÓSITO EN ZONA DE SIERRA.....	62
4.1.1	Generalidades	62
4.1.2	Criterios de diseño.....	62
4.1.2.1	<i>Datos operacionales</i>	63
4.1.2.2	<i>Estabilidad física a corto y largo plazo</i>	63
4.1.2.3	<i>Parámetros sísmicos</i>	63
4.1.2.4	<i>Factor de seguridad</i>	63
4.1.2.5	<i>Parámetros geotécnicos de los materiales</i>	64
4.1.2.6	<i>Control del nivel freático</i>	64

4.1.3	Diseño geotécnico	65
4.1.3.1	<i>Condiciones de cimentación</i>	65
4.1.3.2	<i>Dique de pie (enrocado)</i>	66
4.1.3.3	<i>Terraplén (desmonte de mina)</i>	67
4.1.3.4	<i>Material de mezcla (relaves filtrados con suelo)</i>	68
4.1.3.5	<i>Modelamiento geotécnico</i>	68
4.1.4	Diseño geométrico.....	69
4.1.4.1	<i>Geometría del depósito de relaves</i>	69
4.1.5	Modelo geotécnico	73
4.1.5.1	<i>Metodología</i>	74
4.1.6	Análisis de estabilidad física.....	77
4.1.7	Potenciales filtraciones en el depósito de relaves.....	79
4.2	CASO 2: DEPÓSITO EN ZONA DE COSTA.....	79
4.2.1	Generalidades	79
4.2.2	Criterios de diseño.....	80
4.2.2.1	<i>Datos operacionales</i>	80
4.2.2.2	<i>Estabilidad física a corto y largo</i>	81
4.2.2.3	<i>Parámetros sísmicos</i>	81
4.2.2.4	<i>Factor de seguridad</i>	81
4.2.2.5	<i>Parámetros geotécnicos de los materiales</i>	82
4.2.2.6	<i>Control del nivel freático</i>	82
4.2.3	Diseño geotécnico	82
4.2.3.1	<i>Poza de contingencia</i>	82
4.2.3.2	<i>Dique de arranque y depósito de relaves</i>	84
4.2.3.3	<i>Presa derivadora (Check Dam)</i>	85
4.2.4	Diseño geométrico	85
4.2.5	Modelo geotécnico	87
4.2.6	Análisis de estabilidad física.....	90
4.2.7	Análisis de filtraciones del depósito de relaves	92
4.2.7.1	<i>Método de análisis</i>	92
4.2.7.2	<i>Características del modelo</i>	93
4.3	COMPARACIÓN DE DISEÑOS DE DEPÓSITOS DE RELAVES FILTRADOS..	94
4.3.1	Condiciones climatológicas	94
4.3.2	Condiciones topográficas	95
4.3.3	Parámetros de diseño	96
4.3.4	Aspectos de Capex y Opex	97
4.3.5	Costos de compactación del relave filtrado.....	98

4.3.5.1	Caso 1:.....	98
4.3.5.2	Caso 2:.....	99
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		100
5.1.	CONCLUSIONES	100
BIBLIOGRAFÍA.....		104
ANEXOS.....		105

RESUMEN

La presente Tesis consiste principalmente en definir todo el proceso que involucra el diseño y construcción de un depósito de relaves filtrados, desde la obtención del relave, pasando por el tipo de transporte, trabajabilidad, hasta la geometría final, incluyendo el proceso de compactación de los relaves filtrados.

Para realizar dichos estudios, en el desarrollo de la tesis se han desarrollado cinco capítulos, los cuales se describen a continuación:

- Capítulo I: Se detalla el estado del arte de la disposición de los relaves, como fue desarrollándose la forma de obtención con respecto a la tecnología de uso, y de qué manera se ha llegado en la actualidad a contar con tecnología de punta para poder producir los relaves con humedades de hasta 13% como máximo. Además, se presenta un resumen de la implementación de la tecnología de relaves filtrados en algunas unidades mineras en el Perú, incluyendo los casos analizados en la presente tesis.
- Capítulo II: Se describe el marco teórico en el cual se basa todo el proceso de diseño, indicando la tipología de los depósitos de relaves en nuestro medio, para luego indicar el sistema de filtración de acuerdo a las características (tanto de capital y de operación) que cada unidad minera implementará para cada caso. Además, se revisa la teoría de la estabilidad de las presas de relaves, teniendo en cuenta las causas de estabilidad en todas las etapas, es decir inicio-operación-cierre. Por último se describirá los casos a analizar en esta tesis, los cuales son:
 - Caso 1: Depósito en zona de sierra - Depósito de relaves filtrados Ramahuayco, zona de la sierra central, en la provincia de Ayacucho, el cual tiene la característica de ser un material mezclado como relave filtrado y material de cantera (tipo grava arcillosa-limosa), el cual da como resultado un material tipo arena limosa, con una humedad promedio de 12% colocado en el depósito.
 - Caso 2: Depósito en zona de costa - Depósito de relaves filtrados Pahuaypite 2, ubicado en la zona de la costa, en la provincia de Ica. Este depósito de relaves consta de relaves filtrados provenientes de la planta de filtrados con una humedad promedio de 13%, el cual será colocado en las plataformas de secado por un espacio de 3 - 5 días, para que alcance la humedad promedio de 7% +/-2% y con ello ser compactadas.

Estos dos depósitos a la fecha están en operación y construcción progresiva, en las dos unidades mineras distintas, y se irán describiendo durante el desarrollo de la tesis.

- **Capítulo III:** En este capítulo se describirán los criterios de diseño y operación de cada caso, en el cual se indicarán los parámetros utilizados, las estructuras con las que cuenta cada depósito, descripción de cada estructura: diques de arranque, depósitos de almacenamiento, estructuras de contingencias, sistema de monitoreo de los depósitos. Además, se describe el proceso desde la obtención del relave filtrado en planta, la forma de transporte hasta las zonas de secado y/o mezcla, el proceso de conformación de los relaves filtrados y los parámetros índice de control ante el proceso de compactación.
- **Capítulo IV:** Capítulo basado en el diseño propio de los depósitos de relaves filtrados, en base a los criterios descritos en el capítulo III; además, se dan alcances de los factores de sitio de cada caso, partiendo desde la geología, topografía, hidrología, investigaciones geotécnicas, peligro sísmico, datos de operación de cada unidad minera (tasas de producción), parámetros de factores de seguridad con respecto a la estabilidad de cada depósito, etc.

En los criterios de diseño se consideran los datos de operación de acuerdo a la producción nominal de cada unidad minera, luego se indica cómo se enfoca la estabilidad de los depósitos ya sea a corto y a largo plazo, basándose en el estudio de peligro sísmico realizado para cada caso y para definir la aceleración de diseño. Luego se definen los parámetros geotécnicos de los materiales utilizados en el diseño y se dan los criterios para el control del nivel freático para ambos casos. A continuación se definen las características de las condiciones de la cimentación de cada estructura que se proyectará. Con todos los datos necesarios se realizan los modelos geotécnicos para cada caso y con ello se realizarán los análisis de estabilidad física y los análisis de filtraciones. Además, se incluye un comparativo entre estos dos casos analizados con respecto a las condiciones de lugar, clima, emplazamiento y el proceso de compactación con respecto a un metro cúbico de relave compactado.

- **Capítulo V:** se presentan las conclusiones y recomendaciones derivadas del desarrollo del tema de estudio, que puedan servir de base a futuros estudios sobre esta materia. Como parte del estudio se presentan los anexos que ilustran lo siguiente: ensayos geotécnicos realizados a los relaves filtrados, materiales utilizados en el diseño, planos de diseño y de construcción, análisis de estabilidad de los diseños realizados y álbum fotográfico de los depósitos de relaves que se vienen construyendo actualmente.

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.1: Densidad vs Contenido de agua de los relaves.	22
Tabla 1.2: Instalaciones de relaves filtrados con filtros banda	24
Tabla 1.3: Datos de los principales depósitos de relaves filtrados en Sudamérica.....	24
Tabla 1.4: Resumen de la operación de relaves en La Coipa.....	26
Tabla 2.1: Costo de un depósito de relaves húmedo	32
Tabla 2.2: Costo de un depósito de relaves filtrados.....	32
Tabla 2.3: Comparación del costo de equipos vs. Método de desaguado	33
Tabla 2.4: Comparación del uso de agua vs. Tipo de equipo utilizado.	34
Tabla 2.5: Comparación del costo de capital y operacional para diferentes sistemas de desaguado	36
Tabla 2.6: Tiempos de cada etapa del ciclo de filtración	42
Tabla 2.7: Datos generales de planta de filtrados de relaves – Caso 2.	46
Tabla 4.1: Modelamiento geomecánico.....	64
Tabla 4.2: Caracterización geomecánica del enrocado.....	66
Tabla 4.3: Resumen de parámetros para el modelamiento geotécnico.	69
Tabla 4.4: Propiedades del modelamiento geotécnico.....	76
Tabla 4.5: Factores de seguridad de presa de relaves Ramahuayco.	78
Tabla 4.6: Modelamiento geotécnico.....	82
Tabla 4.7: Parámetros geotécnicos determinados para la granodiorita.	88
Tabla 4.8: Parámetros geotécnicos determinados para la andesita.....	89
Tabla 4.9: Parámetros de resistencia y deformabilidad de los materiales.	90
Tabla 4.10: Factores de seguridad de la estabilidad del depósito de relaves.	91
Tabla 4.11: Temperaturas promedio en cada caso.	95
Tabla 4.12: Precipitación máx. 24 en cada caso.	95
Tabla 4.13: Comparativo de parámetros de diseño.....	96

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1: Vista general de la planta de pasta en mina San Rafael – Puno.	20
Figura 1.2: Cambio de la granulometría en el tiempo, relave en pasta, mina San Rafael.	21
Figura 1.3: Producción de relaves desaguados.	22
Figura 1.4: Filosofía de operación de depósito de relaves filtrados.	23
Figura 2.1: Crecimiento del dique según método aguas arriba.	29
Figura 2.2: Crecimiento del dique según método aguas abajo.	30
Figura 2.3: Crecimiento del dique según método de línea central	31
Figura 2.4: Esquema general del proceso de obtención de relaves filtrados	43
Figura 2.5: Esquema general del proceso de obtención de relaves filtrados	44
Figura 3.1: Esquema general de la planta de relaves filtrados.....	48
Figura 3.2: Esquema general de las estructura del depósito de relaves filtrados Ramahuayco – Planta.....	48
Figura 3.3: Esquema general de las estructuras del depósito de relaves filtrados Ramahuayco – Corte.	49
Figura 3.4: Planta de relave filtrado, sistema de filtros tipo prensa.	52
Figura 3.5: Carguío del relave filtrado.	52
Figura 3.6: Acopio de material de relaves proveniente de la planta de filtrado.	53
Figura 3.7: Acopio de material de relaves y material de préstamo.....	53
Figura 3.8: Zona de trabajo de mezclado-transporte-conformación-compactado del material de relave filtrado y préstamo.	54
Figura 3.9: Vista de la planta de relaves filtrados.....	55
Figura 3.10: Configuración del depósito de relaves filtrados Pahuaypite 2.....	55
Figura 3.11: Vista del proyecto en su etapa final.....	56
Figura 3.12: Sección proyectada de la presa de relaves filtrados Pahuaypite 2.	56
Figura 3.13: Filtro banda en la planta de filtrado.	59
Figura 3.14: Carguío del relave filtrado con una humedad máxima de 13%.....	59

Figura 3.15: Plataforma de secado en el depósito de relaves.....	60
Figura 3.16: Etapa de nivelado y compactado del relave filtrado.	60
Figura 3.17: Depósito de relaves filtrados Pahuaypite 1 y 2, en la etapa de crecimiento progresivo.	61
Figura 4.1: Depósito de relaves filtrados Ramahuayco – 1ra etapa.	71
Figura 4.2: Depósito de relaves filtrados Ramahuayco – Etapa final.	73
Figura 4.3: Sección de diseño.	75
Figura 4.4 : Modelo geotécnico.	76
Figura 4.5: Vaso de la poza de contingencia, relleno con depósito aluvial (izquierda), granodiorita sana y masiva en el fondo de la quebrada (derecha).....	83
Figura 4.6: Afloramiento de la granodiorita en el fondo de la quebrada; sana y masiva (izquierda), granodiorita en bloques irregulares, en los flancos de la quebrada (derecha).....	83
Figura 4.7: Zona de cimentación de la presa de arranque y embalse.....	84
Figura 4.8: Modelo geotécnico – Depósito Pahuaypite 2.	90
Figura 4.9: Relación cualitativa entre costo total y la concentración de sólidos.....	98

LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS

Gs	Gravedad específica
MEM	Ministerio de Energía y Minas
SUCS	Sistema unificado de clasificación de suelos.
USCOLD	United States Committee on Large Dams (Comité de los Estados Unidos de Grandes Presas).
USACE	Cuerpo de Ingenieros de los EE.UU. de Norteamérica.
ASTM	American Society for Testing and Materials (Sociedad Americana de Ensayos y Materiales)
Flac 2D	Programa de análisis y deformaciones por el método de diferencias finitas.
Slide	Programa de estabilidad de taludes.
FSE	Factor de seguridad estático.
FSS	Factor de seguridad seudo estático
KEW= Kns	Coefficiente de presión de tierra en reposo
Fs	Factor de seguridad
GSI	Geological strength index, índice de resistencia geológica
RQD	Rock quality designation, designación de la calidad de la roca.
PE	Proctor Estándar
PM	Proctor Modificado
TX-CU	Ensayo de triaxial consolidado no drenado.
Cu	Símbolo del elemento químico cobre.
Au	Símbolo del elemento químico oro.
Zn	Símbolo del elemento químico zinc.
Pb	Símbolo del elemento químico plomo.
SM	Arena limosa.
ML	Limo de baja plasticidad.

GP-GC	Grava mal gradada con arena y arcilla.
CN	Símbolo del cianuro.
Cs	Concentración de solidos
msnm	Metros sobre nivel del mar.
H:V	Horizontal: Vertical (nomenclatura de los taludes de corte y/o relleno)
PVC	Policloruro de vinilo.
°C	grados Celsius, unidad de medida de la temperatura.
ha	hectárea, unidad de superficie (1 ha = 10, 000 m ²).
hr	hora, unidad de medida del tiempo (1h = 3,600 s).
kg-f	kilogramo, unidad de fuerza (1t = 1,000kg-f).
kg/cm²	kilogramos por centímetro cuadrado, unidad de presión (1kg/cm ² = 10,000kg/m ²).
km²	kilómetro cuadrado, unidad de superficie (1km ² = 1 000 000m ²).
tpd	toneladas por día, unidad de producción de relaves.
l/s	litros por segundo, unidad de caudal (1m ³ /s = 1,000 l/s).
m	metro, unidad de longitud.
m²	metro cuadrado, unidad de superficie.
m³	metro cúbico, unidad de volumen.
m³/s	metros cúbicos por segundo, unidad de caudal.
min	minutos, unidad de medida de tiempo.
mm	milímetro, unidad de medida de precipitación o evaporación (1mm=1l/m ²).
mm³	milímetro cúbico.
N	Newton, unidad de fuerza (1kg=9.8N).
Pa	Pascal, unidad de presión igual a 1 N/m ² .
psi	pound per square inch, unidad de presión (1kg/cm ² =14.22 psi).
s	segundo, unidad de tiempo.
t	tonelada, unidad de fuerza.

PMA	Precipitación media anual.
EMA	Evaporación media anual.
bar	bar, unidad de presión, 1 bar=100 000Pa,
km/h	kilómetros por hora, unidad de velocidad.
mm/día	milímetros por día, unidad de evaporación.
γ_d	Densidad seca.
c	Cohesión del suelo y/o material de construcción (kPa)
ϕ	Angulo de fricción del suelo y/o material de construcción.
E	modulo elástico, unidad de presión.
MPa	mega pascal, unidad de presión E (MPa)
g	aceleración de la gravedad (m/s^2)
k	Conductividad hidráulica (cm/s)

INTRODUCCIÓN

El proceso de disposición de relaves, desde el tradicional relave en pulpa, espesado, en pasta y filtrado, se inició con los relaves producidos por flotación, extrayendo arenas muy finas y partículas sumamente pequeñas (lamas); sin embargo, en aquellos tiempos iniciales las formas de disposición no eran las ideales (se vertían al río y lechos de lagos); debido a ello, empíricamente se dio inicio a la ejecución de la construcción de depósitos de relaves con el método hoy conocido como "aguas arriba". A causa de fallas en depósitos de relaves dispuestos con este método (presa de relaves Barahona en Chile - 1928 y otros muchos casos documentados en todo el mundo), se tuvo la necesidad de cambiar el método de construcción al conocido como "aguas abajo", con lo cual se mejoró la estabilidad de los depósitos de relaves.

En el año 1965 se tuvo la experiencia de fallas de presas de relaves por eventos sísmicos en Chile y en el año 1952 ocurrió la falla del depósito Casapalca-CENTROMIN, a partir de entonces se tiene información de depósitos afectadas por eventos sísmicos, por efecto de la licuación del material ante la presencia del movimiento sísmico y la saturación del relave; ante dichos eventos y el avance de la tecnología, se viene implementando el proceso de disposición de los relaves con contenidos de agua cada vez menores, mayor densidad y mayor concentración de sólidos. Dichas características ayudan a mejorar la estabilidad de los depósitos de relaves; además, estos tipos de disposición generan mejores condiciones geotécnicas.

En los proyectos mineros el concepto de "ley del yacimiento" hace referencia a la cantidad de mineral obtenido de cierta cantidad de material extraído; este valor es del orden de 1% para ciertos yacimientos; es decir, de cada 100 t de material extraído, únicamente 1 t corresponde al mineral principal que se desea extraer, por lo tanto las restantes 99 t resultan ser desechos conformados por relaves y desmontes (de no existir ningún otro mineral que se desea y pueda extraer) que deben ser depositados de la manera más segura y económica posible para asegurar la factibilidad de la operación. En los casos de minerales de alta ley, principalmente en minería subterránea, el mineral económico es del orden de 10%. Gran parte de desechos los constituyen los relaves, los cuales presentan los siguientes problemas en el proceso de disposición, debido a que tienen:

- Alto potencial contaminante, ya que contienen una serie de compuestos nocivos, propios del proceso de extracción del mineral.

- Alto contenido de agua, lo que, por una parte, aumenta el espacio necesario para el almacenamiento y, por otra parte, esta agua podría ser de gran utilidad en el proceso productivo, si pudiese ser reutilizada.

Es por esto que una serie de autores han dedicado parte de sus investigaciones al desarrollo de nuevas formas de disposición de estos relaves, entre estos se cuentan los siguientes:

- Relaves filtrados: El contenido de agua no supera el 20%.
- Relaves espesados: El contenido de agua varía entre un 40% a un 30%.
- Relaves en pasta: Corresponde a un caso intermedio entre los relaves filtrados y los espesados.

Los depósitos de relaves filtrados son una alternativa a los depósitos convencionales. En los depósitos de relaves filtrados una cantidad considerable de agua es extraída de los relaves antes de su disposición, aumentando la capacidad de almacenamiento, disminuyendo las áreas de disposición y mejorando con ello su estabilidad.

En el Perú, en donde el 60% de la actividad minera utiliza relaves en pasta como relleno en interior mina, la disposición de los relaves filtrados en superficie tiene un alto potencial de aplicación.

La extracción de mineral genera un volumen de relaves mayor que el volumen que se pueda almacenar en interior mina, por lo que requiere la disposición en la superficie. Una alternativa en la gestión de residuos mineros se basa en la disposición tanto en superficie como en interior mina.

Los depósitos de relaves filtrados, en los cuales se enfoca la tesis, presentan un comportamiento similar al de una pasta homogénea, ya que contienen un menor nivel de agua que los relaves convencionales, lo que permite que puedan ser depositados en un volumen menor, y a la vez dificultan la contaminación por percolación de líquidos contaminados. Sumado a lo anterior, estos depósitos presentan algunas propiedades tales como la posibilidad de depositarse con cierta pendiente debido a la homogeneidad del material y al menor contenido de agua (Robinsky, 1999), lo que beneficia su estabilidad, por lo cual permiten ahorrar en costos de obras anexas para la contención del material.

Debido a que en el mundo no existen experiencias de grandes depósitos de relaves filtrados ubicados en zonas de alta sismicidad y/o en zonas lluviosas, resulta necesario estudiar el comportamiento físico de este tipo de relaves en el contexto de la realidad

peruana para poder generar recomendaciones de diseño que eventualmente permitan el uso de esta nueva tipología de disposición, aprovechando sus características favorables, sin desestimar las posibles limitaciones y dificultades que podrían presentar.

Las tecnologías actuales en el aspecto de filtrado y espesamiento de relaves hacen posible la obtención de relaves cada vez con menor contenido de agua y mayor concentración de sólidos, trayendo consigo productos (relaves filtrados) con mejores condiciones para ser tratados en los depósitos de relaves, pudiendo ser transportados, conformados y compactados, siendo parte del cuerpo principal del depósito de relaves. Ante estos avances de la tecnología y forma de manejo de los relaves filtrados, se vienen desarrollando proyectos en nuestro país como lo demuestra la presente tesis, trayendo consigo datos de operación, formas de obtención, tratamiento, transporte, y forma de disposición; ante ello se obtienen criterios de diseño basados en la bibliografía, diseños similares en otros países y experiencias de los diseñadores, dando como resultado los depósitos de relaves filtrados, siendo únicos en su tipo de construcción, desde la forma de obtención del relave filtrado, área de disposición, topografía, clima y demás factores que se describirá en el desarrollo de la tesis.

Además, cabe mencionar que debido a las necesidades de cada unidad minera, se han implementado estructuras propias en cada una pero bajo un mismo criterio de diseño, que consiste en iniciar el depósito de relaves filtrados con un dique de arranque, y sobre este apoyar el resto del depósito; además de las particularidades de cada proyecto para el manejo de aguas superficiales e internas para mejorar el comportamiento del depósito de relaves. Cabe indicar que los dos casos analizados de depósitos de relaves filtrados presentados en el desarrollo de la tesis, presentan características muy distintas en cuanto al lugar y clima, pero la manera de tratar al relave es similar; es decir, el conformado-compactado y tratamiento, siendo un punto de comparación el costo de construcción de cada depósito, lo que permite analizar de qué manera influyen los factores naturales, tipo de tecnología y, ubicación de las plantas productivas, temas que se han abordado en esta tesis.

CAPÍTULO I: ESTADO DEL ARTE

1.1 ANTECEDENTES

Una breve revisión de la evolución del manejo de relaves a nivel mundial nos proporciona antecedentes útiles para comprender la tecnología actual. En los tiempos coloniales (1535)⁷ se extraía oro y plata por amalgamación con mercurio, luego, los residuos del proceso (relaves) se vertían en ríos y suelos produciendo los drenajes ácidos. Hacia los años 1890 dos desarrollos significativos ocurrieron: el desarrollo de la técnica de flotación y la introducción del cianuro para la extracción de oro. La flotación permitió la producción de cantidades aún mayores de relaves con contenido de arena muy fina y partículas sumamente pequeñas (lamas). Sin embargo, las prácticas de disposición previas permanecieron sin sufrir cambios, ocasionando que los relaves depositados alcanzaran mayores distancias y en mucho casos arroyos y lagos.

Sin el moderno equipo mecanizado de movimiento de tierras, sería imposible la construcción de presas de tierra convencionales para almacenar relaves de cualquier operación minera de esta era. Como resultado, los mineros desarrollaron un procedimiento de construcción manual, conocido actualmente como el método “aguas arriba”, donde un depósito con dique de arranque era inicialmente llenado con relaves depositados hidráulicamente, luego elevado paulatinamente mediante la construcción de bermas bajas encima y detrás del nivel anterior.

Este método manual de construcción permaneció en uso en muchas minas del Perú hasta hace algunos años. A nivel mundial, el abandono de este método se produjo a raíz de la falla por sismo de la presa de relaves Barahona en Chile en 1928, la misma que fue reemplazada utilizando el método más estable de “aguas abajo”. Alrededor de 1940 la disponibilidad de equipo de movimiento de tierras de gran capacidad, especialmente en las minas de tajo abierto, permitió que la construcción de presas de relaves de tierra compactadas se realizara de una forma similar a la construcción convencional de presas para almacenamiento de agua y con el correspondiente grado de seguridad.

Además, alrededor de 1950 muchos principios fundamentales de ingeniería de presas fueron comprendidos y aplicados a las presas de relaves en muchas minas de Norteamérica. No fue sino hasta los años 1960, sin embargo, que la ingeniería geotécnica y las disciplinas adoptaron, refinaron y aplicaron ampliamente estas reglas empíricas de diseño. Las fallas sísmicas de un número de presas de relaves en Chile (1965) recibieron mucha atención y demostraron ser un factor clave en las primeras investigaciones del

7: Guía Ambiental para el Manejo de Relaves Mineros

fenómeno de licuación sísmica, una particularidad de la conducta de las presas de relaves que continúa siendo de especial significación en estos días.

Actualmente las minas han adoptado todas estas experiencias descritas y han optado por la mejora de la tecnología de procesamiento del mineral, tales como Milpo, Catalina Huanca, Mina San Rafael, las que destacan actualmente, para obtener relaves con porcentajes cada vez menores de agua.

A continuación se presenta un breve resumen de la evolución de los sistemas de disposición de relaves, desde el relave en pulpa convencional hasta llegar a la disposición de los relaves en pasta y filtrados:

- Siglo XIX - XX. La actividad minera se inició con pequeños lavaderos de oro y plata, utilizando depósitos de relaves contruidos de manera empírica, iniciando estos con presas-depósitos de relaves en forma de pulpa para luego pasar a la disposición de relaves espesados (separación de finos y gruesos).
- 1999 - 2001. La mina San Rafael en Puno aplicó la tecnología en un proyecto de relleno en pasta.
- 2005 - En funcionamiento desde este año en San Rafael, del proyecto de la planta de relleno de pasta estableció la norma en Perú.
- 2007 - El proyecto Cerro Lindo de Milpo (zona de costa) se desarrolló en 18 meses, las operaciones comenzaron en julio del 2007; se considera un proyecto de minería de éxito en términos de innovación tecnológica con la aplicación de la tecnología de relaves filtrados para la disposición en la superficie y la aplicación de la pasta de relleno.
- En el Perú, en la actualidad se cuenta con varias unidades mineras en implementación de este tipo de tecnología de obtención de relaves filtrados, debido a la escasez del agua, factores de clima, espacio, sismicidad, etc.

Los objetivos de este tipo de disposición de relaves son:

- Maximizar la recuperación de agua de proceso antes de ser descargada en el depósito de relaves.
- Minimizar el consumo de agua fresca.
- Disponer una masa de relaves más densa y menos permeable.
- Minimizar el área de impacto de los relaves.
- Minimizar las dimensiones de la presa de relaves.

1.2 GENERALIDADES

Las actuales tendencias en el manejo de desechos provenientes de la explotación minera han generado la existencia de depósitos residuales, debido a que gran parte de éstos actualmente no pueden ser reprocesados ni reutilizados en las etapas productivas, por lo que su disposición es la única opción viable para su manejo. A esto debe sumarse que en innumerables ocasiones se tiende a menospreciar su valor, debido a que se les considera como elementos sin ningún valor comercial conocido y cuyo costo de almacenamiento constituye un gasto, ya que en la mayoría de los casos no originan retornos económicos.

Hasta hace algunas décadas, era común en nuestro país y en otras naciones de carácter minero, deshacerse de los residuos derivados de las operaciones minero-metalúrgicas, utilizando para estos propósitos medios como lechos de ríos, lagunas, quebradas o valles más próximos al sector donde se desarrollaban las operaciones mineras. Cuando no se disponía de estos sectores naturales, las empresas solían almacenar los residuos en espacios que amurallaban con terraplenes levantados con los mismos relaves. Una vez que se agotaba el yacimiento, estos depósitos quedaban abandonados.

En la actualidad, debido a la existencia de regulaciones legales tanto técnicas como ambientales, se ha hecho más problemático liberarse de los residuos mineros con solo hacerlos desaparecer de la vista (utilizando los medios antes mencionados). Tanto los gobiernos, las comunidades y las personas, han reaccionado al factor de riesgo que generan estos residuos, tomando en consideración el posible impacto ambiental a la salud y seguridad de la población.

Hoy en nuestro territorio se aplican medidas en relación con todos los aspectos del manejo de estos residuos mineros, exigiéndose que se adopten criterios técnicos de diseño, construcción y operación de los depósitos, que permitan asegurar y dar permanencia a estos lugares.

El tema de tesis que se presenta, desarrolla un estudio sobre los aspectos del proceso de obtención, procesamiento, criterios de diseño y operación de los depósitos de relaves filtrados, considerando como base las normas técnicas y legales que los rigen para su correcta operación, para posteriormente realizar un análisis comparativo de formas de disposición de acuerdo a la topografía, clima y forma de obtención de los relaves filtrados; ello nos permitirá registrar la información generada en los procesos mencionados y darle un tratamiento útil, proporcionando con ello un aporte para la investigación de estudios alternativos que se puedan originar en esta nueva forma de almacenamiento y uso de los

relaves provenientes del proceso de obtención de minerales, en dos unidades mineras a ser estudiadas.

1.3 OBJETIVO GENERAL

Explicar la obtención, tratamiento y uso de los relaves filtrados en las etapas de diseño, operación, y el uso del relave filtrado como elemento principal en la construcción del propio depósito.

1.4 EVOLUCION DEL SISTEMA DE DISPOSICION DE RELAVES EN EL PERÚ

En 2001 el enfoque de ingeniería para un proyecto de relleno en pasta fue implementado por la mina de estaño San Rafael, de Minsur S.A., que considera la producción de pasta para el relleno de la mina como un sistema en un conjunto de circuitos dependientes. La planta de pasta se construyó en interior de la mina, en el centro y por encima del cuerpo mineralizado, para hacer uso extensivo de la distribución por gravedad, que se complementa con una estación de bombeo de desplazamiento positivo. En funcionamiento desde 2005, el proyecto estableció la norma en Perú⁶.

A principios del año 2000, el alto tonelaje de espesado de consistencia de pasta se convirtió en una opción viable para hacer frente a las condiciones geotécnicas y geológicas de los sitios de disposición seleccionada y la ventaja de utilizar menos agua de reposición.

Actualmente se han mejorado los sistemas de espesadores de alta compresión para grandes tonelajes, desde los modelos disponibles de 24 m de diámetro a principios de 2000, a 40 m y hasta 45 m de diámetro, prototipos que ahora están disponibles desde el 2006.

También ha habido un mayor entendimiento en la reología de alto contenido de sólidos de relaves tipo pulpa, que se produjo como resultado de la aplicación de diversas técnicas que incluyen: el método del viscosímetro para caracterizar un relave como la pasta de relleno, viscometría en relaves espesados, el índice de compactación en relaves filtrados, etc.

El sistema de relleno de pasta cementada en la mina de estaño San Rafael estableció un hito en 2005 como la primera aplicación exitosa de la tecnología (O. Cantorín, 2013)⁶. Digno de notar es que la planta de pasta se encuentra en interior mina, a 130 m por debajo de la superficie. La figura 1.1 es una ilustración de los equipos de la planta de pasta, que consiste en dos silos de cemento, filtros de disco, tolvas, mezclador y la estación de bomba de pasta.

6: Tailing2013 – First International Seminar on Tailings Management, Chile, 2013.



Figura 1.1: Vista general de la planta de pasta en mina San Rafael – Puño.

Por otro lado, en el proyecto Cerro Lindo de Milpo, las operaciones comenzaron en julio de 2007, y se considera un proyecto de minería de éxito en términos de innovación tecnológica con la aplicación de la tecnología de relaves filtrados para la disposición en la superficie (relaves filtrados) y la aplicación de la pasta de relleno.

La producción minera se estableció inicialmente en 5000 tpd, pero el rendimiento de la instalación de la mina y la producción se ha incrementado en los primeros años a 7000 tpd, llegando hasta el 2012 a una producción de 10 000 tpd y en la actualidad se tiene previsto una producción de 18 000 tpd. El agua dulce no está disponible para su uso por la mina, por lo tanto el agua se dispone solo de una planta desalinizadora de agua de mar, que se encuentra distante de la mina.

El diseño permite la disposición de los residuos totales tanto en la superficie de relaves filtrados apilados como a la mina subterránea como relleno (J.L. Lara y E. León, 2011)⁶. A partir de los residuos generados, el 55% se utiliza para el relleno en pasta y el 45% se deposita en la superficie como relaves filtrados. La mineralogía del mineral y el proceso de molienda permiten obtener altas tasas de filtración a través de los filtros banda horizontal.

La naturaleza de los sólidos de relave, el alto peso específico de las partículas y la molienda es fundamental para la susceptibilidad a la producción de relaves en pasta y filtrado. La figura 1.2 ilustra los cambios de la molienda con el tiempo durante un periodo de 6 años en la mina San Rafael. La granulometría de los residuos totales fue un criterio clave para la

6: Tailing2013 – First International Seminar on Tailings Management, Chile, 2013.

calidad del relave obtenido, y la susceptibilidad al relave estable. Un relave en pasta estable exhibe un bajo porcentaje de la tasa de purga de agua.

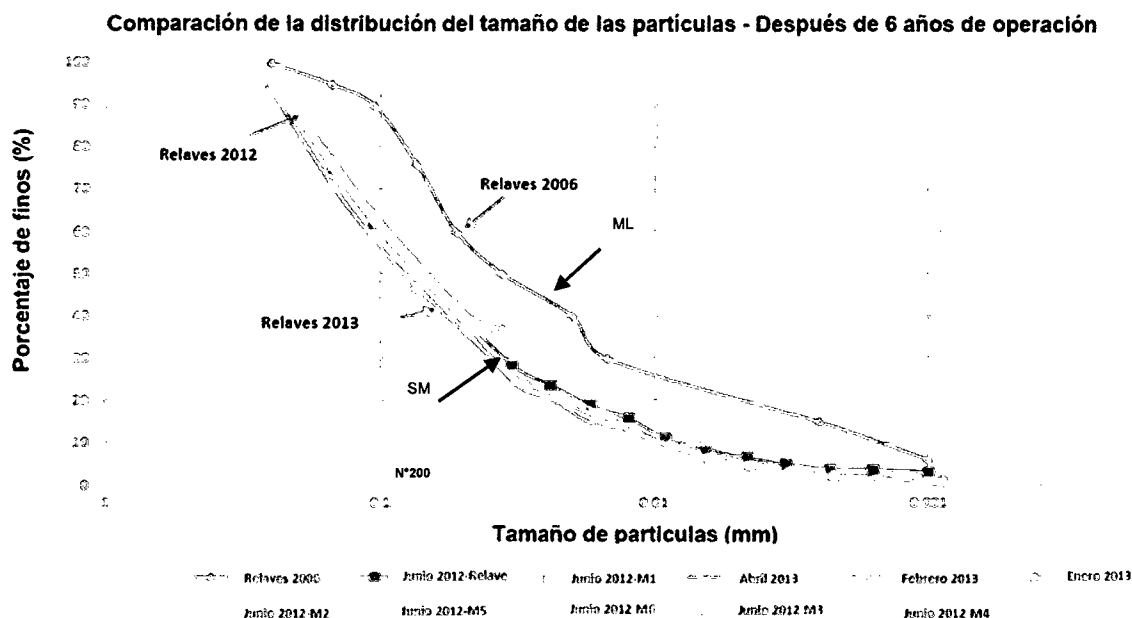


Figura 1.2: Cambio de la granulometría en el tiempo, relave en pasta, mina San Rafael.

La aplicación de la tecnología de la pasta de relleno y del relave filtrado ha tenido una mejora continua desde que el primer sistema fue puesto en funcionamiento en los altos Andes a finales de los 90. En el año 2001 la mina San Rafael aplicó la tecnología a través de las etapas de un proyecto como una alternativa, el programa de trabajo de pruebas en el material de relave, la introducción gradual de estudios de factibilidad para el nuevo proyecto, construcción, puesta en servicio y puesta en marcha. En este enfoque se vio la necesidad de equilibrar los relaves totales entre la superficie como relaves filtrados y el relave espesado en interior mina. Los avances en la tecnología de espesamiento y la tendencia a una mayor recuperación del agua de las instalaciones de relaves han hecho posible la aplicación de la disposición de los relaves, ya sea como relleno o como relaves deshidratados en la superficie.

1.5 TECNOLOGÍAS DE ESPESADO Y FILTRADO DE RELAVES

Para la selección del tipo de tecnología de obtención de los relaves, es importante saber la variación de los tipos de rocas, la variación del contenido de sólidos, la variación de la reología de los relaves en el transporte y la descarga; con estos aspectos se podrá definir la tecnología más adecuada de uso como se muestra en la figura 1.3 y de acuerdo a la tabla 1.1.

6: Tailing2013 – First International Seminar on Tailings Management, Chile, 2013.

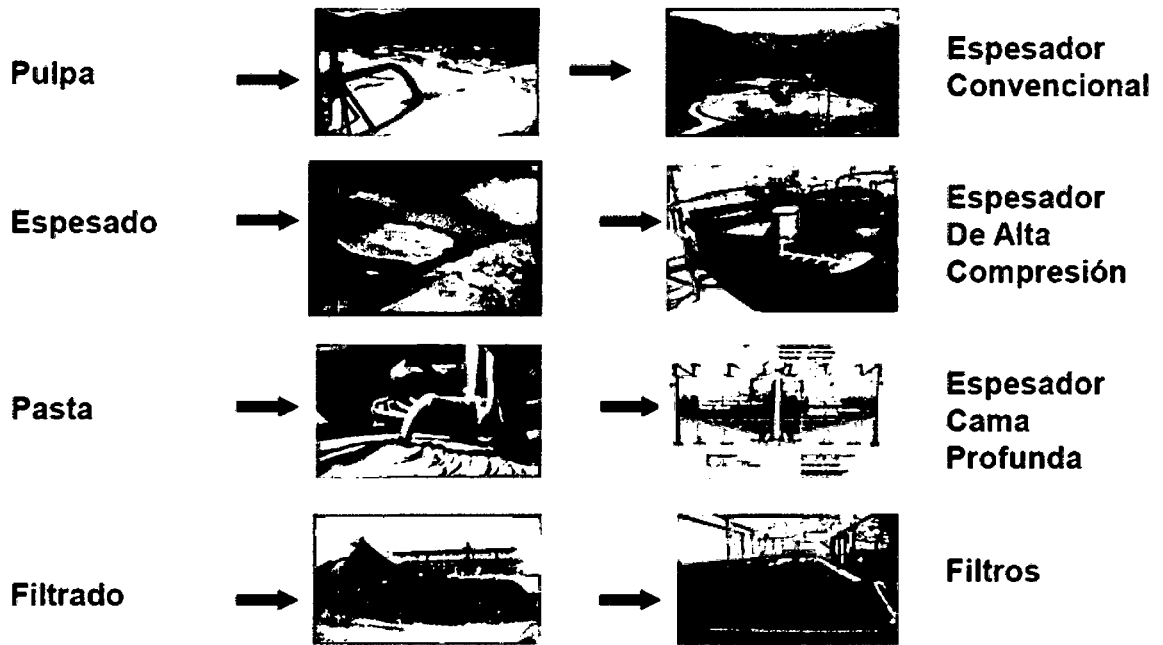


Figura 1.3: Producción de relaves desaguados.

- Relaves en pulpa, son relaves propiamente dicho a los cuales se les remueve una parte del agua, mediante el uso de espesadores convencionales para obtener una concentración de sólidos (C_s) con valores de 30-65%.
- Relaves espesados, son relaves a los cuales se les remueve gran parte del agua, mediante el uso de espesadores de alta compresión para obtener una concentración de sólidos con valores 65-75%.
- Relaves en pasta, se refiere a la pulpa con un alto % de sólidos entre 75-85% y que presenta una medida del asentamiento (slump), puede ser obtenida por espesamiento de pulpas diluidas (bajo % de sólidos) o por la combinación de una concentración de sólidos filtrados (relave filtrado) más agua.
- Relaves filtrados, es una operación, en la que una mezcla heterogénea de un fluido y de las partículas de un sólido se separa en sus componentes, gracias a la introducción de un medio filtrante (filtros, banda, presión, disco) que permite el paso del fluido, pero retiene las partículas de sólido, que están en una concentración de 85% a más de sólidos.

Tabla 1.1: Densidad vs Contenido de agua de los relaves.

Densidad de Pulpa (%sólidos)	Volumen de agua por tonelada de relaves (m^3/ton)	Consistencia del relave
30	2.3	Pulpa

Densidad de Pulpa (%sólidos)	Volumen de agua por tonelada de relaves (m ³ /ton)	Consistencia del relave
65	0.5	Espesado
75	0.3	Pasta
85	0.2	Filtrado

Fuente: Manual de Filtración & Separación⁴

Los relaves filtrados son primero espesados con floculantes y luego filtrados, de manera de obtener el contenido de agua adecuado para su disposición.

Por razones de estabilidad, los relaves filtrados requieren ser compactados. En este caso, se requiere la desecación de relaves *in situ*. La producción de relaves, la pluviosidad- evaporación del sitio, el tiempo y áreas de desecación, y la flexibilidad operacional puede limitar la aplicación de los relaves filtrados. El parámetro clave es el contenido de agua en los relaves depositados, como se indica en la figura 1.4.

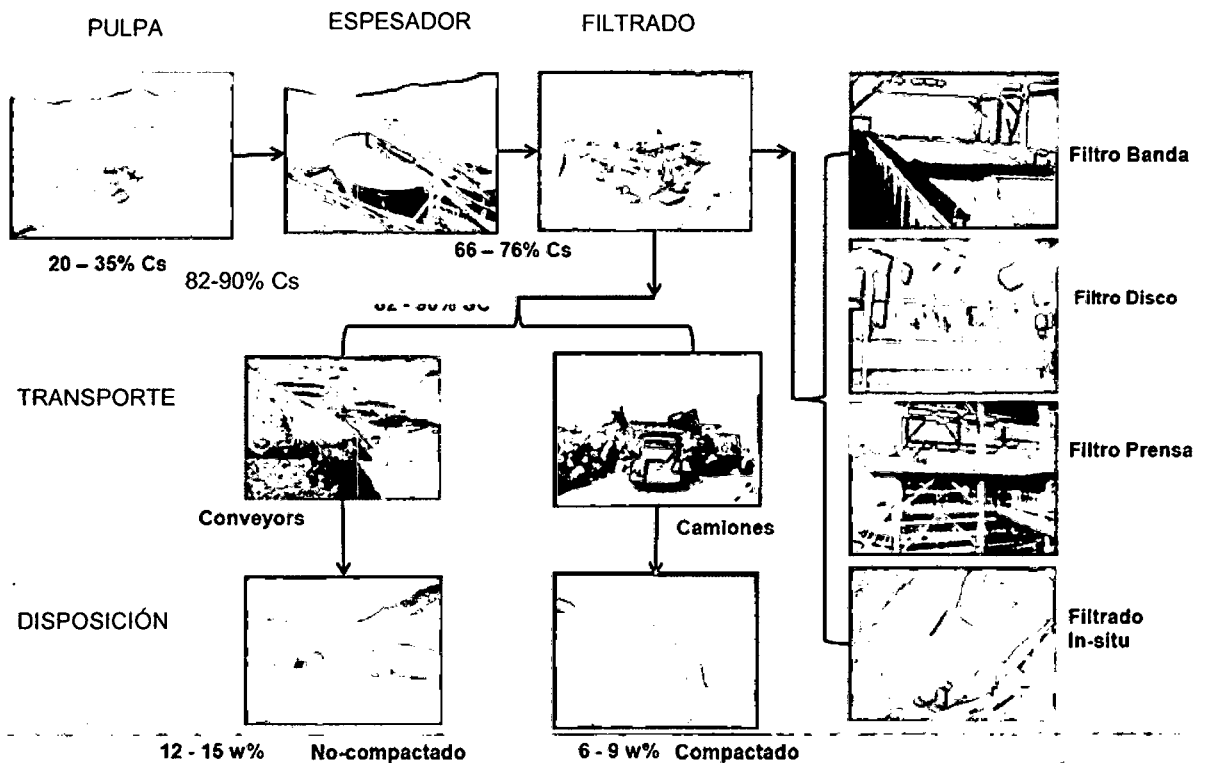


Figura 1.4: Filosofía de operación de depósito de relaves filtrados.

4: Manual de Filtración & Separación.

1.5.1 Instalaciones existentes

Existen varias instalaciones de disposición de relaves que utilizan filtros de banda para una disposición de relaves filtrados. Entre ellas destacaremos tres instalaciones en Chile y la que será tratada especialmente en este tema de investigación en el Perú (ver tabla 1.2).

Tabla 1.2: Instalaciones de relaves filtrados con filtros banda

Planta	País	Capacidad (tpd)	N° de filtros y tamaño
Mantos Blancos	Chile	12 000	3 de 100 m ²
La Coipa	Chile	18 000	12 de 100 m ²
El Peñón	Chile	3 000	3 de 54 m ²
Cerro Lindo	Perú	18 000	3 de 73 m ²

Fuente: Manual de Filtración & Separación⁴

Proyectos en operación de relaves filtrados en sudamérica

- Cerro Lindo (Perú) 18 ktpd
- Cobriza (Perú) 5 ktpd
- Catalina Huanca (Perú) 1.5 ktpd
- Horizonte (Perú) 0.2 ktpd
- Chinchán (Perú) 0.2 ktpd
- San Rafael (Perú) 2.6 ktpd
- La Coipa (Chile) 18 ktpd
- Mantos Blancos (Chile) 12 ktpd
- El Peñón (Chile) 3 ktpd
- Toqui (Chile) 1.8 ktpd

Datos operacionales de los principales depósitos de relaves filtrados en Sudamérica que se encuentran en zona costera (ver tabla 1.3):

Tabla 1.3: Datos de los principales depósitos de relaves filtrados en Sudamérica

Datos de Proyecto	Unidad	Mantos Blancos	La Coipa	El Peñón	Cerro Lindo
Ubicación		Chile	Chile	Chile	Perú
Producción	ktpd	12	18	2.6	18
Mineral		Cu	Cu	Au	Zn-Pb-Cu
Transporte		Faja Transportadora		Camiones	
Tipo de filtro		Banda	Banda	Banda	Banda

4: Manual de Filtración & Separación.

Datos de Proyecto	Unidad	Mantos Blancos	La Coipa	El Peñón	Cerro Lindo
Porcentaje de sólidos (Sc)	%	82-83	79-82	82-83	87-88
Clasificación	SUCS	SM	ML	ML	ML
% de finos	%	35-40	53-55	61-65	56-58
Gravedad específica de sólidos (Gs)		2.67-2.69	2.76-2.78	2.60-2.62	4.0-4.2
Compactación		No	No	No	Si
Precipitación media anual (PMA)	mm	<50	<50	<50	200
Evaporación media anual (EMA)	mm	>2000	>2000	>2000	1500

Fuente: Experiencias de Operaciones de Depósitos de Relaves Espesados y Filtrados⁹

La aplicación de relaves espesados - filtrados en la disposición de relaves se ha incrementado debido a:

- Menor disponibilidad de agua en el área del proyecto.
- Menor disponibilidad de áreas para uso como depósito de relaves.
- Son tecnologías de menor impacto al medioambiente (manejo de agua en el depósito de relaves es reducido).
- Avance en la tecnología de filtrados y espesadores (mayores tasas de filtrado y mayor tonelaje de espesamiento a menor costo).

A continuación se describirá algunos depósitos importantes en el tema de manejo de relaves filtrados:

- Mantos Blancos

En Mantos Blancos se ha filtrado los relaves desde el comienzo de los años 80. En aquel tiempo, el alto costo del agua fresca motivó la necesidad de recuperar agua adicional.

Los relaves de flotación son clasificados en hidrociclones separando los finos de los gruesos. Los finos son llevados a un espesador mezclados con floculante, parte de cuya descarga se junta con los gruesos del hidrociclón y son filtrados en tres filtros de banda de 100 m². La otra parte de la descarga varía de modo de minimizar el costo global de la filtración y del agua fresca. Originalmente se utilizaba filtros de discos, los que subsecuentemente fueron reemplazados por filtros de banda, por el costo de operación y filtrado del relave (menor contenido de humedad, mayor porcentaje de sólidos, menor consumo de agua).

Otro factor importante que determinó la necesidad de filtrar los relaves, fue la estabilidad del suelo. El alto contenido de sal en el área de disposición de relaves significaba que la

9: Experiencias de Operación de Depósitos de Relaves Espesados y Filtrados.

disposición húmeda podría causar problemas serios de disolución de las sales e inestabilidad del suelo bajo el embalse.

- La Coipa, Can Can y El Peñón

En las plantas La Coipa, Can Can y El Peñón se depositan los embalses secos para minimizar la percolación de soluciones con cianuro hacia las aguas subterráneas a través de las fracturas de la roca.

En la Coipa los relaves se transportaban en dirección hacia abajo y se esparcían usando un apilador. La operación de la planta pretendía producir un relave con una humedad de 21% sin embargo se reduce la humedad a solo 13% después del método de apilado. Modificaciones a este método podrían reducir aún más la humedad a 11%.

La tabla 1.4 muestra un resumen de la operación. No hay detalles de los costos de operación, pero es suficiente decir que la recuperación del cianuro paga por la operación de los filtros.

Tabla 1.4: Resumen de la operación de relaves en La Coipa

Operación	Residuo de la lixiviación del oro
Tipo de relaves	Filtración de relaves
Relave de filtración	21% humedad
Costo de operación	Pagado por la recuperación de CN
Requerimiento de agua de la planta	0.27 m ³ /ton

Fuente: Manual de Filtración & Separación⁴

4: Manual de Filtración & Separación.

CAPÍTULO II: FUNDAMENTO TEÓRICO

2 GENERALIDADES

Toda planta minera que usa procesos de concentración produce residuos sólidos: desmonte de mina (25% de la producción total) y relaves (65% de la producción total), en la presente tesis se tratarán de los relaves, los que corresponden a una “suspensión fina de sólidos en líquido”, constituidos fundamentalmente por el material presente *in situ* en el yacimiento, al cual se le ha extraído la fracción de mineral valioso, conformando una “pulpa”. Esta pulpa presenta una razón aproximada de agua/sólidos del orden de 1:1 a 2:1. Las características y el comportamiento de esta pulpa dependerá tanto de la razón agua/sólidos como de las características de las partículas sólidas. En general:

- Una masa de relaves con un gran contenido de agua escurrirá fácilmente, incluso con pendientes pequeñas.
- Por otra parte, si el relave presenta un contenido de agua suficientemente bajo (por ejemplo, relaves filtrados) no escurrirá gravitacionalmente.
- Si las partículas sólidas son de muy pequeño tamaño (equivalente a arcillas), se demorarán un gran tiempo en sedimentar, manteniéndose en suspensión y alcanzando grandes distancias respecto al punto de descarga antes de sedimentar.
- Por el contrario, si las partículas sólidas son de mayor tamaño (equivalente a arenas) sedimentarán rápidamente y se acumularán a corta distancia del punto de descarga.

Las alternativas a utilizar en la disposición de un material de relaves, dependerán de las características antes mencionadas de los relaves, así como de la escasez (costo) del agua, lo cual podría justificar inversiones en equipos para optimizar su recuperación, y de las características del lugar de emplazamiento del depósito de relaves.

Para conseguir estructuras estables para el depósito de relaves, deben determinarse sus características (granulometría, densidad relativa, razón de vacíos, etc.) de manera similar a lo que se hace con los suelos en el caso del desarrollo de obras estructurales sobre éstos.

2.1 DEPÓSITO DE RELAVES

Para la determinación adecuada de un lugar que permita el almacenamiento de los residuos mineros provenientes de los procesos de concentración, es necesario realizar el análisis de las diferentes características que presentan los emplazamientos, a partir de variables legislativas, ambientales, económicas y productivas principalmente, siendo la

siguiente información la mínima requerida para una alternativa de ubicación.

- Reglamentación existente.
- Características sísmicas del lugar.
- Características hidrológicas del lugar.
- Características topográficas.
- Características geológicas y geotécnicas del terreno de cimentación.
- Características de los relaves.
- Niveles de producción de relave.
- Potencial disponibilidad de arena a partir de relaves.
- Relación del proyecto con el medio ambiente y eventuales restricciones.
- Costos de operación.
- Facilidad de operación de todas las obras que componen el equipo.
- El sitio debe ser capaz de contener en lo posible la totalidad de la producción de relave, en forma ininterrumpida durante toda la vida útil de la obra.

Todos estos aspectos corresponden a factores generales, debiendo ser considerados en la elección y localización de un depósito de relaves. Para la elección de un emplazamiento se deberá analizar cada alternativa por separado, evaluando cada factor en forma particular y su incidencia en el comportamiento global de la mina.

2.1.1 Tipología de los depósitos de relaves

Existen diversos factores que deben considerarse para la localización de un depósito. En el pasado, la elección de una alternativa de emplazamiento solía basarse casi exclusivamente en los costos de operación, pero actualmente las consideraciones ambientales han incrementado su importancia pasando en algunos casos a estar encima de las económicas.

Los depósitos de relaves se pueden distinguir de acuerdo a elementos característicos, clasificándolos en forma general según el lugar de localización y la forma de disposición del material. En la tesis se tratará el tipo de depósito de acuerdo a la forma de crecimiento del dique de contención, y se procederá explicar la forma de disposición e implementación de los depósitos de relaves.

2.1.2 Características de los diques de contención

2.1.2.1 Método de crecimiento del dique

Existen tres métodos desarrollados en el ámbito de diseño de crecimiento de los diques. Todos estos pretenden emplear de la mejor forma posible los materiales de los depósitos,

siendo estos:

- Crecimiento del dique hacia aguas arriba
- Crecimiento del dique hacia aguas abajo
- Crecimiento del dique según línea central
- Crecimiento del dique hacia aguas arriba

Este método de crecimiento del dique no es contemplado en nuestra legislación principalmente porque se construye sobre material de relave sin consolidación, es decir, se levanta un depósito inicial o de partida y posteriormente se eleva periódicamente la fracción gruesa del relave hacia el interior del depósito (ver figura 2.1).

Esta forma de crecimiento no permite la construcción de drenaje en la cimentación del dique debido a las lamas, lo que lleva a que el nivel freático en el interior del dique sea muy elevado, disminuyendo así su resistencia efectiva. Además, la totalidad del dique resistente, va quedando cimentado sobre estratos de lamas saturadas y sin compactar, por lo tanto, presentan alto potencial de licuación en caso de ocurrencia de un sismo, lo que provocaría un colapso total del dique y el vaciamiento del embalse.

Es por esta razón, que el método de crecimiento del dique hacia aguas arriba no puede ser utilizado en zonas sísmicas como ocurre en nuestro país.

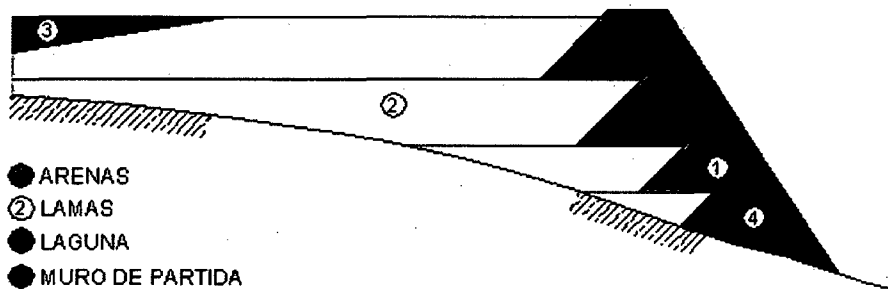


Figura 2.1: Crecimiento del dique según método aguas arriba.

- Crecimiento del dique hacia aguas abajo

Este método de crecimiento del dique es uno de los más desarrollados en nuestro país y tiene un consenso general a su favor, principalmente por la necesidad de requerir depósitos de mayor tamaño y seguridad (ver figura 2.2). En el método de crecimiento del dique hacia aguas abajo, la presa se levanta en dirección opuesta al depósito y por lo tanto, no está apoyada sobre relaves depositados previamente.

Las principales ventajas y desventajas de este método son las siguientes:

- Nada se construye sobre relave previamente depositado y compuesto por material suelto y fino.
- Los controles de relleno y compactación pueden ser aplicados como se desee durante la operación.
- Los sistemas de drenajes pueden instalarse según sea necesario durante la construcción, el drenaje por debajo permite controlar la línea de saturación a través de la presa aumentando su estabilidad.
- La presa puede ser diseñada y construida con un buen grado de seguridad, incluyendo su comportamiento ante movimientos sísmicos.
- Permite prevenir las filtraciones colocando una membrana impermeable al interior del depósito, la que se extiende cada vez que aumente la altura de la obra.
- Normalmente la presa puede levantarse por sobre la altura original con un mínimo de modificaciones de diseño. Esto es muy importante pues en la mayoría de las minas la reserva original puede agrandarse por nuevos descubrimientos; precios más altos para el metal, nuevos métodos de extracción, etc.
- Una desventaja es que ocupa mayor espacio al momento de crecer aguas abajo del depósito.

Por lo expuesto anteriormente, este es el método que conduce a mayores factores de seguridad para ser recomendado en zonas de alto riesgo sísmico.

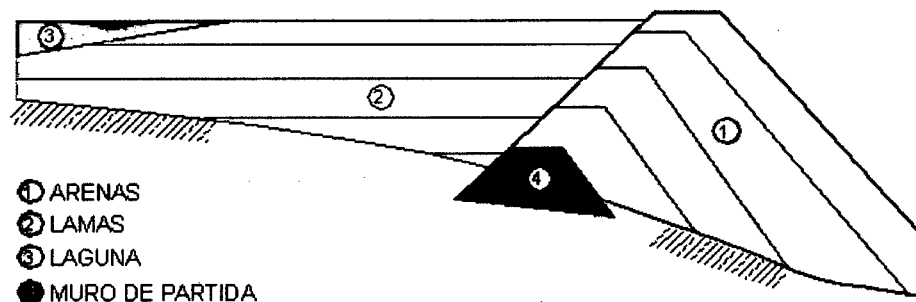


Figura 2.2: Crecimiento del dique según método aguas abajo.

- Crecimiento del dique según línea central

Este método consiste en ir elevando la cota del dique de arena manteniendo la berma de coronamiento en un mismo eje vertical (ver figura 2.3). En este método, la ladera de aguas arriba del dique, va quedando fundada sobre los estratos de lamas saturadas y sin compactar, las que son licuables en caso de un sismo; por esta razón no se recomienda su construcción en zonas de alta sismicidad.

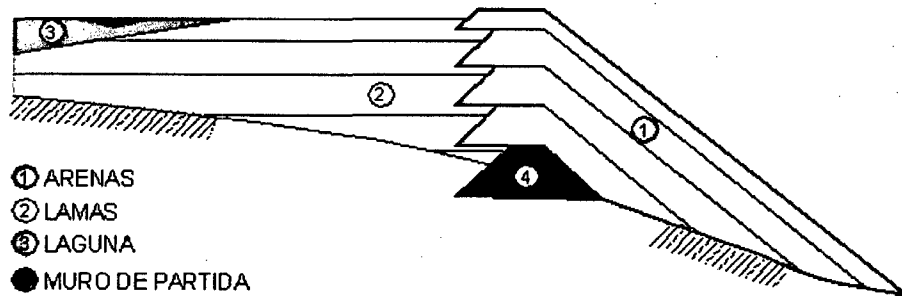


Figura 2.3: Crecimiento del dique según método de línea central

2.2 SISTEMAS DE FILTRACIÓN PARA LA DISPOSICIÓN DE RELAVES

2.2.1 Consideraciones en la construcción de un depósito de relaves filtrados

Una parte importante en un proyecto minero es la selección de la mejor forma de depositar los relaves provenientes de la operación-actividad, investigación que debe ser hecha por un ingeniero geotécnico. Esta investigación debe considerar:

- La licuación de los materiales del embalse por movimientos sísmicos.
- La percolación del agua del relave a través de las grietas y fisuras de la roca.
- Control de la entrada y salida de agua del área del embalse.
- Erosión y contaminación de ríos y suelos.
- Topografía del área de disposición y restricciones del volumen depositado.
- Localización del nivel freático.

Por otra parte, después de la construcción de la planta es necesario considerar todos los recursos necesarios para monitorear la operación del depósito.

La decisión a favor de una disposición seca de los relaves involucra inversiones adicionales en equipos, pero tiene ventajas en el largo plazo:

- Eliminación del riesgo de licuación de los materiales del embalse.
- Eliminación de la percolación.
- Facilidad de control del escape de agua.
- No hay riesgo de pérdida del embalse por erosión.
- Se eliminan los costos por murallas de retención.
- Se puede depositar mayor cantidad de material en una menor área.

2.2.2 Comparación de costos

Las tablas 2.1 y 2.2 comparan los costos de depósitos de relaves húmedos, utilizando hidrociclones para la construcción de los diques, con los de depósitos de relaves filtrados.

El objetivo de este estudio preliminar es analizar la potencialidad de cambiar desde un sistema convencional húmedo a un sistema de disposición en seco. No se incluyó un análisis financiero, pero las estimaciones preliminares demuestran que un sistema de relaves filtrados puede ser económicamente viable.

Tabla 2.1: Costo de un depósito de relaves húmedo

ITEM	COSTO EN US\$
Costos de capital	
Excavación, relleno, drenaje, tuberías, etc.	
Total	748.000
Costo de Operación (8 años en total)	
Espesamiento 5 US c/ton	
Bombeo 40 US c/ton	
Recuperación de agua 40 US c/ton	
Mantenimiento y otros 12 US c/ton	
Total	4 250.000
Costo de capital para nuevo depósito (después de 8 años)	748.000
COSTO TOTAL PARA 1500 tpd	5 750.000

Fuente: Manual de Filtración & Separación⁴

Tabla 2.2: Costo de un depósito de relaves filtrados

ITEM	COSTO EN US\$
Costos de capital	
Planta de filtros, espesadores, transportadora, etc.	
Total	1 450.000
Costo de Operación (8 años en total)	
Espesamiento 5 US c/ton	
Filtro banda 50 US c/ton	
Transportadoras/camiones 20 US c/ton	
Recuperación de agua 4 US c/ton	
Mantenimiento y otros 5 US\$ c/ton	
Total	2 800.000
Costo de capital para nuevo depósito (después de 8 años)	1 450.000
COSTO TOTAL PARA 1500 tpd	4 250.000

Fuente: Manual de Filtración & Separación⁴

4: Manual de Filtración & Separación.

2.2.3 Determinación del sistema de disposición de relaves filtrados

El primer factor a considerar es la motivación del usuario para considerar un sistema seco. Objetivos tales como el costo del agua, restricciones en el área para el depósito y las propiedades geofísicas del lugar, guían en la selección del equipo más económico.

2.2.3.1 Compactación de los relaves filtrados

En aquellos lugares en que existen problemas topográficos, como fugas de agua, problemas geofísicos, tales como fallas en la base por mal manejo del nivel freático, la construcción de embalses húmedos puede ser problemática. Los productos filtrados pueden ser compactados a un punto tal que sean impermeables. Esto reduce las posibilidades de percolación, erosión por agua o licuación como resultado de actividad sísmica.

Los relaves filtrados generalmente son obtenidos a una humedad de entre un 10 a 15%. Estando los relaves filtrados a estas humedades deben ser tratados de manera mecánica y/o a través de mezclas con material de préstamo, de tal forma que disminuya la humedad final y así se puede compactar a un nivel de humedad adecuado. Para la disposición en la superficie el efecto del sol y del viento, además de la ayuda de maquinarias de movimiento de tierra, permite que el producto se seque y alcance densidades de compactación.

El material compactado tiene la ventaja adicional que puede ser apilado a alturas significativas, permitiendo una utilización más eficiente del área del embalse.

La tabla 2.3 identifica las rutas de proceso, alternativas y su efectividad para producir un material compactado. La inversión de capital se refiere solamente al costo de equipos y no considera los costos por el área de disposición de los relaves.

Tabla 2.3: Comparación del costo de equipos vs. Método de desaguado

Equipos	% de sólidos en peso	Inversión de capital US\$	Efectividad para la compactación
Espesadores	50 - 60	330.000	No
Espesadores de alta densidad	65 - 75	450.000	No
Espesadores de alta densidad (finos) y filtros (gruesos)	70 - 75	700.000	Depende de la razón fino/grueso
Filtros de vacío	75 - 83	900.000	Después de 10 días
Filtro de presión	80 - 87	2 000.000	Después de 2 días

Fuente: Manual de Filtración & Separación⁴

4: Manual de Filtración & Separación.

2.2.3.2 Recuperación de agua

Los equipos de sedimentación y filtración tienen la ventaja de retornar agua a la planta inmediatamente. Los embalses también recuperan agua, pero esta agua almacenada en el área del embalse restringe el volumen disponible para disposición de los relaves. También hay un costo de energía necesaria para bombear el agua desde el embalse a la planta. La tabla 2.4 muestra la reutilización de agua estimada para las alternativas de desaguado para una planta de flotación de 1 500 tpd.

2.2.3.3 Percolación

Los relaves compactados no liberan volúmenes significativos de agua en exceso. Generalmente esta agua surge a la superficie del material y se evapora. El agua restante se mantiene impregnando los sólidos compactados como líquidos de saturación. De esta manera se minimiza la contaminación de aguas subterráneas (ver tabla 2.4).

Tabla 2.4: Comparación del uso de agua vs. Tipo de equipo utilizado.

Equipos	Cantidad de agua utilizada m ³ /ton	Inversión de capital US\$	Tipo de relave
Espesadores	1.0-1.3	330.000	Húmedo
Espesadores de alta densidad	0.6	450.000	Húmedo
Espesadores de alta densidad (finos) y filtros (gruesos)	0.4	700.000	Depende de la razón fino/grueso
Filtros de vacío	0.25	900.000	Seco/filtrado
Filtro de presión	0.18	2 000.000	Seco/filtrado

Nota. No considera agua recuperada desde el embalse.

Fuente: Manual de Filtración & Separación⁴

2.2.4 Tipos de equipos

Como una regla práctica, las restricciones de las áreas de embalse requieren que el producto sea filtrado. Cuando las limitaciones se refieren al agua, una combinación de espesador-filtro es el más favorable. Las opciones típicas de equipos se muestran a continuación:

2.2.4.1 Filtro prensa

El filtro prensa es utilizado principalmente para filtración de productos químicos o de concentrados. El ciclo de filtrado requiere que las cámaras de presión sean llenadas y vaciadas. Esto significa que el tiempo dedicado efectivamente a la filtración es solo una

4: Manual de Filtración & Separación.

fracción del ciclo total. Por esta razón, estos filtros tienen una capacidad relativamente pequeña. Como resultado de esto, los costos de capital y operaciones por tonelada suelen ser altos, pero la humedad obtenida es baja.

2.2.4.2 *Filtro de discos*

El filtro disco está sumergido en la suspensión a tratar y utiliza la aplicación de vacío al medio filtrante, lo cual origina la formación de un depósito o torta sobre la superficie exterior del disco conforme este va pasando en su giro por la suspensión. Los filtros de discos al vacío son muy conocidos en el ambiente minero. La experiencia ha demostrado que la capacidad de los filtros de discos es 30 a 60% menor a la de los filtros de banda. Como resultado, los costos operacionales son mayores, en tanto que las humedades son similares.

2.2.4.3 *Filtro de bandas*

Este filtro utiliza una banda horizontal accionada por una polea. El vacío es producido a través de aberturas en la banda. Como la capacidad por tonelada es alta, el equipo ha sido aceptado en general como el más económico para filtrar relaves. Aun cuando la humedad es similar a la de los filtros de discos, se ha encontrado que los filtros de banda producen una humedad de 1 a 2% menor.

2.2.4.4 *Espesador de alta densidad*

El espesador de alta densidad (HD) es similar en su construcción a un espesador convencional, pero se basa en una mayor altura, mayor tiempo de residencia y mayor uso de floculante para una mayor recuperación de agua. Aunque este equipo no produce fácilmente material para compactación, genera una pasta que puede servir adecuadamente para relleno subterráneo con una mayor recuperación de agua.

El costo de capital y el costo unitario de operación son bajos para este equipo, sin embargo, las propiedades altamente plásticas de la pasta producida pueden crear dificultades en el bombeo. Por esta razón se debe utilizar bombas de desplazamiento positivo, las que requieren una gran inversión (más de 1 millón de dólares) y un alto costo de operación, lo que, frecuentemente, hacen este procedimiento antieconómico.

La tabla 2.5 resume los costos de capital y de operación. El análisis considera un escenario de 8 años tratando relaves de una planta de flotación de 1500 tpd.

Tabla 2.5: Comparación del costo de capital y operacional para diferentes sistemas de desaguado

Equipo	Humedad % en peso	Costo Equipo US\$	Costo Operacional US\$/ton	Costo total 8 años de operación
Filtro prensa	15	2 000.000	0.913	6 800.000
Filtro de discos	22	900.000	0.760	4 900.000
Filtro de banda	21	886.000	0.395	2 900.000

Fuente: Manual de Filtración & Separación⁴

En la tabla se muestra que el filtro banda horizontal es la alternativa más económica globalmente.

2.3 ESTABILIDAD DE LAS PRESAS DE RELAVES

La estabilidad física de los depósitos de relaves tanto durante la época de operación como en el periodo de cierre, está determinada por la estabilidad de las presas y las estructuras relacionadas a ella, que se usan para retener los relaves descargados. El punto central para comprender los problemas de estabilidad es la apreciación de los tipos de depósitos de relaves y cuál ha sido su comportamiento sísmico.

2.3.1 Estabilidad y causas de las fallas en las presas de relaves

- Deslizamiento de los relaves

Cuando los relaves son liberados a través de una brecha en la presa del embalse, debido a la inestabilidad del talud, rebose, sismos o algún evento externo, el resultado, en la mayoría de los casos, es un deslizamiento o falla de flujo de los relaves. En tales casos se libera cerca del 25% del contenido de los embalses pues los relaves saturados asumen su estado original de fluido bajo la influencia de las grandes tensiones inducidas en el depósito por la brecha del dique de contención. Moviéndose como una masa de lodo y desplazándose a velocidades de 15 a 50 km/h, el deslizamiento de los relaves constituye el principal riesgo para la vida y seguridad de estos depósitos de relaves.

El primer objetivo del manejo de relaves debe ser la mitigación de los deslizamientos de relaves y sus efectos, previniendo las fallas en las presas.

- Causas de fallas durante la operación

Mucho es lo que se puede aprender del examen de las causas de anteriores fallas en las presas de relaves, y tal estudio ha incluido 106 de estas fallas reportadas en los Estados Unidos y en otros lugares (USCOLD, 1994)⁷.

4: Manual de Filtración & Separación.
7: Guía Ambiental para el Manejo de Relaves Mineros.

Para estas presas en operación, es aparente que la contribución relativa de las varias causas de fallas es sustancialmente diferente entre las presas del tipo “aguas arriba” y los otros tipos. Claramente, los sismos y la estabilidad del talud o dique son las principales causas en los tipos “aguas arriba”, durante el periodo de operación. Ninguna causa singular predomina para otros tipos, aunque las fallas por infiltración (incluyendo el socavamiento) son de alguna manera más importantes que otras.

2.3.2 Estabilidad estática durante la operación

La estabilidad “estática” se refiere a la integridad interna y externa de la presa bajo ningún efecto externo, solo es una estabilidad interna con respecto al reacomodo de partículas y peso propio del depósito, incluyendo la estabilidad de sus taludes y sus cimientos contra deslizamientos, un control seguro de infiltraciones, y la resistencia a la erosión interna o transporte de partículas a través de la misma presa conocido como “tubificación”. La estabilidad estática está controlada por las propiedades de los materiales de relleno de la presa y los suelos en los cuales se asientan.

- Materiales de relleno para la construcción de presas de relaves

La construcción de un depósito de relaves requiere de un dique de arranque, el cual por razones de economía es usualmente construido utilizando suelos naturales tomados del área del embalse. Para evitar conflictos con las actividades de arranque de la planta concentradora, el dique de arranque debe proporcionar suficiente capacidad de almacenaje de relaves, de tal manera que la primera elevación de la presa no necesite completarse en un tiempo prudente después del inicio de la descarga de relaves al embalse. Para valles estrechos y empinados esto puede requerir alturas de 50 m o más, de tal manera que el dique de arranque puede ser en sí mismo un estructura real.

La elevación de un dique puede continuar con suelos naturales si estos están disponibles. Este es el material más versátil para la construcción de presas de relaves, pero no será práctico para la mayoría de las instalaciones en el Perú. Solo las operaciones de tajo abierto ameritan trasladar equipos pesados de movimiento de tierras desde lugares muy distantes. Nuevamente el desmonte de minas de tajo abierto, puede proporcionar una fuente muy económica de material de relleno para la presa, si los embalses de relaves están cerca o aguas abajo del tajo y si este material no presentará potenciales problemas geoquímicos de drenaje ácido y lixiviación de metales. También, las operaciones iniciales de arranque toman de 1 a 2 años para afinarse, y los materiales más críticos para la integridad de la presa son a menudo colectados durante este tiempo. Sin embargo, aún los

mejores materiales no proporcionan una estructura sólida a no ser que sean adecuadamente compactados.

- Compactación

La compactación mejora el comportamiento sísmico del relleno de presas de relaves, y esta además sobre-enfatizar su importancia bajo las condiciones en el Perú. El relleno de tierra o relave debe ser compactado hasta por lo menos 90% o 95% de las máximas densidades secas obtenidas con las pruebas de compactación Proctor estándar (ASTM D-698), y el criterio de compactación Proctor modificado (ASTM D-1557). Al respecto el ministerio de energía y minas (MEM) recomienda el proceso de compactación en suelos del tipo arenas limosas, limos arenosos.

Una adecuada compactación del relleno del relave filtrado se puede alcanzar usualmente colocándolo en capas horizontales delgadas (<0.30m) seguido de 4 a 6 pasadas del equipo compactador, pudiendo utilizarse también camiones de transporte minero cargados. Para materiales tales como arena cicloneada, con menos del 10% de finos de 0.074 mm, los requerimientos de una densidad relativa estarán alrededor de 75-80%. Los compactadores vibratorios pueden compactar eficientemente este tipo de materiales limpios. Tanto el material de préstamo y la arena cicloneada deben ser inspeccionadas y probadas durante la colocación y construcción (se realizará una mezcla de relaves y material de préstamo) de las presas de relaves, para asegurar que el material y su compactación estén dentro de las especificaciones deseadas.

El relleno con desmonte de mina es diferente porque su tamaño más grueso no requiere las pruebas de rutina de densidad del relleno, y se adoptan más bien otros tipos de procedimientos. Si el relleno es colocado en capas de 1 m o más, se trata de un relleno controlado más no estructural, en estos casos usualmente se utiliza el paso de camiones de mina cargados de gran capacidad (>120 t de capacidad) para la compactación, aún sabiendo que este procedimiento no garantiza la compactación de toda la capa de manera eficiente. El tamaño máximo del material colocado debe ser siempre menor o igual que los 3/4 del espesor de la capa. El número de pasadas dependerá de la deformación de la superficie compactada, siendo usual realizar terraplenes de prueba para determinar este número de pasadas mínimo que produzca la mayor cantidad de asentamiento, siendo la densidad de compactación controlada a partir de ensayos de reemplazo de agua en calicatas de por lo menos 1 metro de diámetro.

Cuando el desmonte es colocado mediante vaciado únicamente, sin esparcimiento y compactación, se denomina relleno masivo y esto no garantiza un relleno de aceptable

calidad para las zonas estructurales de la presa, siendo necesario la construcción de un dique muy robusto con un ancho de cresta muy grande para garantizar adecuadas condiciones de estabilidad.

Es importante mencionar que en el caso de rellenos controlados o masivos, es de esperar desplazamientos verticales y horizontales del relleno, mucho mayores que en el caso de un relleno estructural, sin embargo, debido a los grandes tamaños que puede emplearse, es de esperar que la resistencia cortante sea mayor o por lo menos igual que en el caso de un relleno estructural.

- Filtros y drenes

El control de la infiltración interna dentro de la presa por medio de drenes para reducir los niveles de saturación o la "superficie freática", y zonas de filtración para prevenir el socavamiento, son esenciales para la estabilidad estática y sísmica. La infiltración es una causa significativa de las fallas de las presas "aguas abajo", de "línea central" y de "retención de aguas". Muchos de esos casos están relacionados con la infiltración emergente en la cara del dique y pueden ser prevenidos con la inclusión de drenajes internos adecuados.

Los filtros son especialmente importantes para prevenir la migración de los relaves dentro y a través del desmante de mina grueso. Los filtros requieren un control muy cuidadoso durante su colocación y el lavado y cernido del material de filtro; estos procedimientos no son compatibles con las condiciones y economía del minado. Una ubicación selectiva de las porciones más finas y gruesas del desmante de mina para cumplir funciones de filtro puede no ser confiable. Como una alternativa se pueden utilizar telas sintéticas (geotextil) en las presas de relaves, y confiar en que resistirán los procesos de deterioro que ocurran durante la vida operativa de la mayoría de los depósitos; sin embargo, estos elementos han probado en mucho proyectos que no son eficientes debido a que se obstruyen fácilmente con las partículas finas de los materiales en contacto con ellos.

- Monitoreo de la Construcción, Inspección y Supervisión

El diseño y construcción son procesos que usualmente se desarrollan conforme la presa - depósito va creciendo durante la vida de la mina. Los informes de las inspecciones que documentan la configuración de la presa conforme va creciendo, son parte necesaria de la operación de construcción. Además, es esencial la instalación y monitoreo de piezómetros para medir la superficie freática dentro de la presa. El depósito debe ser inspeccionado

visualmente a diario buscando cualquier signo de inestabilidad, y llevar registros de instrumentación, los cuales deben ser cuidados y mantenidos por la empresa minera.

Periódicamente, y a intervalos no mayores de unos pocos años, una completa revisión de los parámetros de diseño y de todos los informes anteriores debe ser efectuada por un ingeniero geotécnico que tenga experiencia especializada en presas de relaves. En dicha instancia, cualquier problema existente o futuro puede ser identificado, y el diseño o construcción de la presa modificado conforme convenga. Los reportes sobre el diseño y construcción son esenciales para este propósito; sin ellos, la información necesaria puede obtenerse únicamente mediante perforaciones y muestreos, con un costo considerable para la operación.

2.4 PLANTA DE RELAVES FILTRADOS

En esta sección se describirá de manera general las dos plantas de filtrado que incluye este trabajo de investigación, las cuales pertenecen a dos unidades mineras ubicadas una en zona de sierra y la otra en una zona costera y que cuentan en la actualidad con el sistema de filtrado de relaves, cada una con sus características únicas de obtención, proceso, transporte, topografía, clima, etc. A continuación se describirá tanto el Caso 1 como del Caso 2:

2.4.1 Caso 1: Depósito en zona de sierra

La presentación de este caso tiene como finalidad mostrar la disposición de los relaves filtrados de un proyecto ubicado en zona de sierra, con el fin de proveer la información del proceso para conocer el funcionamiento del sistema de filtro de prensa en la sección de filtrado de relaves de la planta de beneficio.

2.4.1.1 Disposición de relaves

El tipo de sistema de filtro que se viene utilizando es del tipo prensa, siendo el principal equipo instalado de 2.0 x 2.0 m y 60 placas mixtas con capacidad para 600 t/d de relaves húmedos (máximo 16% de humedad del relave filtrado), lo cual ha permitido un mejor manejo en la disposición final de los relaves, incrementando la calidad del agua recuperada, disminuyendo el volumen de relave en pulpa que se envía a las relaves y permitiendo reprocesar parte del material acumulado en las canchas de relaves existentes.

Bajo estas condiciones se ha determinado como conveniente para la mejora de las operaciones la instalación de un equipo de filtrado a presión en la planta de filtrado de relaves, con el objetivo de procesar en este equipo todo el relave producido por la planta concentradora, logrando con esto la reducción de uso de energía eléctrica, la

mejora en la calidad y en cantidad del agua enviada de retorno a la planta concentradora, la reducción del volumen de relaves enviados a las relaveras y la reducción al mínimo del envío de relaves sin procesar a las relaveras.

Para la disposición, el total de los relaves filtrados son transportados desde la cancha temporal hasta las áreas destinadas de acopio en el depósito Amanda I y áreas cercanas al depósito Ramahuayco, las cuales luego de tener la humedad óptima de mezcla, el cual se obtiene a través de medios mecánicos (batido con tractor o motoniveladora), son mezclados con el material de préstamo obtenido de las canteras clasificadas.

2.4.1.2 Descripción del proceso de disposición de relaves

La planta de filtrado tiene el siguiente esquema de filtrado del relave y la disposición de los relaves dentro del proceso de compactado:

- Transporte y alimento del relave
- Separación del relave fresco
- Espesamiento de los finos del ciclón
- Recomposición del relave
- Filtración a presión
- Recolección de derrames
- Tratamiento y recuperación de agua
- Descarga de relaves filtrados a la pila
- Carguío de relaves filtrados a la pila
- Transporte y descarga a la zona de mezcla
- Mezclado y carguío del material hacia la zona de conformación
- Conformado y compactado del relave más préstamo
- Pruebas de compactación in situ
- Ensayos de compactación de Proctor modificado

2.4.1.3 Filtración del relave

Operación de Filtro Prensa N° 1

El filtro de 2 x 2 m de tamaño de placas, consta de 60 placas con cámaras mixtas (cámaras rígidas con cámaras con membranas presurizadas) de 32 mm y tiene una capacidad nominal para 600 t/d de sólidos secos filtrados. El filtro produce una torta con una humedad final promedio de 15%. La torta es transportada por faja de transporte hacia el depósito de relaves existente.

En el inicio del ciclo, mediante dos cilindros hidráulicos de doble efecto equipados en cada lado del filtro, se realiza el cierre de las cámaras del filtro. Finalizado el cierre hidráulico, se inicia la etapa de alimentación de pulpa, en donde la pulpa se alimenta hasta alcanzar la presión de 5.5 bar. Durante la alimentación, la pulpa es impulsada a través de las lonas filtrantes, produciendo una solución clara y una torta de filtrado cuyo espesor va aumentando y de esa manera ofreciendo cada vez más resistencia al paso del fluido. En esta etapa es donde se logra la remoción de cerca del 70.0 a 72.0% del total de solución filtrante.

Culminada la etapa de alimento, empleando aire a presión por medio de conductos entre las cámaras, se realiza una etapa de presurización de las membranas hasta lograr una presión de 8 bar, consiguiendo con esto una compactación de la torta formada y una consecuente reducción del contenido de agua de la torta, consiguiéndose extraer hasta un 8.0% del total de solución durante esta etapa. Para remover el volumen de pulpa que se retuvo en las tuberías de alimentación, se realiza una limpieza de las tuberías de alimento. A continuación viene el despresurizado de las membranas y la pre-apertura de las cámaras. Se espera que parte de la solución atrapada entre los conductos de las cámaras gotee y se separe para que no caiga junto con la torta seca.

La descarga de la torta seca se realiza por medio de una compuerta de descarga posicionada debajo de las placas hacia una faja transportadora.

El ciclo de filtración termina en la etapa de lavado de las lonas y las cámaras. Agua a presión, a una tasa de 600 L/ciclo se rocía mediante boquillas colocadas en la parte superior y en las dos laterales del filtro. La alimentación del agua de lavado se hará desde un reservorio de agua, con una capacidad de 5.0 m³, por medio de una bomba centrifuga.

La tabla 2.6 presenta el tiempo de cada etapa del ciclo de filtración, de acuerdo a la información proporcionada por el fabricante del filtro y en la figura 2.4 un esquema general del proceso de obtención del relave filtrado.

Tabla 2.6: Tiempos de cada etapa del ciclo de filtración

Ciclo de Filtración	Unidad	Tiempo
Cierre hidráulico	s	145
Alimentación de pulpa	s	600
Presurización de membranas	s	240
Lavado de tubería de alimento	s	5.00
Limpieza de canal de alimentación	s	5.00
Despresurización y pre-apertura	s	5.00

Ciclo de Filtración	Unidad	Tiempo
Goteo - apertura compuerta	s	5.00
Descarga total	s	150
Lavado de cámaras	s	50.0
Tiempo de ciclo total	min	20.0
Nº Ciclos por hora		2.26

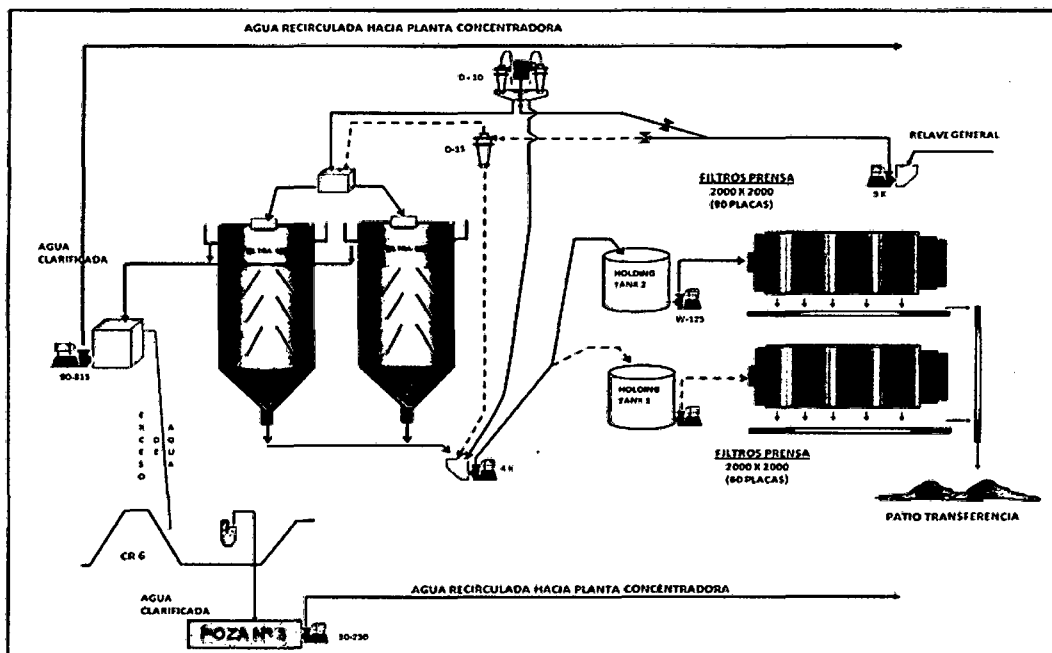


Figura 2.4: Esquema general del proceso de obtención de relaves filtrados

2.4.2 Caso 2: Depósito en zona de costa

La presentación de este caso tiene finalidad mostrar la disposición de los relaves filtrados de un proyecto ubicado en zona costera, con el uso de tecnología de punta que permite maximizar el uso de agua en las operaciones minero-metalúrgicas, siendo un método nuevo referente al manejo de relaves; reafirmando la política de cero vertimientos de efluentes al medio ambiente.

Los relaves generados en la planta concentradora, entre 31-34% de sólidos (densidad de pulpa entre 1300-1350 g/l), son enviados a una planta de espesamiento que cuenta con un espesador de alta compresión (high compresion), del cual se obtiene un underflow de relaves con 80-83% de sólidos (densidad de pulpa entre 2500-2700 g/l), desde este espesador se envía el 55% del relave hacia la planta de pasta donde se filtra hasta alcanzar el 86% de sólidos y se mezcla con cemento para alcanzar la resistencia necesaria y ser utilizado como relleno de los tajeos subterráneos de la mina. El 45% del total de los

relaves generados en la planta concentradora son conducidos a la planta de filtrado en donde los relaves saldrán con un contenido de sólidos de 88%. Se estima que se depositará un volumen total aproximado de 10 Mm³.

En el presente trabajo se exponen las ventajas de la aplicación de la tecnología de disposición de relaves filtrados en superficie con la finalidad de utilizar óptimamente el agua, recirculando al proceso y generando un menor impacto social y ambiental provocado por las operaciones minero-metalúrgicas.

La planta concentradora procesa minerales de cobre, plomo y zinc y se encuentra ubicada en la provincia de Chinchá, Departamento de Ica, a una altitud entre 1820 a 2200 msnm. Esta planta concentradora, actualmente cuenta con una capacidad de tratamiento de 10 000 t/d, el proceso de obtención se detalla gráficamente en la figura 2.5.

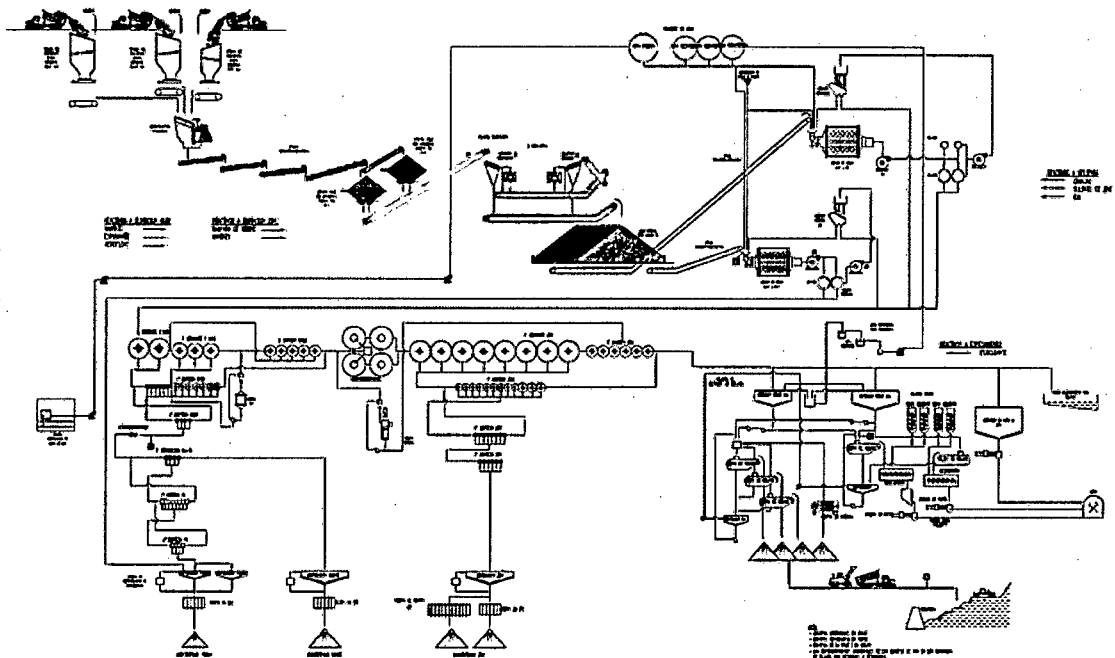


Figura 2.5: Esquema general del proceso de obtención de relaves filtrados

2.4.2.1 Disposición de relaves

La unidad minera tiene dos plantas para la disposición de relaves; una planta de relleno en pasta y una planta de filtrado de relaves. Para la disposición de la pasta de relleno se usa la proporción de 55% para el sistema subterráneo y 45% a nivel de superficie.

La planta ha sido diseñada para manejar completamente los relaves provenientes del proceso de concentración en la unidad después de la obtención de los productos concentrados de cobre, plomo y zinc.

2.4.2.2 Descripción del proceso de disposición de relaves

Las etapas del proceso para la disposición de relaves como pasta para relleno superficial o subterráneo se resumen como sigue:

- Manejo de relaves (alimentador al espesador)
- Espesamiento
- Sistema del floculante
- Transporte de pulpa de relaves
- Alimentación al filtro
- Filtración del relave
- Descarga de relaves filtrados a la pila
- Carguío de relaves filtrados a camiones
- Transporte y descarga de relave filtrado en la zona de disposición superficial
- Disposición para el desecado de relaves
- Conformado y compactado del relave
- Pruebas de compactación *in situ*
- Ensayos de compactación de Proctor estándar

2.4.2.3 Filtración del relave

La filtración del relave se realiza en dos plantas según los requerimientos operativos, relleno en pasta o disposición superficial, los datos técnicos de la planta de filtrado se describen en la tabla 2.7.

- Planta de pasta

En la planta se elabora una pasta que consiste en una mezcla de relave (88% sólidos), cemento tipo V, *fly ash* y agua, hasta obtener la consistencia definida para poder ser bombeada y rellenar a los diferentes niveles de tajos explotados.

- Planta de filtrado de relaves

La planta de filtrado está localizada muy próxima al depósito de relaves, el mismo que está constituido por un filtro de banda horizontal de 73 m² y dos plataformas. Estas plataformas están interconectadas al camino de operación que permite la disposición de los relaves al depósito de relaves filtrados.

El filtro de banda horizontal se alimenta continuamente por bombeo controlado mediante un lazo de control entre la bomba y el sensor de nivel del tanque, el cual está equipado con un agitador para mantener en suspensión los sólidos de la pulpa. La alimentación al

filtro se distribuye uniformemente sobre la banda en el extremo opuesto del rodillo de tracción del filtro de banda.

En el primer tercio de la longitud del filtro, se construye una torta con una tasa de formación de 5 a 9t/m²/hora a lo largo y ancho de la banda. En el último tercio tiene lugar el secado de la torta hasta 88-89% sólidos, dependiendo de la velocidad de transporte de la banda que es regulada por un motor de tracción de velocidad variable.

El equipo consta de una bomba de vacío Nash, receptor de filtrado (agua) y un sistema de sello para la banda sobre la que descansa la tela filtrante; la tela en su recorrido sobre la banda transportadora se separa al extremo del rodillo de tracción para ser lavada continuamente lo que le permite minimizar las pérdidas en la tasa de filtración por blindaje o colmatación de la tela filtrante.

El producto del equipo de filtración es una torta de aproximadamente 10-12 mm de espesor de descarga continuamente a todo lo ancho de la banda sobre una faja transportadora colocada en forma perpendicular al flujo de salida del filtro por debajo del extremo de descarga. La faja envía el relave filtrado a la plataforma de carguío de los camiones que llevan el material a su disposición superficial en la presa de relaves.

El filtrado effluente del sistema de vacío (solución filtrada) llega a un tanque y al receptor, desde donde es bombeado hacia el agua de lavado de tela y banda de filtro y el rebose del tanque; todos estos caudales de agua son recirculados al espesador de relaves (tanque de alimentación al espesador), cuyo rebose retoma el agua a los tanques de almacenamiento de agua de proceso (recirculación de agua de proceso).

Tabla 2.7: Datos generales de planta de filtrados de relaves – Caso 2.

Descripción	Valor/Unidad
Altitud sobre nivel del mar	1850-2200 msnm
Precipitación promedio anual	200 mm
Humedad relativa máxima (verano)	30%
Velocidad del viento	75 km/h
Temperatura máxima del aire	30 °C
Temperatura mínima del aire	10 °C
Evaporación promedio anual	3.32 mm/día
Tipo de terreno	Rocoso
Zona sísmica	3

Fuente: Elaboración Propia

CAPÍTULO III: CRITERIOS DE DISEÑO Y OPERACIÓN

3 GENERALIDADES

Los criterios de diseño - operación serán aplicados para cada caso de estudio, debido a que cada escenario es diferente en cuanto a clima, obtención de relaves filtrados, operación del depósito de relaves, etc; de acuerdo a estas premisas se detallarán los criterios tomados para cada caso estudiado.

3.1 CASO 1: DEPÓSITO EN ZONA DE SIERRA

El depósito de relaves filtrados llamado Ramahuayco estará conformado por las estructuras que se describen a continuación. Se describen también las operaciones de disposición de los relaves filtrados. En la figura 3.1 se aprecia la planta de relave filtrado en la figura 3.2 la distribución de una vista en planta de las estructuras del depósito de relaves filtrados y en la figura 3.3 se presenta una sección transversal típica. En el depósito de relaves se viene colocando material de mezcla del relave filtrado con material de préstamo, en la proporción 3Relave:1Préstamo, dando como resultado un material tipo arena limosa de baja plasticidad, los resultados de los relaves, material de préstamo y la mezcla colocada en encuentran en el anexo 1: Ensayos geotécnicos.



Figura 3.1: Esquema general de la planta de relaves filtrados.

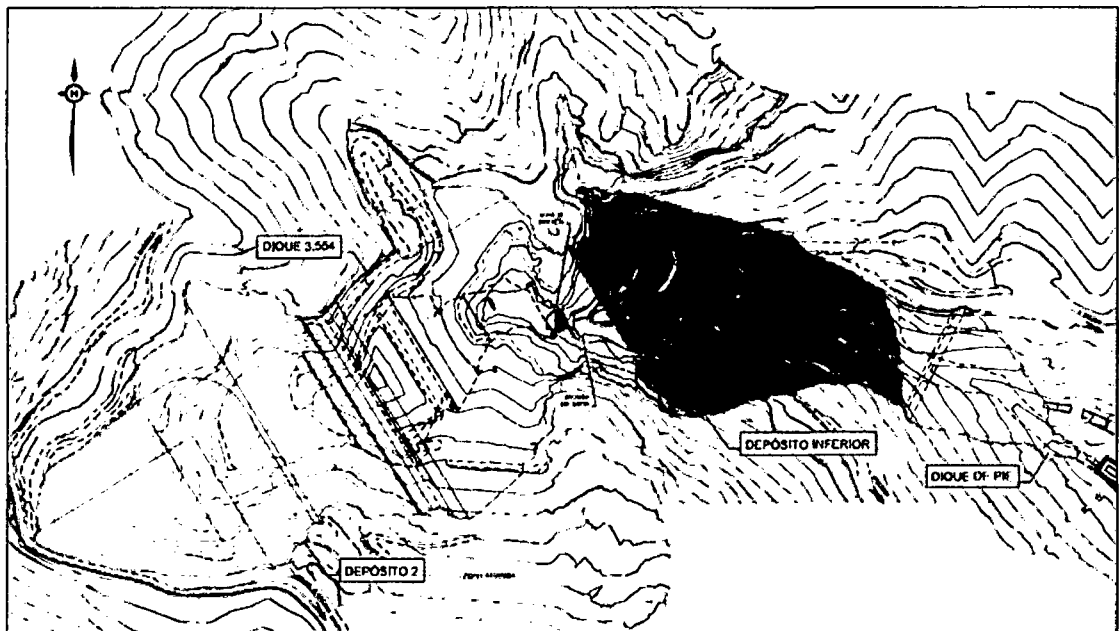


Figura 3.2: Esquema general de las estructura del depósito de relaves filtrados Ramahuayco – Planta.

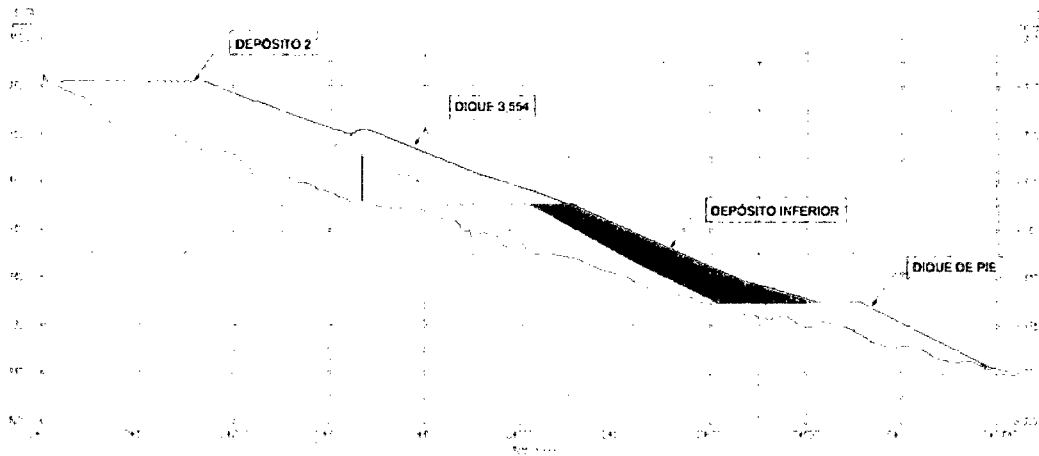


Figura 3.3: Esquema general de las estructuras del depósito de relaves filtrados Ramahuayco – Corte.

3.1.1 Dique de pie

- Dique de arranque conformado por material de enrocado de tamaño máximo 12", apoyada sobre un contrafuerte de concreto armado, el cual se ubica aguas abajo (Dique San Martín).
- Debajo del dique se conformó un sistema de sub drenaje y drenaje con tuberías de 6" perforadas y no perforadas respectivamente, para evacuar las posibles filtraciones.
- El enrocado que conforma el dique de arranque será compactado en capas de 1 m y tendrán su control de densidad y relación de vacíos a cada metro.
- El talud aguas abajo será de 2H: 1V.

3.1.2 Terraplén

- Terraplén conformado por material de desmonte de mina, proveniente de las labores de la mina.
- Conformado en capas de 1 m compactadas, para posteriormente ser evaluadas, en su densidad de compactación.
- Estará apoyada sobre el dique de pie y será la estructura de apoyo para el depósito de relaves y los diques de contención del depósito de relaves Ramahuayco.
- El talud aguas abajo de esta estructura será de 1.75H:1V.

3.1.3 Dique de contención

- Estructura conformada con un material de mezcla de relave filtrado con material de préstamo en la proporción 3(relave):1(préstamo) dando un material tipo arena limosa no plástica (SM).
- Los taludes de esta estructura serán 1.5H: 1V aguas arriba y 1.75H:1V aguas abajo.
- Dentro del dique de contención estará inmerso el dren chimenea que se conectará con el dren que se colocó en la parte de la cimentación, las filtraciones serán evacuadas por el sistema de drenaje.
- El talud aguas arriba será impermeabilizado con geomembrana, para evitar posibles filtraciones al dique de contención.
- El proceso de compactación será en capas de 0.30 - 0.35 m, en promedio, utilizando un rodillo de 10 t.
- Las pruebas de densidad y compactación se realizarán en cada capa conformada y deberán alcanzar un mínimo de 95% de la máxima densidad seca obtenida a través del ensayo Proctor modificado.

3.1.4 Depósito de relaves filtrados

- Estructura conformada con un material de mezcla de relave filtrado con material de préstamo en la proporción 3(relave):1(préstamo) dando un material tipo arena limosa no plástica (SM).
- El talud del depósito aguas abajo, será de 2.5H:1V.
- El depósito tendrá un sistema de filtros laterales, los cuales serán ubicados entre el contacto del relave filtrado y el terreno natural, con el objetivo de evacuar las posibles filtraciones, y serán evacuados al sistema de drenaje existente en la cimentación.
- El proceso de compactación serán en capas de 0.30 - 0.35 m, en promedio, utilizando un rodillo de 10 t.
- Las pruebas de densidad y compactación se realizarán en cada capa conformada y deberán alcanzar un mínimo de 95% de la máxima densidad seca obtenida a través del ensayo Proctor modificado.

3.1.5 Canales de coronación

Los canales de coronación fueron diseñados con el objetivo de mantener el depósito de relaves sin presencia de aguas provenientes de las lluvias acumuladas en las quebradas alrededor del depósito. El sistema de canales de coronación va desde la parte superior del

depósito hasta la parte más baja; en los diferentes tramos se han construido estructuras como rápidas y disipadores.

3.1.6 Monitoreo de la construcción, inspección y supervisión

Los elementos de control para el depósito de relaves estarán definidos de acuerdo a la importancia de los datos a obtener y controlar, los cuales serán obtenidos periódicamente con lecturas de cada elemento de control. Entre los diferentes instrumentos de control de los depósitos de relaves, este depósito de relaves en particular contará con hitos topográficos, con los cuales se realizará el control en las coordenadas x,y,z, piezómetro - inclinómetro, para determinar los niveles de agua y las inclinaciones con respecto al eje vertical de cada punto de control.

Durante las inspecciones rutinarias (visuales) se deberá poner particular atención en lo siguiente:

- Inspecciones de los taludes en zonas del depósito aguas arriba del dique, para poder reportar desprendimientos, caídas de material, potenciales deslizamientos, necesidades de obras de remediación.
- Nivel de agua en el embalse, existencia de agua empozada.
- Inspección del dique-depósito: erosión o desplazamiento de los taludes, estado del coronamiento, asentamientos notorios, agrietamientos y acumulación de agua en la cresta.
- Inspección de los estribos del dique: inestabilidad y filtraciones.
- Inspección de la calidad del agua de filtración, turbidez, volumen inusual de agua de filtraciones.
- Verificación del correcto funcionamiento de la instrumentación geotécnica instalada.

3.1.7 Proceso de conformación de los relaves filtrados - operación

El sistema de operación de los relaves filtrados en este caso 1, tendrá un tratamiento particular, será del tipo relave filtrado mezclado con material de préstamo (material de cantera), en proporción 3:1, con la finalidad de obtener un material estructural de mejores condiciones, ya que el material de relave filtrado obtenido en la planta de filtrado es muy fino (material tipo arcilla limosa). Ante tales resultados se vió la necesidad de mezclar con un material grueso en pequeñas proporciones, para así obtener un material tipo arena limosa (SM). La operación desde el transporte de relaves hasta la conformación será descrita a continuación:

- Actividad 1: Relave filtrado, obtenido con un porcentaje de humedad máxima de 15%, el cual es depositado en el depósito de relave adyacente, como se muestra en la figura 3.4, antes de su carguío (ver figura 3.5) y transporte al depósito de relaves Ramahuayco.



Figura 3.4: Planta de relave filtrado, sistema de filtros tipo prensa.



Figura 3.5: Carguío del relave filtrado.

- Actividad 2: El transporte de los relaves hacia la zona del depósito de relaves Ramahuayco se realiza a través de camiones volquetes de 15 m³ de capacidad, en dicho depósito existen áreas determinadas para el acopio y mezclado con el material de préstamo (ver figuras 3.6 y 3.7), que permita obtener un material en condiciones óptimas de humedad y granulometría.

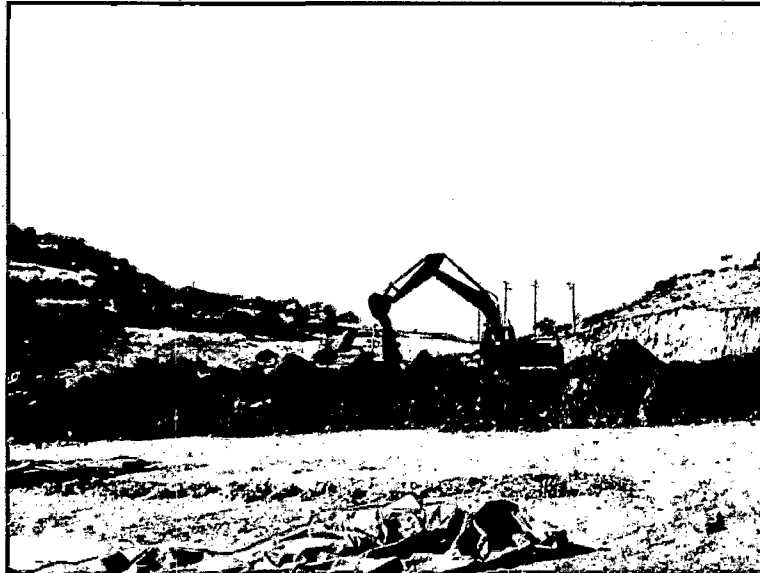


Figura 3.6: Acopio de material de relaves proveniente de la planta de filtrado.

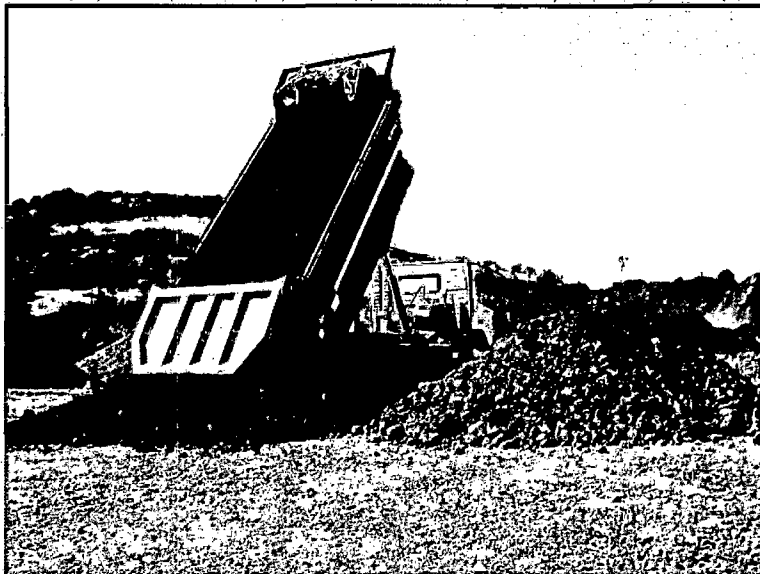


Figura 3.7: Acopio de material de relaves y material de préstamo.

- Actividad 3: Luego de la etapa de mezclado, se continúa con el acopio del material hacia la zona del depósito, en donde se realiza la conformación-nivelación-compactado, del relave filtrado + préstamo, como se observa en la figura 3.8.



Figura 3.8: Zona de trabajo de mezclado-transporte-conformación-compactado del material de relave filtrado y préstamo.

3.2 CASO 2: DEPÓSITO EN ZONA DE COSTA

El depósito de relaves filtrados Pahuaypite 2, estará conformado por las estructuras que se describen a continuación. En la figura 3.9 se presenta una vista en planta de las estructuras de este depósito de relaves filtrados, mientras que en la figura 3.10 se muestra el proyecto integral con todos los componentes que se describirán más adelante. En las figuras 3.11 y 3.12 se muestran el depósito de relaves filtrados en su disposición final (Planta y sección típica). El sistema de disposición del relave filtrado es directamente desde la planta de filtrado hacia las áreas de secado en la relavera Pahuaypite, dando un relaves filtrado del tipo limo arenoso, los ensayos de laboratorio realizados en el relave filtrado y demás estructuras que intervienen en la construcción del depósito de relaves filtrados, se presentan en el anexo 1: Ensayos geotécnicos.

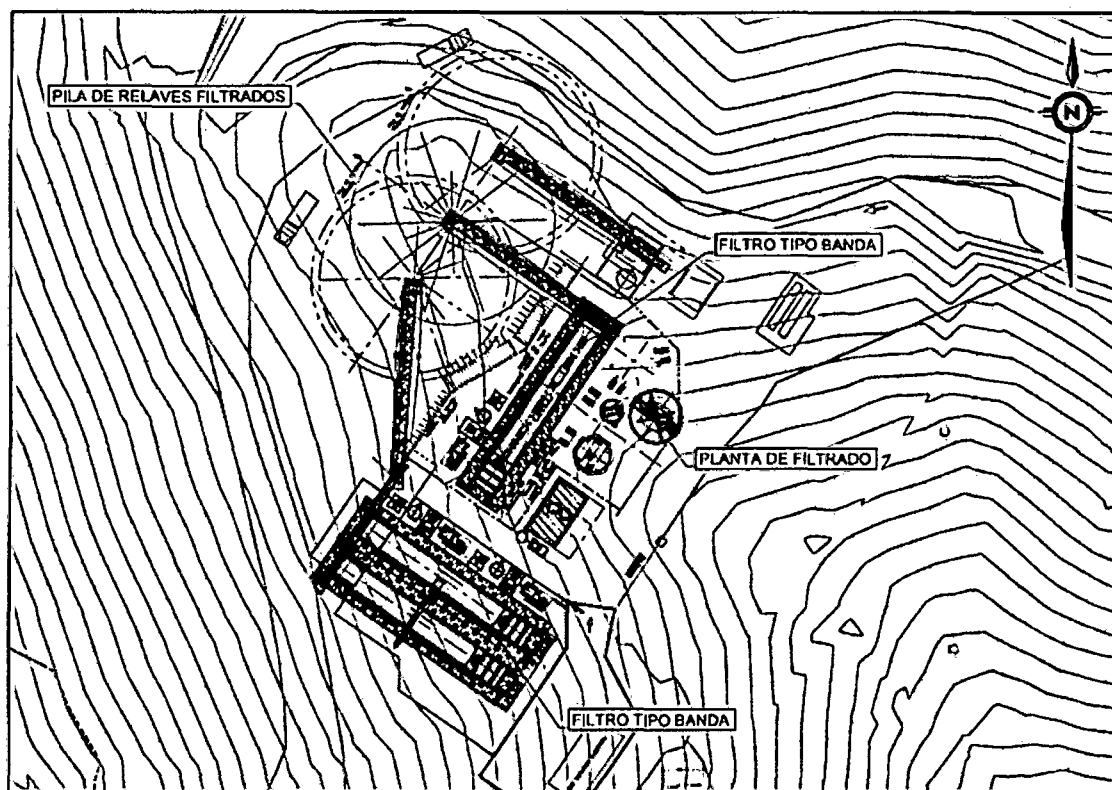


Figura 3.9: Vista de la planta de relaves filtrados.

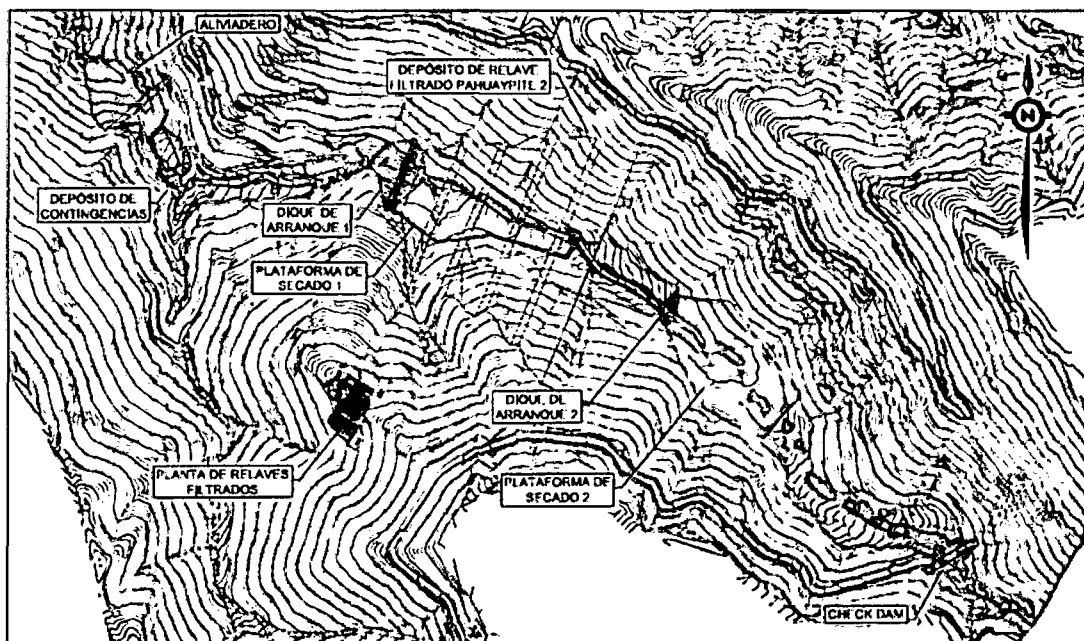


Figura 3.10: Configuración del depósito de relaves filtrados Pahuaypite 2.

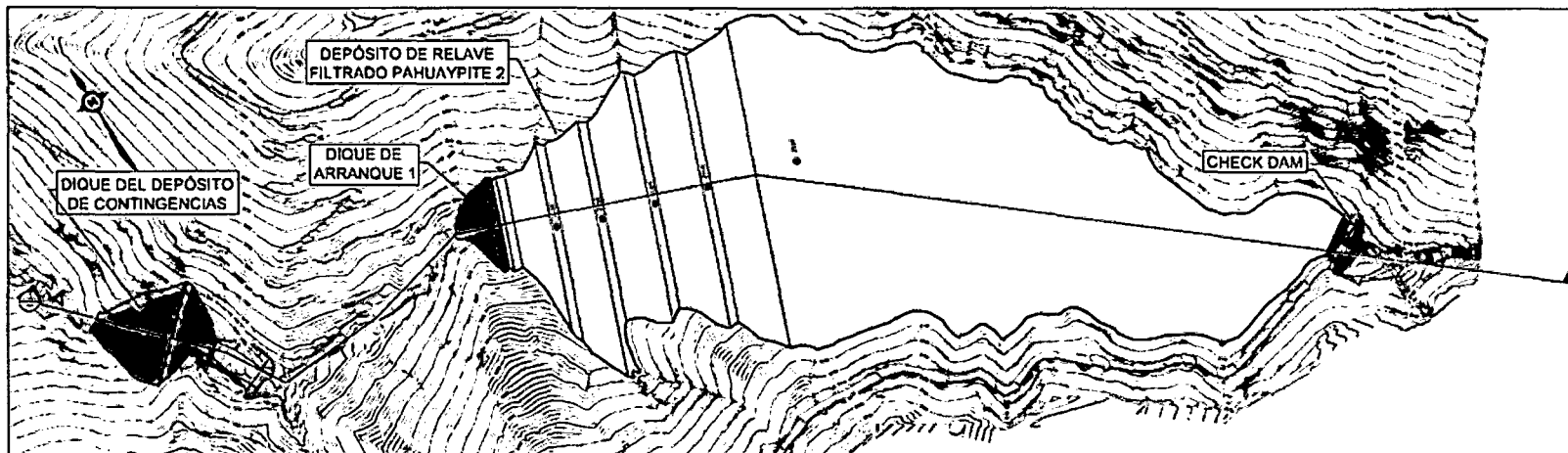


Figura 3.11: Vista del proyecto en su etapa final.

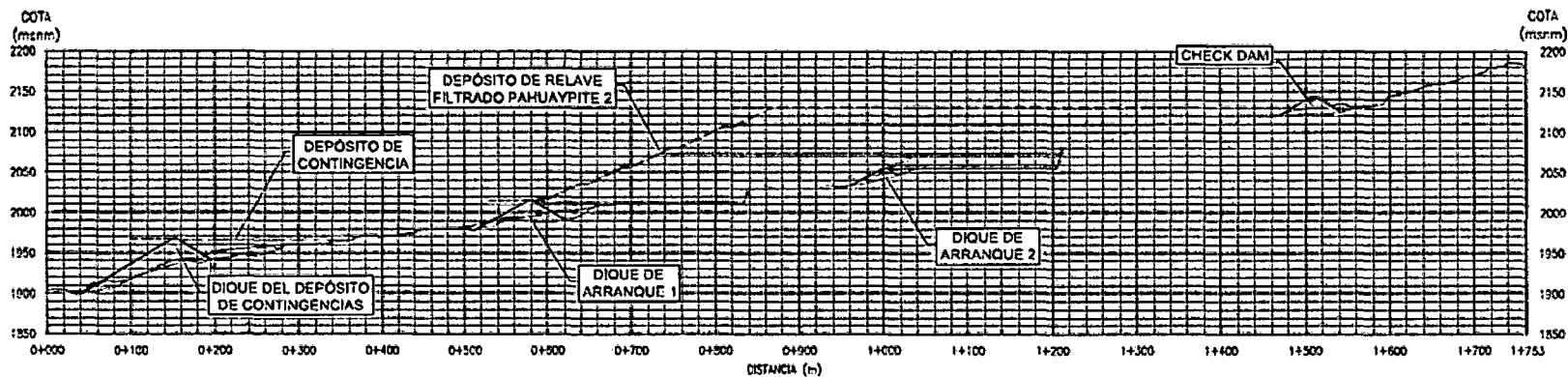


Figura 3.12: Sección proyectada de la presa de relaves filtrados Pahuypite 2.

3.2.1 Poza de contingencias

- Estructura conformada por material de enrocado, proveniente de las canteras de roca.
- En el talud aguas arriba se colocará una pantalla impermeable de suelo de cantera tipo arcilla.
- El talud aguas abajo será 1.6H:1V mientras que el talud aguas arriba 1.5H:1V.
- La corona tendrá un ancho operativo de 8.00 m, para el transporte de vehículos ligeros como máximo y un borde libre de la poza de 1.50 m con respecto a la corona.
- En la margen derecha contará con un aliviadero de demasías.

3.2.2 Dique de arranque e intermedio

- Estructura conformada por material de enrocado, proveniente de las canteras de roca y/o desmonte de mina.
- En el dique de arranque el talud aguas abajo será de 1.6H:1V mientras que el talud aguas arriba será de 1.6H:1V.
- En el dique intermedio el talud aguas abajo será de 1.6H:1V mientras que el talud aguas arriba será de 1.5H:1V.
- Los diques estarán por encima del dren basal que se proyectará en el lecho de la quebrada, dicho dren basal cumple la función de minimizar los niveles de filtraciones de agua que se presentarán en el depósito de relaves.
- En el talud aguas arriba del dique de arranque se proyectará un sistema de inyecciones de concreto, para evitar la saturación del dique de arranque y direccionar el nivel freático por debajo de la cortina de inyecciones.

3.2.3 Plataforma de secado inferior y superior

- Las plataformas de secado serán destinadas para la descarga, esparcido y secado de los relaves filtrados provenientes de la planta de filtrado, los cuales llegan con humedades entre 12 y 13%.
- Los relaves filtrados serán depositados en toda el área por un lapso de 3-5 días para su oreado y batido, con la finalidad de llegar a una humedad máxima de 9%, un óptimo de 7% +/- 2%.
- Una vez que se haya alcanzado su humedad óptima, los relaves serán transportados por camiones volquetes hasta la zona de disposición donde serán descargados para conformar capas de 0.30 m. de espesor usando maquinaria tipo tractor con orugas y compactadas con rodillos lisos de 10 t hasta alcanzar una

compactación mínima de 95% de la máxima densidad seca de acuerdo al ensayo de compactación Proctor estándar.

- Se dará énfasis a la plataforma inferior con la finalidad de alcanzar a la plataforma superior y tener un área mayor de secado y compactado.

3.2.4 Presa derivadora (check dam)

- Esta presa cumple la función de captar algún evento extraordinario de precipitación, con la finalidad de que el depósito de relaves Pahuaypite 2 no sufra daño alguno.
- Estructura conformada por material de préstamo, proveniente de las canteras de suelo.
- La presa tendrá un talud aguas abajo de 1.5H:1V mientras que el talud aguas arriba 1.5H:1V.
- El talud aguas arriba tendrá un acabado con material de enchapado de concreto y piedras, para evitar alguna filtración al elemento de contención, además tendrá al pie del talud una cortina de inyecciones de concreto (plinto) que impermeabilizará más al dique de la presa.
- Tendrá una corona de 10 m de ancho, ya que la corona será parte de la vía de acceso a la mina.

3.2.5 Proceso de conformación de los relaves filtrados - operación

El sistema de operación de los relaves filtrados en este caso 2, se realizará desde la planta de filtrado, que se encuentra en la margen izquierda del depósito. La operación desde el transporte de relaves hasta la conformación se describe a continuación:

- Actividad 1: La planta de relaves filtrados cuenta con un filtro tipo banda y filtro prensa, siendo el filtro banda utilizado mayormente. En la figura 3.13 se observa una vista del filtro banda. La producción actual es de 10 000 tpd, proyectándose para una producción de 18 000 tpd. El proceso de las actividades empieza con el carguío del relave filtrado hacia los camiones volquete de 15 m³ de capacidad (ver figura 3.14). Los relaves salen de la planta de filtrado con una humedad máxima de 13% para así ser transportados hacia las zonas de secado en las plataformas respectivas del depósito de relaves.



Figura 3.13: Filtro banda en la planta de filtrado.

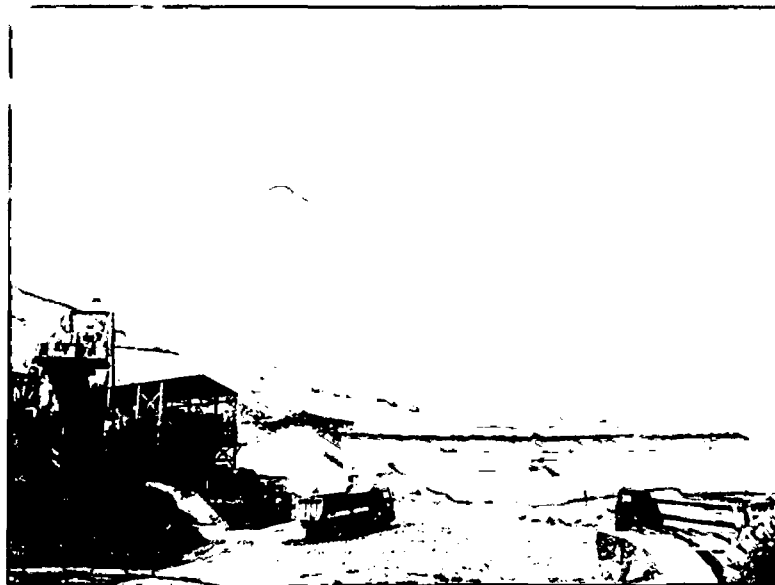


Figura 3.14: Carguío del relave filtrado con una humedad máxima de 13%.

- Actividad 2: Transporte y descarga del relave del relave filtrado en las plataformas de secado, los cuales serán depositados de acuerdo a la producción diaria y la disposición de las áreas de secado (ver figura 3.15).



Figura 3.15: Plataforma de secado en el depósito de relaves.

- Actividad 3: Luego de realizar la conformación y alcanzar la humedad óptima de compactación se procede a la nivelación y compactación de la capa, este proceso se realiza en intervalos de 3-5 días, dependiendo del área de secado y clima del lugar. En la figura 3.16 se observa la nivelación y compactación del relave filtrado.

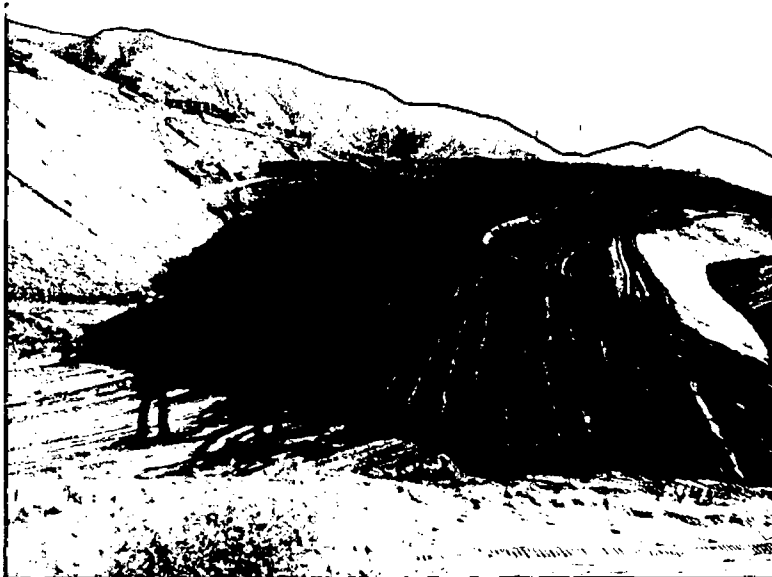


Figura 3.16: Etapa de nivelado y compactado del relave filtrado.

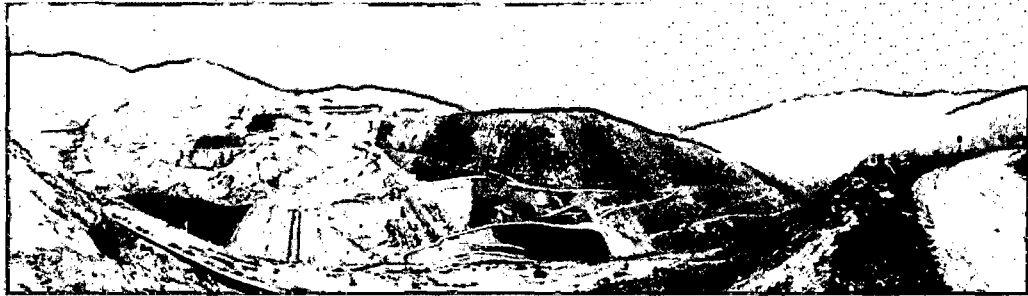


Figura 3.17: Depósito de relaves filtrados Pahuaypite 1 y 2, en la etapa de crecimiento progresivo.

CAPÍTULO IV: DISEÑO DE DEPÓSITOS DE RELAVES FILTRADOS

4 GENERALIDADES

La presente Tesis tiene por objetivo dar a conocer y establecer la forma de obtener relaves filtrados y su posterior disposición. En esta sección se describirá los parámetros y condiciones geotécnicas de los relaves filtrados como material principal en los diques y en el depósito. En el caso 1 el depósito se denomina “Depósito de Relaves Filtrados Ramahuayco”, mientras que en el caso 2 el depósito se denomina “Depósito de Relave Filtrados Pahuaypite 2”, cada uno con sus características propias de lugar, clima, topografía, etc.

4.1 CASO 1: DEPÓSITO EN ZONA DE SIERRA

4.1.1 Generalidades

El depósito de relaves filtrados denominado Ramahuayco se ubica en la quebrada Sacllani que está modelada en las calizas del grupo Pucará. El área en estudio se ubica entre las cotas 3310 y 3610 msnm y sobre un área aproximada de 20 ha.

El depósito de relaves Ramahuayco almacenará relaves filtrados, los cuales se mezclarán con material de préstamo en proporción de 3:1; este material de mezcla se colocará compactado en el depósito de relaves.

Con la finalidad de proyectar un depósito de relaves de bajo costo, facilidad de construcción y adecuada capacidad de almacenamiento, se hizo necesario experimentar con geometrías basadas en un mismo concepto de diseño. El depósito de relaves estará constituido por cuatro componentes principales (dique de pie, terraplén, dique de contención y depósito de almacenamiento).

4.1.2 Criterios de diseño

El proyecto consiste en diseñar un depósito para relaves filtrados que sea estable para condiciones estáticas y pseudo estáticas, el diseño debe asegurar además una estabilidad hidrológica, estos requerimientos se deben cumplir tanto a corto como a largo plazo.

Los criterios de diseño se han basado en los estudios de ingeniería básica ejecutados en el proyecto: topografía, geología, hidrología, hidrogeología, geotecnia y peligro sísmico.

Los criterios de diseño empleados en la concepción del depósito de relaves Ramahuayco fueron los siguientes:

4.1.2.1 Datos operacionales

En el diseño se han considerado los siguientes datos operacionales:

- Días de operación por año: 360 días
- Producción nominal diaria (Pn): 1500 TMD
- Producción anual: 540,000 TMD
- Relación de relaves/mineral (Rvm): 0.85
- Producción nominal diaria de relaves: 1275 TMD
- Relación de relaves factor de diseño: 1.00
- Humedad de colocación (w): 12%
- Proporción de relave en mezcla (Pr): 75%
- Densidad de la mezcla (Dm): 2.05 t/m³
- Volumen de la mezcla (vaso, dique y terraplén) (Vm): 2'825,147 m³
- Vida útil: $(Vm \cdot Dm \cdot (1-w) \cdot Pr / Rvm) / Pn =$
 $(2'825,147 \times 2.05 \times (1-0.12) \times 0.75 / 0.85) / 1500 = 2297 \text{ días} = 8.32 \text{ años}$

4.1.2.2 Estabilidad física a corto y largo plazo

Está relacionada con la estabilidad frente a eventos sísmicos y avenidas máximas probables que puedan ocurrir, durante la operación y post-cierre. El Ministerio de Energía y Minas (MEM) establece que en el diseño de un depósito de relaves, debe emplearse un evento sísmico con período de retorno de 475 años y avenida máxima probable con período de retorno de 500 años, para un periodo de operación de la mina.

4.1.2.3 Parámetros sísmicos

En caso de utilizar métodos pseudo-estáticos para el diseño de los muros y taludes, se recomienda como mínimo un coeficiente sísmico igual al 50% de la aceleración pido de diseño (PGA). El estudio de peligro sísmico ha determinado para la zona una aceleración sísmica de diseño de 0.16g para roca, para un periodo de retorno de 475 años.

4.1.2.4 Factor de seguridad

Los factores de seguridad para la estabilidad física del depósito son los siguientes:

- Factor de seguridad mínimo para condiciones estáticas: 1.5
- Factor de seguridad mínimo para condiciones pseudo-estáticas: 1.0

El factor de seguridad recomendadas por el Reglamento Nacional de Estructuras en la Norma E.050, en la que el factor de seguridad mínimo para taludes es de 1.50 en condiciones estáticas y 1.25 en condiciones pseudo estáticas mientras que en la Guía

Ambiental para la Estabilidad de Taludes de Depósitos de Desechos Sólidos de Mina establece un factor de seguridad estático mínimo de 1.50 y un factor de seguridad pseudoestático de 1.20, de acuerdo a los estudios de consultoría y a los estudios presentados en la presente tesis, se establece líneas arriba los valores mínimos para la estabilidad estática y pseudoestática.

4.1.2.5 Parámetros geotécnicos de los materiales

Los geomateriales de construcción son: materiales de canteras, material de mezcla, 3(Relave filtrado):1(Material de Préstamo), desmonte de mina y el relave filtrado; estos materiales fueron sometidos a ensayos geotécnicos para determinar sus parámetros físicos y mecánicos y utilizarlos en el diseño del depósito. El resumen de los parámetros seleccionados para el diseño de la presa se presenta en la tabla 4.1.

Tabla 4.1: Modelamiento geomecánico.

Material	Comportamiento	γ (kN/m ³)	Cohesión, c (kPa)	Ángulo de Fricción, ϕ (°)	E (MPa)	ν
Dique de contención y terraplén - grava arcillosa mezclada con relaves (1:3), compactado	Drenado	19	15	32	30.6	0.30
Vaso de almacenamiento - grava arcillosa mezclado con relaves (1:3), compactado	Drenado	18.5	10	31	30.6	0.30
Terraplén de desmonte de mina	Drenado	21	0	39	25	0.35
Dique de pie- enrocado	Drenado	19	0	40	25	0.35
Cimentación - roca meteorizada	Drenado	22	250	40	816	0.25
Muro de concreto	---	24.5	250*	40*	816*	0.25*

Fuente: Elaboración Propia.

*: Valores tomados del Informe de la ingeniería de detalle del depósito de relaves filtrados Ramahuayco¹².

4.1.2.6 Control del nivel freático

El nivel freático afecta la estabilidad del depósito de relaves, pues al presentarse en el depósito se generan presiones de poro que reducen el esfuerzo efectivo y por consiguiente la resistencia cortante de los materiales saturados. Para controlar la influencia del nivel freático en el depósito se ha zonificado la cimentación con filtros de subdrenaje, que se cubrirán con mantas de geomembranas; captando estos flujos internos se derivará a pozas

12: Informe de la ingeniería de detalle del depósito de relaves filtrados Ramahuayco.

de control para su posterior entrega a la quebrada. El dique de contención se separará del vaso mediante un sistema de impermeabilización en el talud aguas arriba, lo que garantizará que cualquier aumento de presión de poros no se transmita hacia el dique. Los flujos superficiales serán captados con el sistema hidráulico que se construya sobre el depósito teniendo en cuenta el cierre progresivo que se realizará.

4.1.3 Diseño geotécnico

4.1.3.1 Condiciones de cimentación

Las condiciones de cimentación fueron evaluadas mediante un completo programa de investigaciones geotécnicas que incluyeron perforación diamantina, sísmica de refracción, excavación de calicatas y ensayos de laboratorio de mecánica de suelos.

Los aspectos geológicos y geotécnicos relacionados con la cimentación del depósito de relaves son: morfología, calidad del material de cimentación, estanqueidad y estabilidad de las laderas.

La zona donde se cimentará la presa y pedraplén es irregular, donde la quebrada presenta diferentes relieves locales: un sector encañonado, flancos escarpados, sector de sección transversal abierta que está aguas arriba de la garganta y un sector con sección en V aguas abajo de la garganta.

El fondo de la quebrada es angosta y tiene fuerte pendiente y con caídas o rápidas locales. Entre el eje de la presa y el pie del pedraplén, que están separados 440 m, el fondo de la quebrada desciende 130 m con una pendiente de 16 a 20°.

El conglomerado Mitu y el intrusivo pórfido monzonítico están formando un promontorio rocoso transversal a la quebrada y actuarán como un contrafuerte sobre la presa de contención de relaves.

La cimentación de la presa y pedraplén está comprometida con cuatro tipos de rocas; la caliza Pucará, el pórfido monzonítico, el conglomerado Mitu y el conglomerado Sacllani. El depósito de superficie es de origen aluvial y coluvial, sin embargo estos depósitos están limitados al fondo de la quebrada y parte inferior de las laderas; debido a su reducido espesor se eliminarán de la cimentación.

La caliza Pucará se identifica en dos unidades clz1 y clz2:

- La clz1 es la principal unidad de la cimentación de la presa de contención de relaves; es una roca intensamente fracturada con RQD bajo, se le asignó un GSI de 25 a 30. Los ensayos de resistencia de la roca intacta dieron un valor de 30 MPa y esta presenta

cohesión de 500 kPa, un ángulo de fricción de 12°, y un módulo de deformación de 816 MPa. La caliza clz2 aflora en el vaso y compromete la cimentación en el estribo izquierdo; se ha dividido en tramos y el RQD es de 40 a 70, el macizo se encuentra sano, la resistencia de roca intacta es de 70 a 84 MPa, el GSI está en el orden de 60 a 65, la cohesión es de 2.88 MPa, el ángulo de fricción 25° y el módulo de deformación de 12,6 GPa.

El pórfido monzonítico aflora entre la galería San Martín y la cota 3460 msnm, el RQD de esta roca está por debajo de 25, la resistencia de la roca intacta es 80 GPa.

El conglomerado Sacclani está clasificado como suelo muy denso a roca competente al cual le correspondería un ángulo de fricción de 40°⁽¹¹⁾.

Finalmente, se ha considerado usar las siguientes características para la roca de la zona de cimentación; cohesión de 250 kPa de cohesión y 40° de ángulo de fricción para un peso específico de 22 kN/m³.

4.1.3.2 Dique de pie (enrocado)

El dique de pie que se ha diseñado como base del depósito de relaves estará conformado por las rocas que provendrán de la explotación en el pórfido monzonítico y la caliza Pucará.

Para la obtención de las propiedades físicas se hará uso del método propuesto por Ayala (1986), que toma en consideración las características indicadas en la tabla 4.2.

Tabla 4.2: Caracterización geomecánica del enrocado.

Características del Material		Valores	Enrocado
Naturaleza (M)	Silicia	36°	
	Carbonatada	34°	34
	Esquistosa	32°	
	Arcillosa	30°	
Compacidad (ϕ_1)	Suelta	- 5°	
	Media	0°	
	Compacta	+ 5°	+3°
Forma y rugosidad (ϕ_2)	Angulosa	+ 2°	+2°
	Media	0°	
	Lajosa	- 1°	
	Redondeada	- 2°	
	Muy redondeada	- 3°	

11: Informe de la ingeniería de detalle del depósito de relaves filtrados Ramahuayco.

Características del Material		Valores	Enrocado
Tamaño (ϕ_3)	Arena	0°	
	Grava fina	1°	
	Grava gruesa	2°	
	Bloques, bolos	3°	+ 3°
Granulometría (ϕ_4)	Uniforme	- 3°	
	Media	0°	
	Extendida	+ 3°	+ 2°
$\phi'_{basico} = (M + \phi_1 + \phi_2 + \phi_3 + \phi_4)$			44°
Nivel de tensiones - altura de escombros (α)	Bajo (H<20 m.)	1.1	
	Medio (20<H<40 m)	1.0	
	Alto (H>40 m)	0.9	0.9
ϕ	H<20 m	H=19 m	
	20<H<40 m	H=20 m	
	H>40 m	-	40°
Angulo de fricción determinado con el método Ayala (1986)			
$\phi' = (M + \phi_1 + \phi_2 + \phi_3 + \phi_4)\alpha$			

Fuente: Ayala (1986)¹

El dique de pie trabajará a una altura máxima de confinamiento de 60 m, por lo cual el ángulo de fricción del material se ha determinado en 40°. El acomodo de las rocas, permitirá una disminución de la porosidad del material en general habiéndose determinado que el material colocado tendrá un peso de 19 kN/m³. En el diseño se usará las siguientes características físicas; ángulo de fricción de 40°, sin cohesión y un peso específico de 19 kN/m³.

4.1.3.3 Terraplén (desmante de mina)

En estudios desarrollados para el “Depósito de Desmante Sánchez”, depósito donde se almacena el desmante proveniente de la explotación en interior de la mina y es almacenado en dicho depósito, se ha evaluado las características de los desmontes como resultado de su proceso productivo.

El análisis de laboratorio de una muestra del desmante con material menor a 3 pulgadas determinó que se trata de una grava pobremente gradada con arena y arcilla (GP-GC), con 51% de gravas subangulosas, 38% de arenas y 11% de finos con límite líquido de 22 e índice plástico de 6. La resistencia, determinada de una muestra remoldeada a la densidad

1: .Manual para el diseño y construcción de escombreras y presas de residuos mineros

seca de 2.26 g/cm^3 , consiste de una cohesión de 0.41 kg/cm^2 (40 kPa) y ángulo de fricción interna de 41° .

Los análisis realizados en febrero del 2012 clasificaron al desmonte de mina como grava arcillosa GC. Se realizó un ensayo triaxial CU de diámetro de partículas máximo de $4''$, de donde se obtuvo que, para condiciones efectivas el ángulo de fricción es de 41° con 32 kPa de cohesión, y en condiciones totales el ángulo de fricción es de 38.8° con 37 kPa de cohesión; el peso específico del desmonte es de 22.1 kN/m^3 .

Las propiedades físicas que intervendrán en el diseño conservadoramente son 39° de ángulo de fricción, sin cohesión, para un peso específico de 21 kN/m^3 .

4.1.3.4 *Material de mezcla (relaves filtrados con suelo)*

Se evaluaron alternativas en base al uso de mezcla de relaves filtrados con material de cantera para conformar el vaso y el dique de contención principal. Las mezclas de relaves con suelos gravosos arcillosos de canteras, resultan en materiales de adecuada resistencia para los taludes de diseño de la presa.

Los relaves serán mezclados con material de cantera, el cual fue estudiada y seleccionada cerca del depósito de relaves para su respectiva mezcla con el material de relave, el material de cantera será explotada mediante los equipos tipo excavadora (corte del material), cargador frontal (carguío) y el transporte con volquetes, en la proporción 3:1. Con el control de humedad en la colocación y compactación, los materiales mezclados tendrán un comportamiento "drenado", que se caracteriza por presentar un ángulo de fricción superior a 30° y adecuada cohesión de 15 kPa .

El material de mezcla fue obtenido de la cantera seleccionada, la cual se encuentra cerca de la zona del depósito, dicha cantera tiene la característica de ser un material tipo grava arcillosa, los resultados de sus propiedades físicas se encuentran en el Anexo 1: Ensayos Geotécnicos .

Las mezclas con el desmonte de mina presentan valores de ángulo de fricción por encima de 30° , lo que lo hacen competente para usar en el proyecto.

Las características que finalmente se deberán de tener en cuenta en el modelo geotécnico son 19 kN/m^3 de peso específico, 32° de ángulo de fricción y 15 kPa de cohesión.

4.1.3.5 *Modelamiento geotécnico*

En el Anexo 1 (Ensayos geotécnicos), se presentan los resultados de los ensayos de laboratorio de las muestras ensayadas que dan sustento a los parámetros geotécnicos

definidos para los materiales descritos anteriormente. En la tabla 4.3 se presenta un resumen de los parámetros de resistencia de los materiales que conforman el depósito: el dique de pie (enrocado), terraplén (desmante de mina), terraplén (material mezcla 3:1), dique de contención (material mezcla 3:1), vaso (material mezcla 3:1).

Tabla 4.3: Resumen de parámetros para el modelamiento geotécnico.

Material	Comportamiento	γ (kN/m ³)	Cohesión, c (kPa)	Ángulo de Fricción, ϕ (°)	E (MPa)	ν
Dique de contención y terraplén - grava arcillosa mezclado con relaves (1:3), compactado	Drenado	19	15	32	30.6	0.30
Vaso de almacenamiento - grava arcillosa mezclado con relaves (1:3), compactado	Drenado	18.5	10	31	30.6	0.30
Terraplén de desmante de mina	Drenado	21	0	39*	25	0.35
Dique de Pie - enrocado	Drenado	19	0	40*	25	0.35
Cimentación - roca meteorizada	Drenado	22	250	40*	816	0.25
Muro de concreto	---	24.5	250*	40*	816*	0.25*

Fuente: Elaboración Propia.

*: Valores tomados del Informe de la ingeniería de detalle del depósito de relaves filtrados Ramahuayco¹¹.

4.1.4 Diseño geométrico

4.1.4.1 Geometría del depósito de relaves

El depósito de relaves filtrados Ramahuayco se ha diseñado en la parte alta de la quebrada Sacclani. En el Plano 05 se presenta la configuración del depósito Ramahuayco, la cual tiene cuatro elementos: dique de pie (enrocado), terraplén (desmante de mina), terraplén (mezcla 3:1), dique de contención (material mezcla 3:1), vaso (mezcla 3:1). La construcción del mismo se ha diseñado en dos etapas, la primera en la que el dique de contención alcanza la cota 3529 msnm y la última cuando el dique de contención se encuentre en el nivel 3554 msnm.

Las obras de la primera etapa son:

11: Informe final de la ingeniería de detalle del depósito de relaves filtrados Ramahuayco.

- Dique de contención a la 3529 msnm, Contrafuerte de contención a la cota 3508 msnm, terraplén de desmonte de mina a la cota 3477 msnm y vaso de almacenamiento a la cota 3584 msnm. El dique de contención y contrafuerte se construirán de manera separada, pero se considerará en el modelo como un solo elemento denominado dique de contención.
- Dique de Contención (3529 msnm). El dique de contención diseñado tiene las siguientes características:
 - Cota de corona: 3,529 msnm
 - Ancho de corona: 34.75 m
 - Longitud de corona: 110 m
 - Borde Libre: 1.00 m
 - Talud aguas arriba: 1.5:1 (H:V)
 - Talud aguas abajo: 1.75:1 (H:V)
 - Volumen de relleno compactado: 194,720 m³
 - Dren Chimenea: 4,646 m³
- Contrafuerte de Contención (3508 msnm). El contrafuerte de contención diseñado tiene las siguientes características:
 - Cota de plataforma final: 3,508 msnm
 - Ancho de plataforma: 16.70 m
 - Longitud de plataforma: 95 m
 - Talud aguas abajo: 1.75:1 (H:V)
 - Volumen de relleno compactado: 10,322 m³
- Terraplén 1 de Desmonte de Mina (3477 msnm). El terraplén es la plataforma base desde donde se construirá el dique de contención, parte de esta base estará constituida por desmonte de mina; las características geométricas son las siguientes:
 - Cota de plataforma final: 3,477 msnm
 - Ancho promedio de plataforma: variable
 - Longitud de plataforma: 45 m
 - Altura máxima: 37 m
 - Talud aguas abajo: 1.75:1 (H:V)
 - Volumen de relleno: 22,105 m³
- Vaso de Almacenamiento o Depósito 1. Las características para el vaso de almacenamiento son las siguientes:

- Cota de plataforma superior: 3584 msnm
- Ancho de plataforma: variable
- Longitud de plataforma: 140 m
- Altura máxima: 56 m
- Talud aguas abajo: 2.5:1 (H:V)
- Volumen de Almacenamiento: 299,595 m³

En resumen se tiene en esta primera etapa 205,042 m³ de material de mezcla para el dique, 299,595 m³ de material de mezcla para el vaso y 22,105 m³ de desmonte de mina; lo cual consumirá 126,159 m³ de material de cantera y 378,476 m³ de relave filtrado (ver figura 4.1).

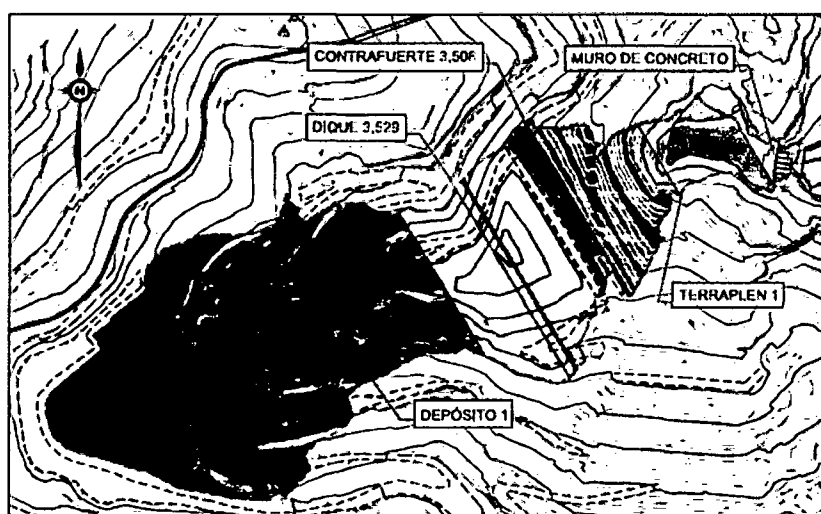


Figura 4.1: Depósito de relaves filtrados Ramahuayco – 1ra etapa.

Las obras de la etapa final son:

- Dique de Pie, Terraplén 2 de desmonte de mina, depósito inferior de material de mezcla, Dique de contención a la cota 3526 msnm, dique de contención a la cota 3554 msnm y vaso de almacenamiento a 3584 msnm. Los diques de contención se construirán de manera separada, pero se considerará en el modelo como un solo elemento denominado dique de contención.
- Dique de Pie o Enrocado. Las características del dique de pie son las siguientes:
 - Cota de corona: 3,375 msnm
 - Ancho de corona: variable
 - Longitud de corona: 110 m
 - Altura máxima : 50 m
 - Talud aguas abajo de bancos: 2:1 (H:V)

- Volumen de relleno: 192,804 m³
- Terraplén 2 de Desmonte de Mina. El terraplén es la plataforma base desde donde se construirá el dique de contención, parte de esta base estará constituida por desmonte de mina, las características geométricas son las siguientes:
 - Cota de plataforma final: 3,477 msnm
 - Ancho de plataforma final: variable
 - Longitud de plataforma: 130 m
 - Altura máxima: 100 m
 - Talud aguas abajo: 1.75:1 (H:V)
 - Volumen de relleno: 330,945 m
- Depósito Inferior de Mezcla. Este parte complementa la zona de terraplén 2 y se construirá con material de mezcla, sus características geométricas son las siguientes:
 - Cota de plataforma final: 3,477 msnm
 - Ancho de plataforma final: variable
 - Longitud de plataforma: 155 m
 - Altura máxima: 104 m
 - Talud aguas abajo: 2:1 (H:V)
 - Volumen de relleno: 771,377 m³
- Dique de Contención (3526 msnm). El dique de contención diseñado tiene las siguientes características:
 - Cota de corona: 3,526 msnm
 - Ancho de corona: 10 m
 - Longitud de corona: 200 m
 - Talud aguas arriba: 1.5:1 (H:V)
 - Talud aguas abajo: 1.75:1 (H:V)
 - Volumen de relleno compactado: 349,757 m³
- Dique de Contención (3554 msnm). El dique de contención diseñado tiene las siguientes características:
 - Cota de corona: 3,554 msnm
 - Ancho de corona: 10 m
 - Longitud de corona: 215 m
 - Borde Libre: 1.00 m
 - Talud aguas arriba: 1.5:1 (H:V)
 - Talud aguas abajo: 2.5:1 (H:V)

- Volumen de relleno compactado: 564,564 m³
- Dren Chimenea: 7,894 m³
- Vaso de Almacenamiento. Las características para el vaso de almacenamiento son las siguientes:
 - Cota de plataforma superior: 3604 msnm
 - Ancho de corona: variable
 - Longitud de corona: 150 m
 - Altura máxima: 51 m
 - Talud aguas abajo: 2.5:1 (H:V)
 - Volumen de Almacenamiento: 934,407 m³

En resumen se tiene en esta etapa final 192,804 m³ de roca, 330,945 m³ de desmonte de mina y 2'620,105 m³ de material de mezcla; lo cual consumirá 655,026 m³ de material de cantera y 1'965,078 m³ de relave filtrado (ver figura 4.2).

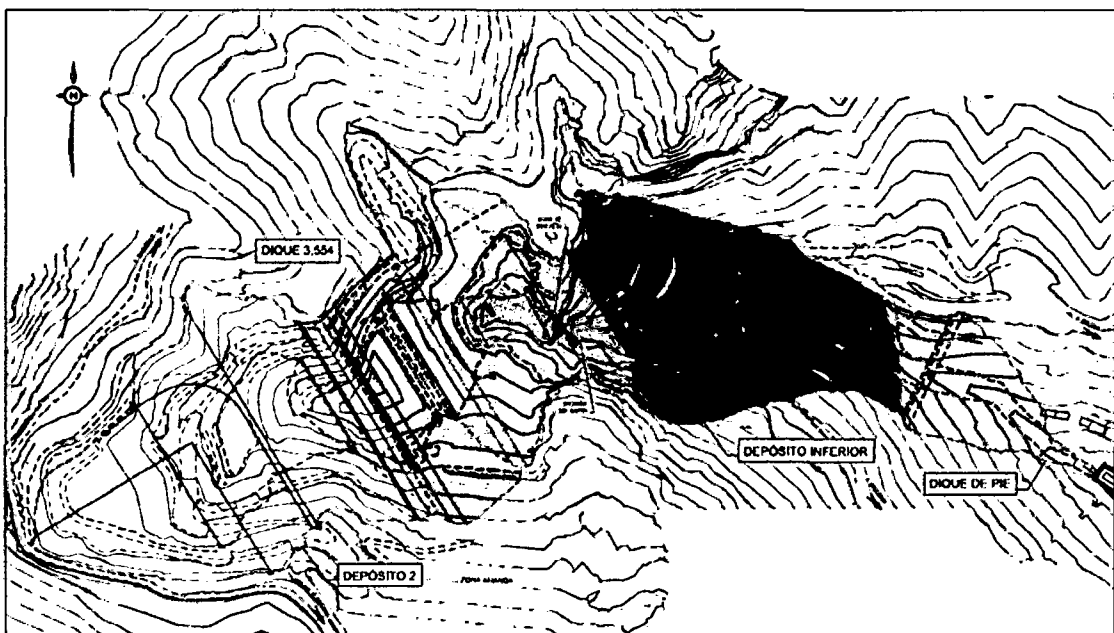


Figura 4.2: Depósito de relaves filtrados Ramahuayco – Etapa final.

4.1.5 Modelo geotécnico

Una forma de disminuir los riesgos provenientes de la incertidumbre en la información geotécnica es la construcción de un modelo geotécnico para el lugar. El modelo debe ser independiente del método de excavación y debe reflejar con precisión las condiciones del suelo de cimentación y material de colocación, los cuales representan de manera simplificada las características geológicas y geotécnicas, conformado por la integración de

una serie de elementos que en conjunto definen unidades de similar comportamiento geotécnico del macizo rocoso o unidades geotécnicas. Cada tipo de información utilizada como dato de entrada debe ser considerada independiente sin realizar ningún intento de ajustar o armonizar. En muchas ocasiones discrepancias aparentes o inconsistencias entre diferentes grupos de datos lleva a descubrimientos y marca deficiencias en la información disponible que se utiliza para la construcción del modelo. Cuando una parte de los datos se utiliza para controlar el resto y las contradicciones son simplemente atribuidas a errores en los datos, en las interpretaciones se puede llegar a tener problemas importantes.

En este trabajo de tesis se presenta el modelo geológico - geotécnico del depósito de relaves construidos con material tipo filtrado basado en datos hidrológicos, geológicos y geotécnicos. El modelo se completa con las propiedades geotécnicas de los materiales (modelo geotécnico), estableciendo finalmente los comportamientos más significativos de cada una de las zonas establecidas en el modelo geotécnico (modelo geotécnico de comportamiento).

4.1.5.1 Metodología

La elaboración de un modelo geológico - geotécnico consta de varias etapas de trabajo. En el tema de investigación, el trabajo de modelización comenzó con la recopilación de todos aquellos datos topográficos (levantamiento topográfico), geológicos (levantamiento geológicos, planos geológicos, secciones geológicas), geotécnicos (sondeos mecánicos, ensayos de laboratorio y ensayos *in situ*) y de auscultación (lecturas de piezómetro, perforaciones tipo SPT y cono Peck) disponibles sobre el sector de estudio.

En el aspecto geológico, partiendo de aguas abajo hacia aguas arriba con respecto al depósito, se considera en la parte baja el conglomerado Saclani (estructura proyectada para el dique de arranque); entre las cotas 3420 y 3450 msnm se considera la presencia de monzonita cuarzosa masiva y el conglomerado Mitu de estructura masiva; aguas arriba de la quebrada se presentan las calizas Pucará (identificadas mediante mapeo geológico y con estudios geofísicos se descartó la existencia de cavernas en el macizo rocoso), que corresponden a la parte donde se emplazará el dique de relaves filtrados mezclado con material de préstamo; en la parte superior se presentan las intercalaciones de lutitas, calizas gris oscura y calizas marrón en capas delgadas, en esta zona se emplazará el vaso de almacenamiento.

En la Figura 4.3 se presenta la sección transversal que tendrá el depósito de relaves filtrado Ramahuayco.

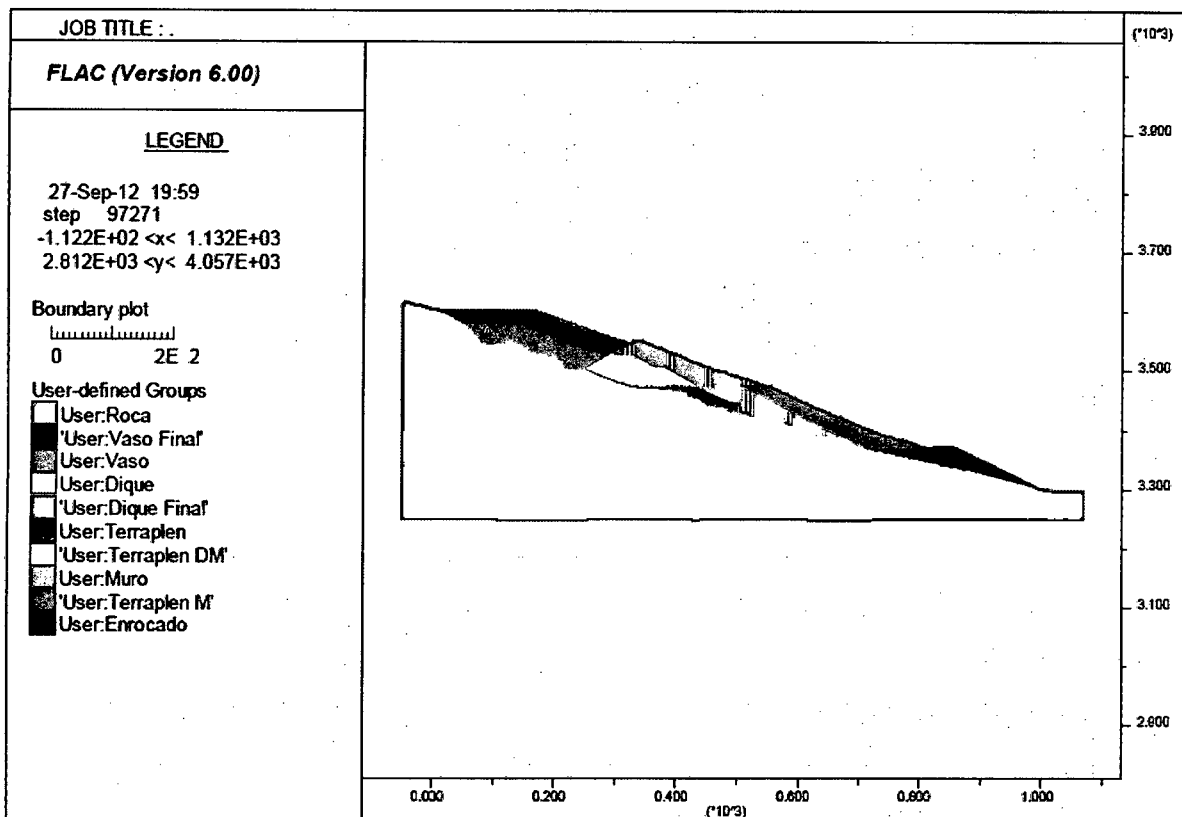


Figura 4.3: Sección de diseño.

El siguiente paso es asignar propiedades geotécnicas a las diferentes estructuras que forman parte del modelo. Para ello se realizaron investigaciones geotécnicas consistentes en perforaciones, auscultaciones, sondeos, ensayos geotécnicos a los diferentes materiales que componen el modelo. Las propiedades geotécnicas de los suelos consideradas fueron la densidad seca (del material de préstamo, relave filtrado, material de mezcla), peso específico (material de préstamo, relave filtrado, material de mezcla), los porcentajes de grava, arena y finos (limo y arcilla), los límites de Atterberg, la cohesión, el ángulo de fricción, permeabilidad de los materiales y resistencia a compresión simple.

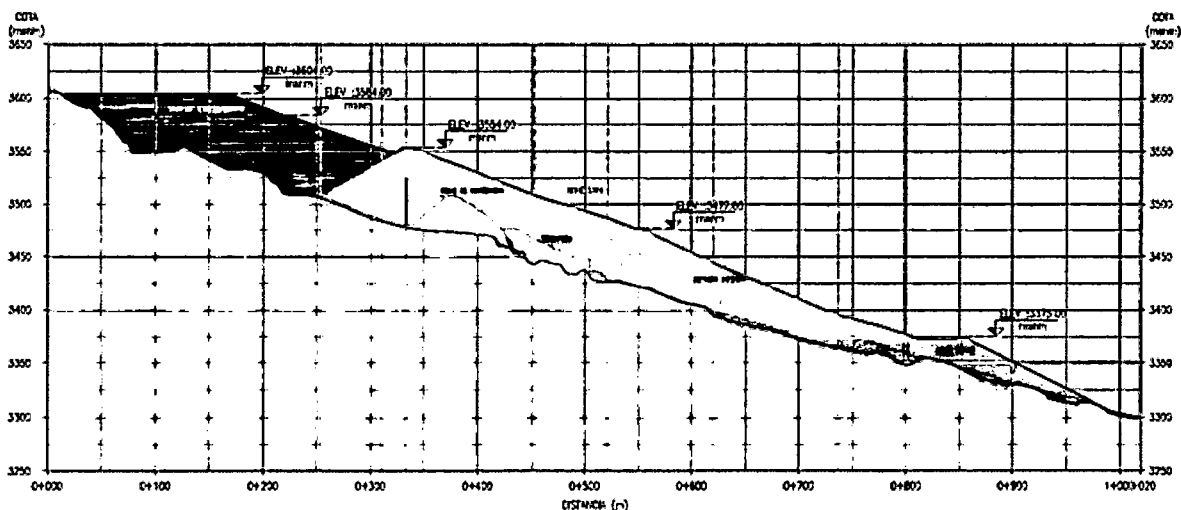
En la siguiente tabla 4.4 se presentan las unidades geológico-geotécnicas que constituyen el modelo geotécnico del "Depósito de Relaves Filtrados Ramahuayco", junto con las propiedades geotécnicas asignadas a cada una de ellas.

Tabla 4.4: Propiedades del modelamiento geotécnico.

Material	Comportamiento	γ (kN/m ³)	Cohesión, c (kPa)	Angulo de Fricción, ϕ (°)	E (MPa)	ν
Dique de Contención y Terraplen - Grava Arcillosa mezclado con relaves (1:3), Compactado	Drenado	19	15	32	30.6	0.30
Vaso de Almacenamiento - Grava Arcillosa mezclado con relaves (1:3), Compactado	Drenado	18.5	10	31	30.6	0.30
Terraplén de Desmote de Mina	Drenado	21	0	39*	25	0.35
Dique de Pie - Enrocado	Drenado	19	0	40*	25	0.35
Cimentación - Roca meteorizada	Drenado	22	250	40*	816	0.25
Dique de Concreto	---	24.5	250	40*	816	0.25

La Figura 4.4 resume esquemáticamente los datos empleados en la elaboración del modelo geológico - geotécnico.

Figura 4.4 : Modelo geotécnico.



*: Valores tomados del Informe de la ingeniería de detalle del depósito de relaves filtrados Ramahuayco¹¹.

11: Informe final de la ingeniería de detalle del depósito de relaves filtrados Ramahuayco.

4.1.6 Análisis de estabilidad física

Para la condición pseudo-estática se consideró un coeficiente sísmico de 0.16 resultado del estudio de riesgo sísmico, equivalente a un sismo con período de retorno de 475 años (condición de operación).

El análisis numérico de estabilidad se efectuó utilizando modelos bidimensionales de diferencias finitas usando el programa Flac 2D V6; al respecto cabe señalar lo siguiente:

- Se ha supuesto que el estado tensional in situ queda definido por un esfuerzo vertical de tipo gravitacional. Los esfuerzos horizontales se consideraron iguales ($K_{EW}=K_{NS}$).
- En primer lugar fue necesario llegar a la condición de equilibrio para el modelo, considerando el estado tensional.
- Una vez que el modelo de la sección estaba en equilibrio, se procedió a simular el efecto de la construcción de los rellenos respectivos.
- Como resultado del análisis para la sección se obtuvo el campo de desplazamientos y deformaciones, para el caso estático, los cuales se muestran en el anexo 3: Análisis de estabilidad, Caso 1, Etapa Final. El análisis de desplazamientos del depósito de relaves dan como resultado un desplazamiento máximo en la dirección $Y = -1.00$ m. y en la dirección $X = 0.50$ m.
- Las máximas deformaciones por corte se concentran en contacto relleno de mezcla/relleno de desmonte de mina.
- En caso de utilizar métodos pseudo-estáticos para el diseño de los muros y taludes, se recomienda como mínimo un coeficiente sísmico igual al 50% de la aceleración pido de diseño (PGA). El estudio de peligro sísmico ha determinado para la zona una aceleración sísmica de diseño de 0.16g para roca, para un periodo de retorno de 475 años.
- Finalmente, se determinó el factor de seguridad mediante la técnica de reducción de la resistencia al corte, en condición estática y pseudoestática, considerando para este último caso un coeficiente de aceleración horizontal de 0.16g.
- Se ha considerado un criterio de aceptabilidad en base al factor de seguridad FSE > 1.5 (caso estático) y FSS > 1.0 (caso pseudoestático).

- Se ha realizado el análisis de estabilidad física en las secciones críticas representativas A-A y B-B (ver planos 07 y 13 del anexo 2) para la primera etapa y etapa final.

En la tabla 4.5 se presentan los valores de los factores de seguridad obtenidos del resultado de los análisis de estabilidad.

Tabla 4.5: Factores de seguridad de presa de relaves Ramahuayco.

Etapa	Tipo de sección	Factor de seguridad		Estructuras afectadas por la falla
PRIMERA ETAPA	A-A	Estático	1.52	Dique de contención.
		Pseudo-estático	1.10	Dique de contención.
	B-B	Estático	1.53	Dique de contención.
		Pseudo-estático	1.09	Dique de contención.
ETAPA FINAL	A-A	Estático	1.59	Terraplén
		Pseudo-estático	1.10	Terraplén
	B-B	Estático	1.64	Terraplén y dique de contención.
		Pseudo-estático	1.08	Terraplén y dique de contención.

Fuente: Elaboración Propia

Las superficies de falla general corresponden al denominado "pie de talud" asociado al fallamiento de materiales granulares o comportamiento drenado del dique de pie de talud. Para fines de cierre la resistencia a largo plazo será mayor, garantizando la geometría actual y las condiciones de seguridad requeridas para el cierre del depósito de relaves filtrados.

Se debe indicar que un factor de seguridad pseudo-estático mayor a 1,0 no significa que los taludes del depósito no se moverán durante un terremoto. Lo que probablemente ocurrirá es que los desplazamientos serán mínimos y no se producirán daños permanentes, asociados al sismo de diseño.

El depósito de relaves Ramahuayco es estable para las dos etapas de análisis en condición estática, si se considera un criterio de aceptabilidad de $F_s > 1.5$; el análisis pseudo-estático indica que el depósito es estable si se considera un coeficiente horizontal máximo de 0.16g y un criterio de aceptabilidad $F_s > 1.0$.

4.1.7 Potenciales filtraciones en el depósito de relaves

El nivel freático afecta la estabilidad del depósito de relaves, pues disminuyen los esfuerzos efectivos, afectando así la resistencia al corte de los materiales. Para controlar la influencia del nivel freático en el depósito se ha zonificado la zona de cimentación con un sistema de subdrenaje, que se cubrirá con mantas de geotextil, captando estos flujos internos para derivarlos a pozas de control para su posterior entrega a la quebrada. Por otro lado, el dique de contención tendrá un sistema de impermeabilización en el talud aguas arriba lo que garantizará que cualquier variación en el nivel freático no se transmita hacia el dique. Los flujos superficiales serán captados con el sistema hidráulico que se construya sobre el depósito teniendo en cuenta el cierre progresivo que se realizará.

4.2 CASO 2: DEPÓSITO EN ZONA DE COSTA

4.2.1 Generalidades

El depósito de relaves filtrados se ubica en la quebrada Pahuaypite 2. El área en estudio se ubica entre las cotas 1850 y 2131 msnm y sobre un área aproximada de 21 ha. El depósito Pahuaypite 2 tendrá una capacidad para conformar y compactar 10 Mm³ de relaves filtrados provenientes de la operación de la planta de filtrado, la cual se encuentra ubicada en el margen izquierda del depósito.

Con la finalidad de proyectar un depósito de relaves filtrados con bajo costo de construcción y operación, facilidad en los procesos constructivos y adecuada capacidad de almacenamiento, se ensayó diferentes geometrías basadas en un mismo concepto de diseño. El depósito de relaves filtrados Pahuaypite 2 será conformado con relaves con una humedad de trabajo de hasta 9%, que se colocarán por vertido directo sobre la plataforma desde el camión y luego extendido por el tractor.

El diseño geométrico y geotécnico contempla los aspectos siguientes: capacidad de almacenamiento, capacidad de carga y asentamiento de la cimentación, estabilidad de la relavera para condiciones estáticas y pseudo-estáticas.

Aguas arriba de la relavera se construirá un depósito para contingencias que almacenará sedimentos y agua, este vaso generado por este depósito de contingencias será cubierto con doble geomembrana, las cuales se anclarán en la corona perimetral del vaso conformado.

4.2.2 Criterios de diseño

El proyecto consiste en diseñar un depósito de relaves filtrados que sea estable para condiciones estáticas y pseudo-estáticas y soportar la avenida máxima creíble; requerimientos que se deben cumplir tanto a corto como a largo plazo.

Los parámetros para el diseño del proyecto fueron obtenidos de los estudios de ingeniería básica, tales como: topografía, geología, hidrología, hidrogeología e investigaciones geotécnicas. Los criterios de diseño empleados en la elaboración de la ingeniería básica del depósito de relaves Pahuaypite 2 son:

4.2.2.1 Datos operacionales

Los datos operacionales considerados para el diseño de las obras del Depósito de Relaves Pahuaypite 2 son los siguientes:

▪ Reservas de mineral:	48 Mton.
▪ Días de operación por año:	360 días.
▪ Producción nominal diaria:	10,000 TMD
▪ Relación de relaves/mineral:	0.9
▪ Producción nominal diaria de relaves secos:	9,000 TMD
▪ Porcentaje de relaves para disposición superficial:	60%.
▪ Producción promedio de relaves seco disposición superficial:	5,400 TMD
▪ Relación de relaves, factor de diseño:	1.00
▪ Densidad seca promedio:	2.70 t/m ³ .
▪ Volumen promedio diario de relave filtrado seco a disponer:	1,760 m ³ .
▪ Espesor de capa compactada:	0.30 m.
▪ Área disponible para la colocación de relaves por día:	5,867 m ² .
▪ Ciclo de trabajo:	3 días.
▪ Área disponible para la colocación de relaves por ciclo:	17,600 m ² .
▪ Capacidad de relavera Pahuaypite 2:	7.9M m ³ .
▪ Vida útil de la mina en función a las reservas:	13.15 años.
▪ Vida útil de la relavera:	12.47 años.

Los parámetros climáticos considerados para el diseño del depósito de relaves filtrados Pahuaypite 2 se presentan a continuación:

▪ Localización	:	Quebrada Pahuaypite 2.
▪ Temperatura anual promedio	:	18.5°C.
▪ Precipitación año húmedo	:	312.8 mm.

- Evaporación anual promedio : 1500 mm.

4.2.2.2 Estabilidad física a corto y largo

Está relacionada con la estabilidad física frente a eventos sísmicos y avenidas máximas probables que puedan ocurrir, durante la operación y post-cierre. El Ministerio de Energía y Minas (MEM) establece que en el diseño de un depósito de relaves, debe emplearse un evento sísmico con período de retorno de 475 años y avenida máxima probable con período de retorno de 500 años, para un periodo de operación de la mina.

4.2.2.3 Parámetros sísmicos

El estudio de peligro sísmico ha estimado una aceleración horizontal máxima de diseño de 0.38g para roca y 0.46g para suelos, en ambos casos para 475 años de periodo de retorno. Para 150 años de periodo de retorno se ha obtenido una aceleración de 0.27g. El coeficiente sísmico utilizado en el análisis para condiciones de operación fue de 0.13 y el coeficiente para el post-cierre es de 0.20, el cual se usará para estructuras de este tipo en el caso 2.

De acuerdo a la Guía Ambiental para la Estabilidad de Taludes de Depósitos de Desechos Sólidos de Mina, el valor recomendado para un coeficiente adecuado pseudo estático varía aproximadamente de 1/2 a 2/3 veces el valor de aceleración pico del terreno.

4.2.2.4 Factor de seguridad

Los factores de seguridad para la estabilidad física del depósito son los siguientes:

- Factor de seguridad (FS) mínimo para condiciones estáticas: 1.5
- F.S. mínimo para condiciones pseudo-estáticas: 1.0

El factor de seguridad recomendadas por el Reglamento Nacional de Estructuras en la Norma E.050 Art. 24, en la que el factor de seguridad mínimo para taludes es de 1.50 en condiciones estáticas y 1.25 en condiciones pseudo estáticas mientras que en la Guía Ambiental para la Estabilidad de Taludes de Depósitos de Desechos Sólidos de Mina establece un factor de seguridad estático mínimo de 1.50 y un factor de seguridad pseudoestático de 1.20, de acuerdo a los estudios de consultoría y a los estudios presentados en la presente tesis, se establece líneas arriba los valores mínimos para la estabilidad estática y pseudoestática.

4.2.2.5 Parámetros geotécnicos de los materiales

Los geomateriales de construcción para la presa de contención y relaves filtrados fueron investigados para determinar sus parámetros geotécnicos y utilizarlos en el diseño del depósito de relaves. El resumen de los parámetros seleccionados para el diseño del depósito de relaves se presenta en las secciones de análisis y en la siguiente tabla 4.6.

Tabla 4.6: Modelamiento geotécnico

Material	γ (KN/m ³)	c (kPa)	ϕ (°)	E (MPa)	ν
Relave Filtrado	27	20	32	50	0.40
Cantera (diques)	22	25	35	150	0.30
Roca de cimentación superficial - granodiorita meteorizada	26.83	102	41.20	300	0.30
Roca de Cimentación Granodiorita	27.41	2580	67.65	600	0.25
Relleno con Rocas de corte	22	0	38	200	0.30

Fuente: Elaboración Propia (Valores obtenidos de laboratorio)¹²

4.2.2.6 Control del nivel freático

El nivel freático podría afectar la estabilidad del depósito de relaves, por lo que debe mantenerse tan bajo como sea posible. En este caso, por tratarse de una instalación en zona costera de baja recarga, la presencia del nivel freático no constituye un riesgo.

4.2.3 Diseño geotécnico

4.2.3.1 Poza de contingencia

La poza de contingencia y la presa de arranque están emplazadas sobre la unidad litológica intrusiva de naturaleza granodiorítica (Ks-gd). La granodiorita es de color gris blanquecina, de grano grueso, duro, homogéneo y masivo. El basamento rocoso está cubierto parcialmente por una capa delgada de suelo de origen aluvial y coluvial.

En la zona de cimentación de la presa de la poza de contingencia existen dos unidades litológicas (ver Figura 4.5). El basamento rocoso corresponde a la granodiorita y el depósito de cobertura es de origen aluvial.

El basamento rocoso aflora en el fondo de quebrada, desde el eje de la presa hacia aguas abajo y en los flancos de la quebrada. En el fondo de la quebrada la granodiorita está sana y masiva, mientras la que aflora en los flancos está meteorizada y se manifiesta en forma de bloques esferoidales.

El basamento rocoso en los flancos tiene una corteza de meteorización con velocidad sísmica entre 500 a 1200 m/s. Las propiedades geotécnicas para el macizo rocoso se han estimado en: densidad de 26 kN/m³, cohesión de 0.100 MPa y ángulo de fricción interna

12: Informe final de la ingeniería básica y de detalle del depósito de relaves filtrados Pahuaypite 2 de 40 .

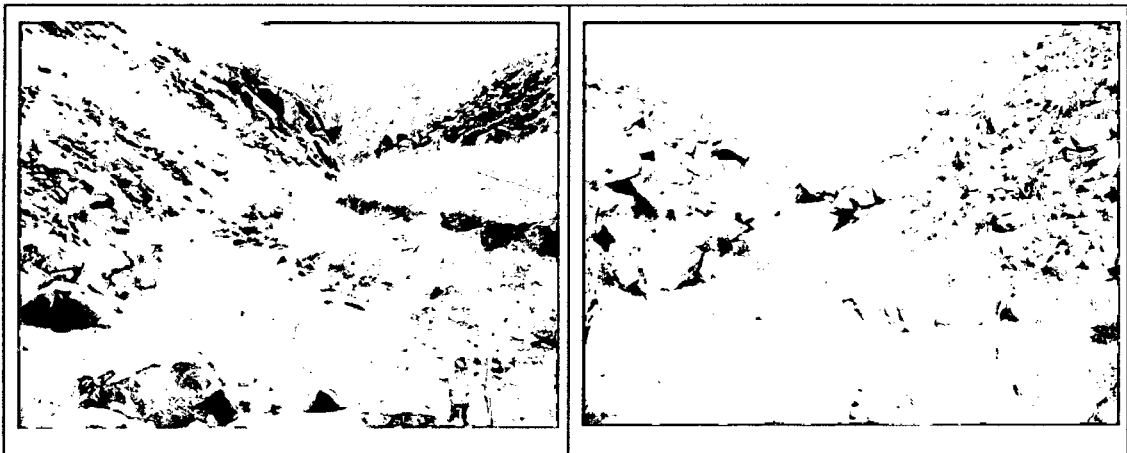


Figura 4.5: Vaso de la poza de contingencia, relleno con depósito aluvial (izquierda), granodiorita sana y masiva en el fondo de la quebrada (derecha).

El depósito aluvial está ocupando el fondo de la quebrada, y la zona donde estará el vaso de la poza de contingencia (ver Figura 4.6). Este material tiene 7.00 m de espesor y está compuesto por bloques con grava y matriz arenosa, medianamente compacta y permeable. Este material será eliminado del vaso del reservorio.

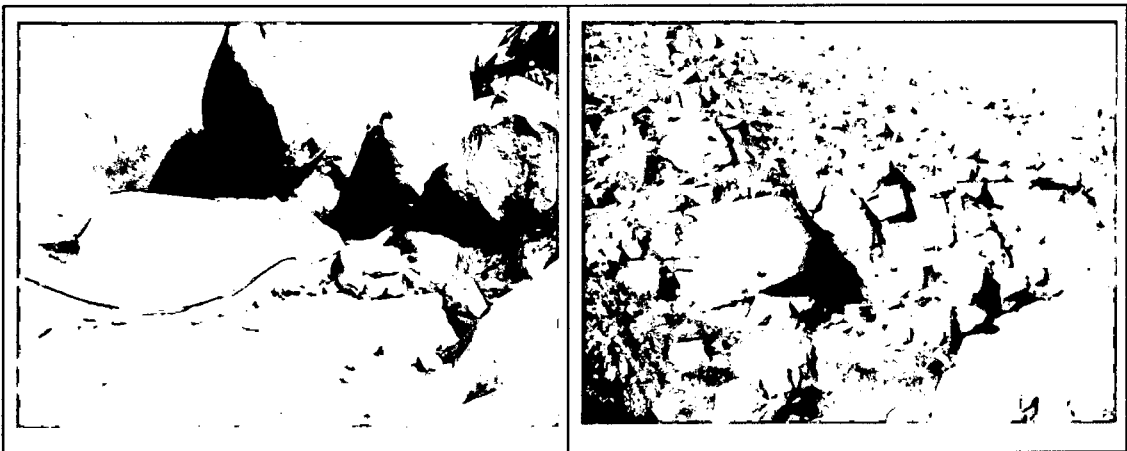


Figura 4.6: Afloramiento de la granodiorita en el fondo de la quebrada; sana y masiva (izquierda), granodiorita en bloques irregulares, en los flancos de la quebrada (derecha).

Los ensayos de permeabilidad han determinado que el basamento tiene permeabilidades por debajo 1.0 Lugeon, donde es impracticable la inyección con cementos comerciales. El nivel freático fue encontrado a los 11.70 m de profundidad.

4.2.3.2 Dique de arranque y depósito de relaves

El terraplén del dique de arranque está emplazado en la parte inferior de la quebrada Pahuaypite, donde la sección transversal es en forma de "V". El ancho del fondo de la quebrada no pasa de 10.00 m.

La cimentación está comprometida por tres tipos de materiales: el depósito aluvial, la granodiorita como basamento rocoso y un dique andesítico, como se observa en la Figura 4.7.

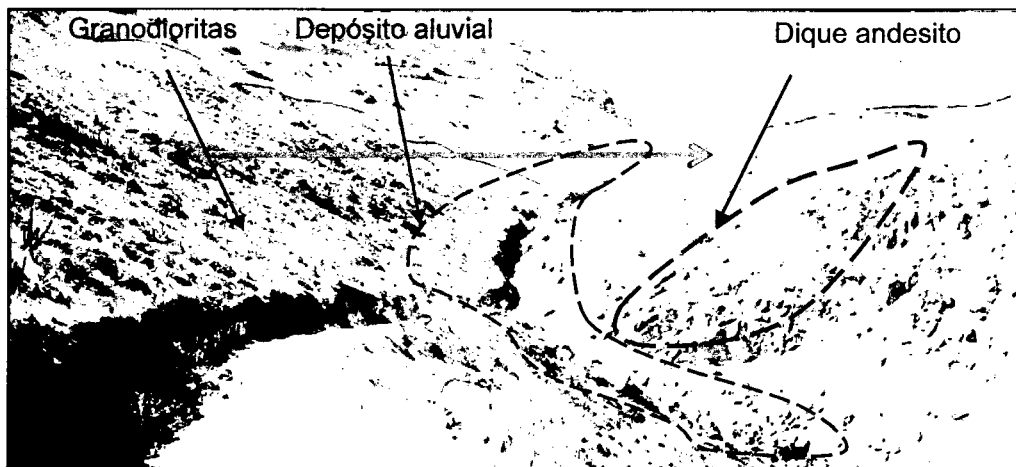


Figura 4.7: Zona de cimentación de la presa de arranque y embalse.

El material aluvial está compuesto por grava gruesa con matriz areno limosa y su espesor máximo es de 5.00 m. Este material será retirado de la cimentación de la presa.

La granodiorita tiene una corteza de meteorización de 10 m de espesor en el flanco izquierdo y fondo de la quebrada y 20 m de espesor en el flanco derecho. Esta corteza tiene una velocidad de ondas P de 500 a 1200 m/s, RQD menor a 25%⁸ y sus propiedades geotécnicas estimadas son: densidad de 26 kN/m³, cohesión de 0.100 MPa y ángulo de fricción interna de 41°.

La permeabilidad de la cimentación es variable. En el fondo de la quebrada se tiene valores de Lugeon menores a 1.00 por debajo de 10.00 m de profundidad. En el estribo izquierdo la roca está moderadamente fracturada y la permeabilidad en unidades Lugeon varían entre 1.00 y 2.00; mientras que en el estribo derecho el macizo rocoso tiene mayor intensidad de fracturamiento y se ha medido permeabilidades Lugeon mayor a 2.2, hasta

8: Informe final de la ingeniería básica y de detalle del depósito de relaves filtrados Pahuaypite 2

30.00 m de profundidad, donde llegó el sondeo. De requerirse una impermeabilización de la cimentación, el estribo derecho podrá inyectarse con cemento comercial. El nivel freático en el fondo de la quebrada está a 50.60 m de profundidad.

4.2.3.3 Presa derivadora (Check Dam)

Esta presa está en la parte posterior del depósito de relaves y se cimentará sobre rocas volcánicas de la formación Huaranguillo (Kis-hr) y un depósito aluvial (Q-al). El depósito aluvial está ocupando el fondo de la quebrada con 5 m de espesor, su composición consta de grava con bloques de hasta 25 cm de diámetro y matriz areno limosa, aglutinados en un conjunto compacto a duro. En el flanco derecho de la quebrada el depósito superficial tiene una potencia de 13.50 m y está compuesto predominantemente por bloques de andesita. Este material será parcialmente eliminado de la cimentación de la presa.

La andesita Huaranguillo es de color gris verdosa, grano fino y duro. El macizo rocoso está ligeramente meteorizado y moderadamente fracturado, con RQD del orden de 50 %¹² y se ha estimado un GSI de 50. La resistencia del macizo rocoso andesítico, considera una resistencia a la compresión simple de 50 MPa, una cohesión de 200 MPa y ángulo de fricción interna de 50°.

La permeabilidad de la andesita es variable. En el fondo de la quebrada, por debajo de 10.00 m se tiene que la permeabilidad es menor a 1.00 Lugeon. En el estribo izquierdo se intercalan tramos de baja y alta permeabilidad de hasta 60 Lugeon. Para evitar filtraciones del embalse del check dam hacia el depósito de relaves se recomienda la impermeabilización de la cimentación de la presa con una pantalla de inyección de 10 m de profundidad. El nivel freático fue encontrado a 13.40 m de profundidad.

4.2.4 Diseño geométrico

El depósito de relaves filtrados Pahuaypite 2 se diseñó en el sector central de la quebrada Pahuaypite 2 y en el fondo de ésta.

La configuración propuesta para el proyecto tiene varios elementos que siguiendo la distribución desde aguas abajo hacia aguas arriba son: poza o embalse de contingencias, dique de arranque, configuración del depósito final del depósito de relaves, dique intermedio, dos plataformas inferior y superior de manipuleo y oreo de relaves filtrados, y un check dam para el control de flujo superficial.

Los elementos mencionados tienen las siguientes características:

Embalse del depósito de contingencias:

12: Informe final de la ingeniería básica y de detalle del depósito de relaves filtrados Pahuaypite 2

• Presa

▪ Cota de corona:	1,967 msnm
▪ Cota de la base:	1,900 msnm
▪ Ancho de corona:	8 m
▪ Longitud de corona:	108 m
▪ Borde libre:	1.50 m
▪ Talud aguas arriba:	1.5:1 (H:V)
▪ Talud aguas abajo:	1.6:1 (H:V)
▪ Volumen total de relleno:	118,675 m ³
▪ Volumen de relleno roca:	105,239 m ³
▪ Volumen de relleno suelo:	13,435 m ³

• Vaso del depósito de contingencias:

▪ Cota de embalse:	1,965.50 msnm
▪ Área de superficie:	13,195 m ²
▪ Volumen de almacenamiento:	108,150 m ³

Depósito de relaves filtrados

• Dique de arranque:

▪ Cota de corona:	2,015 msnm
▪ Cota de la base:	1,990 msnm
▪ Ancho de corona:	5 m
▪ Longitud de corona:	108 m
▪ Borde libre:	2 m
▪ Talud aguas arriba:	1.6:1 (H:V)
▪ Talud aguas abajo:	1.6:1 (H:V)
▪ Volumen de relleno compactado:	73,159 m ³

• Configuración del depósito de relaves

▪ Cota de plataforma final:	2,131 msnm
▪ Altura máxima de bancos:	20 m
▪ Retiro de bancos:	10 m
▪ Talud aguas abajo de bancos:	2:1 (H:V)
▪ Talud general del interrampa:	22°
▪ Volumen de relleno:	10 Mm ³

• Dique intermedio:

▪ Cota de corona:	2,055 msnm
▪ Cota de la base:	2,040 msnm

- Ancho de corona: 5 m
- Longitud de corona: 97 m
- Borde libre: No tiene
- Talud aguas arriba: 1.5:1 (H:V)
- Talud aguas abajo: 1.6:1 (H:V)
- Volumen de relleno compactado: 50,926 m³
- Plataforma inferior:
 - Cota de plataforma: 2,013 msnm
 - Volumen de relleno: 67,447 m³
 - Volumen de corte: 77,460 m³
- Plataforma superior:
 - Cota de plataforma: 2,055 msnm
 - Volumen de relleno: 92,320 m³
 - Volumen de corte: 54,768 m³
- Check dam:

Presa

- Cota de corona: 2,143.00 msnm
- Cota de la base: 2,120 msnm
- Ancho de corona: 10 m
- Longitud de corona: 83 m
- Borde libre: 1 m
- Talud aguas arriba: 1.5:1 (H:V)
- Talud aguas abajo: 1.5:1 (H:V)
- Volumen de relleno compactado: 25,665 m³

Vaso del check dam:

- Cota de embalse: 2,142.00 msnm
- Área de superficie: 22,677 m²
- Volumen de almacenamiento: 23,704 m³

4.2.5 Modelo geotécnico

Una forma de disminuir los riesgos provenientes de la información geotécnica es la construcción de un modelo geotécnico para el lugar. El modelo debe ser independiente del método de excavación y debe reflejar con precisión las condiciones del suelo de cimentación y del material de relleno, los cuales representan de manera simplificada las

características geológicas y geotécnicas, conformado por la integración de una serie de elementos que en conjunto definen unidades de similar comportamiento geotécnico del macizo rocoso o unidades geotécnicas. Cada tipo de información utilizada como dato de entrada debe ser considerada independiente sin realizar ningún intento de ajustar o armonizar.

- Metodología

La elaboración de un modelo geológico - geotécnico consta de varias etapas de trabajo. En el tema de investigación, el trabajo de modelización comenzó con la recopilación de todos aquellos datos topográficos (levantamiento topográfico), geológicos (levantamiento geológicos, planos geológicos, secciones geológicas), geotécnicos (sondeos mecánicos, ensayos de laboratorio y ensayos in situ) y de auscultación (lecturas de piezómetro, perforaciones tipo SPT y cono Peck) disponibles sobre el sector de estudio.

La cimentación del depósito de relaves fue investigada con 18 líneas de refracción sísmica de refracción y 10 sondeos diamantinos. Los resultados de estas investigaciones han permitido elaborar los modelos geológicos.

- Poza de Contingencia

Esta estructura se cimentará sobre dos unidades litológicas: el basamento rocoso que corresponde a la granodiorita, cuyas propiedades se muestran en la tabla 4.7 y el depósito de cobertura de origen aluvial y eluvial.

Tabla 4.7: Parámetros geotécnicos determinados para la granodiorita.

Litología	γ_{mr} (kN/m ³)	GSI	ϕ°	c (MPa)	m_b	s	σ_{cm} (MPa)	E (MPa)	μ
Granodiorita meteorizada	22	25	30	0.168	0.325	0.00001	1.59	321	0.30
Granodiorita sana	24	70	58	1.52	2.35	0.0067	29.60	26018	0.20

Fuente: Elaboración Propia (Valores obtenidos del laboratorio, ver anexo 1: Ensayos geotécnicos)¹²

- Dique de arranque y zona de acumulación del depósito de relaves

El terraplén del dique de arranque estará emplazado en la parte inferior de la quebrada Pahuaypite 2, la cimentación del dique de arranque está comprometida con dos tipos de material: el depósito aluvial y la granodiorita como basamento rocoso.

- Zonas de las plataformas de manipuleo de relaves

En el proyecto se ha diseñado dos plataformas para el manipuleo y secado de los relaves, a las cuales se les ha identificado como plataforma inferior y plataforma superior. La

plataforma inferior tendrá como dique a la presa de arranque y la superior tendrá como contención el dique intermedio. La plataforma inferior será conformada en el embalse del dique de arranque labrado en depósito aluvial, el cual será explotado para la construcción de los terraplenes de la presa, y el relleno de la plataforma inferior descansará en granodiorita meteorizada. La plataforma superior tendrá un dique de tierra (dique intermedio); tanto la cimentación del dique de contención como la del relleno están ocupados por depósitos aluviales de 10 m de espesor, que serán explotados para la construcción de las presas. La plataforma será conformada con cortes y rellenos. El dique intermedio y la plataforma superior serán emplazados sobre granodiorita meteorizada y fracturada.

- Presa derivadora (check dam)

Esta presa se ubicará en la cola del depósito de relaves, donde existen rocas volcánicas de la formación Huaranguillo y sobre depósito aluvial. La andesita Huaranguillo es de color gris verdosa, grano fino y duro. El macizo rocoso está ligeramente meteorizado y moderadamente fracturado y sus propiedades geotécnicas determinadas se incluyen en la tabla 4.8.

Tabla 4.8: Parámetros geotécnicos determinados para la andesita.

Litología	γ_{mr} (kN/m ³)	GSI	ϕ°	c (MPa)	m_b	s	σ_{cm} (MPa)	E (MPa)	μ
Andesita ligeramente meteorizada	26	50	48	0.47	0.703	0.0002	10.93	2668	0.25

El siguiente paso es asignar propiedades geotécnicas a las diferentes estructuras que forman parte del modelo. Para ello se realizaron investigaciones geotécnicas consistentes en perforaciones diamantinas y ensayos a los diferentes materiales que componen el modelo. Las propiedades geotécnicas del relave filtrado consideradas fueron: densidad seca, peso específico, los porcentajes de finos (limo y arcilla), los límites de Atterberg, la cohesión, el ángulo de fricción, permeabilidad, resistencia a compresión simple del material de enrocado, etc.

En la siguiente tabla 4.9 se presentan las unidades geológico-geotécnicas que constituyen el modelo geotécnico del “Depósito de Relaves Filtrados Pahuaypite 2”, junto con las propiedades geotécnicas asignadas a cada una de ellas.

Tabla 4.9: Parámetros de resistencia y deformabilidad de los materiales.

Material	γ (KN/m ³)	c (kPa)	ϕ (°)	E (MPa)	ν
Relave filtrado	27	20	32	20	0.25
Cantera de suelo (diques)	22	25	35	150	0.30
Roca de cimentación superficial - granodiorita meteorizada	22	168	30	321	0.30
Roca de cimentación granodiorita	24	1520	58	26018	0.20
Roca de cimentación andesita ligeramente meteorizada	26	470	48	2668	0.25
Cantera de roca (diques)	22	0	41	200	0.30
Relleno de roca (plataformas)	22	0	38	200	0.30

Fuente: Elaboración Propia (Valores obtenidos del laboratorio, ver anexo 1: Ensayos geotécnicos)¹²

La figura 4.8 se resume esquemáticamente los datos empleados en la elaboración del modelo geológico - geotécnico.

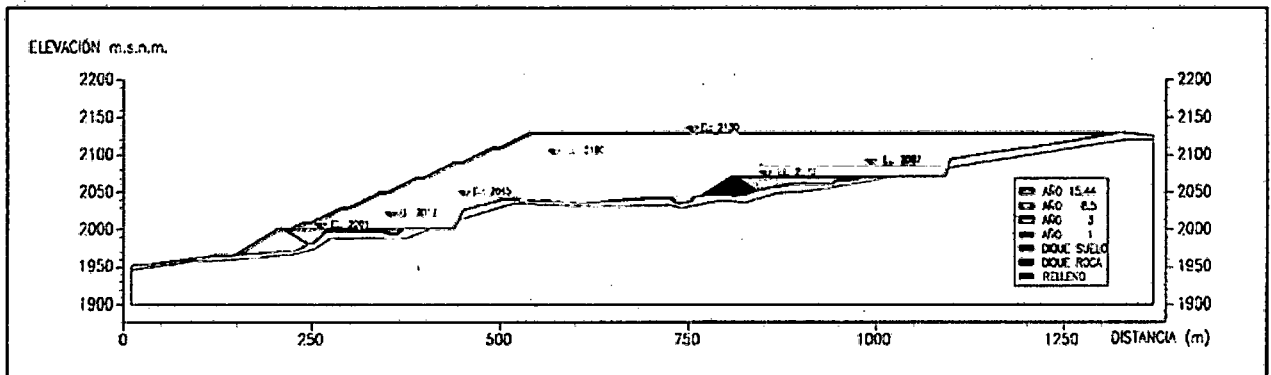


Figura 4.8: Modelo geotécnico – Depósito Pahuaypite 2.

4.2.6 Análisis de estabilidad física

Los análisis de estabilidad se realizaron aplicando la metodología de equilibrio límite y el método simplificado de Bishop. Se utilizó el programa de cómputo Slide V 5.0 que permite la visualización gráfica de los análisis de estabilidad de las superficies potenciales de falla.

La estabilidad pseudo-estática se evaluó para condiciones de operación y condiciones de cierre. Los coeficientes sísmicos utilizados fueron de 0.12 y 0.20, respectivamente. Los relaves filtrados se colocarán a una humedad máxima de 7% y con una compactación mínima del 95% del ensayo Proctor estándar.

12: Informe final de la ingeniería básica y de detalle del depósito de relaves filtrados Pahuaypite 2

Se analizó la estabilidad de las 5 componentes del proyecto: la presa del depósito de contingencias, el dique de arranque, dique intermedio, depósito de relaves filtrados y dique del check dam.

En la sección de diseño de cada elemento, se calcularon los factores de seguridad tanto del talud aguas abajo como del talud aguas arriba. En la tabla 4.10 se presentan los valores de los factores de seguridad obtenidos en el análisis de estabilidad de los taludes de los elementos que conforman el proyecto depósito de relaves Pahuaypite 2 y en el Anexo III.1 se incluyen los resultados de los análisis de estabilidad.

Tabla 4.10: Factores de seguridad de la estabilidad del depósito de relaves.

Elemento	Análisis	Factor de seguridad		Materiales Afectados por la Falla
Presa del depósito de contingencias	Talud Aguas Abajo	Estático	1.61	Relleno de material de cantera (roca y suelo)
		Pseudo-estático 0.12 (Operación)	1.25	Relleno de material de cantera (roca y suelo)
		Pseudo-estático 0.20 (cierre)	1.07	Relleno de material de cantera (roca y suelo)
	Talud Aguas Arriba	Estático	1.80	Relleno de material de cantera (roca y suelo)
		Pseudo-estático 0.12 (Operación)	1.44	Relleno de material de cantera (roca y suelo)
		Pseudo-estático 0.20 (cierre)	1.26	Relleno de material de cantera (roca y suelo)
Dique de arranque	Talud Aguas Abajo	Estático	1.69	Relleno de material de cantera (suelo)
		Pseudo-estático 0.12 (Operación)	1.33	Relleno de material de cantera (suelo)
		Pseudo-estático 0.20 (cierre)	1.15	Relleno de material de cantera (suelo)
	Talud Aguas Arriba	Estático	1.88	Relleno de material de cantera (suelo)
		Pseudo-estático 0.12 (Operación)	1.50	Relleno de material de cantera (suelo)
		Pseudo-estático 0.20 (cierre)	1.31	Relleno de material de cantera (suelo)
Dique intermedio	Talud Aguas Abajo	Estático	1.56	Relleno de material de cantera (roca)
		Pseudo-estático 0.12 (Operación)	1.23	Relleno de material de cantera (roca)
		Pseudo-estático 0.20 (cierre)	1.05	Relleno de material de cantera (roca)
	Talud Aguas Arriba	Estático	1.56	Relleno de material de cantera (roca)
		Pseudo-estático 0.12 (Operación)	1.233	Relleno de material de cantera (roca)

Elemento	Análisis	Factor de seguridad		Materiales Afectados por la Falla
		Pseudo-estático 0.20 (cierre)	1.064	Relleno de material de cantera (roca)
Dique de check dam	Talud Aguas Abajo	Estático	1.981	Relleno de material de cantera (suelo)
		Pseudo-estático 0.12 (Operación)	1.596	Relleno de material de cantera (suelo)
		Pseudo-estático 0.20 (cierre)	1.395	Relleno de material de cantera (suelo)
Depósito de Relave Filtrado	Total	Estático	1.770	Relaves filtrados
		Pseudo-estático 0.12 (Operación)	1.304	Relaves filtrados
		Pseudo-estático 0.20 (cierre)	1.094	Relaves filtrados

Las superficies de falla que se presentan en los elementos de análisis corresponden al denominado "pie de talud", asociado a fallamiento de taludes conformado por materiales granulares, que generan un movimiento de masas de tipo superficial.

La resistencia a largo plazo del relave será mayor por pérdida de agua e incremento de la compactación, mejorando la estabilidad de la geometría actual y las condiciones de seguridad requeridas para el cierre del depósito de relaves.

4.2.7 Análisis de filtraciones del depósito de relaves

El análisis de filtración realizado tiene el objetivo de estimar la razón de flujo esperado hacia aguas abajo a través del cuerpo de la presa y de la cimentación. Desde el punto de vista hidrogeológico la cimentación del depósito de relaves se ha zonificado en dos tipos: la roca granodiorita sana de baja permeabilidad y la granodiorita meteorizada de moderada permeabilidad. El análisis de filtraciones se ha realizado en dos escenarios:

- El primer escenario considera la cimentación del dique de arranque sin tratamiento de inyecciones y un dren basal de fondo.
- El segundo escenario considera la pantalla de inyecciones en la cimentación del dique de arranque y el dren basal de fondo.

4.2.7.1 Método de análisis

La tasa de flujo a través de la presa y del estrato rocoso se evaluó mediante un análisis de filtración bidimensional, utilizando modelos numéricos mediante técnicas de elementos finitos y con la ayuda del programa Slide en el módulo Groundwater. Este programa permite al usuario generar mallas con elementos finitos, asignar propiedades de los materiales, especificar una razón de flujo de entrada y asignar condiciones de borde.

El programa Groundwater considera tanto el flujo a través de un medio saturado como no saturado y está formulado para resolver problemas con flujo permanente. En un análisis de flujo permanente la carga hidráulica y la permeabilidad permanecen constantes con respecto al tiempo.

En el análisis se asumió una tasa de flujo permanente que está gobernada por la ley de Darcy. La ley de Darcy indica que la cantidad de flujo a través de un medio poroso es proporcional a la permeabilidad del medio, la gradiente hidráulica y el área. La permeabilidad se asumió constante en todos los materiales e igual en todas las direcciones, excepto en la roca (relación entre la permeabilidad horizontal a la vertical igual a 0.1 en roca).

La tasa de flujo se ha estimado para una altura de agua correspondiente a la máxima que alcanzará el vaso.

4.2.7.2 Características del modelo

El modelo considera las permeabilidades de los materiales con los cuales se ha conformado el depósito de relaves y los materiales de la cimentación. Si bien es cierto que se colocará una cortina de inyecciones en el talud aguas arriba del dique de la presa, se han evaluado dos escenarios con la finalidad de interpretar el flujo que se tendría a través del depósito de relaves.

La permeabilidad de los materiales que se utilizaron en el análisis en la presa y material de cimentación son las siguientes:

- | | |
|--------------------------------|----------------------------|
| ▪ Relave filtrado: | 6.3×10^{-4} cm/s |
| ▪ Dique de arranque (Suelo): | 1.2×10^{-5} cm/s |
| ▪ Dique intermedio (Rocas): | 1.0 cm/s |
| ▪ Plataforma superior (Rocas): | 1.0 cm/s |
| ▪ Plataforma inferior (Rocas): | 1.0 cm/s |
| ▪ Granodiorita meteorizada: | 8.82×10^{-4} cm/s |
| ▪ Granodiorita: | 7.70×10^{-6} cm/s |
| ▪ Dren basal (rocas): | 1.0 cm/s |
| ▪ Cortina de inyecciones: | 1.0×10^{-5} cm/s |

El cálculo de la razón de flujo utilizando el método de elementos finitos considera ciertas condiciones preestablecidas que deben asignarse al modelo. En el análisis del depósito, el nivel de agua considerado se representó mediante valores de cargas totales asignadas a los nudos en la plataforma superior del depósito. Los valores de las cargas totales son iguales a la máxima elevación del nivel de agua considerado.

Los bordes laterales se modelaron para que el flujo sea cero, con la finalidad de que el régimen de flujo no sea afectado por flujos laterales provenientes de otras áreas diferentes a las de análisis. Además se revisaron los nudos para verificar la posibilidad de existencia de presión hidrostática nula en el talud aguas abajo de la presa.

Los resultados obtenidos indican lo siguiente:

- Escenario 1: Para un caudal máximo esperado en un punto de análisis de $3.71 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$.
- Escenario 2: Para un caudal máximo esperado en un punto de análisis de $4.01 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$.

Para el escenario 1 el flujo obtenido atraviesa el depósito de relaves y los flujos se encuentran contenidos en el dren basal y en la granodiorita meteorizada y en esas condiciones, cruza la cimentación del dique de arranque.

En el escenario 2, la colocación de la cortina de inyecciones genera un amortiguamiento del flujo en la granodiorita meteorizada y redirecciona el flujo al dren basal por lo que se puede observar un incremento del caudal esperado.

Para ambos casos, la razón de flujo es pequeña pues el relave filtrado presenta propiedades que indican una baja permeabilidad.

En el Anexo III se puede visualizar el análisis de filtraciones que se ha realizado para el diseño del depósito.

4.3 COMPARACIÓN DE DISEÑOS DE DEPÓSITOS DE RELAVES FILTRADOS

4.3.1 Condiciones climatológicas

Las condiciones climatológicas que se encuentran en uno y otro caso son distintos, debido a la altura promedio que encuentran con respecto al nivel del mar; mientras que el caso 1 se encuentra a 3500 msnm el caso 2 se encuentra a 1800 msnm, presentando condiciones muy diferentes en cuanto a las precipitaciones pluviales (ver tabla 4.12) y temperaturas que oscilan de bajas a altas como se muestra en la tabla 4.11.

Tabla 4.11: Temperaturas promedio en cada caso.

		ENE	FEB	MAR	AB	MAY	JN	JL	AG	SET	OCT	NOV	DIC	
T°C	Día	25	25	25	28	28	28	28	28	28	28	28	25	CASO 1
	Noche	10	10	10	0	0	0	0	0	0	0	0	10	
	Día	35	35	35	32	32	32	32	32	32	32	32	35	CASO 2
	Noche	15	15	15	10	10	10	10	10	10	10	10	10	

Tabla 4.12: Precipitación máx. 24 en cada caso.

		MESES												
		ENE	FEB	MAR	AB	MAY	JN	JL	AG	SET	OCT	NOV	DIC	
Pmx24		18.6	28	S/D	0	0	0	0	0	4.8	20.8	18.6	S/D	CASO 1
		10.2	14.8	12.8	3.6	3.5	0	0	0	0	0	S/D	S/D	CASO 2

Fuente: SENAMHI
 S/D: Sin Datos

Según los registros descritos, podemos concluir que en el caso 1 se tiene un clima más extremo durante todo el año, siendo los meses desde diciembre a marzo en los que no se puede realizar trabajos de construcción del depósito debido a las fuertes precipitaciones que se presentan en la zona, lo cual se evidencia con la tabla 4.12 de precipitaciones máximas.

En cuanto al caso 2, éste corresponde a un clima menos severo, presentando temperaturas favorables en gran parte del año, lo cual favorece el proceso de conformación del depósito, ya que al contar con climas mayores a los 30°C el proceso de secado del relave se realiza más rápido. En cuanto a las precipitaciones, éstas se presentan con mucha menor intensidad que en el caso 1, como se muestra en la tabla de precipitaciones máximas.

4.3.2 Condiciones topográficas

El depósito de relaves Ramahuayco, que se presenta en el caso 1, está ubicado en la quebrada Sacclani, entre las cotas 3340 y 3600 msnm. La quebrada en esta zona se caracteriza por tener un alineamiento ondulado y sección transversal angosta hasta encañonada; donde resaltan el fondo angosto y flancos escarpados con fuerte pendiente. Según la configuración del relieve, la quebrada puede dividirse en tres sectores con características típicas: entre las cotas 3420 y 3450 msnm la morfología de la quebrada es el de un típico cañón, tanto aguas arriba como aguas abajo los flancos de la quebrada se echan, pero manteniendo un fondo angosto y de fuerte pendiente.

El depósito de relaves Pahuaypite 2, que se presenta en el caso 2 se encuentra en la quebrada del mismo nombre, la cual está disectada en el flanco izquierdo de la quebrada Topará. La zona inferior es muy agreste, la zona intermedia se forma en dos quebradas llamados Pahuaypite 1 y Pahuaypite 2; la quebrada Pahuaypite 2 se extiende a la zona superior, la cual es una ladera convexa, cuyo drenaje es dendrítico.

El área de la quebrada tiene una extensión de aproximadamente 386 ha. El modelo local corresponde a un tipo de valle juvenil en "V", con flancos bastante escarpados y fondo de fuerte pendiente. De acuerdo a la descripción topográfica de las zonas en donde se emplazan los depósitos, el caso 2 muestra un valle de mayor área y pendientes moderadas, lo que es ideal para almacenar los relaves mientras que en el caso 1, la quebrada es más angosta y con fuertes pendientes en ambos lados de la quebrada.

4.3.3 Parámetros de diseño

Las características de disposición de relaves filtrados en cada caso hacen que cada depósito cuente con estructuras y parámetros únicos, como se muestra en la siguiente tabla 4.13 con la descripción de cada depósito, con la finalidad de diferenciar sus parámetros geométricos y de diseño.

Tabla 4.13: Comparativo de parámetros de diseño.

Punto de comparación	Caso 1	Caso 2
Contenido de humedad	12%	9%
Densidad seca	2.05 t/m ³	2.70 t/m ³
Dique de pie (enrocado)	Aguas arriba=1.5H:1V	
	Aguas abajo=1.75H:1V	
Dique de contención	Aguas arriba=1.5H:1V	
	Aguas abajo=1.75H:1V	
Vaso de almacenamiento	Aguas abajo=2.5H:1V	
Dique de arranque (enrocado)		Aguas arriba=1.6H:1V
		Aguas abajo=1.6H:1V
Relave filtrado		Aguas abajo=2.0H:1V
Dique Intermedio		Aguas arriba=1.5H:1V
		Aguas abajo=1.6H:1V
Check dam		Aguas arriba=1.5H:1V
		Aguas abajo=1.5H:1V
Sistema de impermeabilización	impermeabilizar el dique de contención aguas arriba	Sistema de plinto en dique de arranque y check dam

Punto de comparación	Caso 1	Caso 2
Coeficiente sísmico	0.16 para un retorno de 475 años	Operación y Post cierre
Análisis de filtraciones	Filtros de subdrenaje	Dique de arranque sistema de plinto y dren basal

De acuerdo a los valores y descripciones que se presentó en la tabla anterior, se observa que en el caso 2 se tiene un mejor control en cuanto al tema de las filtraciones ya sean de subdrenaje como del drenaje propio del depósito de relaves, dichos sistemas son implementados en cada caso con el propósito de minimizar el nivel piezométrico que podría presentarse en los diques de contención, así como en el depósito de relaves.

En el tema de las dimensiones de los taludes de las estructuras de retención y almacenamiento, se tiene valores promedio en ambos casos, no son estructuras muy pronunciadas ni muy echadas, ya que la topografía de cada lugar ayuda en ambos casos como elemento de confinamiento al depósito de relaves.

4.3.4 Aspectos de Capex y Opex

Las principales restricciones para la aplicación de la tecnología de relaves filtrados en sistemas de alta producción, son el costo y tamaño de las instalaciones requeridas, incluyendo filtros y fajas transportadoras.

El Capex ("capital expenditure") o costos de capital está relacionado a los costos de construcción tanto de la planta de filtrado como del depósito de relaves. Mientras la construcción de los diques, elementos impermeabilizantes, sistemas de drenaje y de manejo de aguas superficiales, son similares a un depósito de relaves convencionales; el costo de la planta de filtrado incrementa significativamente el Capex de un proyecto de relaves filtrados. Adicionalmente, si la operación opta por el transporte de los relaves mediante fajas transportadoras en lugar de camiones, el Capex experimenta un incremento adicional, si bien los costos operativos disminuyen significativamente.

Con respecto a la Opex ("operational expenditure") o costos operativos, es bien sabido que los elementos más importantes en operaciones convencionales son la energía para el transporte de relaves y para la recuperación del agua. En el caso de la operación de relaves filtrados los costos operativos se refieren al proceso del filtrado de relaves y al transporte al depósito mediante fajas o camiones, siendo la operación de la planta de filtrado el que representa el mayor costo para este tipo de operaciones. Además, las condiciones climáticas adversas pueden reducir la productividad per cápita en funcionamiento, incrementando los costos operativos.

En su totalidad, el Capex y Opex para la tecnología del relave filtrado muestran una clara relación entre los costos y los sólidos objetivos de concentración similar a la figura N°4.9, donde debe existir un óptimo rendimiento económico que corresponde a una de las tecnologías propuestas para el sitio.

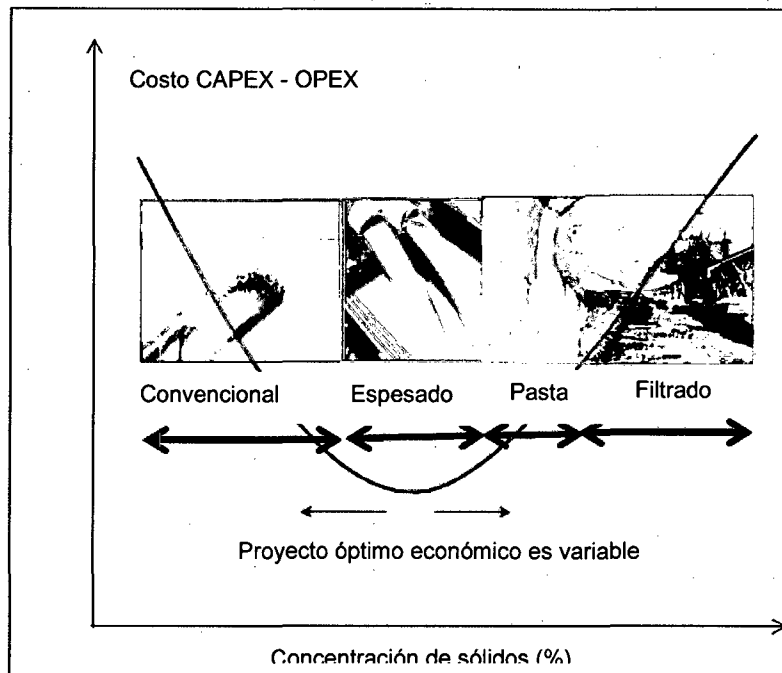


Figura 4.9: Relación cualitativa entre costo total y la concentración de sólidos

Para nuestro caso, en referencia a los depósitos de relaves filtrados, tanto en la zona de sierra y de costa dichos costos de capital y de operación son temas exclusivos de cada unidad minera, habiendo escogido cada una el tipo de proceso de filtrado y demás instalaciones de acuerdo a las necesidades propias del proyecto y del lugar.

4.3.5 Costos de compactación del relave filtrado

Se analiza a continuación el tema propio del proceso de compactación del relave filtrado, en donde se describirá el aspecto económico de dicho proceso.

4.3.5.1 Caso 1:

En este caso cabe precisar que la planta de filtrado se encuentra muy alejada del depósito de relaves Ramahuayco, aproximadamente a una hora de transporte de los volquetes, además, se suma el acopio del material de préstamo de las canteras de préstamo ubicadas cerca del depósito de relaves; el relave filtrado ingresa a las zonas de secado con humedades en promedio de 15% y el material de préstamo con 9%, ello conlleva al proceso de secado (oreado) del relave filtrado hasta obtener una humedad óptima de mezclado con

el material de préstamo. Dicho proceso es la actividad que aumenta el costo del proceso de compactado del material de mezcla.

Costos del proceso de compactación de relaves:

▪ Explotación de cantera-mat. suelto (p/dique y depósito)	\$1.78/m ³
▪ Acarreo de material suelto	\$1.84/m ³
▪ Transporte de material	\$2.16/m ³
▪ Mezcla relleno dique/depósito (relave filtrado+cantera 3:1)	\$0.57/m ³
▪ Carguío de material de mezcla	\$0.84/m ³
▪ Transporte de material	\$2.16/m ³
▪ Conformación de material mezcla	\$3.13/m ³
▪ Perfilado de talud (banqueta y talud)	\$0.58/m ³
▪ Conformación de material drenante (manual)	\$0.47/m ³

De acuerdo a los costos por m³ en la etapa de conformación de la mezcla de relave (material de préstamo + relave filtrado), el costo de conformación de 1 m³ de mezcla está en el orden \$13.54/m³

4.3.5.2 Caso 2:

En este caso, cabe precisar que la planta de filtrado se encuentra en la parte superior de la quebrada Pahuaypite, a pocos metros de la zona del depósito de relaves, ante ello el proceso de carguío y transporte se minimiza, solo las partidas de conformación y compactación las que más inciden en el tema de costos.

Costos del proceso de compactación de relaves:

▪ Carguío de relave filtrado	\$1.50/m ³
▪ Transporte de relave filtrado	\$1.50/m ³
▪ Conformación y compactación	\$4.00/m ³

De acuerdo lo anterior el costo de conformación de 1 m³ de relave filtrado está en el orden \$7.00/m³

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- En relación con los objetivos planteados en la presente tesis, se han presentado 2 casos de las etapas de diseño y operación de depósitos de relaves filtrados con la finalidad de destacar las tareas desarrolladas por el ingeniero civil-geotécnico, permitiendo con esto generar una base de datos adecuada de esta moderna forma de disposición de relaves.
- La evolución de tecnologías para procesar el mineral explotado, a causa de las exigencias propias de cada país, ha hecho que mejore la calidad de obtención y explotación de los recursos que intervienen en el proceso de filtrado de relaves, con el consiguiente ahorro del agua, menores áreas de disposición, mayor capacidad de los depósitos de relaves, mejores condiciones de estabilidad, etc.
- Las formas de disposición de relaves, desde los relaves en pulpa pasando por los relaves espesados y llegando hasta los relaves en pasta y filtrados, fueron posible por la tecnología combinada de espesadores y tipos de filtros, obteniéndose cada vez materiales (relaves filtrados) con mejores propiedades geotécnicas y mejores formas de transporte y colocación, teniendo con ello geometrías más pronunciadas, las cuales ocupan menos área en comparación con los relaves en pulpa y espesados.
- En el ámbito de costos de capital y operación, en cuanto a los sistemas de disposición de relaves en seco (filtrados), a diferencia de los relaves húmedos (pulpa y espesado), se opta por el método de filtros a pesar de la mayor inversión; sin embargo, el tiempo de vida útil de esta forma de disposición y de la infraestructura es más amplia que el de los sistemas convencionales, por esta razón es que se opta por esta tecnología de disposición.
- Los datos de diseño en el caso 1 (depósito de relaves filtrados en la zona de la sierra), se basan en la premisa de obtener un material final con condiciones geotécnicas apropiadas; bajo este concepto la operación minera decidió mezclar el relave filtrado con material de préstamo, llegándose a obtener un material tipo arena limosa (SM). Finalmente esta mezcla es colocada y compactada para su disposición en el depósito.
- La operación del depósito de relaves en el caso 1 implica tener relaves filtrados con humedades óptimas en el rango de 11 – 13%, antes de ser mezclados con el material de préstamo, con la finalidad de lograr una compactación adecuada.

- El depósito de relaves del caso 1, ubicado en zona de sierra, presenta el gran reto de operar en condiciones de lluvias durante cierta época del año, lo cual perjudica la operación, obligando en muchos casos a suspender la disposición de relaves, atrasando con ellos varias semanas para poder reanudar la operación.
- En el caso 2, zona de costa, la operación es más sencilla debido a la cercanía de la planta y la poca precipitación en zona costera. Las humedades de salida de la planta son menores (máximos 13%), el transporte tiene distancias menores, la compactación se realiza sobre el relave filtrado sin necesidad de mezclarlo con otro material, y el clima del lugar ayuda en gran medida al secado de los relaves filtrados.
- Con respecto a las estructuras que conforman el depósito del caso 1, estas son: dique de arranque; dique de contención construido con el método aguas abajo, el cual se construye de manera progresiva conforme se produce el relave filtrado en la planta; depósito de relaves filtrados; y canales de coronación, siendo estos últimos los únicos sistemas de control de aguas provenientes de las lluvias y quebradas aledañas al depósito.
- En cuanto al caso 2, zona de costa, se cuenta con diques de arranque en la parte más baja y en la parte intermedia, pozas de contingencias tanto en la parte baja del depósito como en la parte superior del depósito (check dam), asegurando con estas estructuras de almacenamiento, la contención de los posibles eventos causados por las precipitaciones (flujo de huaycos y/o flujos de lodo, materiales arrastrados por la saturación de la lluvia con el material suelto).
- Sin duda la participación que tiene la ingeniera civil dentro de cualquier proyecto minero de infraestructura, y especialmente en los depósitos de relaves es fundamental, ya que influirá en el desarrollo eficiente de las distintas fases del emplazamiento. Actividades como levantamientos preliminares y reconocimientos detallados de los accidentes naturales del lugar seleccionado para el almacenamiento del material, son relevantes dentro de las tareas que le corresponde al ingeniero civil, además de realizar controles a las estructuras que lo componen y múltiples actividades de inspección durante la etapa de operación (controles de topográficos, instrumentación, etc.) que constituyen en forma general, algunas de las labores que desarrollamos como profesionales en esta área.
- Las instalaciones de relaves filtrados son cada vez más comunes y los avances tecnológicos hacen que este tipo de instalaciones sean cada vez más factibles como una opción de almacenamiento de relaves. Al igual que con otras opciones de

disposición de residuos de minería, la decisión de seleccionar relaves filtrados debe hacerse sobre la base de requerimientos y consideraciones específicas del sitio, incluyendo los costos de capital, operación y cierre, pero también sobre la base de resultados de una evaluación del riesgo, consumo de agua y disponibilidad, y aspectos ambientales.

- Los relaves filtrados se han convertido en un método alternativo de disposición de relaves en la última década, especialmente en sitios con baja disponibilidad y restricciones para la obtención de agua. En América del Sur, por lo menos cinco operaciones exitosas son conocidas: La Coipa, Mantos Blancos, y El Peñón ubicados en Chile; Cerro Lindo y Catalina Huanca ubicados en el Perú. Estas operaciones han demostrado muchas ventajas en comparación con la disposición de relaves convencional. Esto ha alentado a considerar este método en una serie de proyectos en regiones con condiciones complejas, altas precipitaciones y alta sismicidad, e incluso considerar su uso con relaves más difíciles de filtrar, como son los dos casos que se está presentado en la presente tesis.
- La compactación es importante para un adecuado comportamiento geotécnico del depósito y asegurar así su estabilidad física. El contenido de humedad es un parámetro clave para la compactación adecuada en el lugar. En este contexto, los relaves filtrados con bajo contenido de humedad se pueden lograr mediante sistemas de filtrado, filtros de banda y de prensa, que son capaces de generar residuos secos. En general, la implementación de relaves filtrados puede reducir significativamente el volumen de los depósitos de relaves, lo que resulta en un impacto menor sobre el área del proyecto y la reducción de costos durante la operación y el cierre en comparación con la disposición convencional.
- La co-disposición de relaves y roca estéril o desmonte es cada vez más aceptada en países como el Perú, donde los volúmenes de desmonte de mina de operaciones a tajo abierto son mayores que el mineral en proporciones de 4:1 (desmonte: mineral). Teniendo en cuenta los altos precios de obtención de los minerales, la relación desmonte / mineral está aumentando (Estudio tomado como referencia al año 2010), generando más desmontes de mina. Las características geotécnicas y geoquímicas de ambos materiales podría ser ventajosa para la eliminación conjunta, sobre todo cuando la roca estéril tiene un alto potencial de neutralización y los relaves no son generadores de acidez.

- Es destacable mencionar, que el tema de los residuos mineros y especialmente de los relaves, permite generar una serie de trabajos en diversas áreas que involucran tanto a los ingenieros civiles, como a otros profesionales, dada la importancia que ha generado este tipo de obras.

5.2 RECOMENDACIONES

- En cuanto al diseño de los depósitos de relaves, si bien se ha generalizado el uso de los depósitos (métodos aguas abajo o eje central, establecidos por la normativa actual en nuestro país), los avances tecnológicos permiten señalar que los depósitos de pulpa espesada o filtrada, representan un potencial en relación con posibles mejoramientos tales como: un menor impacto ambiental, mayores facilidades de abandono, mejor utilización de los terrenos, etc. Esta última condición interesa a las empresas dado el costo que genera la ubicación de un nuevo emplazamiento. Se recomienda el uso del relave filtrado por las ventajas descritas en la tesis.
- En la fase operativa, es esencial que se vigilen y se lleven a cabo en forma rigurosa cada una de las actividades de control que comprenda cada proyecto, las cuales permiten un desarrollo adecuado a futuro, previniendo con ello posibles fallas que puedan suceder en esta etapa en los depósitos y con ello, evitar una serie de efectos que producen a su entorno y a las personas.
- Se deben implementar manuales de operación de este tipo de depósitos de relaves, sobre la base de la experiencia obtenida y de las condiciones particulares que presenten los emplazamientos. De esta forma se podrán regular los procesos y establecer un marco de seguridad en su funcionamiento dada las exigencias que estipulan los organismos fiscalizadores. Indudablemente se debe destacar los esfuerzos que se están realizando en materia de abandono y cierre de los depósitos. Aunque este estudio no involucró aspectos de cierre, se destaca la conciencia que se ha originado al incorporar medidas de mitigación ante el riesgo de daño ambiental que estos depósitos producen.

BIBLIOGRAFÍA

1. Ayala Carcedo Francisco J., Manual para el diseño y construcción de escombreras y presas de residuos mineros, Instituto Geológico y Minero de España, Madrid, 1986.
2. Australian Centre for Geomechanics of The University of Western Australia (UWA), Paste and Thickened Tailings -A Guide, Segunda Edición, Australia, 2002.
3. Australian Centre for Geomechanics of The University of Western Australia (UWA), Paste 2013 - 16th International Seminar on Paste and Thickened Tailings, Belo Horizonte, Brazil. 2013,
4. Concha Arcil Fernando, Manual de Filtración & Separación, Centro de Tecnología Minera, CETTEM, Universidad de Concepción, Santiago, Chile, 2011
5. Cotrado Daryle, Optimización del consumo de agua en operaciones Minero - Metalúrgicas, Perumin 30 convención minera, Arequipa, Perú, 2011.
6. Gecamin, Tailing2013 - First International Seminar on Tailings Management, Chile, 2013.
7. MEM, Guía Ambiental para el Manejo de Relaves Mineros, Perú, 1995
8. Lara, José Luis, Experiencias de Operación de Depósitos de Relaves Espesados y Filtrados, Golder Associates, Perú, 2013.
9. Rennat Eerik A., Guia Ambiental para la Estabilidad de Taludes de Depósitos de Desechos Sólidos de Mina, Ministerio de Energía y Minas, Perú, 1997.
10. Reglamento Nacional de Construcciones, Norma E.050 Suelos y Cimentaciones, Perú, 1997.
11. SVS Ingenieros S.A., Informe Final de la Ingeniería de Detalle del Depósito de Relaves Filtrados Ramahuayco, Perú, 2010
12. SVS Ingenieros, Informe Final de la Ingeniería Básica y de Detalle del Depósito de Relaves Filtrados Pahuaypite 2, Preparada para Compañía Minera Milpo - Unidad Minera Cerro Lindo, 2010

ANEXOS

Anexo 1: Ensayos geotécnicos

Anexo 2: Planos

Anexo 3: Análisis de estabilidad

Anexo 4: Álbum fotográfico

Anexo 5: Bibliografía

ANEXO 1
Ensayos geotécnicos

ANEXO 1.1
Caso 1

RESULTADOS DE LABORATORIO

PROYECTO : Depósito de relaves filtrados Ramahuayco
UBICACIÓN :
CLIENTE :
MUESTRA : Mezcla Cantera Machucato 1: Relave 3
FECHA : MAR.2012

CONTENIDO DE HUMEDAD ASTM-D-2216

W

%

8.39

Muestra enviada a nuestro laboratorio para su procesamiento.



DE INGENIERIA S.R.L.

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

MANUEL GONZALES DE LA ROSA 435 □ LIMA 17 - PERU □ ☎ 461-8979 TELEFAX: 461-5253

RESULTADOS DE LABORATORIO

PROYECTO : Depósito de relaves filtrados Ramahuavco
UBICACIÓN :
CLIENTE :
MUESTRA : Mezcla Cantera Machuccato 1: Relave 3
FECHA : MAR.2012

Análisis granulométrico por tamices, vía húmeda, ASTM-D-422

Porcentaje acumulativo que pasa en peso

1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	1/4"	N°4	N°10	N°20	N°40	N°60	N°100	N°200
96.85	95.24	93.96	92.39	91.47	90.16	90.07	88.91	87.51	86.58	84.68	76.96	63.77

Muestra enviada a nuestro laboratorio para su procesamiento.



RESULTADOS DE LABORATORIO

PROYECTO : Depósito de relaves filtrados Ramahuayco
UBICACIÓN :
CLIENTE :
MUESTRA : Mezcla Cantera Machucato 1: Relave 3
FECHA : MAR.2012

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR DENSÍMETRO ASTM-D-422

Peso Especifico de sólidos ASTM-D-854 P.e.	Diámetro Corregido m.m.	Porcentaje acumulativo que pasa el tamiz N°200
2.889	0.0440	49.95
	0.0314	44.44
	0.0202	38.63
	0.0157	34.96
	0.0117	30.98
	0.0083	27.01
	0.0059	23.64
	0.0012	13.24

Muestra enviada a nuestro laboratorio para su procesamiento.

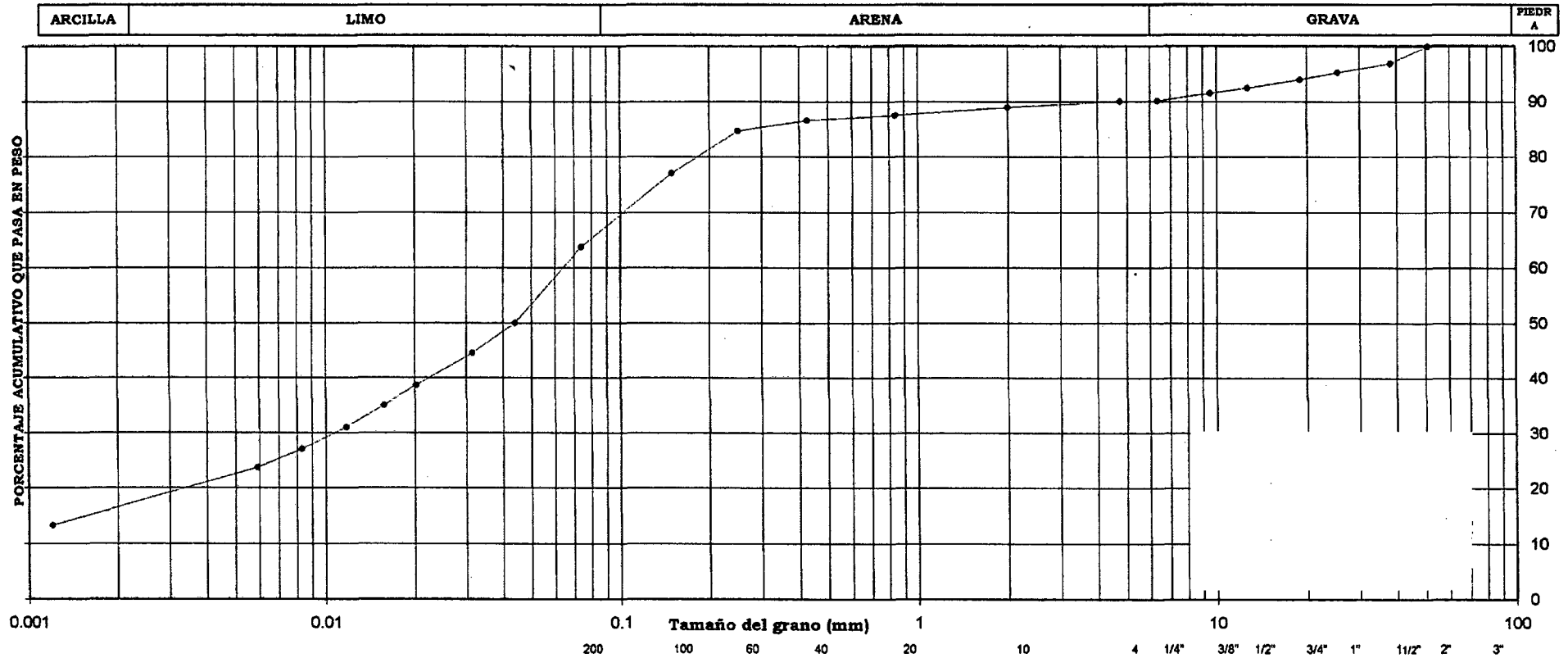


DE INGENIERIA S.R.L.
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO ASTM-D-422

PROYECTO : Depósito de relaves filtrados Ramahuayco
UBICACIÓN :
CLIENTE :
FECHA : MAR.2012

Mezcla	Gráfico	Límites de Consistencia %				Clasificación de suelos	
		LL	LP	LC	IP	SUCS	AASTHO
Cantera Machucato 1: Relave 3	●—	20.36	16.13		4.23	CL-ML	A-4(6)
	×—						
	▲—						
	■—						



RESULTADOS DE LABORATORIO

PROYECTO : Depósito de relaves filtrados Ramahuayco
UBICACIÓN :
CLIENTE :
MUESTRA : Mezcla Cantera Machuccato 1: Relave 3
FECHA : MAR.2012

Límite Líquido	Límites de Consistencia %		Clasificación de suelos	
	Límite Plástico ASTM-D-4318	Índice de Plasticidad	SUCS ASTM-D-2487	AASTHO ASTM-D-3282
20.36	16.13	4.23	CL-ML	A-4(6)

Muestra enviada a nuestro laboratorio para su procesamiento.



DE INGENIERIA S.R.L.
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

MANUEL GONZALES DE LA ROSA 435

□ LIMA 17 - PERU



481-8979 TELEFAX: 461-5253

RESULTADOS DE LABORATORIO

PROYECTO : Depósito de relaves filtrados Ramahuayco
UBICACIÓN :
CLIENTE :
MUESTRA : Mezcla Cantera Machucato 1: Relave 3
FECHA : MAR.2012

PESO VOLUMÉTRICO DE LA GRAVA ASTM-C-127 (G. E. Bulk s.s.s.)

P.v.

2.529

Muestra enviada a nuestro laboratorio para su procesamiento.

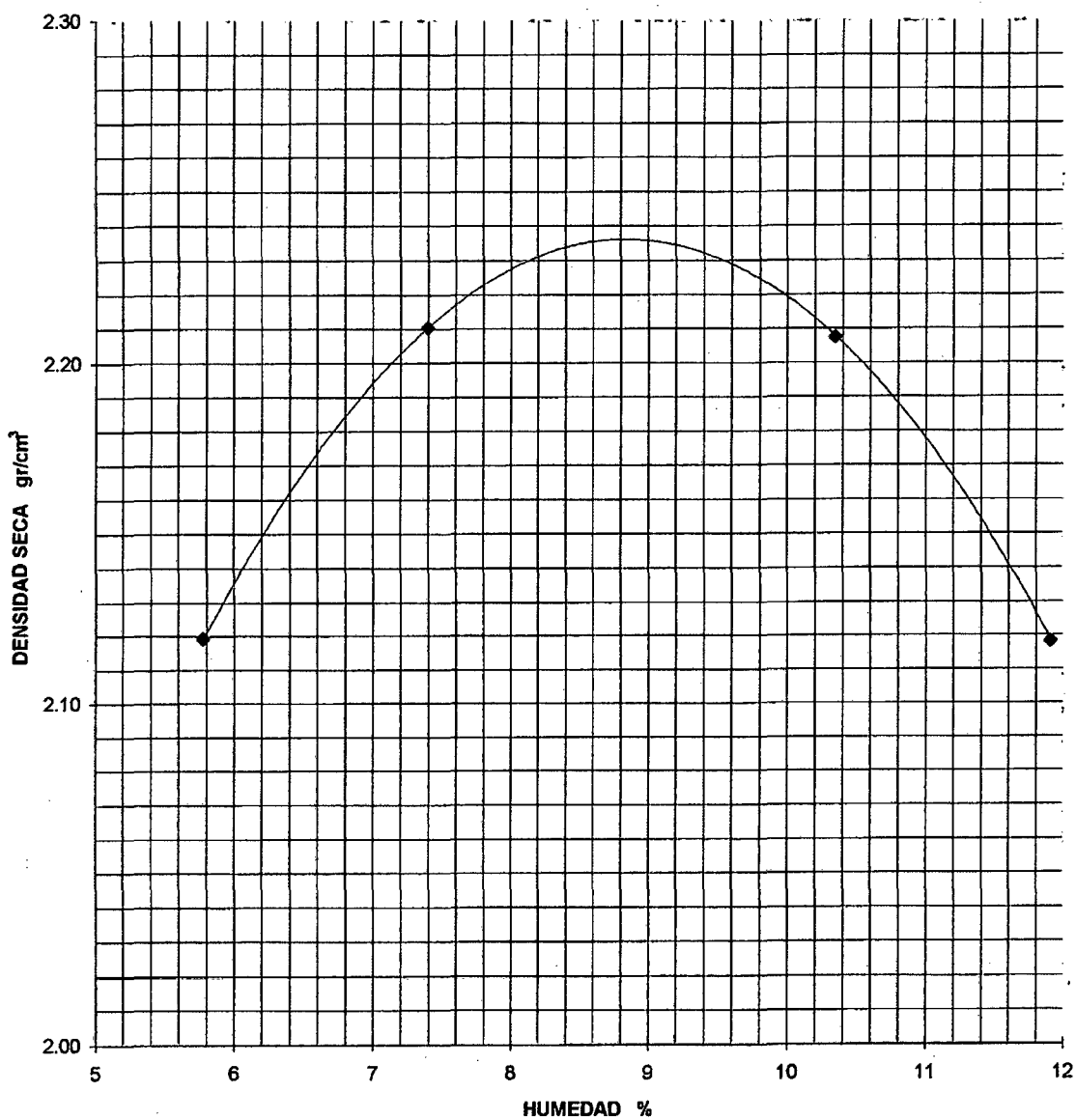


DE INGENIERIA S.R.L.
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS



PROYECTO : Depósito de relaves filtrados Ramahuayco
UBICACIÓN :
PROPIETARIO :
MUESTRA : Mezcla Cantera Machucato 1: Relave 3
FECHA : MAR.2012

PROCTOR MODIFICADO
ASTM-D-1557-C
CURVA DENSIDAD - HUMEDAD

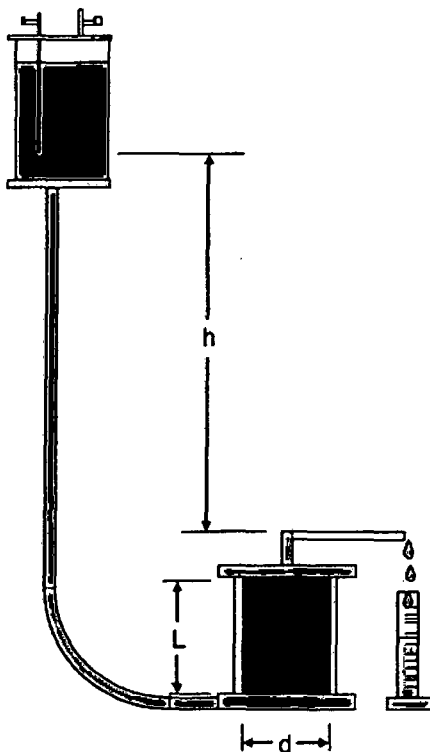


M.D.S. = 2.236 gr/cm^3
O.C.H. = 8.84 %

PROYECTO : Depósito de relaves filtrados Ramahuayco
UBICACION :
CLIENTE :
MUESTRA : Mezcla Cantera Machucato 1: Relave 3
FECHA : ABR.2012

ENSAYO DE PERMEABILIDAD EN LABORATORIO CARGA CONSTANTE ASTM-D-2434

Esquema



- K= Coeficiente de permabilidad cm/seg
- K_{20} = K corregido a 20 ° de temperatura cm/seg
- V= Volumen total de agua cm³
- L= Longitud de la muestra cm
- h= Carga hidráulica cm
- A= Sección transversal de la muestra cm²
- T= Tiempo de la prueba seg
- d= Diámetro del espécimen de la prueba cm

$$K = \frac{V \times L}{h \times A \times T}$$

Datos del espécimen

- δ_d = Densidad seca total 2.124 gr/cm³
- w = Contenido de humedad 8.84 %

Especimen remoldeado al 95% de la M.D.S. y al O.C.H. del Proctor Modificado.

Observaciones: Inicio 23.Abr.2012 08:00 Hrs.

Hora	Fecha	Temperatura °C	Area cm ²	L cm	Tiempo T seg	h cm	V cm ³	K cm/seg	K_{20} cm/seg
09h 00min	23.Abr.2012	23.0	81.71	11.7	3600	500	14.00	1.1137E-06	1.0370E-06
10h 00min	23.Abr.2012	23.2	81.71	11.7	3600	500	14.10	1.1216E-06	1.0395E-06
11h 00min	23.Abr.2012	23.2	81.71	11.7	3600	500	14.40	1.1455E-06	1.0617E-06
12h 00min	23.Abr.2012	23.4	81.71	11.7	3600	500	14.80	1.1773E-06	1.0861E-06
13h 00min	23.Abr.2012	23.5	81.71	11.7	3600	500	14.50	1.1535E-06	1.0617E-06
14h 00min	23.Abr.2012	23.5	81.71	11.7	3600	500	14.30	1.1376E-06	1.0470E-06
15h 00min	23.Abr.2012	23.6	81.71	11.7	3600	500	14.70	1.1694E-06	1.0738E-06
16h 00min	23.Abr.2012	23.6	81.71	11.7	3600	500	14.50	1.1535E-06	1.0592E-06
17h 00min	23.Abr.2012	23.5	81.71	11.7	3600	500	14.60	1.1614E-06	1.0690E-06

$K_{20} = 1.0594 \times 10^{-6}$ cm/seg



ENSAYO DE CONSOLIDACIÓN ASTM-D-2435

PROYECTO : Depósito de relaves filtrados Ramahuayco
UBICACIÓN :
CLIENTE :
MUESTRA : Mezcla Cantera Machucato 1: Relave 3
FECHA : ABR.2012

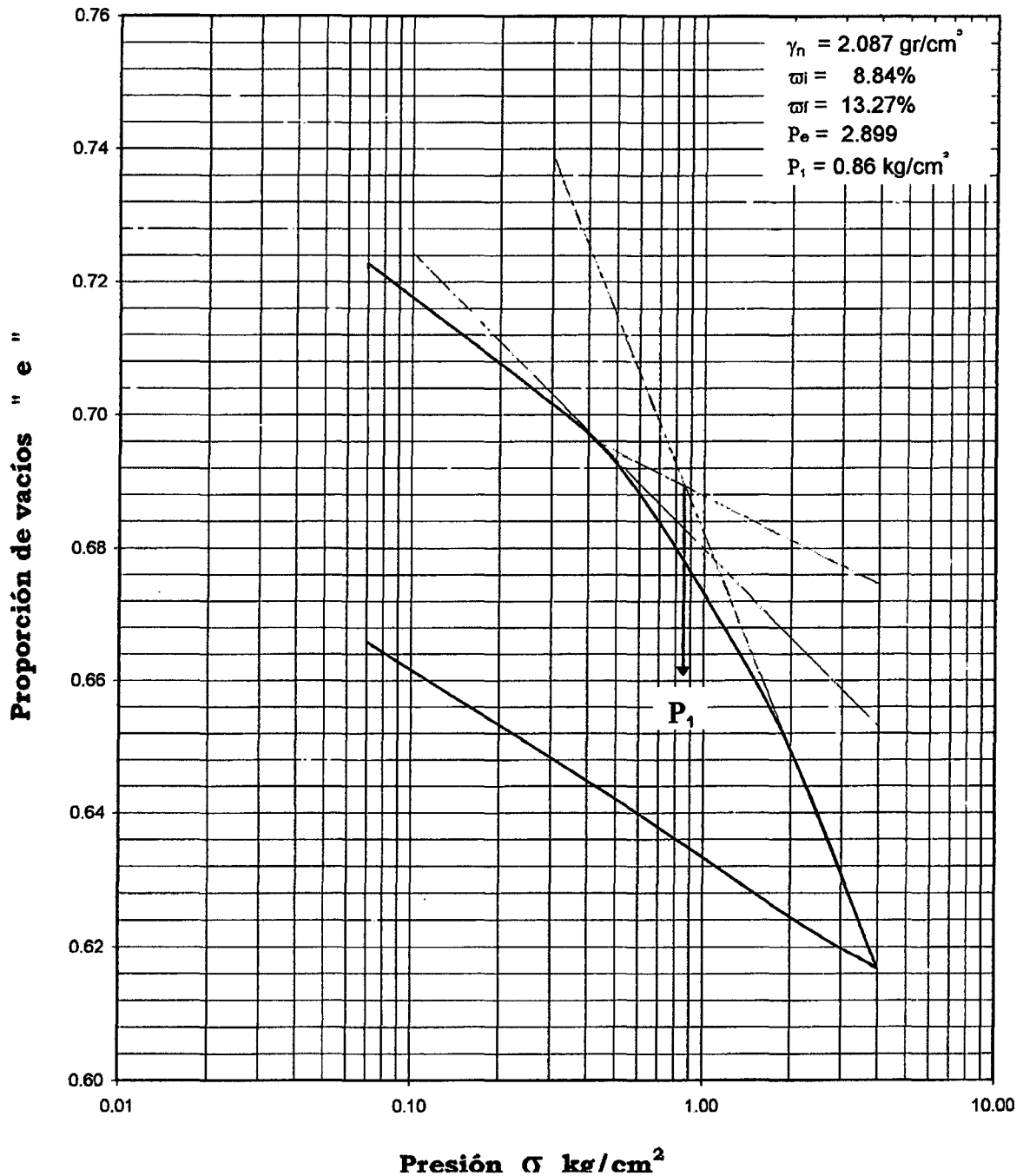
Presión kg/cm ²	Dial Final Pulg.	Δ Dial Pulg.	$h=h_1-\Delta$ Pulg.	h_0	Vacíos $h-h_0$ Pulg.	Proporción de vacíos $h-h_0/h_0$	Densidad Seca gr/cm ³	% Consolidación	Contenido de Humedad w %	t_{50} Min	t_{90} Min	H Pulg.	Cv cm ² /seg.
0.07	0.31862	0.00000	0.97974	0.56892	0.41082	0.722	1.678	0.00	8.84%	Inicio de saturación			
0.07	0.31821	0.00041	0.98015	0.56892	0.41123	0.723	1.677	-0.04 (xp)	Fin Saturación-Inicio de carga				
0.25	0.32870	-0.01049	0.96966	0.56892	0.40074	0.704	1.695	1.07		2.53	0.48745	8.56E-03	
0.50	0.33526	-0.00656	0.96310	0.56892	0.39418	0.693	1.707	1.74		19.71	0.48319	1.08E-03	
1.00	0.34645	-0.01119	0.95191	0.56892	0.38299	0.673	1.727	2.88		14.36	0.47875	1.46E-03	
2.00	0.35993	-0.01348	0.93843	0.56892	0.36951	0.650	1.751	4.26		9.79	0.47259	2.08E-03	
4.00	0.37853	-0.01860	0.91983	0.56892	0.35091	0.617	1.787	6.15	Fin de carga	6.25	0.46457	3.15E-03	
2.00	0.37416	0.00437	0.92420	0.56892	0.35528	0.624	1.778	5.71	Inicio descarga				
0.50	0.36413	0.01003	0.93423	0.56892	0.36531	0.642	1.759	4.68					
0.07	0.35059	0.01354	0.94777	0.56892	0.37885	0.666	1.734	3.30	13.27%	Fin descarga			

-(xp) = Expansión por saturación

Especímenes remoldeados a la δ_{N-4} y a la w, obtenidos al 95% del ensayo de proctor modificado.

ENSAYO DE CONSOLIDACION CURVA DE COMPRESIBILIDAD

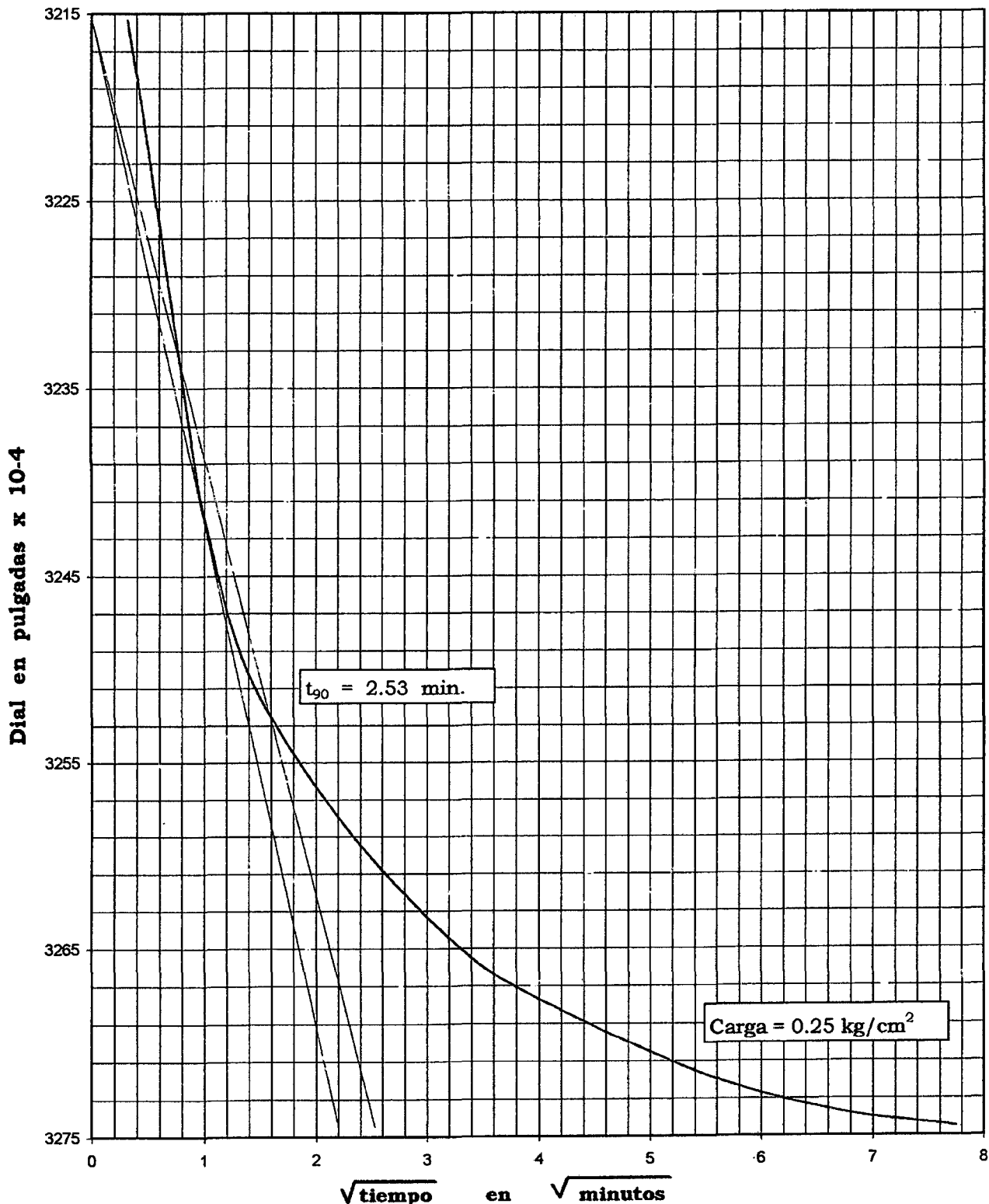
PROYECTO : Depósito de relaves filtrados Ramahuayco
UBICACION :
CLIENTE :
MUESTRA : Mezcla Cantera Machuccato 1: Relave 3
FECHA : ABR.2012



ENSAYO DE CONSOLIDACIÓN

CURVAS DE CONSOLIDACIÓN

PROYECTO : Depósito de relaves filtrados Ramahuayco
UBICACIÓN :
CLIENTE :
MUESTRA : Mezcla Cantera Machucato 1: Relave 3
MUESTRA : ABR.2012



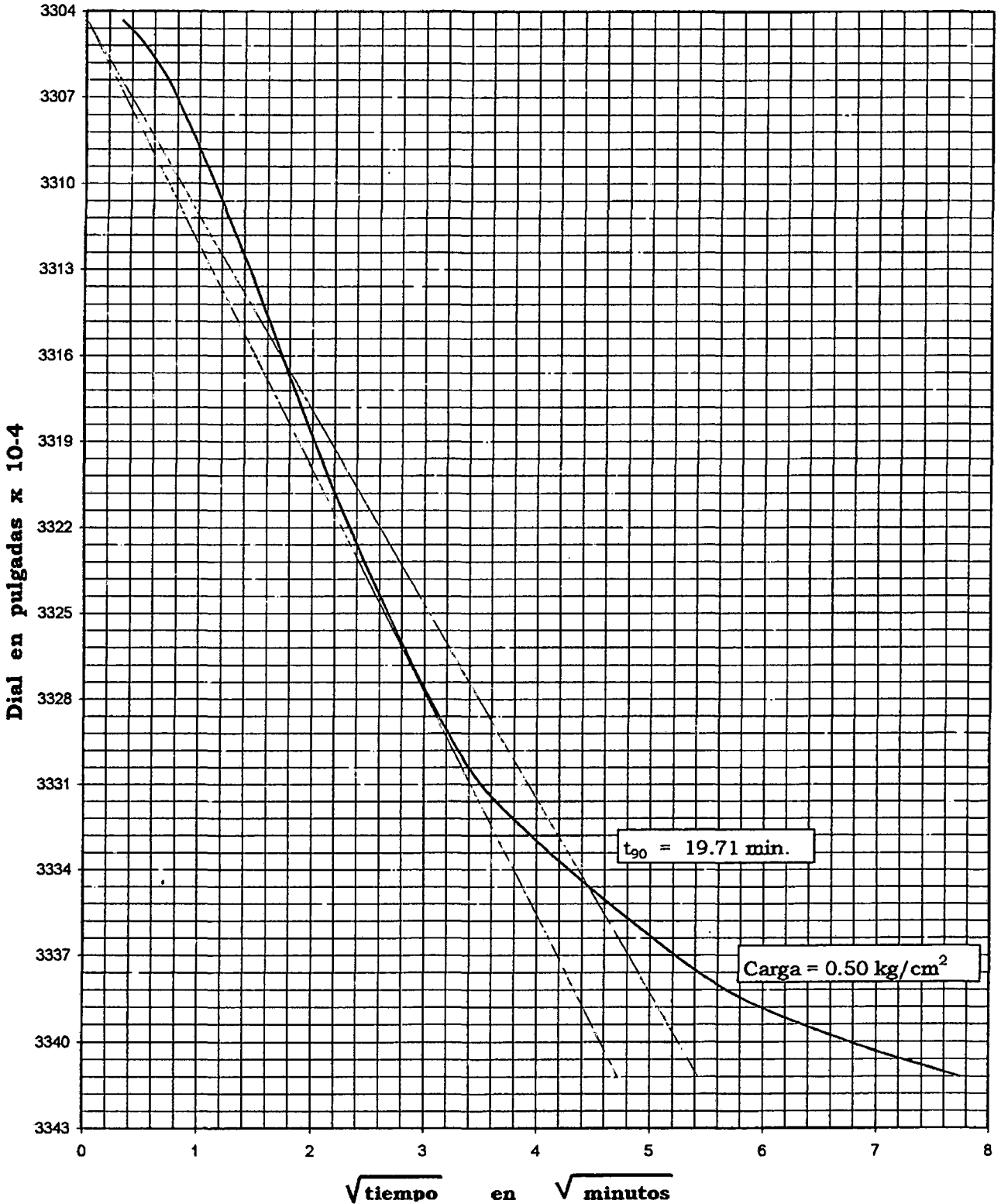
DE INGENIERIA S.R.L.
 LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

MANUEL GONZALES DE LA ROSA 435 □ LIMA 17 - PERU □ ☎ 461-8979 TELEFAX: 461-5253

ENSAYO DE CONSOLIDACIÓN

CURVAS DE CONSOLIDACIÓN

PROYECTO : Depósito de relaves filtrados Ramahuayco
UBICACIÓN :
CLIENTE :
MUESTRA : Mezcla Cantera Machucato 1: Relave 3
FECHA : ABR.2012



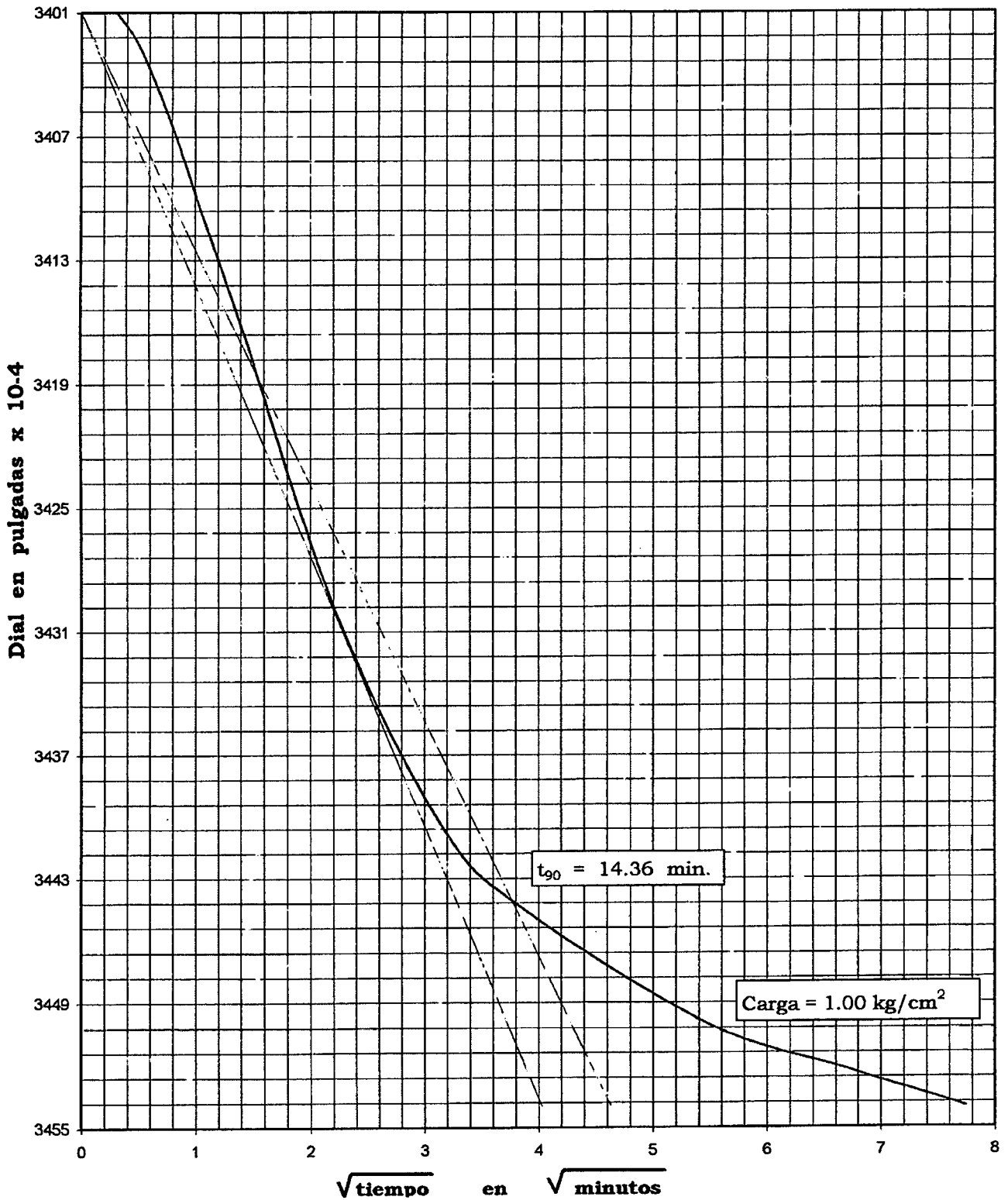
EIP DE INGENIERIA S.R.L.
 LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTO

MANUEL GONZALES DE LA ROSA 435 □ LIMÁ 17 - PERU □ T 461-8979 TELEFAX: 461-5253

ENSAYO DE CONSOLIDACIÓN

CURVAS DE CONSOLIDACIÓN

PROYECTO : Depósito de relaves filtrados Ramahuayco
UBICACIÓN :
CLIENTE :
MUESTRA : Mezcla Cantera Machucato 1: Relave 3
FECHA : ABR.2012



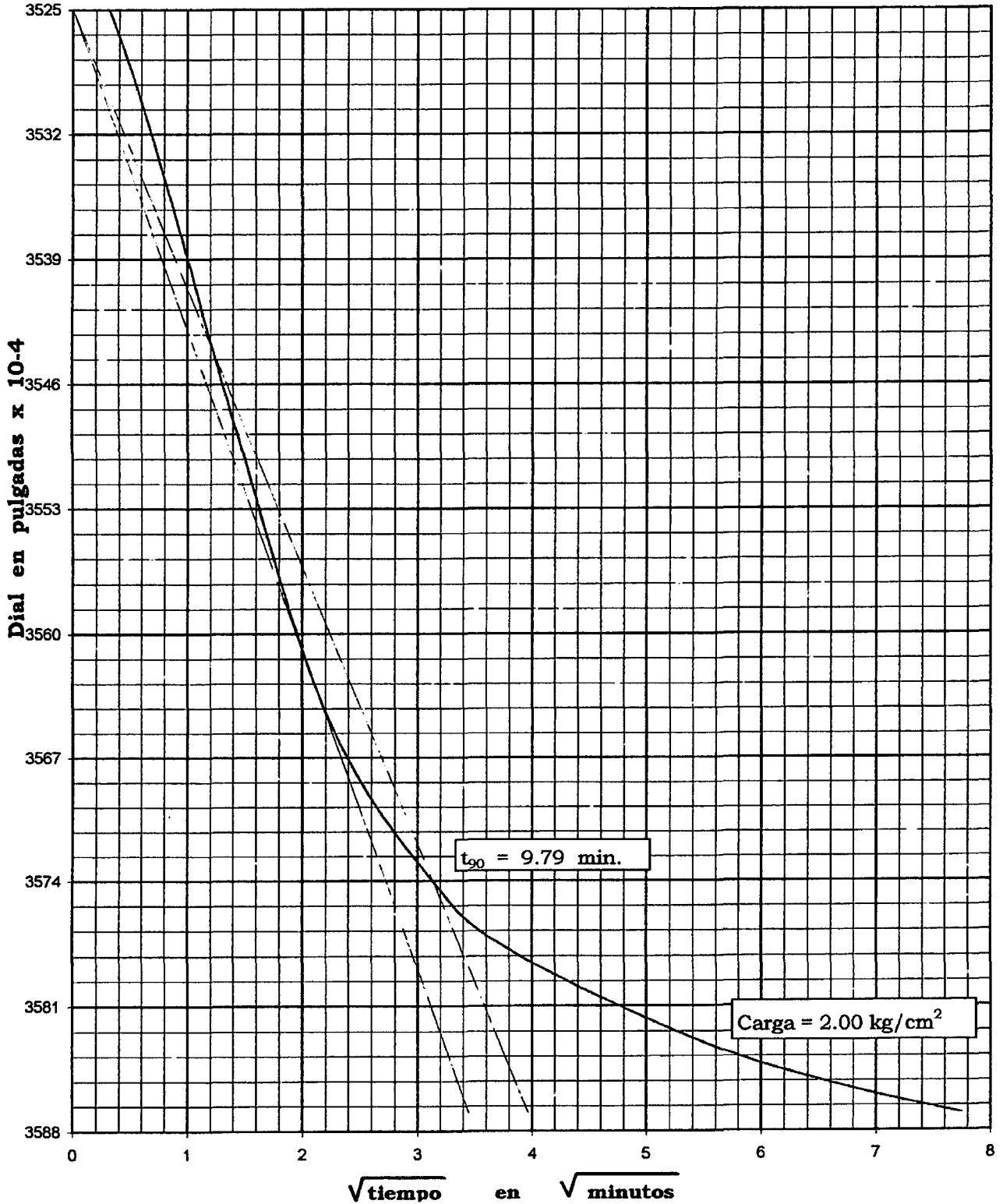
DE INGENIERIA S.R.L.
 LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIM

MANUEL GONZALES DE LA ROSA 435 □ LIMA 17 - PERU □ ☎ 461-8979 TELEFAX: 461-5253

ENSAYO DE CONSOLIDACIÓN

CURVAS DE CONSOLIDACIÓN

PROYECTO : Depósito de relaves filtrados Ramahuayco
UBICACIÓN :
CLIENTE :
MUESTRA : Mezcla Cantera Machuccato 1: Relave 3
FECHA : ABR.2012



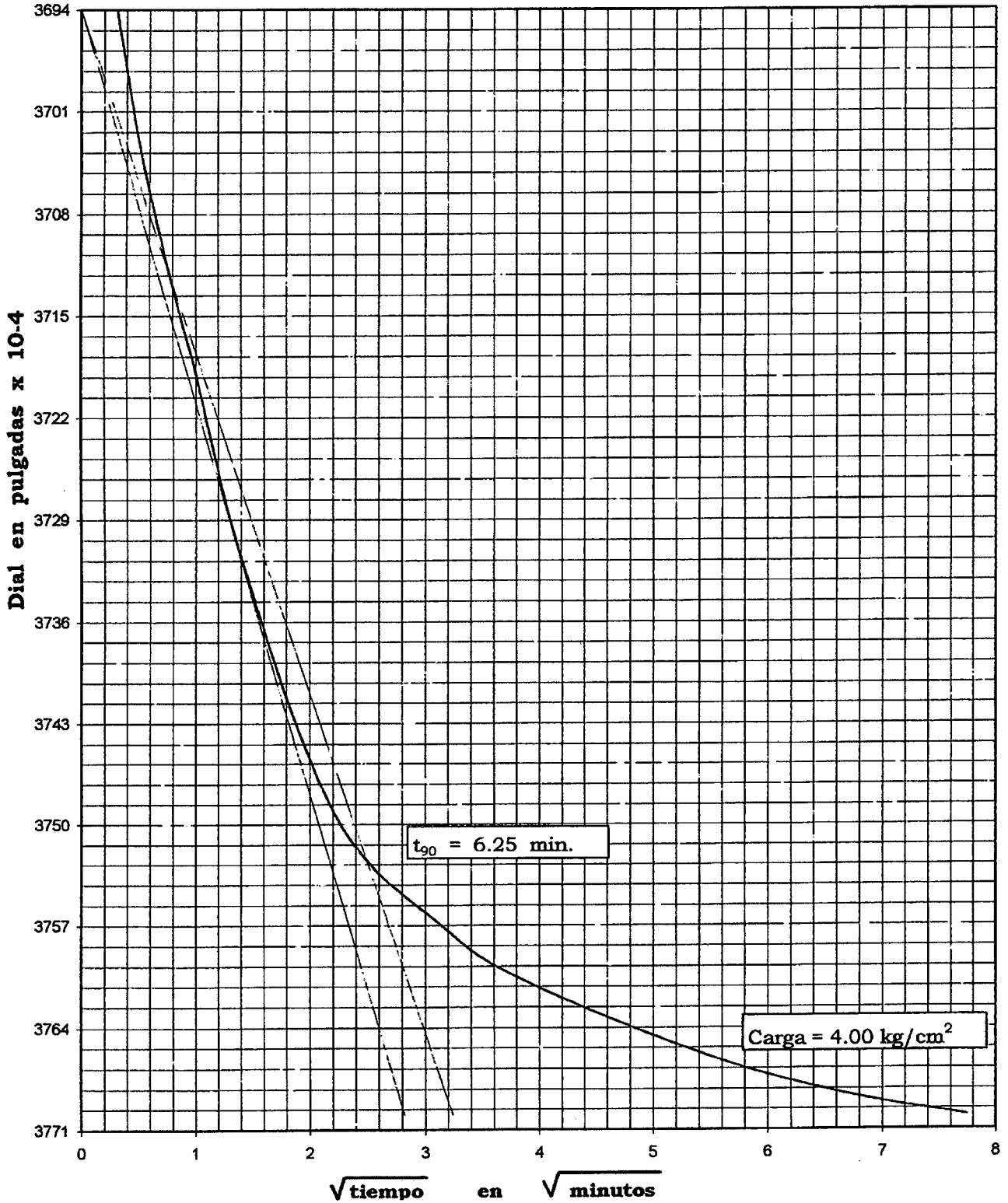
DE INGENIERIA S.R.L.
 LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVI

MANUEL GONZALES DE LA ROSA 435 □ LIMA 17 - PERU □ ☎ 461-8979 TELEFAX: 461-5253

ENSAYO DE CONSOLIDACIÓN

CURVAS DE CONSOLIDACIÓN

PROYECTO : Depósito de relaves filtrados Ramahuayco
UBICACIÓN :
CLIENTE :
MUESTRA : Mezcla Cantera Machucato 1: Relave 3
FECHA : ABR.2012



DE INGENIERIA S.R.L.
 LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMI

MANUEL GONZALES DE LA ROSA 435 □ LIMA 17 - PERU □ ☎ 461-8979 TELEFAX: 461-5253



ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL CONSOLIDADO NO DRENADO CU
NPT 339.166 (ASTM-D-4767)

PROYECTO : Depósito de relaves filtrados Ramahuayco
UBICACIÓN :
CLIENTE :
MUESTRA : Mezcla Cantera Machucato 1: Relave 3
FECHA : ABR.2012

DATOS INICIALES

Diametro 10.158 cm
Altura 20.327 cm
Area 81.041 cm²
Volumen 1647.32 cm³
Peso Húmedo 3802.01 gr
Peso seco 3489.04 gr
Densidad Húmeda 2.308 gr/cm³
Densidad Seca 2.118 gr/cm³
Contenido de Humedad 8.97 %
Grado de Saturación 71.19 %
Peso Específico de Sólidos 2.889
Volumen de Sólidos 1207.70
Relación de Vacíos 0.3640
Aproximación del Dial 0.001 pulg

DATOS FINALES

Cambio en altura del espécimen al final de la consolidación 0.064 cm
Altura final del espécimen 20.263 cm
Peso húmedo del espécimen al final de la consolidación 3903.54 gr
Volumen de agua 414.50 cm³
Area del espécimen al final de la consolidación 80.529 cm²
Volumen consolidado 1632 cm³
Densidad Seca consolidada 2.138 gr/cm³
Contenido de Humedad 11.88 %
Relación de Vacíos 0.3513
Grado de Saturación 97.70 %
Máx. Esfuerzo desviador 2.2259 Kg/cm²
Deformación en la falla 13.79 %
Presión de confinamiento 2.00 Kg/cm²
Contrapresión 1.00 Kg/cm²
Presión efectiva 1.00 Kg/cm²

Especímenes remoldeados al 95% de la M.D.S. y la w, obtenidos en el proctor modificado realizado

Lectura de Def. pulg	Defor. mm	Fuerza A N	Defor. Axial %	Carga A. Kg	Area Axial cm ²	Esf.Prin. $\sigma_1 - \sigma_3$ Kg/cm ²	Exceso presión de poros Δu		Esf. σ_3 Kg/cm ²	Esf. σ_1 Kg/cm ²	Esf. Efectivos		σ'_1 / σ'_3	p Kg/cm ²	p' Kg/cm ²	q Kg/cm ²
							Lbs	Kg/cm ²			Kg/cm ²	Kg/cm ²				
0	0.00	0.0	0.00	0.000	80.529	0.0000	6.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.0000	1.0000	1.00	0.0000
100	2.54	177.1	1.25	71.619	81.551	0.8782	6.60	0.04	1.00	1.88	0.96	1.84	1.9169	1.4391	1.40	0.4391
200	5.08	278.3	2.51	110.828	82.600	1.3417	7.10	0.08	1.00	2.34	0.92	2.26	2.4542	1.6709	1.59	0.6709
300	7.62	358.0	3.76	141.707	83.676	1.6935	7.45	0.10	1.00	2.69	0.90	2.59	2.8858	1.8468	1.74	0.8468
400	10.16	408.4	5.01	161.233	84.780	1.9018	7.70	0.12	1.00	2.90	0.88	2.78	3.1600	1.9509	1.83	0.9509
500	12.70	458.6	6.27	180.683	85.914	2.1031	7.95	0.14	1.00	3.10	0.86	2.97	3.4372	2.0515	1.91	1.0515
600	15.24	484.8	7.52	190.834	87.078	2.1915	8.15	0.15	1.00	3.19	0.85	3.04	3.5818	2.0958	1.94	1.0958
700	17.78	499.4	8.77	196.490	88.275	2.2259	8.25	0.16	1.00	3.23	0.84	3.07	3.6442	2.1129	1.95	1.1129
800	20.32	502.1	10.03	197.536	89.505	2.2070	8.35	0.17	1.00	3.21	0.83	3.04	3.6438	2.1035	1.94	1.1035
900	22.86	492.2	11.28	193.701	90.769	2.1340	8.40	0.17	1.00	3.13	0.83	2.97	3.5672	2.0670	1.90	1.0670
1000	25.40	481.7	12.54	189.633	92.070	2.0597	8.43	0.17	1.00	3.06	0.83	2.89	3.4841	2.0298	1.86	1.0298
1100	27.94	479.9	13.79	188.935	93.409	2.0227	8.45	0.17	1.00	3.02	0.83	2.85	3.4436	2.0113	1.84	1.0113
1200	30.48	479.8	15.04	188.896	94.787	1.9928	8.47	0.17	1.00	2.99	0.83	2.82	3.4117	1.9964	1.82	0.9964
1300	33.02	478.7	16.30	188.470	96.207	1.9590	8.50	0.18	1.00	2.96	0.82	2.78	3.3768	1.9795	1.80	0.9795



ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL CONSOLIDADO NO DRENADO CU

NPT 339.166 (ASTM-D-4767)

PROYECTO : Depósito de relaves filtrados Ramahuayco
UBICACIÓN :
CLIENTE :
MUESTRA : Mezcla Cantera Machucato 1: Relave 3
FECHA : ABR.2012

DATOS INICIALES

Diametro 10.160 cm
Altura 20.320 cm
Area 81.073 cm²
Volumen 1647.40 cm³
Peso Húmedo 3805.61 gr
Peso seco 3498.44 gr
Densidad Húmeda 2.310 gr/cm³
Densidad Seca 2.124 gr/cm³
Contenido de Humedad 8.78 %
Grado de Saturación 70.42 %
Peso Específico de Sólidos 2.889
Volumen de Sólidos 1210.95
Relación de Vacíos 0.3602
Aproximación del Dial 0.001 pulg

DATOS FINALES

Cambio en altura del espécimen al final de la consolidación 0.108 cm
Altura final del espécimen 20.212 cm
Peso húmedo del espécimen al final de la consolidación 3901.81 gr
Volumen de agua 403.37 cm³
Area del espécimen al final de la consolidación 80.207 cm²
Volumen consolidado 1621 cm³
Densidad Seca consolidada 2.158 gr/cm³
Contenido de Humedad 11.53 %
Relación de Vacíos 0.3387
Grado de Saturación 98.35 %
Máx. Esfuerzo desviador 3.5769 Kg/cm²
Deformación en la falla 13.82 %
Presión de confinamiento 3.00 Kg/cm²
Contrapresión 1.00 Kg/cm²
Presión efectiva 2.00 Kg/cm²

Especímenes remoldeados al 95% de la M.D.S. y la w, obtenidos en el proctor modificado realizado

Lectura de Def. pulg	Defor. mm	Fuerza A N	Defor. Axial %	Carga A. Kg	Area Axial cm ²	Esf.Prin. $\sigma_1 - \sigma_3$ Kg/cm ²	Exceso presión de poros Δu		Esf. σ_3 Kg/cm ²	Esf. σ_1 Kg/cm ²	Esf. Efectivos		σ'_1 / σ'_3	p Kg/cm ²	p' Kg/cm ²	q Kg/cm ²
							Lbs	Kg/cm ²			Kg/cm ²	Kg/cm ²				
0	0.00	0.0	0.00	0.000	80.207	0.0000	7.30	0.00	2.00	2.00	2.00	2.00	1.0000	2.0000	2.00	0.0000
100	2.54	242.4	1.26	96.919	81.227	1.1932	8.80	0.11	2.00	3.19	1.89	3.09	1.6298	2.5966	2.49	0.5966
200	5.08	363.4	2.51	143.799	82.274	1.7478	9.60	0.16	2.00	3.75	1.84	3.59	1.9508	2.8739	2.71	0.8739
300	7.62	482.4	3.77	189.904	83.349	2.2784	10.30	0.21	2.00	4.28	1.79	4.07	2.2735	3.1392	2.93	1.1392
400	10.16	595.3	5.03	233.645	84.452	2.7666	10.90	0.25	2.00	4.77	1.75	4.51	2.5837	3.3833	3.13	1.3833
500	12.70	686.9	6.28	269.135	85.584	3.1447	11.60	0.30	2.00	5.14	1.70	4.84	2.8524	3.5723	3.27	1.5723
600	15.24	746.0	7.54	292.032	86.747	3.3665	12.20	0.34	2.00	5.37	1.66	5.02	3.0335	3.6832	3.34	1.6832
700	17.78	792.2	8.80	309.932	87.943	3.5242	12.70	0.38	2.00	5.52	1.62	5.14	3.1750	3.7621	3.38	1.7621
800	20.32	815.5	10.05	318.959	89.171	3.5769	13.10	0.41	2.00	5.58	1.59	5.17	3.2465	3.7885	3.38	1.7885
900	22.86	814.1	11.31	318.417	90.435	3.5209	13.40	0.43	2.00	5.52	1.57	5.09	3.2411	3.7605	3.33	1.7605
1000	25.40	808.1	12.57	316.092	91.735	3.4457	13.60	0.44	2.00	5.45	1.56	5.00	3.2130	3.7229	3.28	1.7229
1100	27.94	806.6	13.82	315.511	93.072	3.3899	13.70	0.45	2.00	5.39	1.55	4.94	3.1870	3.6950	3.24	1.6950
1200	30.48	806.5	15.08	315.472	94.450	3.3401	13.80	0.46	2.00	5.34	1.54	4.88	3.1647	3.6701	3.21	1.6701
1300	33.02	804.5	16.34	314.697	95.868	3.2826	13.90	0.46	2.00	5.28	1.54	4.82	3.1372	3.6413	3.18	1.6413



ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL CONSOLIDADO NO DRENADO CU
NPT 339.166 (ASTM-D-4767)

PROYECTO : Depósito de relaves filtrados Ramahuayco
UBICACIÓN :
CLIENTE :
MUESTRA : Mezcla Cantera Machucato 1: Relave 3
FECHA : ABR.2012

DATOS INICIALES

Diametro 10.162 cm
Altura 20.313 cm
Area 81.105 cm²
Volumen 1647.49 cm³
Peso Húmedo 3818.70 gr
Peso seco 3510.81 gr
Densidad Húmeda 2.318 gr/cm³
Densidad Seca 2.131 gr/cm³
Contenido de Humedad 8.77 %
Grado de Saturación 71.23 %
Peso Especifico de Sólidos 2.889
Volumen de Sólidos 1215.23
Relación de Vacíos 0.3557
Aproximación del Dial 0.001 pulg

DATOS FINALES

Cambio en altura del espécimen al final de la consolidación 0.202 cm
Altura final del espécimen 20.111 cm
Peso húmedo del espécimen al final de la consolidación 3889.27 gr
Volumen de agua 378.46 cm³
Area del espécimen al final de la consolidación 79.476 cm²
Volumen consolidado 1598 cm³
Densidad Seca consolidada 2.197 gr/cm³
Contenido de Humedad 10.78 %
Relación de Vacíos 0.3150
Grado de Saturación 98.87 %
Máx. Esfuerzo desviador 6.1608 Kg/cm²
Deformación en la falla 13.89 %
Presión de confinamiento 5.00 Kg/cm²
Contrapresión 1.00 Kg/cm²
Presión efectiva 4.00 Kg/cm²

Especímenes remoldeados al 95% de la M.D.S. y la w, obtenidos en el proctor modificado realizado

Lectura de Def. pulg	Defor. mm	Fuerza A N	Defor. Axial %	Carga A. Kg	Area Axial cm ²	Esf.Prin. $\sigma_1 - \sigma_3$ Kg/cm ²	Exceso presión de poros Δu		Esf. σ_3 Kg/cm ²	Esf. σ_1 Kg/cm ²	Esf. Efectivos		σ'_1 / σ'_3	p Kg/cm ²	p' Kg/cm ²	q Kg/cm ²
							Lbs	Kg/cm ²			σ'_3 Kg/cm ²	σ'_1 Kg/cm ²				
0	0.00	0.0	0.00	0.000	79.476	0.0000	11.20	0.00	4.00	4.00	4.00	4.00	1.0000	4.0000	4.00	0.0000
100	2.54	415.4	1.26	163.945	80.492	2.0368	14.70	0.25	4.00	6.04	3.75	5.79	1.5426	5.0184	4.77	1.0184
200	5.08	659.1	2.53	258.364	81.535	3.1687	17.10	0.41	4.00	7.17	3.59	6.75	1.8838	5.5844	5.17	1.5844
300	7.62	858.0	3.79	335.425	82.606	4.0606	19.10	0.56	4.00	8.06	3.44	7.51	2.1788	6.0303	5.47	2.0303
400	10.16	1059.6	5.05	413.532	83.704	4.9404	20.90	0.68	4.00	8.94	3.32	8.26	2.4890	6.4702	5.79	2.4702
500	12.70	1194.3	6.31	465.720	84.833	5.4899	22.00	0.76	4.00	9.49	3.24	8.73	2.6941	6.7449	5.99	2.7449
600	15.24	1309.9	7.58	510.508	85.992	5.9367	23.00	0.83	4.00	9.94	3.17	9.11	2.8726	6.9683	6.14	2.9683
700	17.78	1378.6	8.84	537.125	87.184	6.1608	23.50	0.86	4.00	10.16	3.14	9.30	2.9651	7.0804	6.22	3.0804
800	20.32	1394.9	10.10	543.440	88.408	6.1469	23.80	0.89	4.00	10.15	3.11	9.26	2.9739	7.0735	6.19	3.0735
900	22.86	1404.7	11.37	547.237	89.668	6.1029	24.00	0.90	4.00	10.10	3.10	9.20	2.9687	7.0515	6.15	3.0515
1000	25.40	1412.7	12.63	550.336	90.964	6.0500	24.10	0.91	4.00	10.05	3.09	9.14	2.9560	7.0250	6.12	3.0250
1100	27.94	1422.2	13.89	554.017	92.299	6.0024	24.20	0.91	4.00	10.00	3.09	9.09	2.9451	7.0012	6.09	3.0012
1200	30.48	1439.1	15.16	560.565	93.673	5.9843	24.25	0.92	4.00	9.98	3.08	9.07	2.9414	6.9921	6.07	2.9921
1300	33.02	1456.3	16.42	567.229	95.088	5.9653	24.30	0.92	4.00	9.97	3.08	9.04	2.9375	6.9826	6.06	2.9826

ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL CONSOLIDADO NO DRENADO CU NPT 339.166 (ASTM-D-4767)

PROYECTO : Depósito de relaves filtrados Ramahuayco

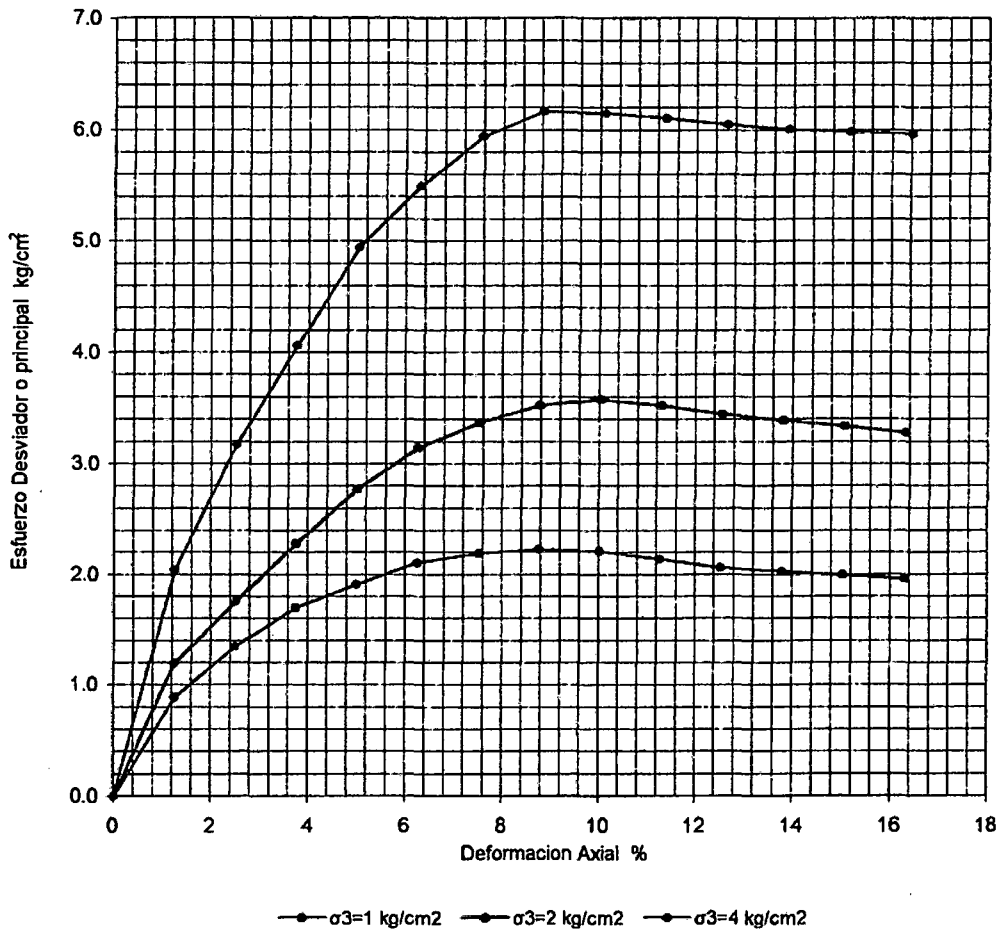
UBICACIÓN :

CLIENTE :

MUESTRA : Mezcla Cantera Machucato 1: Relave 3

FECHA : ABR.2012

Deformación Axial - Esfuerzo Desviador o Principal





ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL CONSOLIDADO NO DRENADO CU NPT 339.166 (ASTM-D-4767)

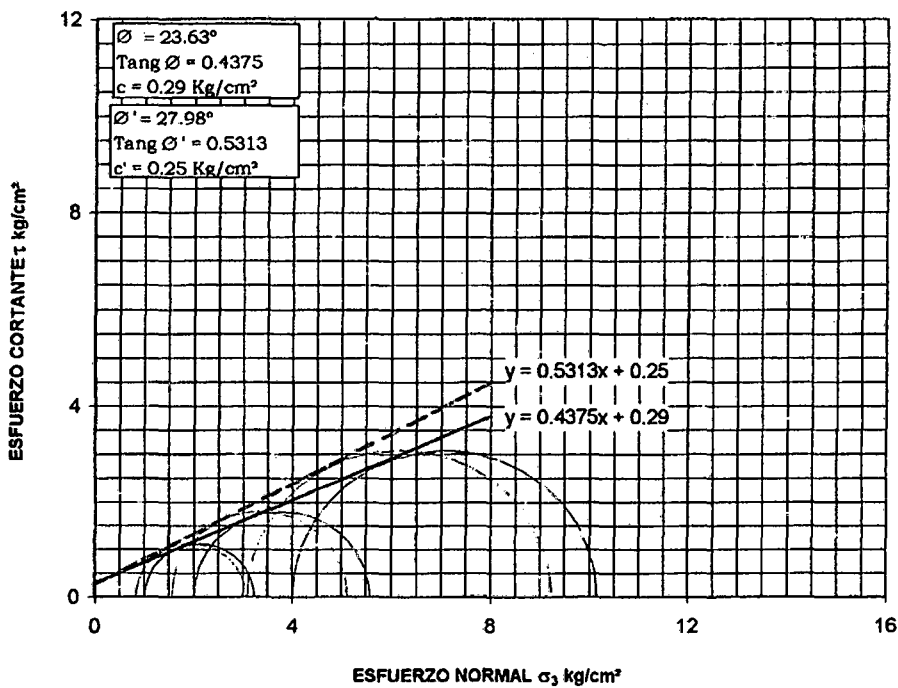
PROYECTO : Depósito de relaves filtrados Ramahuayco

UBICACIÓN :

CLIENTE :

MUESTRA : Mezcla Cantera Machucato 1: Relave 3

FECHA : ABR.2012



ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL CONSOLIDADO NO DRENADO CU NPT 339.166 (ASTM-D-4767)

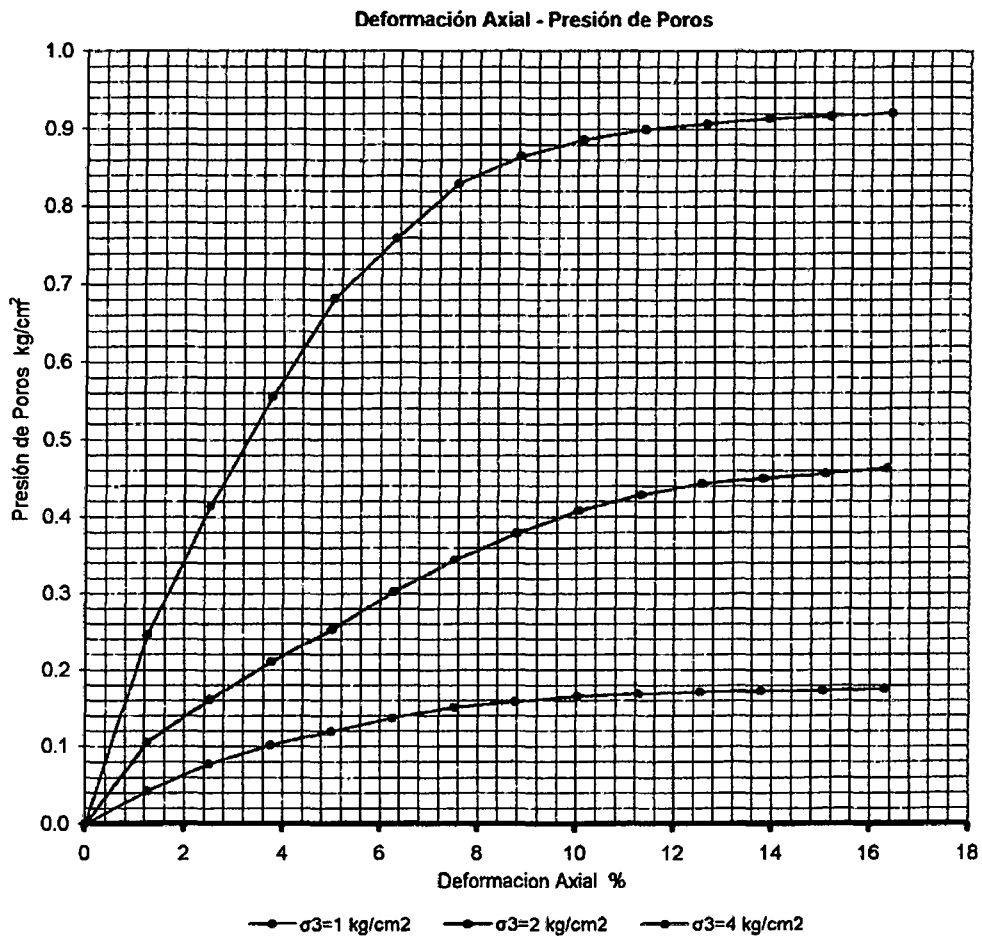
PROYECTO : Depósito de relaves filtrados Ramahuayco

UBICACIÓN :

CLIENTE :

MUESTRA : Mezcla Cantera Machucato 1: Relave 3

FECHA : ABR.2012



ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL CONSOLIDADO NO DRENADO CU NPT 339.166 (ASTM-D-4767)

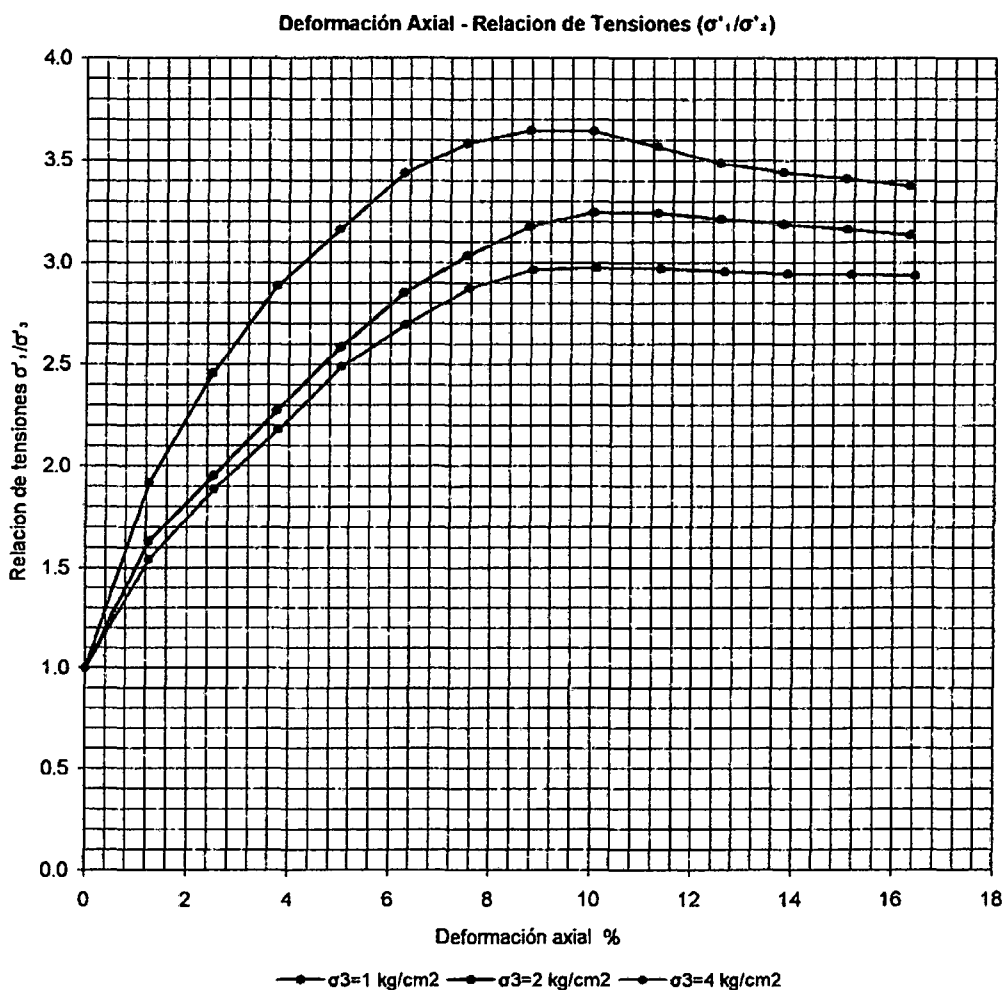
PROYECTO : Depósito de relaves filtrados Ramahuayco

UBICACIÓN :

CLIENTE :

MUESTRA : Mezcla Cantera Machucato 1: Relave 3

FECHA : ABR.2012





ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL CONSOLIDADO NO DRENADO CU NPT 339.166 (ASTM-D-4767)

PROYECTO : Depósito de relaves filtrados Ramahuayco

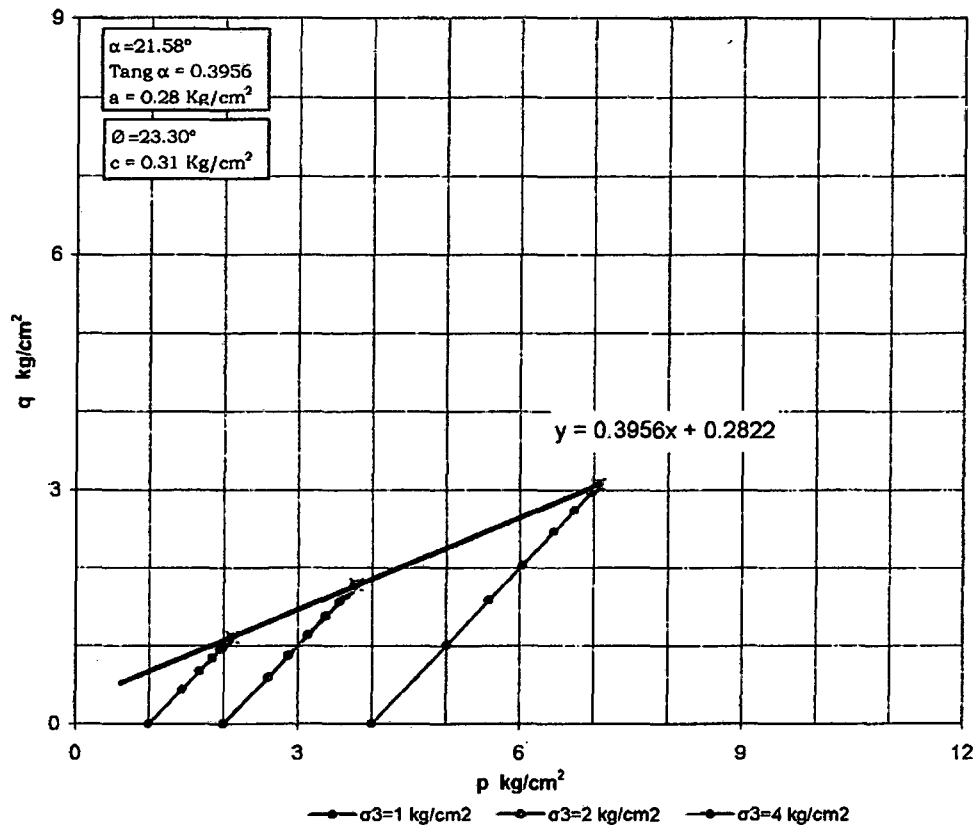
UBICACIÓN :

CLIENTE :

MUESTRA : Mezcla Cantera Machucato 1: Relave 3

FECHA : ABR.2012

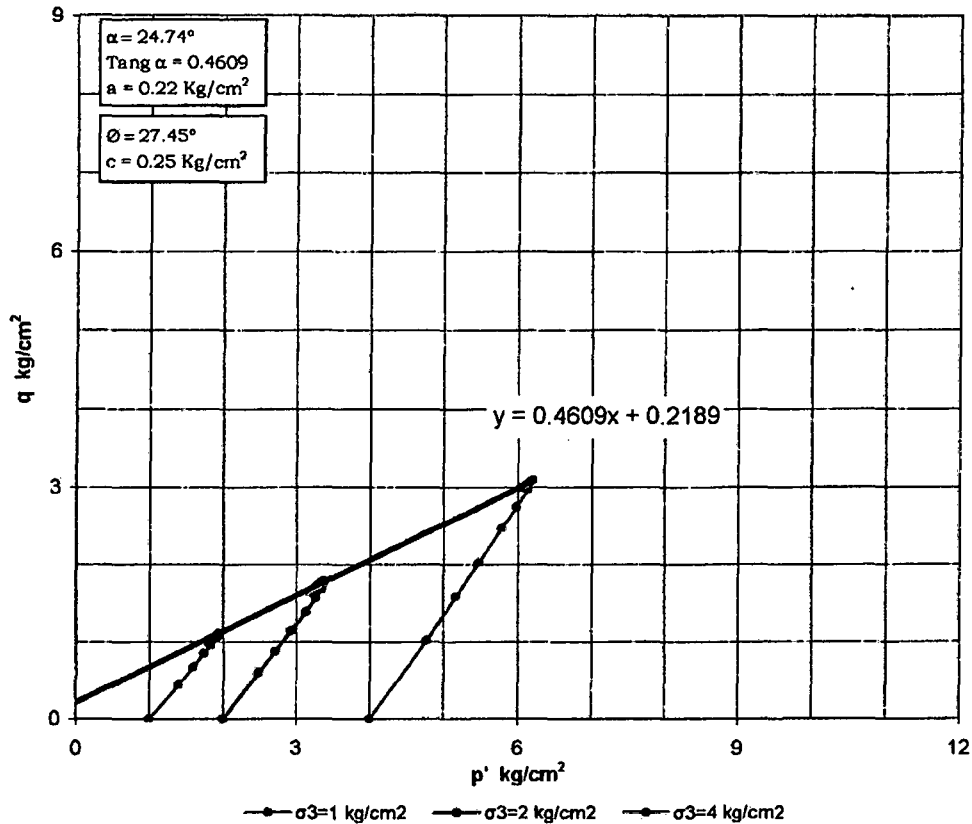
Diagrama p vs. q



ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL CONSOLIDADO NO DRENADO CU NPT 339.166 (ASTM-D-4767)

PROYECTO : Depósito de relaves filtrados Ramahuayco
UBICACIÓN :
CLIENTE :
MUESTRA : Mezcla Cantera Machucato 1: Relave 3
FECHA : ABR.2012

Diagrama p' vs. q



RESULTADOS DE LABORATORIO

PROYECTO : Depósito de relaves filtrados Ramahuayco
UBICACIÓN :
CLIENTE :
MUESTRA : Mezcla Cantera Sánchez parte alta 1: Relave 3
FECHA : MAR.2012

CONTENIDO DE HUMEDAD ASTM-D-2216

W

%

6.03

Muestra enviada a nuestro laboratorio para su procesamiento.



DE INGENIERIA S.R.L.

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

MANUEL GONZALES DE LA ROSA 435

□ LIMA 17 - PERU



461-8979 TELEFAX: 461-5253

RESULTADOS DE LABORATORIO

PROYECTO : Depósito de relaves filtrados Ramahuayco
UBICACIÓN :
CLIENTE :
MUESTRA : Mezcla Cantera Sánchez parte alta 1: Relave 3
FECHA : MAR.2012

Análisis granulométrico por tamices, vía húmeda, ASTM-D-422

Porcentaje acumulativo que pasa en peso

1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	1/4"	N°4	N°10	N°20	N°40	N°60	N°100	N°200
97.00	94.06	92.97	91.93	90.80	89.09	88.42	86.17	84.72	83.50	80.98	70.59	53.55

Muestra enviada a nuestro laboratorio para su procesamiento.



RESULTADOS DE LABORATORIO

PROYECTO : Depósito de relaves filtrados Ramahuayco
UBICACIÓN :
CLIENTE :
MUESTRA : Mezcla Cantera Sánchez parte alta 1: Relave 3
FECHA : MAR.2012

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR DENSÍMETRO ASTM-D-422

Peso Específico de sólidos ASTM-D-854 P.e.	Diámetro Corregido m.m.	Porcentaje acumulativo que pasa el tamiz N°200
2.924	0.0442	44.46
	0.0314	40.51
	0.0203	32.52
	0.0158	28.96
	0.0117	27.14
	0.0083	23.80
	0.0059	21.67
	0.0012	8.30

Muestra enviada a nuestro laboratorio para su procesamiento.

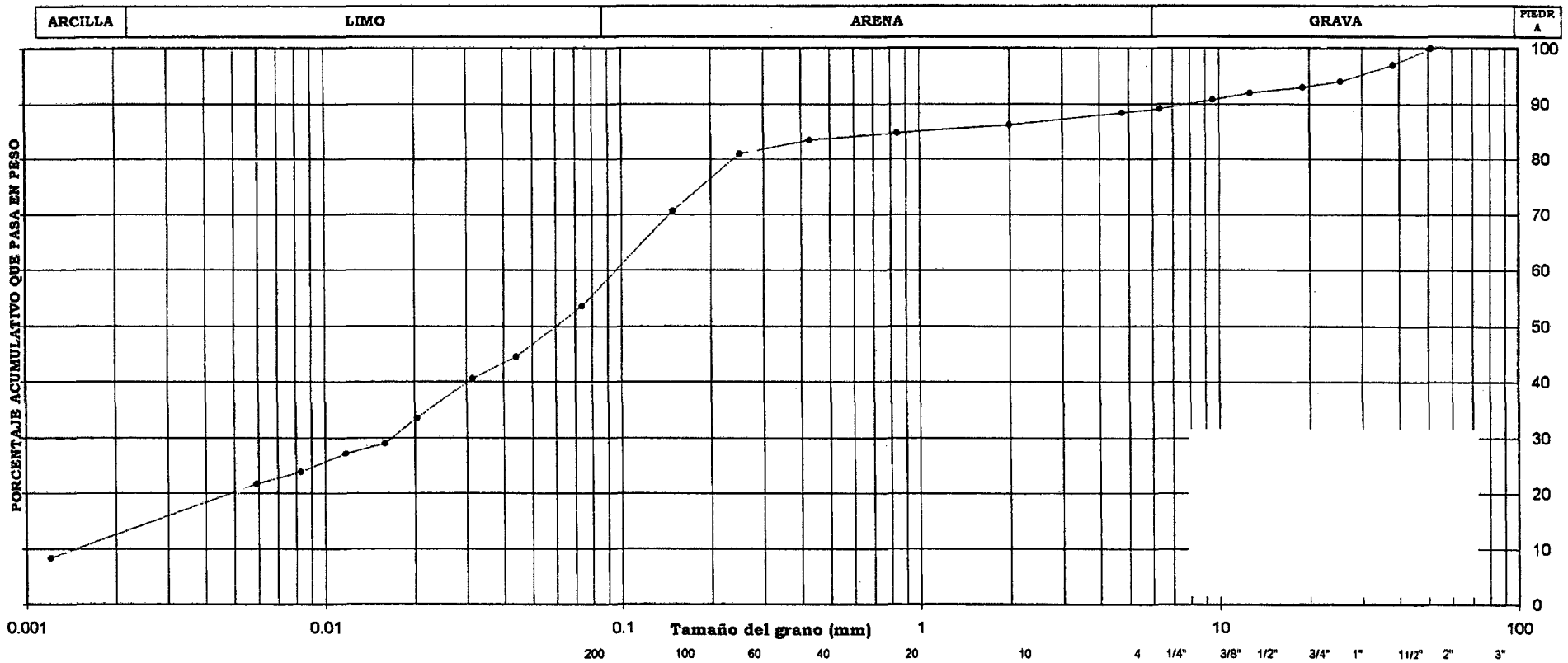


DE INGENIERIA S.R.L.
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO ASTM-D-422

PROYECTO : Depósito de relaves filtrados Ramahuayco
UBICACIÓN :
CLIENTE :
FECHA : MAR.2012

Mezcla	Gráfico	Límites de Consistencia %				Clasificación de suelos	
		LL	LP	LC	IP	SUCS	AASHTO
Cantera Sánchez parte alta 1: Relave 3	●—	20.62	14.42		6.20	CL-ML	A-4(4)



RESULTADOS DE LABORATORIO

PROYECTO : Depósito de relaves filtrados Ramahuayco
UBICACIÓN :
CLIENTE :
MUESTRA : Mezcla Cantera Sánchez parte alta 1: Relave 3
FECHA : MAR.2012

Límite Líquido	Límites de Consistencia %		Clasificación de suelos	
	Límite Plástico ASTM-D-4318	Índice de Plasticidad	SUCS ASTM-D-2487	AASTHO ASTM-D-3282
20.62	14.42	6.20	CL-ML	A-4(4)

Muestra enviada a nuestro laboratorio para su procesamiento.



MANUEL GONZALES DE LA ROSA 435

DE INGENIERIA S.R.L.
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS
LIMA 17 - PERU
461-8979 TELEFAX: 461-5253

RESULTADOS DE LABORATORIO

PROYECTO : Depósito de relaves filtrados Ramahuayco
UBICACIÓN :
CLIENTE :
MUESTRA : Mezcla Cantera Sánchez parte alta 1: Relave 3
FECHA : MAR.2012

PESO VOLUMÉTRICO DE LA GRAVA ASTM-C-127 (G. E. Bulk s.s.s.)

P.v.

2.518

Muestra enviada a nuestro laboratorio para su procesamiento.



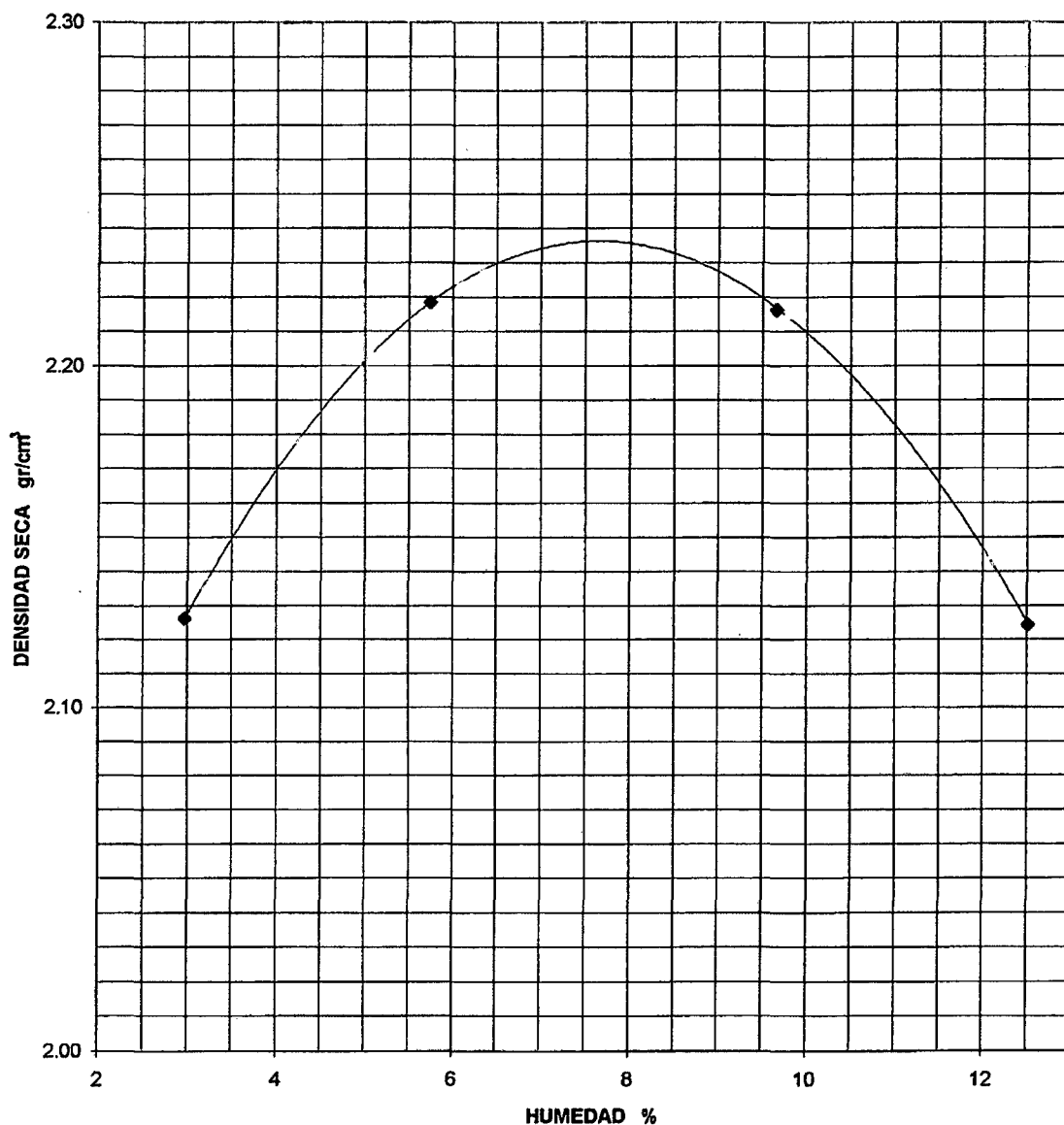
DE INGENIERIA S.R.L.
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

MANUEL GONZALES DE LA ROSA 435 □ LIMA 17 - PERU □ ☎ 461-8979 TELEFAX: 461-5253



PROYECTO : Depósito de relaves filtrados Ramahuayco
UBICACIÓN :
PROPIETARIO :
MUESTRA : Mezcla Cantera Sánchez parte alta 1: Relave 3
FECHA : MAR.2012

PROCTOR MODIFICADO
ASTM-D-1557-C
CURVA DENSIDAD - HUMEDAD

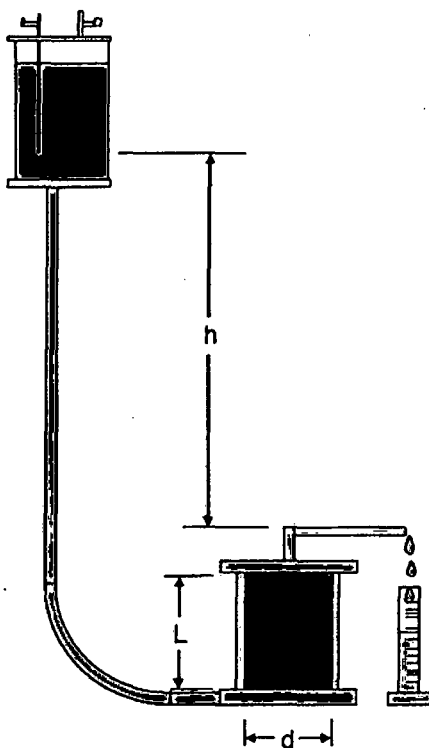


M.D.S. = 2.236 gr/cm³
O.C.H. = 7.67 %

PROYECTO : Depósito de relaves filtrados Ramahuayco
UBICACION :
CLIENTE :
MUESTRA : Mezcla Cantera Sánchez parte alta 1: Relave 3
FECHA : ABR.2012

ENSAYO DE PERMEABILIDAD EN LABORATORIO CARGA CONSTANTE ASTM-D-2434

Esquema



K = Coeficiente de permeabilidad cm/seg
 K_{20} = K corregido a 20 ° de temperatura cm/seg
 V = Volumen total de agua cm³
 L = Longitud de la muestra cm
 h = Carga hidráulica cm
 A = Sección transversal de la muestra cm²
 T = Tiempo de la prueba seg
 d = Diámetro del espécimen de la prueba cm

$$K = \frac{V \times L}{h \times A \times T}$$

Datos del espécimen

δ_d = Densidad seca total 2.124 gr/cm³
 ω = Contenido de humedad 7.67 %

Especimen remoldeado al 95% de la M.D.S. y al O.C.H. del Proctor Modificado.

Observaciones: Inicio 20.Abr.2012 08:00 Hrs.

Hora	Fecha	Temperatura °C	Area cm ²	L cm	Tiempo T seg	h cm	V cm ³	K cm/seg	K ₂₀ cm/seg
09h 00min	20.Abr.2012	23.1	81.71	11.7	3600	500	49.10	3.9059E-06	3.6286E-06
10h 00min	20.Abr.2012	23.3	81.71	11.7	3600	500	49.30	3.9218E-06	3.6265E-06
11h 00min	20.Abr.2012	23.3	81.71	11.7	3600	500	48.60	3.8661E-06	3.5750E-06
12h 00min	20.Abr.2012	23.3	81.71	11.7	3600	500	48.90	3.8900E-06	3.5971E-06
13h 00min	20.Abr.2012	23.5	81.71	11.7	3600	500	48.50	3.8582E-06	3.5510E-06
14h 00min	20.Abr.2012	23.6	81.71	11.7	3600	500	48.80	3.8820E-06	3.5649E-06
15h 00min	20.Abr.2012	23.6	81.71	11.7	3600	500	49.00	3.8979E-06	3.5795E-06
16h 00min	20.Abr.2012	23.5	81.71	11.7	3600	500	48.90	3.8900E-06	3.5803E-06
17h 00min	20.Abr.2012	23.5	81.71	11.7	3600	500	49.20	3.9138E-06	3.6023E-06

$$K_{20} = 3.5895 \times 10^{-6} \text{ cm/seg}$$



ENSAYO DE CONSOLIDACIÓN ASTM-D-2435

PROYECTO : Depósito de relaves filtrados Ramahuayco
UBICACIÓN :
CLIENTE :
MUESTRA : Mezcla Cantera Sánchez parte alta 1: Relave 3
FECHA : ABR.2012

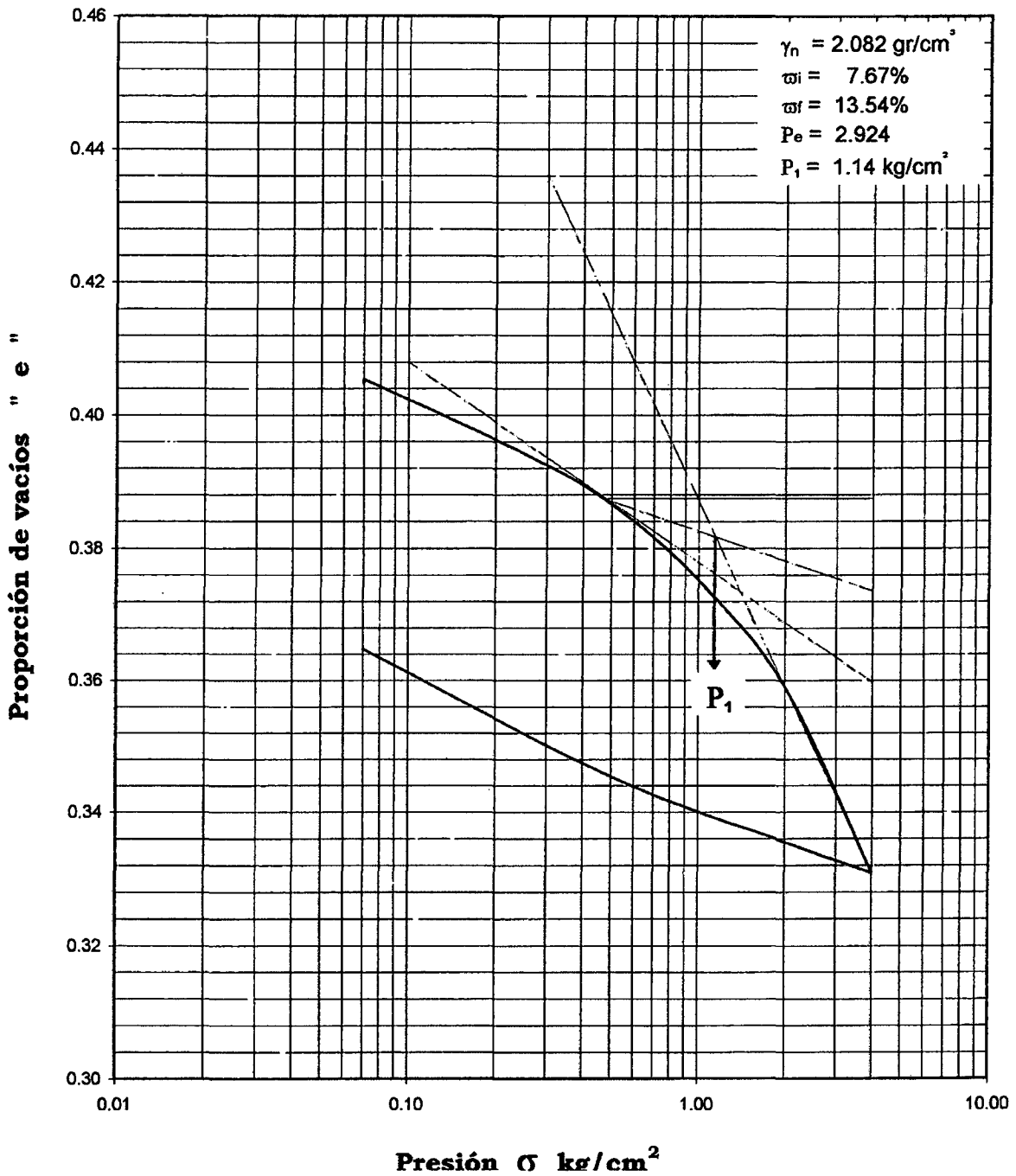
Presión kg/cm ²	Dial Final Pulg.	Δ Dial Pulg.	h=h ₁ -Δ Pulg.	h _o	Vacíos h-h _o Pulg.	Proporción de vacíos h-h _o /h _o	Densidad Seca gr/cm ³	% Consolidación	Contenido de Humedad w %	t ₅₀ Min	t ₉₀ Min	H Pulg.	Cv cm ² /seg.
0.07	0.18556	0.00000	0.78740	0.56053	0.22687	0.405	2.082	0.00	7.67%	Inicio de saturación			
0.07	0.18516	0.00039	0.78779	0.56053	0.22726	0.405	2.080	-0.05 (xp)	Fin Saturación-Inicio de carga				
0.25	0.19143	-0.00627	0.78153	0.56053	0.22099	0.394	2.097	0.80			3.61	0.39233	3.89E-03
0.50	0.19569	-0.00426	0.77726	0.56053	0.21673	0.387	2.109	1.34			19.18	0.38970	7.22E-04
1.00	0.20211	-0.00641	0.77085	0.56053	0.21032	0.375	2.126	2.15			14.59	0.38703	9.36E-04
2.00	0.21118	-0.00908	0.76178	0.56053	0.20124	0.359	2.152	3.30			8.70	0.38316	1.54E-03
4.00	0.22697	-0.01579	0.74599	0.56053	0.18545	0.331	2.197	5.31			11.36	0.37694	1.14E-03
2.00	0.22434	0.00263	0.74862	0.56053	0.18808	0.336	2.189	4.97	Fin de carga				
0.50	0.21882	0.00552	0.75413	0.56053	0.19360	0.345	2.173	4.27	Inicio descarga				
0.07	0.20797	0.01086	0.76499	0.56053	0.20446	0.365	2.143	2.89	13.54%	Fin descarga			

-(xp) = Expansión por saturación

Especímenes remoldeados a la δ_{N^4} y a la w, obtenidos al 95% del ensayo de proctor modificado.

ENSAYO DE CONSOLIDACION CURVA DE COMPRESIBILIDAD

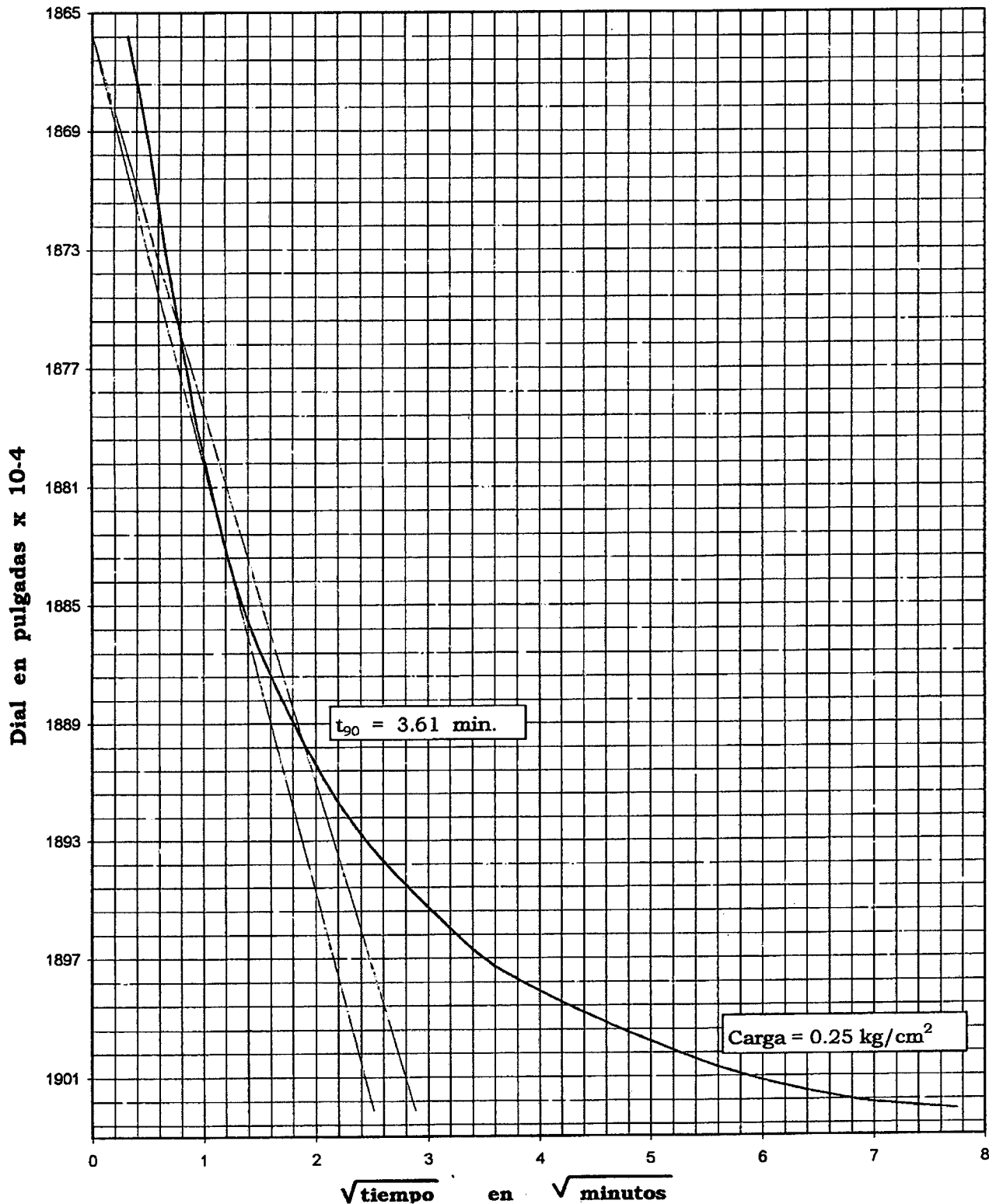
PROYECTO : Depósito de relaves filtrados Ramahuayco
UBICACION :
CLIENTE :
MUESTRA : Mezcla Cantera Sánchez parte alta 1: Relave 3
FECHA : ABR.2012



ENSAYO DE CONSOLIDACIÓN

CURVAS DE CONSOLIDACIÓN

PROYECTO : Depósito de relaves filtrados Ramahuayco
UBICACIÓN :
CLIENTE :
MUESTRA : Mezcla Cantera Sánchez parte alta 1: Relave 3
MUESTRA : ABR.2012



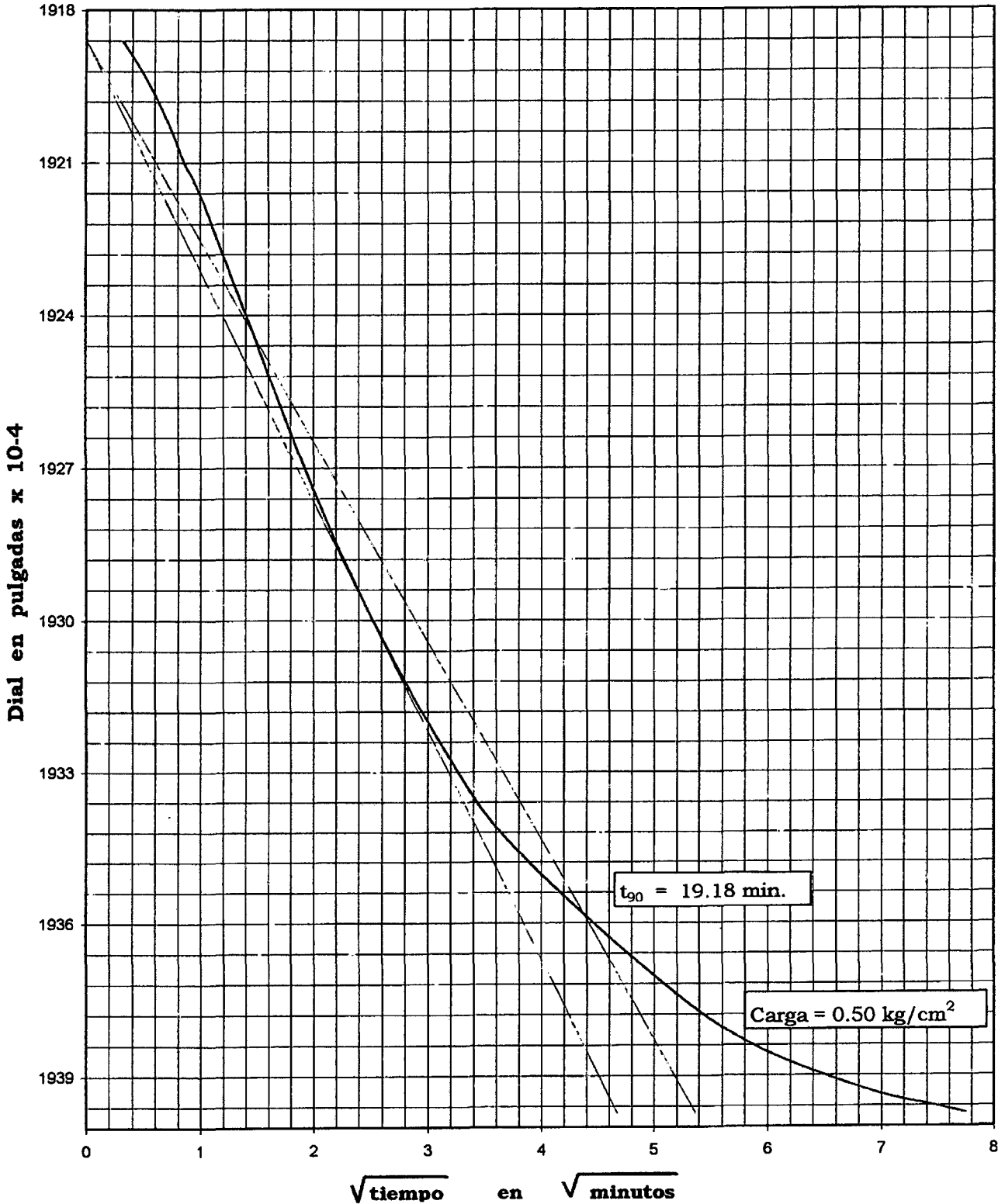
DE INGENIERIA S.R.L.
 LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y P/

MANUEL GONZALES DE LA ROSA 435 □ LIMA 17 - PERU □ ☎ 461-8979 TELEFAX: 461-5253

ENSAYO DE CONSOLIDACIÓN

CURVAS DE CONSOLIDACIÓN

PROYECTO : Depósito de relaves filtrados Ramahuayco
UBICACIÓN :
CLIENTE :
MUESTRA : Mezcla Cantera Sánchez parte alta 1: Relave 3
FECHA : ABR.2012



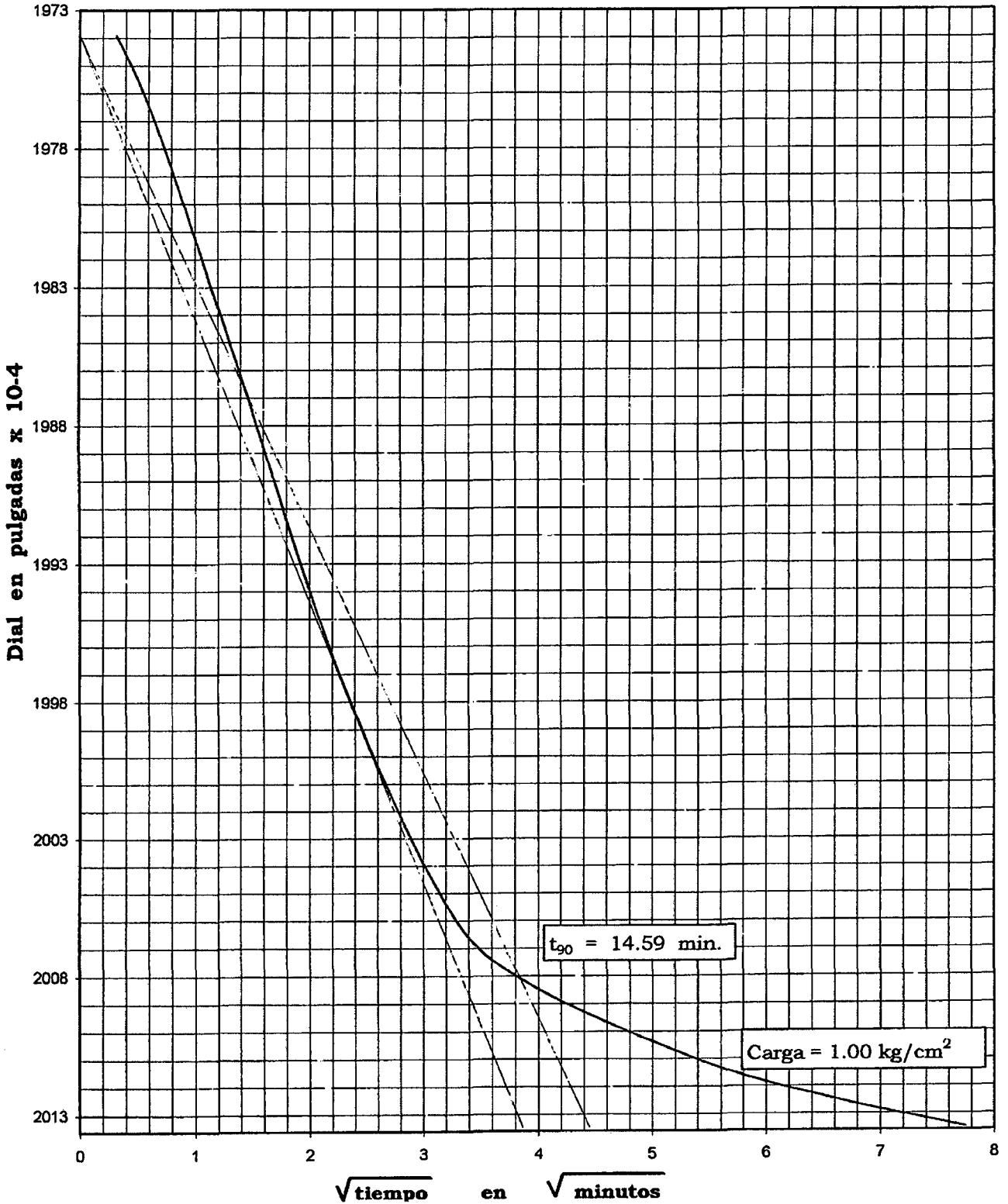
DE INGENIERIA S.R.L.
 LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y P/

MANUEL GONZALES DE LA ROSA 435 □ LIMA 17 - PERU □ ☎ 461-8979 TELEFAX: 461-5253

ENSAYO DE CONSOLIDACIÓN

CURVAS DE CONSOLIDACIÓN

PROYECTO : Depósito de relaves filtrados Ramahuayco
UBICACIÓN :
CLIENTE :
MUESTRA : Mezcla Cantera Sánchez parte alta 1: Relave 3
FECHA : ABR.2012



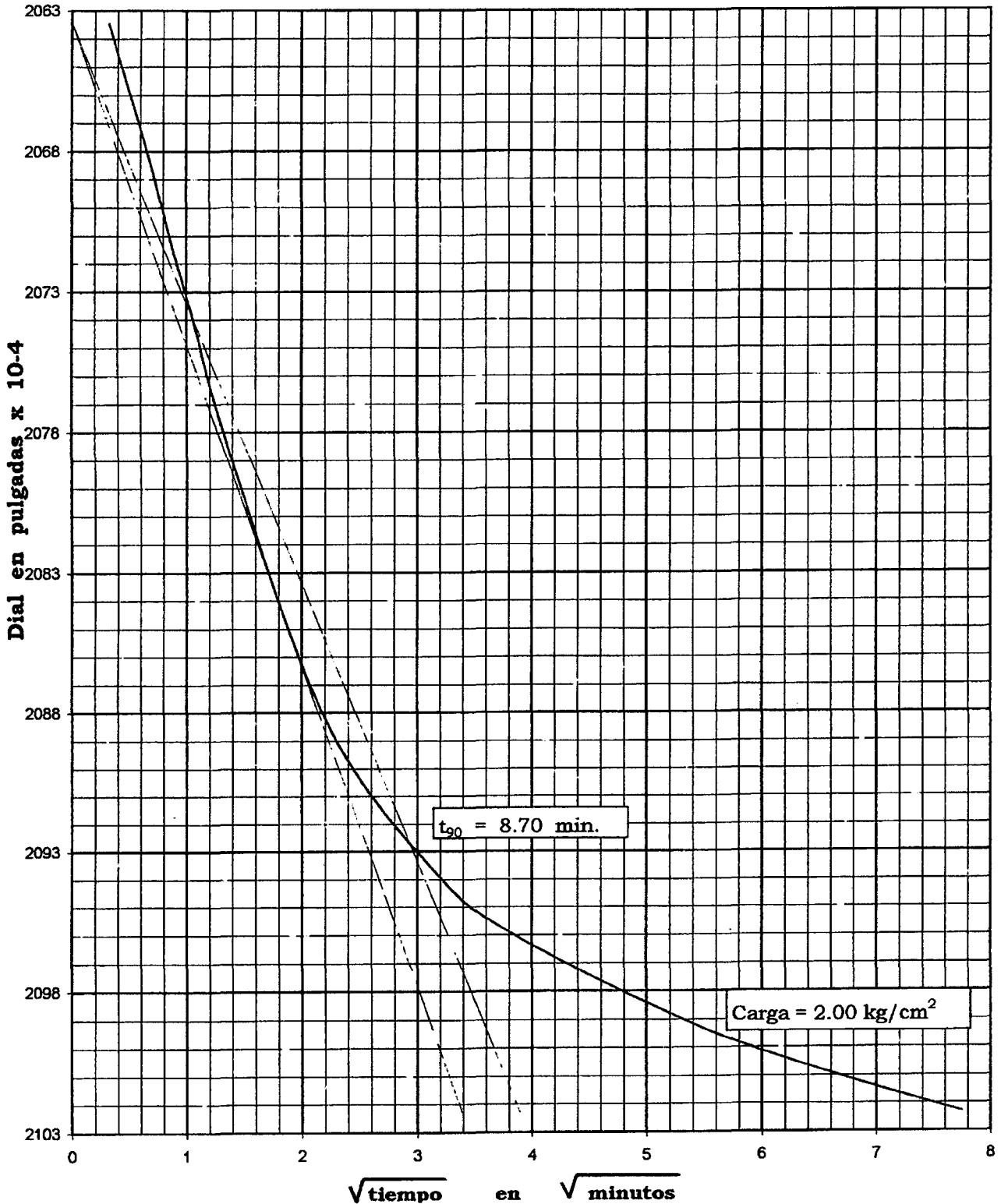
DE INGENIERIA S.R.L.
 LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

MANUEL GONZALES DE LA ROSA 435 □ LIMA 17 - PERU □ ☎ 461-8979 TELEFAX: 461-5253

ENSAYO DE CONSOLIDACIÓN

CURVAS DE CONSOLIDACIÓN

PROYECTO : Depósito de relaves filtrados Ramahuayco
UBICACIÓN :
CLIENTE :
MUESTRA : Mezcla Cantera Sánchez parte alta 1: Relave 3
FECHA : ABR.2012

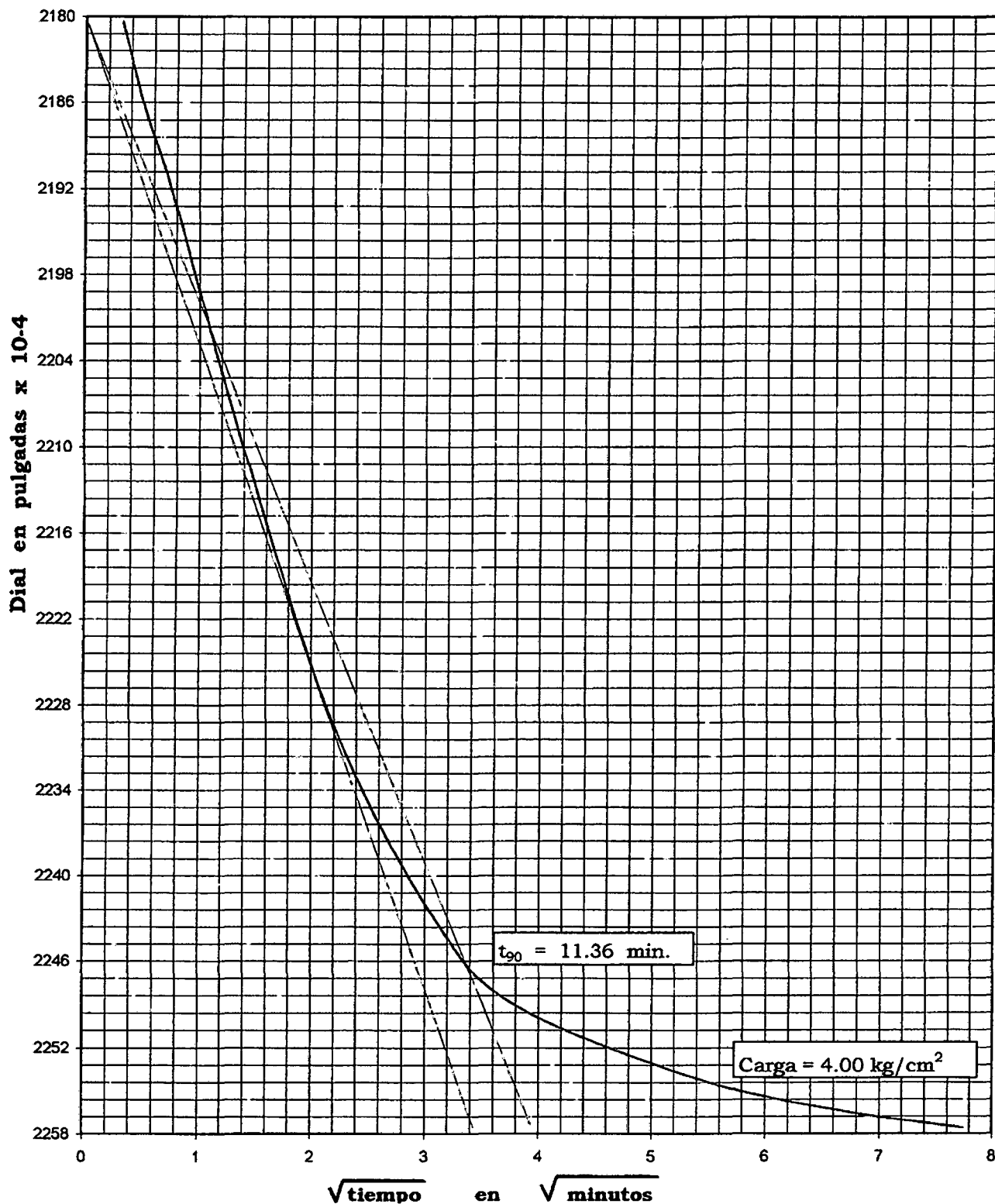


DE INGENIERIA S.R.L.
 LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVI

ENSAYO DE CONSOLIDACIÓN

CURVAS DE CONSOLIDACIÓN

PROYECTO : Depósito de relaves filtrados Ramahuayco
UBICACIÓN :
CLIENTE :
MUESTRA : Mezcla Cantera Sánchez parte alta 1: Relave 3
FECHA : ABR.2012



DE INGENIERIA S.R.L.
 LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

MANUEL GONZALES DE LA ROSA 435

☐ LIMA 17 - PERU ☐ ☎ 461-8979 TELEFAX: 461-5253



ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL CONSOLIDADO NO DRENADO CU NPT 339.166 (ASTM-D-4767)

PROYECTO : Depósito de relaves filtrados Ramahuayco
UBICACIÓN :
CLIENTE :
MUESTRA : Mezcla Cantera Sánchez parte alta 1: Relave 3
FECHA : ABR.2012

DATOS INICIALES

Diametro	10.159 cm
Altura	20.322 cm
Area	81.057 cm ²
Volumen	1647.24 cm ³
Peso Húmedo	3759.26 gr
Peso seco	3488.87 gr
Densidad Húmeda	2.282 gr/cm ³
Densidad Seca	2.118 gr/cm ³
Contenido de Humedad	7.75 %
Grado de Saturación	59.56 %
Peso Especifico de Sólidos	2.924
Volumen de Sólidos	1193.18
Relación de Vacíos	0.3805
Aproximación del Dial	0.001 pulg

DATOS FINALES

Cambio en altura del espécimen al final de la consolidación	0.052 cm
Altura final del espécimen	20.270 cm
Peso húmedo del espécimen al final de la consolidación	3923.59 gr
Volumen de agua	434.72 cm ³
Area del espécimen al final de la consolidación	80.641 cm ²
Volumen consolidado	1635 cm ³
Densidad Seca consolidada	2.134 gr/cm ³
Contenido de Humedad	12.46 %
Relación de Vacíos	0.3702
Grado de Saturación	98.41 %
Máx. Esfuerzo desviador	2.5393 Kg/cm ²
Deformación en la falla	13.78 %
Presión de confinamiento	2.00 Kg/cm ²
Contrapresión	1.00 Kg/cm ²
Presión efectiva	1.00 Kg/cm ²

Especímenes remoldeados al 95% de la M.D.S. y la w, obtenidos en el proctor modificado realizado

Lectura de Def. pulg	Defor. mm	Fuerza A N	Defor. Axial %	Carga A. Kg	Area Axial cm ²	Esf.Prin. $\sigma_1-\sigma_3$ Kg/cm ²	Exceso presión de poros Δu		Esf. σ_3 Kg/cm ²	Esf. σ_1 Kg/cm ²	Esf. Efectivos			p Kg/cm ²	p' Kg/cm ²	q Kg/cm ²
							Lbs	Kg/cm ²			σ'_3 Kg/cm ²	σ'_1 Kg/cm ²	σ'_1/σ'_3			
0	0.00	0.0	0.00	0.000	80.641	0.0000	4.50	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.0000	1.0000	1.00	0.0000
100	2.54	77.6	1.25	33.069	81.664	0.4049	4.90	0.03	1.00	1.40	0.97	1.38	1.4167	1.2025	1.17	0.2025
200	5.08	169.8	2.51	68.791	82.714	0.8317	5.50	0.07	1.00	1.83	0.93	1.76	1.8946	1.4158	1.35	0.4158
300	7.62	279.0	3.76	111.099	83.791	1.3259	5.90	0.10	1.00	2.33	0.90	2.23	2.4707	1.6630	1.56	0.6630
400	10.16	363.0	5.01	143.644	84.896	1.6920	6.20	0.12	1.00	2.69	0.88	2.57	2.9217	1.8460	1.73	0.8460
500	12.70	450.3	6.27	177.467	86.031	2.0628	6.40	0.13	1.00	3.06	0.87	2.93	3.3809	2.0314	1.90	1.0314
600	15.24	524.7	7.52	206.292	87.197	2.3658	6.60	0.15	1.00	3.37	0.85	3.22	3.7756	2.1829	2.04	1.1829
700	17.78	571.6	8.77	224.463	88.395	2.5393	6.80	0.16	1.00	3.54	0.84	3.38	4.0292	2.2697	2.11	1.2697
800	20.32	573.4	10.02	225.160	89.626	2.5122	6.90	0.17	1.00	3.51	0.83	3.34	4.0222	2.2561	2.09	1.2561
900	22.86	567.5	11.28	222.875	90.892	2.4521	7.00	0.18	1.00	3.45	0.82	3.28	3.9750	2.2260	2.05	1.2260
1000	25.40	557.5	12.53	219.000	92.194	2.3754	7.07	0.18	1.00	3.38	0.82	3.19	3.8993	2.1877	2.01	1.1877
1100	27.94	542.8	13.78	213.305	93.534	2.2805	7.05	0.18	1.00	3.28	0.82	3.10	3.7787	2.1403	1.96	1.1403
1200	30.48	543.2	15.04	213.460	94.913	2.2490	7.10	0.18	1.00	3.25	0.82	3.07	3.7521	2.1245	1.94	1.1245
1300	33.02	544.3	16.29	213.886	96.334	2.2203	7.15	0.19	1.00	3.22	0.81	3.03	3.7287	2.1101	1.92	1.1101



ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL CONSOLIDADO NO DRENADO CU
NPT 339.166 (ASTM-D-4767)

PROYECTO : Depósito de relaves filtrados Ramahuayco
UBICACIÓN :
CLIENTE :
MUESTRA : Mezcla Cantera Sánchez parte alta 1: Relave 3
FECHA : ABR.2012

DATOS INICIALES

Diametro 10.158 cm
Altura 20.327 cm
Area 81.041 cm²
Volumen 1647.32 cm³
Peso Húmedo 3770.48 gr
Peso seco 3501.56 gr
Densidad Húmeda 2.289 gr/cm³
Densidad Seca 2.126 gr/cm³
Contenido de Humedad 7.68 %
Grado de Saturación 59.82 %
Peso Específico de Sólidos 2.924
Volumen de Sólidos 1197.52
Relación de Vacíos 0.3754
Aproximación del Dial 0.001 pulg

DATOS FINALES

Cambio en altura del espécimen al final de la consolidación 0.102 cm
Altura final del espécimen 20.225 cm
Peso húmedo del espécimen al final de la consolidación 3920.35 gr
Volumen de agua 418.79 cm³
Area del espécimen al final de la consolidación 80.224 cm²
Volumen consolidado 1623 cm³
Densidad Seca consolidada 2.157 gr/cm³
Contenido de Humedad 11.96 %
Relación de Vacíos 0.3556
Grado de Saturación 98.34 %
Máx. Esfuerzo desviador 4.0708 Kg/cm²
Deformación en la falla 13.81 %
Presión de confinamiento 3.00 Kg/cm²
Contrapresión 1.00 Kg/cm²
Presión efectiva 2.00 Kg/cm²

Especímenes remoldeados al 95% de la M.D.S. y la w, obtenidos en el proctor modificado realizado

Lectura de Def. pulg	Defor. mm	Fuerza A N	Defor. Axial %	Carga A. Kg	Area Axial cm ²	Esf.Prin. $\sigma_1 - \sigma_3$ Kg/cm ²	Exceso presión de poros Δu		Esf. σ_3 Kg/cm ²	Esf. σ_1 Kg/cm ²	Esf. Efectivos					
							Lbs	Kg/cm ²			σ'_3 Kg/cm ²	σ'_1 Kg/cm ²	σ'_1 / σ'_3	p Kg/cm ²	p' Kg/cm ²	q Kg/cm ²
0	0.00	0.0	0.00	0.000	80.224	0.0000	5.80	0.00	2.00	2.00	2.00	2.00	1.0000	2.0000	2.00	0.0000
100	2.54	225.0	1.26	90.177	81.244	1.1100	7.20	0.10	2.00	3.11	1.90	3.01	1.5837	2.5550	2.46	0.5550
200	5.08	417.0	2.51	164.565	82.291	1.9998	8.00	0.15	2.00	4.00	1.85	3.85	2.0837	2.9999	2.85	0.9999
300	7.62	627.7	3.77	246.198	83.364	2.9533	8.70	0.20	2.00	4.95	1.80	4.75	2.6443	3.4766	3.27	1.4766
400	10.16	753.7	5.02	295.015	84.467	3.4927	9.30	0.25	2.00	5.49	1.75	5.25	2.9914	3.7463	3.50	1.7463
500	12.70	824.9	6.28	322.601	85.599	3.7688	10.00	0.30	2.00	5.77	1.70	5.47	3.2108	3.8844	3.59	1.8844
600	15.24	879.9	7.54	343.910	86.761	3.9639	10.40	0.32	2.00	5.96	1.68	5.64	3.3643	3.9819	3.66	1.9819
700	17.78	915.6	8.79	357.741	87.956	4.0673	10.70	0.34	2.00	6.07	1.66	5.72	3.4569	4.0336	3.69	2.0336
800	20.32	929.3	10.05	363.049	89.184	4.0708	10.80	0.35	2.00	6.07	1.65	5.72	3.4695	4.0354	3.68	2.0354
900	22.86	923.8	11.30	360.918	90.447	3.9904	10.90	0.36	2.00	5.99	1.64	5.63	3.4311	3.9952	3.64	1.9952
1000	25.40	907.2	12.56	354.487	91.746	3.8638	11.00	0.37	2.00	5.86	1.63	5.50	3.3641	3.9319	3.57	1.9319
1100	27.94	897.3	13.81	350.651	93.083	3.7671	11.05	0.37	2.00	5.77	1.63	5.40	3.3099	3.8836	3.51	1.8836
1200	30.48	891.9	15.07	348.559	94.459	3.6901	11.10	0.37	2.00	5.69	1.63	5.32	3.2675	3.8450	3.47	1.8450
1300	33.02	891.3	16.33	348.327	95.877	3.6331	11.15	0.38	2.00	5.63	1.62	5.26	3.2373	3.8165	3.44	1.8165



ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL CONSOLIDADO NO DRENADO CU

NPT 339.166 (ASTM-D-4767)

PROYECTO : Depósito de relaves filtrados Ramahuayco
UBICACIÓN :
CLIENTE :
MUESTRA : Mezcla Cantera Sánchez parte alta 1: Relave 3
FECHA : ABR.2012

DATOS INICIALES

Diametro 10.163 cm
Altura 20.311 cm
Area 81.121 cm²
Volumen 1647.65 cm³
Peso Húmedo 3773.75 gr
Peso seco 3507.86 gr
Densidad Húmeda 2.290 gr/cm³
Densidad Seca 2.129 gr/cm³
Contenido de Humedad 7.58 %
Grado de Saturación 59.36 %
Peso Específico de Sólidos 2.924
Volumen de Sólidos 1199.68
Relación de Vacíos 0.3734
Aproximación del Dial 0.001 pulg

DATOS FINALES

Cambio en altura del espécimen al final de la consolidación 0.186 cm
Altura final del espécimen 20.125 cm
Peso húmedo del espécimen al final de la consolidación 3906.70 gr
Volumen de agua 398.84 cm³
Area del espécimen al final de la consolidación 79.622 cm²
Volumen consolidado 1602 cm³
Densidad Seca consolidada 2.190 gr/cm³
Contenido de Humedad 11.37 %
Relación de Vacíos 0.3352
Grado de Saturación 99.18 %
Máx. Esfuerzo desviador 7.2262 Kg/cm²
Deformación en la falla 13.88 %
Presión de confinamiento 5.00 Kg/cm²
Contrapresión 1.00 Kg/cm²
Presión efectiva 4.00 Kg/cm²

Especímenes remoldeados al 95% de la M.D.S. y la w, obtenidos en el proctor modificado realizado

Lectura de Def. pulg	Defor. mm	Fuerza A N	Defor. Axial %	Carga A. Kg	Area Axial cm ²	Esf.Prin. $\sigma_1 - \sigma_3$ Kg/cm ²	Exceso presión de poros Δu		Esf. σ_3 Kg/cm ²	Esf. σ_1 Kg/cm ²	Esf. Efectivos		σ'_1 / σ'_3	p Kg/cm ²	p' Kg/cm ²	q Kg/cm ²
							Lbs	Kg/cm ²			σ'_3 Kg/cm ²	σ'_1 Kg/cm ²				
0	0.00	0.0	0.00	0.000	79.622	0.0000	9.40	0.00	4.00	4.00	4.00	4.00	1.0000	4.0000	4.00	0.0000
100	2.54	390.9	1.26	154.453	80.639	1.9154	12.80	0.24	4.00	5.92	3.76	5.68	1.5093	4.9577	4.72	0.9577
200	5.08	747.3	2.52	292.536	81.683	3.5813	14.70	0.37	4.00	7.58	3.63	7.21	1.9873	5.7907	5.42	1.7907
300	7.62	1094.2	3.79	426.938	82.755	5.1591	16.20	0.48	4.00	9.16	3.52	8.68	2.4649	6.5795	6.10	2.5795
400	10.16	1350.8	5.05	526.354	83.855	6.2770	17.60	0.58	4.00	10.28	3.42	9.70	2.8335	7.1385	6.56	3.1385
500	12.70	1492.9	6.31	581.409	84.985	6.8413	18.60	0.65	4.00	10.84	3.35	10.19	3.0403	7.4207	6.77	3.4207
600	15.24	1586.7	7.57	617.750	86.145	7.1711	19.60	0.72	4.00	11.17	3.28	10.45	3.1844	7.5855	6.87	3.5855
700	17.78	1621.2	8.83	631.117	87.338	7.2262	20.10	0.75	4.00	11.23	3.25	10.47	3.2250	7.6131	6.86	3.6131
800	20.32	1633.9	10.10	636.037	88.564	7.1817	20.40	0.77	4.00	11.18	3.23	10.41	3.2258	7.5908	6.82	3.5908
900	22.86	1636.9	11.36	637.200	89.825	7.0938	20.60	0.79	4.00	11.09	3.21	10.31	3.2082	7.5469	6.76	3.5469
1000	25.40	1647.7	12.62	641.384	91.122	7.0387	20.80	0.80	4.00	11.04	3.20	10.24	3.2007	7.5194	6.72	3.5194
1100	27.94	1638.4	13.88	637.781	92.458	6.8981	20.90	0.81	4.00	10.90	3.19	10.09	3.1614	7.4490	6.64	3.4490
1200	30.48	1632.9	15.15	635.650	93.833	6.7743	21.00	0.82	4.00	10.77	3.18	9.96	3.1273	7.3871	6.57	3.3871
1300	33.02	1648.8	16.41	641.810	95.250	6.7382	21.10	0.82	4.00	10.74	3.18	9.92	3.1207	7.3691	6.55	3.3691

ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL CONSOLIDADO NO DRENADO CU NPT 339.166 (ASTM-D-4767)

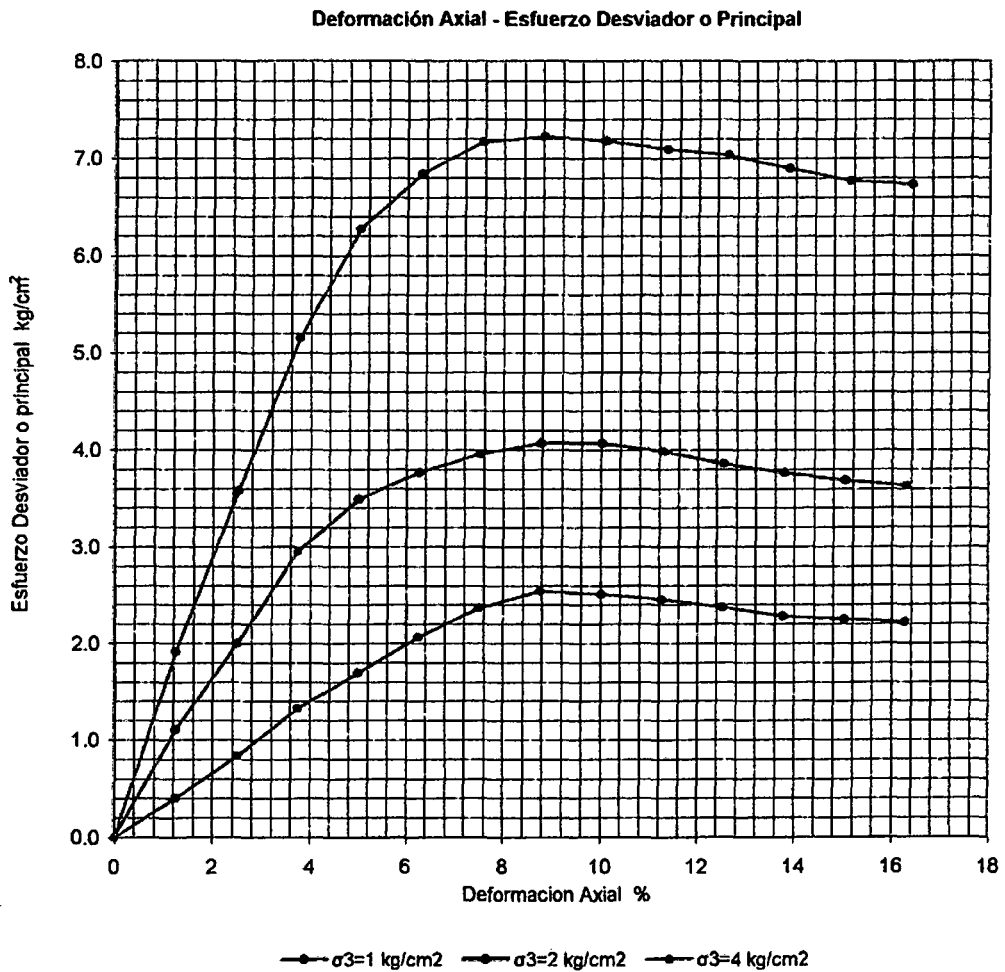
PROYECTO : Depósito de relaves filtrados Ramahuayco

UBICACIÓN :

CLIENTE :

MUESTRA : Mezcla Cantera Sánchez parte alta 1: Relave 3

FECHA : ABR.2012





ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL CONSOLIDADO NO DRENADO CU NPT 339.166 (ASTM-D-4767)

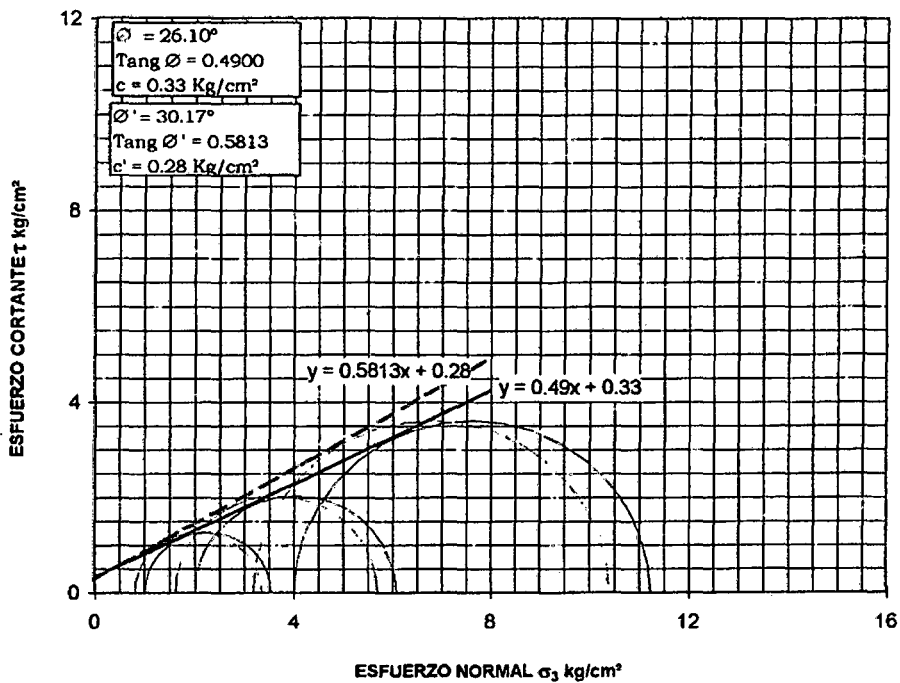
PROYECTO : Depósito de relaves filtrados Ramahuayco

UBICACIÓN :

CLIENTE :

MUESTRA : Mezcla Cantera Sánchez parte alta 1: Relave 3

FECHA : ABR.2012



ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL CONSOLIDADO NO DRENADO CU NPT 339.166 (ASTM-D-4767)

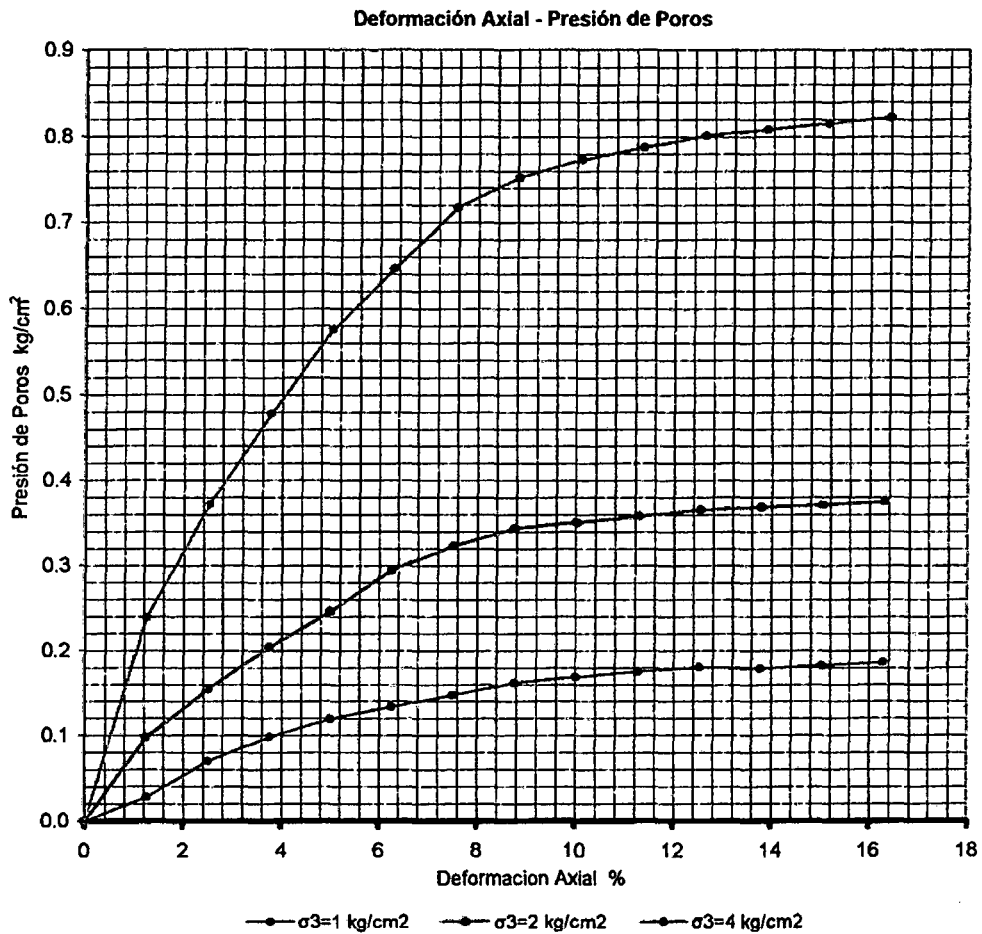
PROYECTO : Depósito de relaves filtrados Ramahuayco

UBICACIÓN :

CLIENTE :

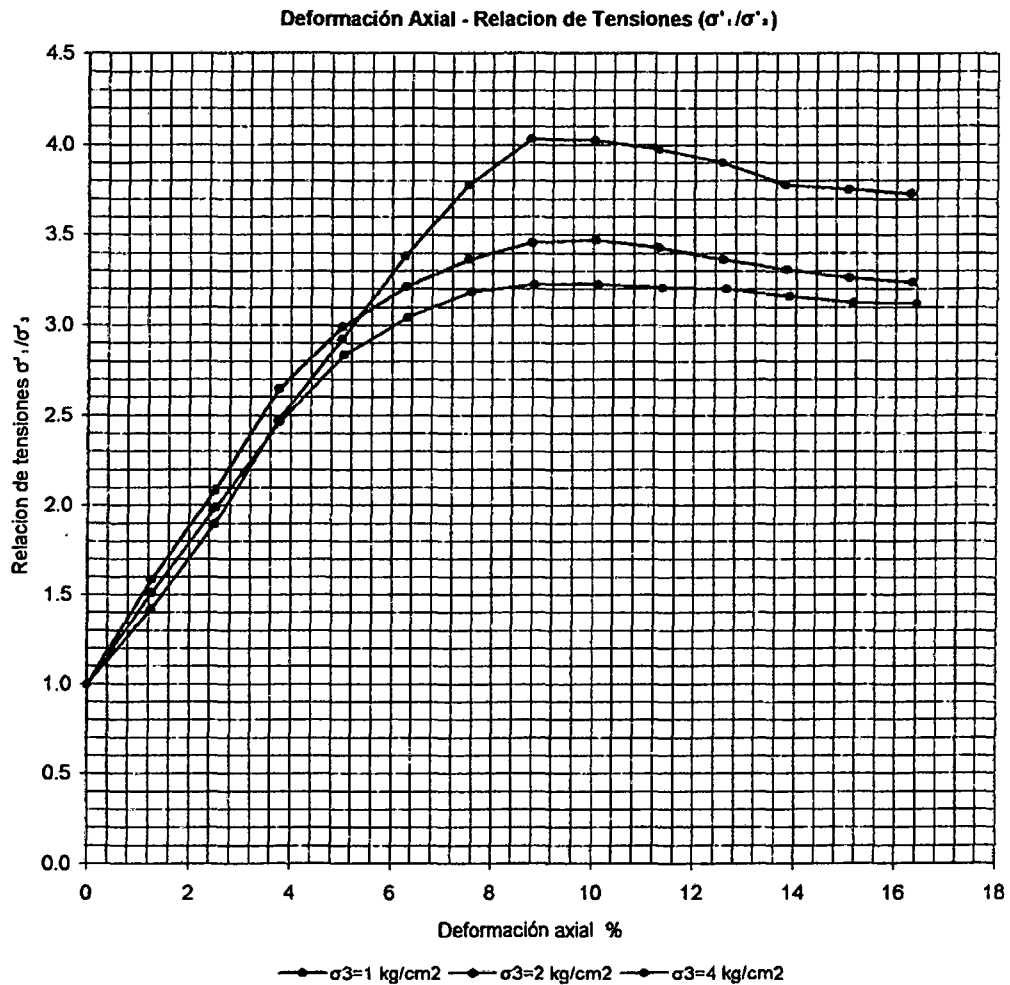
MUESTRA : Mezcla Cantera Sánchez parte alta 1: Relave 3

FECHA : ABR.2012



ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL CONSOLIDADO NO DRENADO CU NPT 339.166 (ASTM-D-4767)

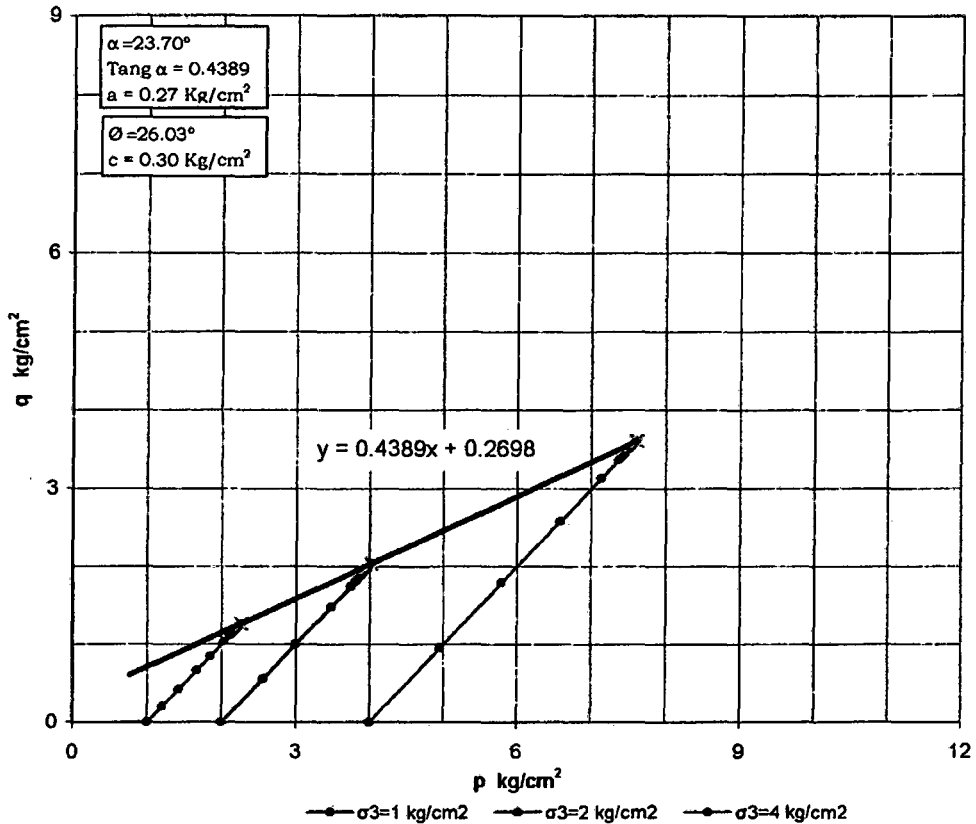
PROYECTO : Depósito de relaves filtrados Ramahuayco
UBICACIÓN :
CLIENTE :
MUESTRA : Mezcla Cantera Sánchez parte alta 1: Relave 3
FECHA : ABR.2012



ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL CONSOLIDADO NO DRENADO CU NPT 339.166 (ASTM-D-4767)

PROYECTO : Depósito de relaves filtrados Ramahuayco
UBICACIÓN :
CLIENTE :
MUESTRA : Mezcla Cantera Sánchez parte alta 1: Relave 3
FECHA : ABR.2012

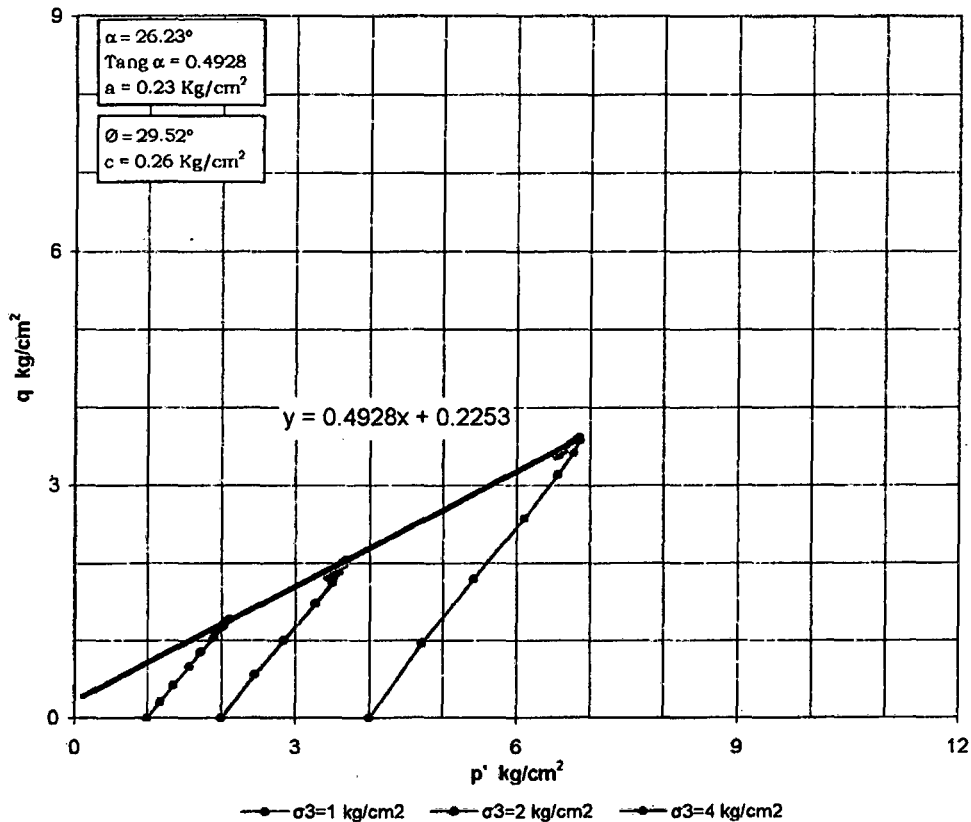
Diagrama p vs. q



ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL CONSOLIDADO NO DRENADO CU NPT 339.166 (ASTM-D-4767)

PROYECTO : Depósito de relaves filtrados Ramahuayco
UBICACIÓN :
CLIENTE :
MUESTRA : Mezcla Cantera Sánchez parte alta 1: Relave 3
FECHA : ABR.2012

Diagrama p' vs. q



ANEXO 1.2
Caso 2



ENSAYOS DE CARACTERIZACIONES FISICAS

Informe :
Solicitante :
Proyecto :
Ubicación :
Sondaje :
Muestra : B - 1
Profundidad (m) : ---

Fecha : Mayo, 2006

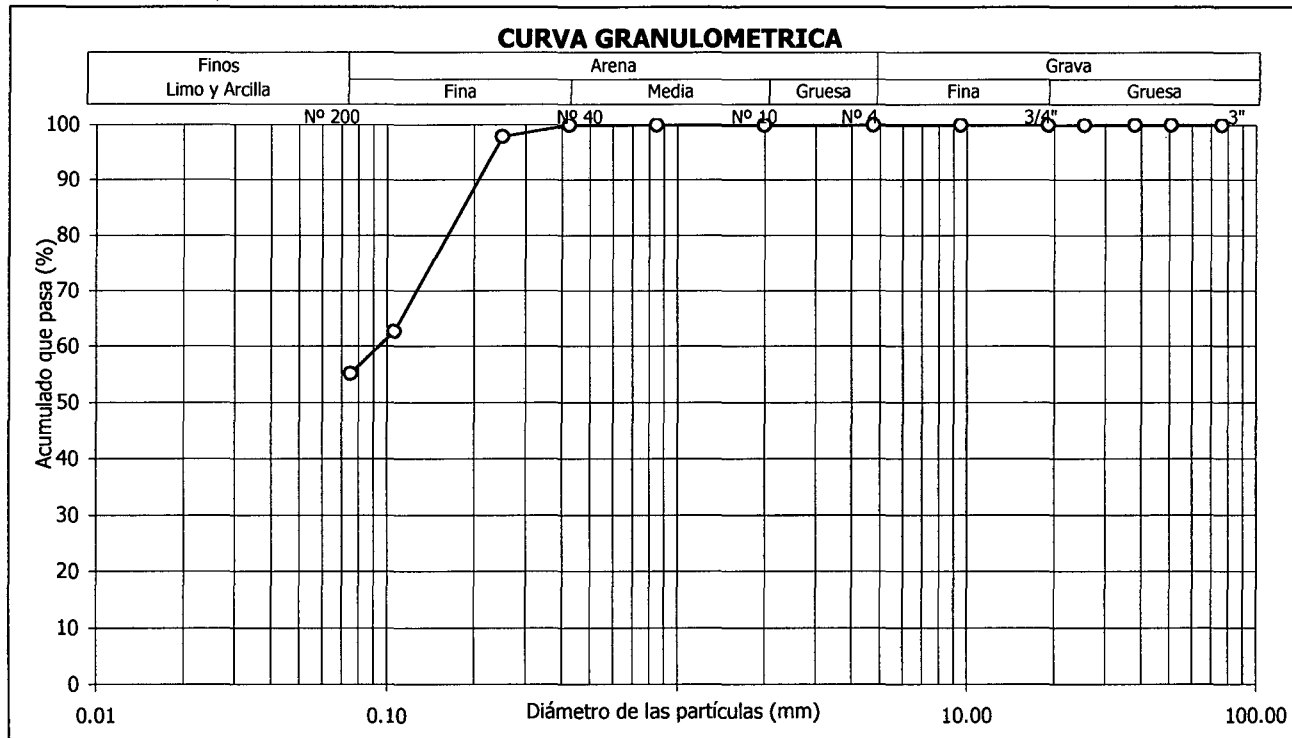
Table with 3 columns: Tamiz, Abertura (mm), Acum. q' Pasa (%). Rows include tamizes from 3" down to Nº 200.

Table: Contenido de humedad; ASTM - D2216. Humedad (%) = 0.6

Table: Límites de consistencia. Límite Líquido (%): 11, Límite Plástico (%): NP, Índice de Plasticidad (%): NP, Límite de Contracción (%): ---

Table: Resultados de la granulometría por tamizado. Coeficiente de Uniformidad (Cu): ---, Coeficiente de Curvatura (Cc): ---, Grava [Nº 4 < phi < 3"] (%): 0.0, Arena [Nº 200 < phi < Nº 4] (%): 44.8, Finos [phi < Nº 200] (%): 55.2

Table: Clasificación; ASTM - D2487 / D3282. A S H T O : A-4 (0), S U C S : ML // Limo arenoso



Observación : La muestra ha sido proporcionada e identificada por el solicitante



ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL

Consolidado - No Drenado (CU) // ASTM - D4767

Informe N°	:		Fecha :	Mayo, 2006
Solicitante	:			
Proyecto	:			
Ubicación	:			
Sondaje	:	Relave	Clasificación	
Muestra	:	B - 1	AASHTO .-	A-4(0)
Profundidad (m)	:	---	SUCS .-	ML // Limo arenoso
Estado	:	Remoldeado		

ESPECIMEN 01

Etapa		Inicial	Final	Velocidad		0.20
Altura	(cm)	10.10	9.95	Parámetro "B"	(%)	94
Diámetro	(cm)	5.00	4.98	Presión de Celda (σ_3)	(kg/cm ²)	4.00
Humedad	(%)	10.0	15.3	Contra Presión	(kg/cm ²)	2.00
Densidad seca	(g/cm ³)	2.34	2.39	Esfuerzo Efectivo Inicial (σ_3)	(kg/cm ²)	2.00

Deformación (%)	Esf. Desv. (kg/cm ²)	Presión Poros (kg/cm ²)	$\bar{\sigma}_3$ (kg/cm ²)	$\bar{\sigma}_1$ (kg/cm ²)	p (kg/cm ²)	q (kg/cm ²)	q/p	Oblicuidad ($\bar{\sigma}_1/\bar{\sigma}_3$)
0.00	0.00	0.00	2.00	2.00	2.00	0.00	0.00	1.00
0.10	0.24	0.10	1.90	2.14	2.02	0.12	0.06	1.13
0.25	0.77	0.39	1.61	2.38	1.99	0.38	0.19	1.48
0.50	1.15	0.86	1.14	2.29	1.72	0.58	0.34	2.01
0.75	1.15	1.05	0.95	2.10	1.53	0.58	0.38	2.21
1.00	1.15	1.14	0.86	2.01	1.44	0.58	0.40	2.34
1.50	1.15	1.25	0.75	1.90	1.33	0.58	0.43	2.54
2.00	1.15	1.29	0.71	1.86	1.29	0.58	0.45	2.62
2.50	1.15	1.32	0.68	1.83	1.26	0.58	0.46	2.69
3.00	1.15	1.35	0.65	1.80	1.23	0.58	0.47	2.77
4.00	1.15	1.38	0.62	1.77	1.20	0.58	0.48	2.86
5.00	1.15	1.40	0.60	1.75	1.18	0.58	0.49	2.92
6.00	1.15	1.41	0.59	1.74	1.17	0.58	0.49	2.95
7.00	1.15	1.42	0.58	1.73	1.16	0.58	0.50	2.99
8.00	1.15	1.42	0.58	1.73	1.16	0.58	0.50	2.99
9.00	1.15	1.43	0.57	1.72	1.15	0.58	0.50	3.02
10.00	1.20	1.42	0.58	1.78	1.18	0.60	0.51	3.07
12.00	1.20	1.43	0.57	1.77	1.17	0.60	0.51	3.11
14.00	1.20	1.43	0.57	1.77	1.17	0.60	0.51	3.11
16.00	1.20	1.41	0.59	1.79	1.19	0.60	0.50	3.03
18.00	1.20	1.40	0.60	1.80	1.20	0.60	0.50	3.00
20.00	1.20	1.39	0.61	1.81	1.21	0.60	0.50	2.97
23.00	1.25	1.39	0.61	1.86	1.23	0.62	0.51	3.05
26.00	1.34	1.37	0.63	1.97	1.30	0.67	0.52	3.13
30.00	1.39	1.37	0.63	2.02	1.33	0.70	0.52	3.21

Observaciones : La muestra ha sido proporcionada e identificada por el solicitante. Material que pasa el tamiz N° 4, densidad seca = 2.34 g/cm³, humedad = 10.0 %. Los datos de remoldeo han sido asumidos por el solicitante.



ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL

Consolidado - No Drenado (CU) // ASTM - D4767

Informe N°	:		Fecha : Mayo, 2006
Solicitante	:		
Proyecto	:		
Ubicación	:		
Sondaje	:	Relave	Clasificación
Muestra	:	B - 1	AASHTO .- A-4(0)
Profundidad (m)	:	---	SUCS .- ML // Limo arenoso
Estado	:	Remoldeado	

ESPECIMEN 02

Condiciones	Inicial	Final	Velocidad	0.20
Altura (cm)	10.10	9.89	Parámetro "B" (%)	99
Diámetro (cm)	5.00	4.97	Presión de Celda (σ_3) (kg/cm ²)	6.00
Humedad (%)	10.0	14.7	Contra Presión (kg/cm ²)	2.00
Densidad seca (g/cm ³)	2.34	2.42	Esfuerzo Efectivo Inicial ($\bar{\sigma}_3$) (kg/cm ²)	4.00

Deformación (%)	Esf. Desv. (kg/cm ²)	Presión Poros (kg/cm ²)	$\bar{\sigma}_3$ (kg/cm ²)	$\bar{\sigma}_1$ (kg/cm ²)	p (kg/cm ²)	q (kg/cm ²)	q/p	Oblicuidad ($\bar{\sigma}_1/\bar{\sigma}_3$)
0.00	0.00	0.00	4.00	4.00	4.00	0.00	0.00	1.00
0.10	1.01	0.42	3.58	4.59	4.08	0.50	0.12	1.28
0.25	1.58	1.01	2.99	4.57	3.78	0.79	0.21	1.53
0.50	1.92	1.71	2.29	4.21	3.25	0.96	0.30	1.84
0.75	2.02	2.09	1.91	3.93	2.92	1.01	0.35	2.06
1.00	2.02	2.36	1.64	3.66	2.65	1.01	0.38	2.23
1.50	2.02	2.61	1.39	3.41	2.40	1.01	0.42	2.45
2.00	1.97	2.76	1.24	3.21	2.22	0.98	0.44	2.59
2.50	1.97	2.82	1.18	3.15	2.16	0.98	0.45	2.67
3.00	1.97	2.87	1.13	3.10	2.11	0.98	0.47	2.74
4.00	2.02	2.92	1.08	3.10	2.09	1.01	0.48	2.87
5.00	2.02	2.95	1.05	3.07	2.06	1.01	0.49	2.92
6.00	2.06	2.96	1.04	3.10	2.07	1.03	0.50	2.98
7.00	2.11	2.97	1.03	3.14	2.09	1.06	0.51	3.05
8.00	2.11	2.98	1.02	3.13	2.08	1.06	0.51	3.07
9.00	2.16	2.98	1.02	3.18	2.10	1.08	0.51	3.12
10.00	2.16	2.98	1.02	3.18	2.10	1.08	0.51	3.12
12.00	2.21	2.97	1.03	3.24	2.13	1.10	0.52	3.14
14.00	2.30	2.96	1.04	3.34	2.19	1.15	0.53	3.22
16.00	2.35	2.94	1.06	3.41	2.24	1.18	0.53	3.22
18.00	2.40	2.93	1.07	3.47	2.27	1.20	0.53	3.24
20.00	2.45	2.90	1.10	3.55	2.32	1.22	0.53	3.23
23.00	2.54	2.88	1.12	3.66	2.39	1.27	0.53	3.27
26.00	2.64	2.85	1.15	3.79	2.47	1.32	0.53	3.30
30.00	2.69	2.84	1.16	3.85	2.50	1.34	0.54	3.32

Observaciones : La muestra ha sido proporcionada e identificada por el solicitante. Material que pasa el tamiz N° 4, densidad seca = 2.34 g/cm³, humedad = 10.0 %. Los datos de remoldeo han sido asumidos por el solicitante.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

CENTRO PERUANO JAPONES DE INVESTIGACIONES SISMICAS Y MITIGACION DE DESASTRES

LABORATORIO GEOTECNICO



Av. Túpac Amaru Nº 1150, Lima 25, Perú - Apartado postal 31-250, Lima 31 - Teléfono: (51-1) 482-0777 - Telefax: 482-0804 / 481-0170 - E-mail: labgeo@cismid.uni.pe

ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL

Consolidado - No Drenado (CU) // ASTM - D4767

Informe Nº : Fecha : Mayo, 2006
 Solicitante :
 Proyecto :
 Ubicación :
 Sondaje : Relave Clasificación
 Muestra : B - 1 AASHTO .- A-4(0)
 Profundidad (m) : --- SUCS .- ML // Limo arenoso
 Estado : Remoldeado

ESPECIMEN 03

Condiciones	Inicial	Final	Velocidad	0.20
Altura (cm)	10.10	9.83	Parámetro "B" (%)	98
Diámetro (cm)	5.00	4.95	Presión de Celda (σ_3) (kg/cm ²)	8.00
Humedad (%)	10.0	14.0	Contra Presión (kg/cm ²)	2.00
Densidad seca (g/cm ³)	2.34	2.45	Esfuerzo Efectivo Inicial ($\bar{\sigma}_3$) (kg/cm ²)	6.00

Deformación (%)	Esf. Dev. (kg/cm ²)	Presión Poros (kg/cm ²)	$\bar{\sigma}_3$ (kg/cm ²)	$\bar{\sigma}_1$ (kg/cm ²)	p (kg/cm ²)	q (kg/cm ²)	q/p	Oblicuidad ($\bar{\sigma}_1/\bar{\sigma}_3$)
0.00	0.00	0.00	6.00	6.00	6.00	0.00	0.00	1.00
0.10	1.44	0.63	5.37	6.81	6.09	0.72	0.12	1.27
0.25	2.30	1.56	4.44	6.74	5.59	1.15	0.21	1.52
0.50	2.83	2.50	3.50	6.33	4.92	1.42	0.29	1.81
0.75	2.98	3.22	2.78	5.76	4.27	1.49	0.35	2.07
1.00	2.98	3.54	2.46	5.44	3.95	1.49	0.38	2.21
1.50	2.88	4.00	2.00	4.88	3.44	1.44	0.42	2.44
2.00	2.83	4.15	1.85	4.68	3.27	1.42	0.43	2.53
2.50	2.83	4.27	1.73	4.56	3.15	1.42	0.45	2.64
3.00	2.78	4.32	1.68	4.46	3.07	1.39	0.45	2.66
4.00	2.78	4.40	1.60	4.38	2.99	1.39	0.47	2.74
5.00	2.78	4.45	1.55	4.33	2.94	1.39	0.47	2.80
6.00	2.83	4.48	1.52	4.35	2.94	1.42	0.48	2.86
7.00	2.83	4.50	1.50	4.33	2.92	1.42	0.49	2.89
8.00	2.88	4.51	1.49	4.37	2.93	1.44	0.49	2.93
9.00	2.93	4.52	1.48	4.41	2.94	1.46	0.50	2.98
10.00	2.98	4.52	1.48	4.46	2.97	1.49	0.50	3.01
12.00	3.02	4.51	1.49	4.51	3.00	1.51	0.50	3.03
14.00	3.07	4.49	1.51	4.58	3.05	1.54	0.50	3.03
16.00	3.17	4.48	1.52	4.69	3.10	1.58	0.51	3.08
18.00	3.22	4.46	1.54	4.76	3.15	1.61	0.51	3.09
20.00	3.26	4.45	1.55	4.81	3.18	1.63	0.51	3.11
23.00	3.36	4.42	1.58	4.94	3.26	1.68	0.52	3.13
26.00	3.46	4.40	1.60	5.06	3.33	1.73	0.52	3.16
30.00	3.60	4.39	1.61	5.21	3.41	1.80	0.53	3.24

Observaciones : La muestra ha sido proporcionada e identificada por el solicitante. Material que pasa el tamiz Nº 4, densidad seca = 2.34 g/cm³, humedad = 10.0 %. Los datos de remoldeo han sido asumidos por el solicitante.



ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL

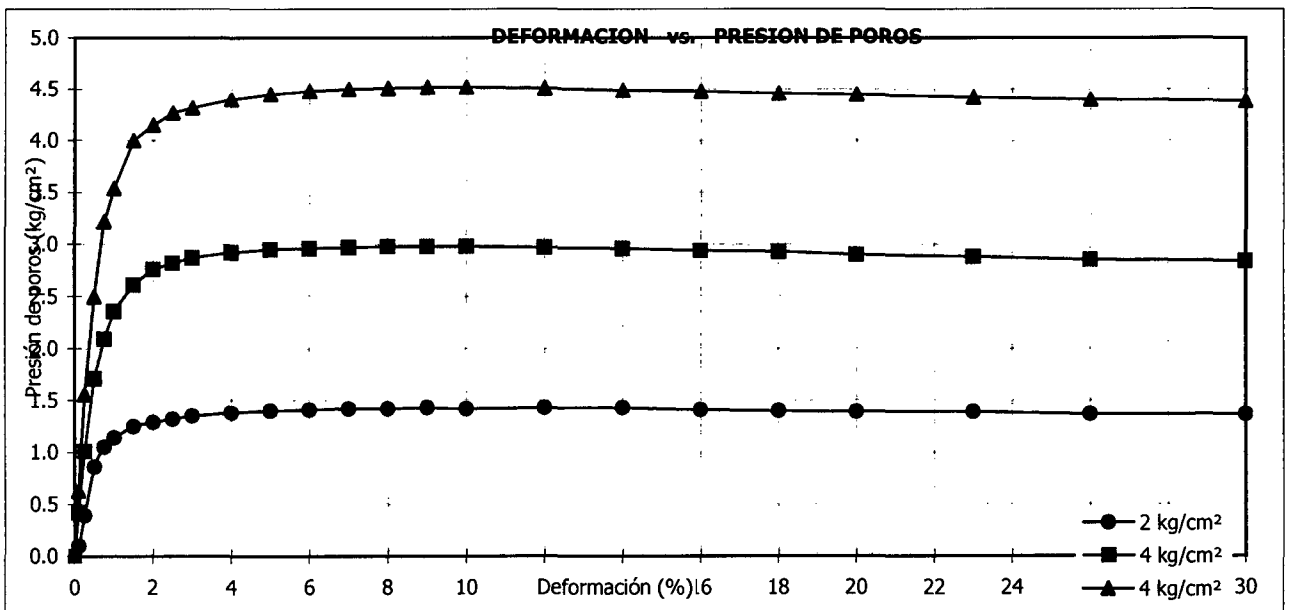
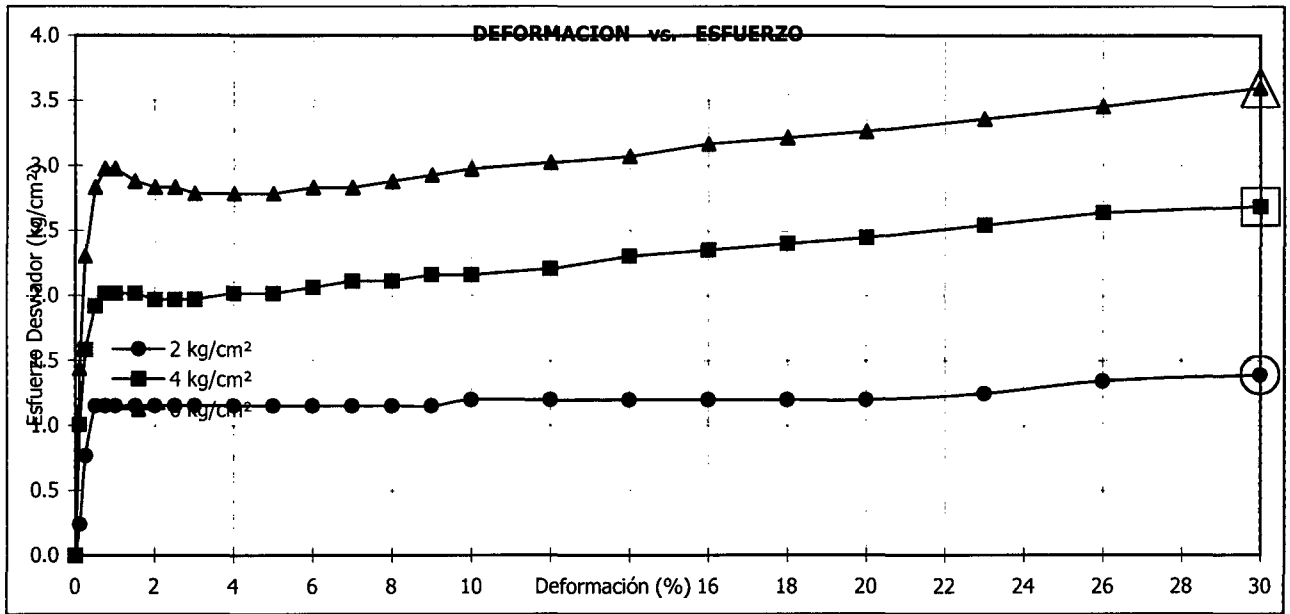
Consolidado - No Drenado (CU) // ASTM - D4767

Fecha : Mayo, 2006

Informe N° :
 Solicitante :
 Proyecto :
 Ubicación :

Sondaje : Relave
 Muestra : B - 1
 Profundidad (m) : ---
 Estado : Remoldeado

Clasificación
 AASHTO .- A-4(0)
 SUCS .- ML // Limo arenoso





ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL

Consolidado - No Drenado (CU) // ASTM - D4767

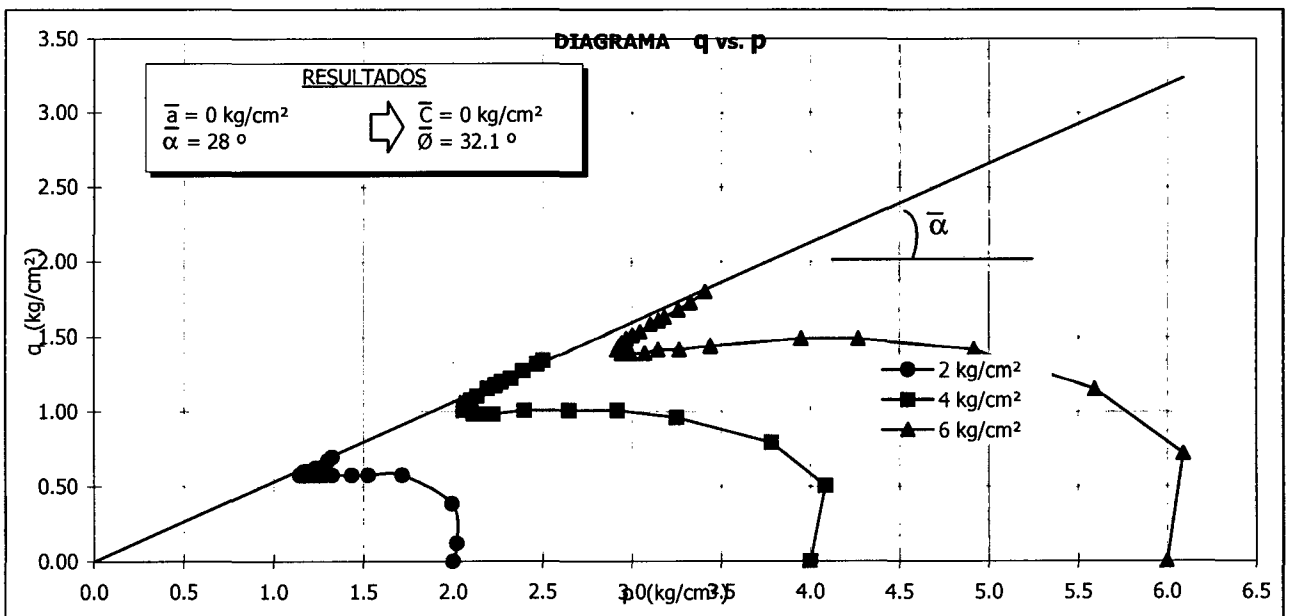
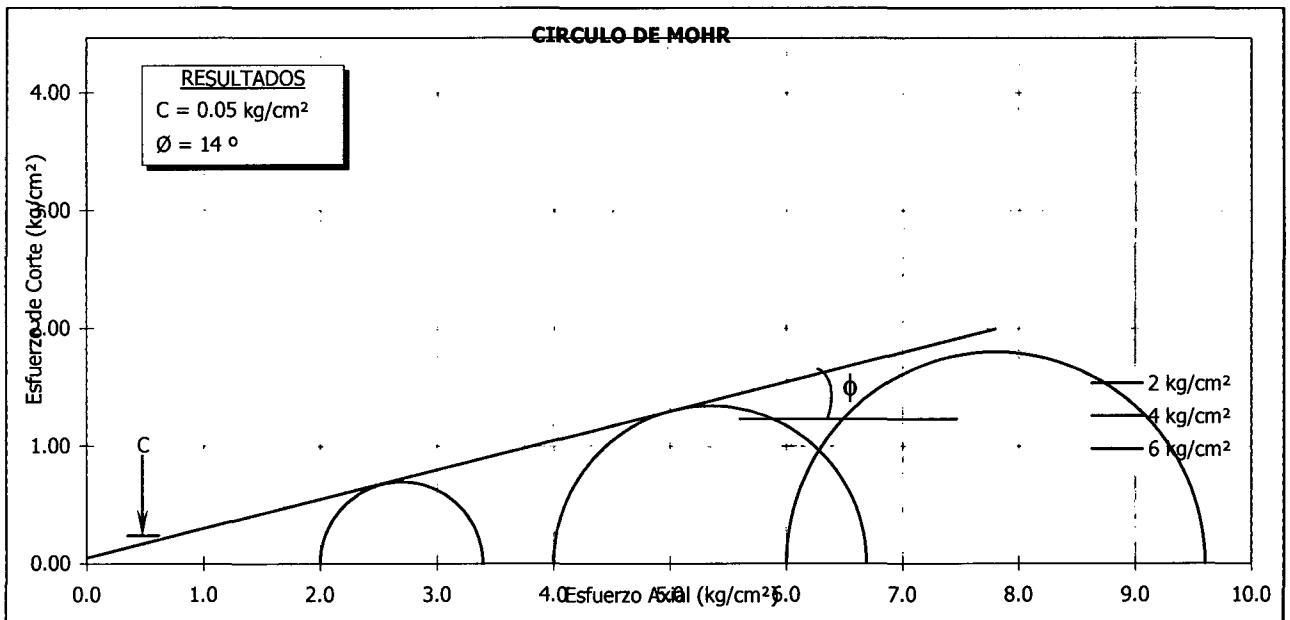
Informe N° :
Solicitante :
Proyecto :

Fecha : Mayo, 2006

Ubicación :

Sondaje : Relave
Muestra : B - 1
Profundidad (m) : ---
Estado : Remoldeado

Clasificación
AASHTO .- A-4 (0)
SUCS .- ML // Limo arenoso





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

CENTRO PERUANO JAPONES DE INVESTIGACIONES SISMICAS Y MITIGACION DE DESASTRES

LABORATORIO GEOTECNICO



Av. Túpac Amaru N° 1150, Lima 25, Perú - Apartado postal 31-250, Lima 31 - Teléfono: (51-1) 482-0777 - Telefax: 482-0804 / 481-0170 - E-mail: labgeo@cismid.uni.pe

ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL

Consolidado - No Drenado (CU) // ASTM - D4767

Informe N° : Fecha : Mayo, 2006
 Solicitante :
 Proyecto :
 Ubicación :
 Sondaje : Relave Clasificación
 Muestra : B - 1 AASHTO .- A-4(0)
 Profundidad (m) : --- SUCS .- ML // Limo arenoso
 Estado : Remoldeado

ESPECIMEN 01

Etapa	Inicial	Final
Altura (cm)	10.10	9.80
Diámetro (cm)	5.00	5.04
Humedad (%)	10.0	15.0
Densidad seca (g/cm ³)	2.28	2.31

Velocidad	0.20
Parámetro "B" (%)	96
Presión de Celda (σ_3) (kg/cm ²)	4.00
Contra Presión (kg/cm ²)	2.00
Esfuerzo Efectivo Inicial (σ_3^{\prime}) (kg/cm ²)	2.00

Deformación (%)	Esf. Desv. (kg/cm ²)	Presión Poros (kg/cm ²)	$\bar{\sigma}_3$ (kg/cm ²)	$\bar{\sigma}_1$ (kg/cm ²)	p (kg/cm ²)	q (kg/cm ²)	q/p	Oblicuidad ($\bar{\sigma}_1/\bar{\sigma}_3$)
0.00	0.00	0.00	2.00	2.00	2.00	0.00	0.00	1.00
0.10	0.62	0.26	1.74	2.36	2.05	0.31	0.15	1.36
0.25	1.01	0.60	1.40	2.41	1.90	0.50	0.26	1.72
0.50	1.10	0.86	1.14	2.24	1.69	0.55	0.33	1.97
0.75	1.10	0.99	1.01	2.11	1.56	0.55	0.35	2.09
1.00	1.10	1.03	0.97	2.07	1.52	0.55	0.36	2.14
1.50	1.10	1.18	0.82	1.92	1.37	0.55	0.40	2.35
2.00	1.10	1.25	0.75	1.85	1.30	0.55	0.42	2.47
2.50	1.10	1.26	0.74	1.84	1.29	0.55	0.43	2.49
3.00	1.10	1.30	0.70	1.80	1.25	0.55	0.44	2.58
4.00	1.10	1.32	0.68	1.78	1.23	0.55	0.45	2.62
5.00	1.10	1.32	0.68	1.78	1.23	0.55	0.45	2.62
6.00	1.15	1.32	0.68	1.83	1.26	0.58	0.46	2.69
7.00	1.15	1.32	0.68	1.83	1.26	0.58	0.46	2.69
8.00	1.20	1.33	0.67	1.87	1.27	0.60	0.47	2.79
9.00	1.20	1.33	0.67	1.87	1.27	0.60	0.47	2.79
10.00	1.25	1.32	0.68	1.93	1.30	0.62	0.48	2.84
12.00	1.30	1.31	0.69	1.99	1.34	0.65	0.48	2.88
14.00	1.30	1.31	0.69	1.99	1.34	0.65	0.48	2.88
16.00	1.34	1.29	0.71	2.05	1.38	0.67	0.49	2.89
18.00	1.39	1.28	0.72	2.11	1.42	0.70	0.49	2.93
20.00	1.39	1.26	0.74	2.13	1.44	0.70	0.48	2.88
23.00	1.49	1.24	0.76	2.25	1.50	0.74	0.49	2.96
26.00	1.58	1.23	0.77	2.35	1.56	0.79	0.51	3.06
30.00	1.63	1.22	0.78	2.41	1.60	0.82	0.51	3.09

Observaciones : La muestra ha sido proporcionada e identificada por el solicitante. Densidad seca = 2.28 g/cm³, humedad = 10.0 %. Los datos de remoldeo han sido asumidos por el solicitante.



ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL
Consolidado - No Drenado (CU) // ASTM - D4767

Informe N°	:		Fecha	:	Mayo, 2006
Solicitante	:				
Proyecto	:				
Ubicación	:				
Sondaje	:	Relave	Clasificación	:	
Muestra	:	B - 1	AASHTO .-	:	A-4(0)
Profundidad (m)	:	---	SUCS .-	:	ML // Limo arenoso
Estado	:	Remoldeado			

ESPECIMEN 02

Condiciones	Inicial	Final	Velocidad	0.20
Altura (cm)	10.10	9.77	Parámetro "B" (%)	99
Diámetro (cm)	5.00	4.96	Presión de Celda (σ_3) (kg/cm ²)	6.00
Humedad (%)	10.0	14.6	Contra Presión (kg/cm ²)	2.00
Densidad seca (g/cm ³)	2.28	2.40	Esfuerzo Efectivo Inicial (σ_3) (kg/cm ²)	4.00

Deformación (%)	Esf. Desv. (kg/cm ²)	Presión Poros (kg/cm ²)	$\bar{\sigma}_3$ (kg/cm ²)	$\bar{\sigma}_1$ (kg/cm ²)	p (kg/cm ²)	q (kg/cm ²)	q/p	Oblicuidad ($\bar{\sigma}_1/\bar{\sigma}_3$)
0.00	0.00	0.00	4.00	4.00	4.00	0.00	0.00	1.00
0.10	1.15	0.51	3.49	4.64	4.07	0.58	0.14	1.33
0.25	1.63	1.20	2.80	4.43	3.62	0.82	0.23	1.58
0.50	1.78	1.87	2.13	3.91	3.02	0.89	0.29	1.83
0.75	1.78	2.26	1.74	3.52	2.63	0.89	0.34	2.02
1.00	1.73	2.47	1.53	3.26	2.39	0.86	0.36	2.13
1.50	1.68	2.70	1.30	2.98	2.14	0.84	0.39	2.29
2.00	1.63	2.81	1.19	2.82	2.01	0.82	0.41	2.37
2.50	1.58	2.90	1.10	2.68	1.89	0.79	0.42	2.44
3.00	1.58	2.95	1.05	2.63	1.84	0.79	0.43	2.51
4.00	1.58	3.02	0.98	2.56	1.77	0.79	0.45	2.62
5.00	1.63	3.06	0.94	2.57	1.76	0.82	0.46	2.74
6.00	1.63	3.08	0.92	2.55	1.74	0.82	0.47	2.77
7.00	1.68	3.09	0.91	2.59	1.75	0.84	0.48	2.85
8.00	1.73	3.09	0.91	2.64	1.77	0.86	0.49	2.90
9.00	1.73	3.09	0.91	2.64	1.77	0.86	0.49	2.90
10.00	1.78	3.08	0.92	2.70	1.81	0.89	0.49	2.93
12.00	1.82	3.07	0.93	2.75	1.84	0.91	0.50	2.96
14.00	1.87	3.05	0.95	2.82	1.89	0.94	0.50	2.97
16.00	1.92	3.04	0.96	2.88	1.92	0.96	0.50	3.00
18.00	1.97	3.01	0.99	2.96	1.97	0.98	0.50	2.99
20.00	2.02	2.99	1.01	3.03	2.02	1.01	0.50	3.00
23.00	2.16	2.95	1.05	3.21	2.13	1.08	0.51	3.06
26.00	2.26	2.93	1.07	3.33	2.20	1.13	0.51	3.11
30.00	2.35	2.91	1.09	3.44	2.27	1.18	0.52	3.16

Observaciones : La muestra ha sido proporcionada e identificada por el solicitante. Densidad seca = 2.28 g/cm³, humedad = 10.0 %. Los datos de remoldeo han sido asumidos por el solicitante.



ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL
Consolidado - No Drenado (CU) // ASTM - D4767

Informe N°	:		Fecha :	Mayo, 2006
Solicitante	:			
Proyecto	:			
Ubicación	:			
Sondaje	:	Relave	Clasificación	
Muestra	:	B - 1	AASHTO .-	A-4(0)
Profundidad (m)	:	---	SUCS .-	ML // Limo arenoso
Estado	:	Remoldeado		

ESPECIMEN 03

Condiciones	Inicial	Final
Altura (cm)	10.10	9.82
Diámetro (cm)	5.00	4.93
Humedad (%)	10.0	13.2
Densidad seca (g/cm ³)	2.28	2.41

Velocidad	0.20
Parámetro "B" (%)	98
Presión de Celda (σ_3) (kg/cm ²)	8.00
Contra Presión (kg/cm ²)	2.00
Esfuerzo Efectivo Inicial (σ_3) (kg/cm ²)	6.00

Deformación (%)	Esf. Desv. (kg/cm ²)	Presión Poros (kg/cm ²)	$\bar{\sigma}_3$ (kg/cm ²)	$\bar{\sigma}_1$ (kg/cm ²)	p (kg/cm ²)	q (kg/cm ²)	q/p	Oblicuidad ($\bar{\sigma}_1/\bar{\sigma}_3$)
0.00	0.00	0.00	6.00	6.00	6.00	0.00	0.00	1.00
0.10	1.25	0.60	5.40	6.65	6.02	0.62	0.10	1.23
0.25	2.16	1.50	4.50	6.66	5.58	1.08	0.19	1.48
0.50	2.83	2.77	3.23	6.06	4.65	1.42	0.30	1.88
0.75	2.88	3.27	2.73	5.61	4.17	1.44	0.35	2.05
1.00	2.78	3.65	2.35	5.13	3.74	1.39	0.37	2.18
1.50	2.69	4.01	1.99	4.68	3.33	1.34	0.40	2.35
2.00	2.59	4.22	1.78	4.37	3.08	1.30	0.42	2.46
2.50	2.54	4.33	1.67	4.21	2.94	1.27	0.43	2.52
3.00	2.50	4.39	1.61	4.11	2.86	1.25	0.44	2.55
4.00	2.50	4.49	1.51	4.01	2.76	1.25	0.45	2.65
5.00	2.45	4.55	1.45	3.90	2.67	1.22	0.46	2.69
6.00	2.45	4.61	1.39	3.84	2.61	1.22	0.47	2.76
7.00	2.45	4.63	1.37	3.82	2.59	1.22	0.47	2.79
8.00	2.45	4.63	1.37	3.82	2.59	1.22	0.47	2.79
9.00	2.50	4.64	1.36	3.86	2.61	1.25	0.48	2.84
10.00	2.50	4.65	1.35	3.85	2.60	1.25	0.48	2.85
12.00	2.50	4.66	1.34	3.84	2.59	1.25	0.48	2.86
14.00	2.54	4.66	1.34	3.88	2.61	1.27	0.49	2.90
16.00	2.54	4.66	1.34	3.88	2.61	1.27	0.49	2.90
18.00	2.59	4.66	1.34	3.93	2.64	1.30	0.49	2.93
20.00	2.59	4.65	1.35	3.94	2.65	1.30	0.49	2.92
23.00	2.64	4.64	1.36	4.00	2.68	1.32	0.49	2.94
26.00	2.64	4.64	1.36	4.00	2.68	1.32	0.49	2.94
30.00	2.69	4.67	1.33	4.02	2.67	1.34	0.50	3.02

Observaciones : La muestra ha sido proporcionada e identificada por el solicitante. Densidad seca = 2.28 g/cm³, humedad = 10.0 %. Los datos de remoldeo han sido asumidos por el solicitante.



ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL

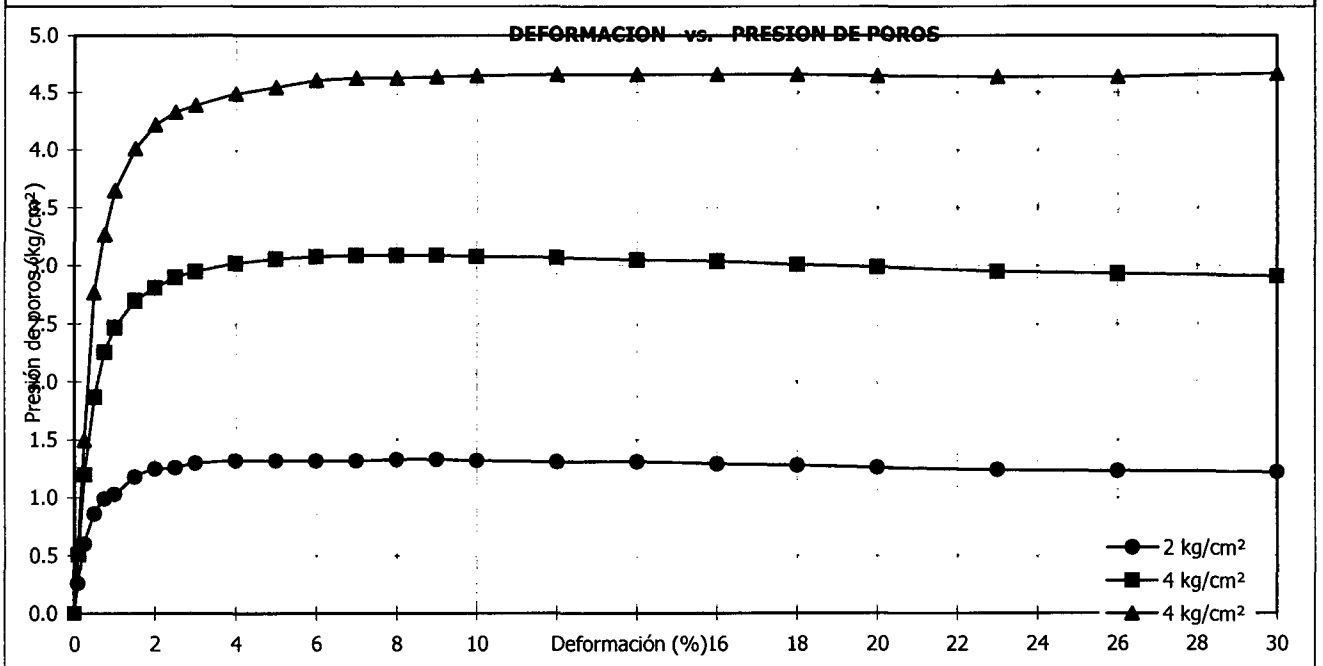
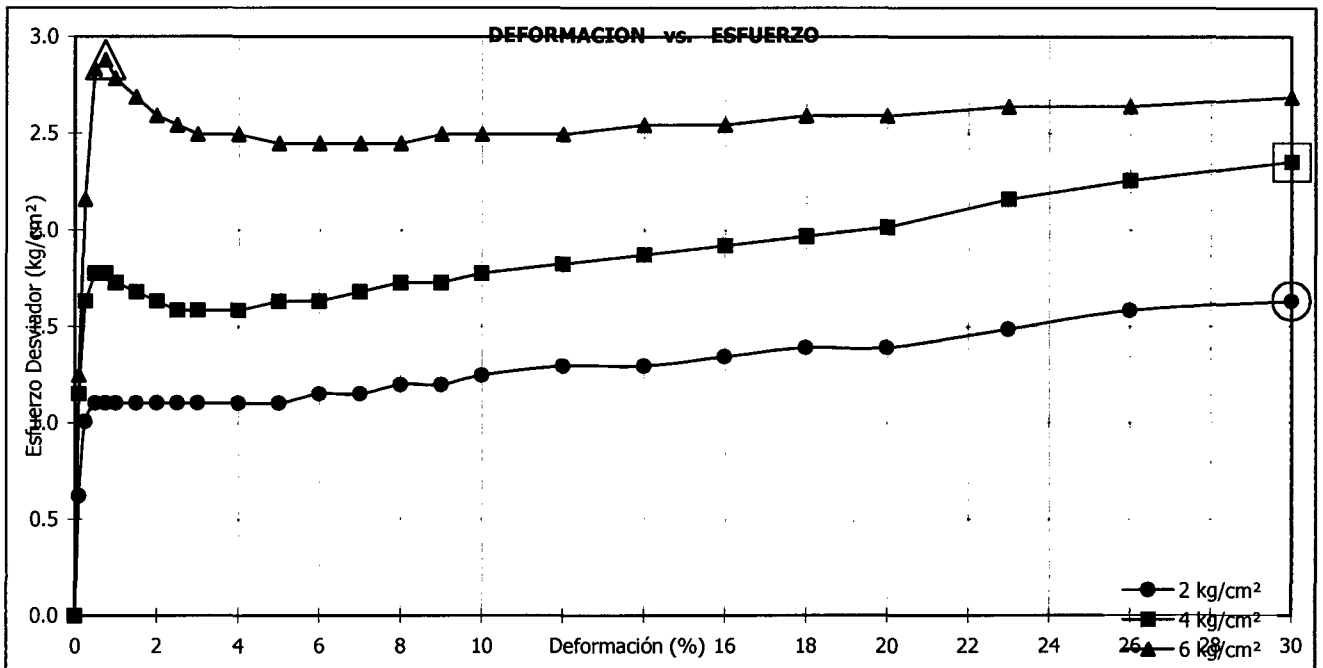
Consolidado - No Drenado (CU) // ASTM - D4767

Informe Nº :
 Solicitante :
 Proyecto :
 Ubicación :

Fecha : Mayo, 2006

Sondaje : Relave
 Muestra : B - 1
 Profundidad (m) : ---
 Estado : Remoldeado

Clasificación
 AASHTO .- A-4(0)
 SUCS .- ML // Limo arenoso





ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL

Consolidado - No Drenado (CU) // ASTM - D4767

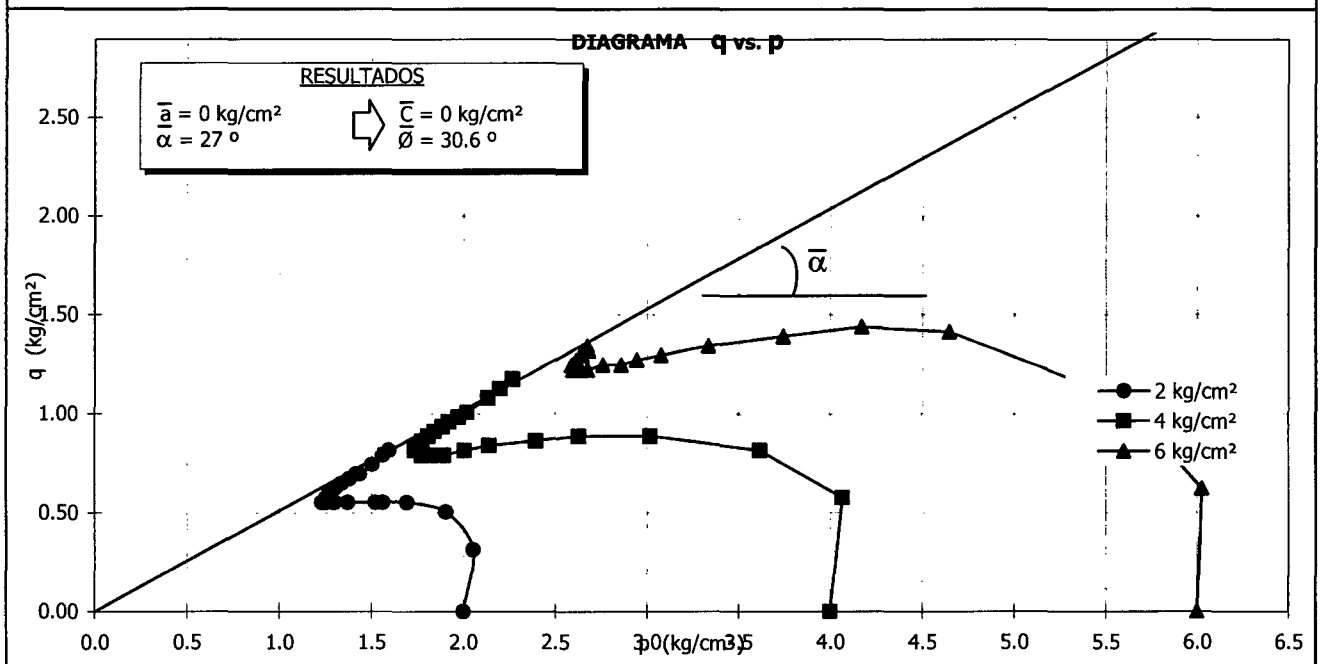
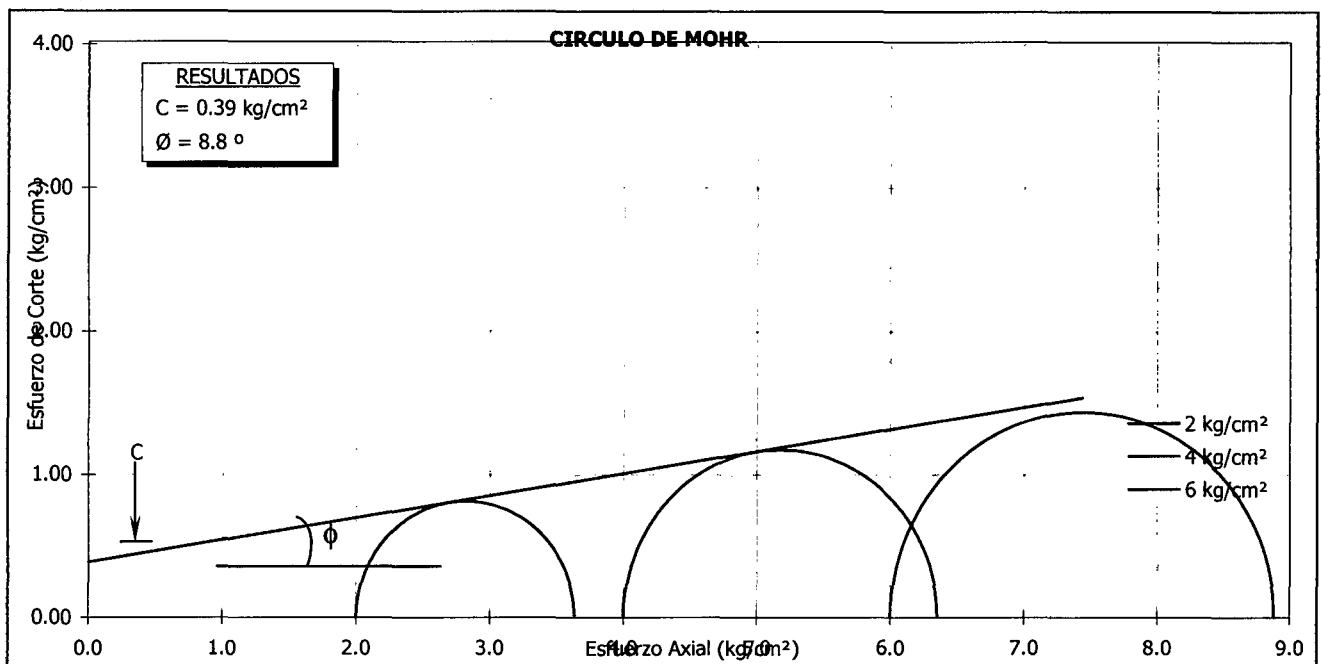
Fecha : Mayo, 2006

Informe N° :
Solicitante :
Proyecto :

Ubicación :

Sondaje : Relave
Muestra : B - 1
Profundidad (m) : ---
Estado : Remoldeado

Clasificación
AASHTO .- A-4(0)
SUCS .- ML // Limo arenoso



Golder Associates Perú S. A.

Av. La Paz N° 965
 Miraflores - Lima 18 - Perú
 Teléfono (511) 610-1700
 Fax (511) 610-1720



ENSAYO DE PROCTOR ESTANDAR (ASTM - D698 - A)

Proyecto :
 Solicitante :
 Ubicación :
 Fecha :

N° Proyecto :
 Sondaje : Relave
 Muestra : B - 3
 Prof. (m) : -

TABLA DE DATOS				
Humedad (%)	4.37	6.33	8.35	10.33
Densidad Seca (g/cm³)	2.65	2.80	2.80	2.67

CLASIFICACION U.S.CS.
ML

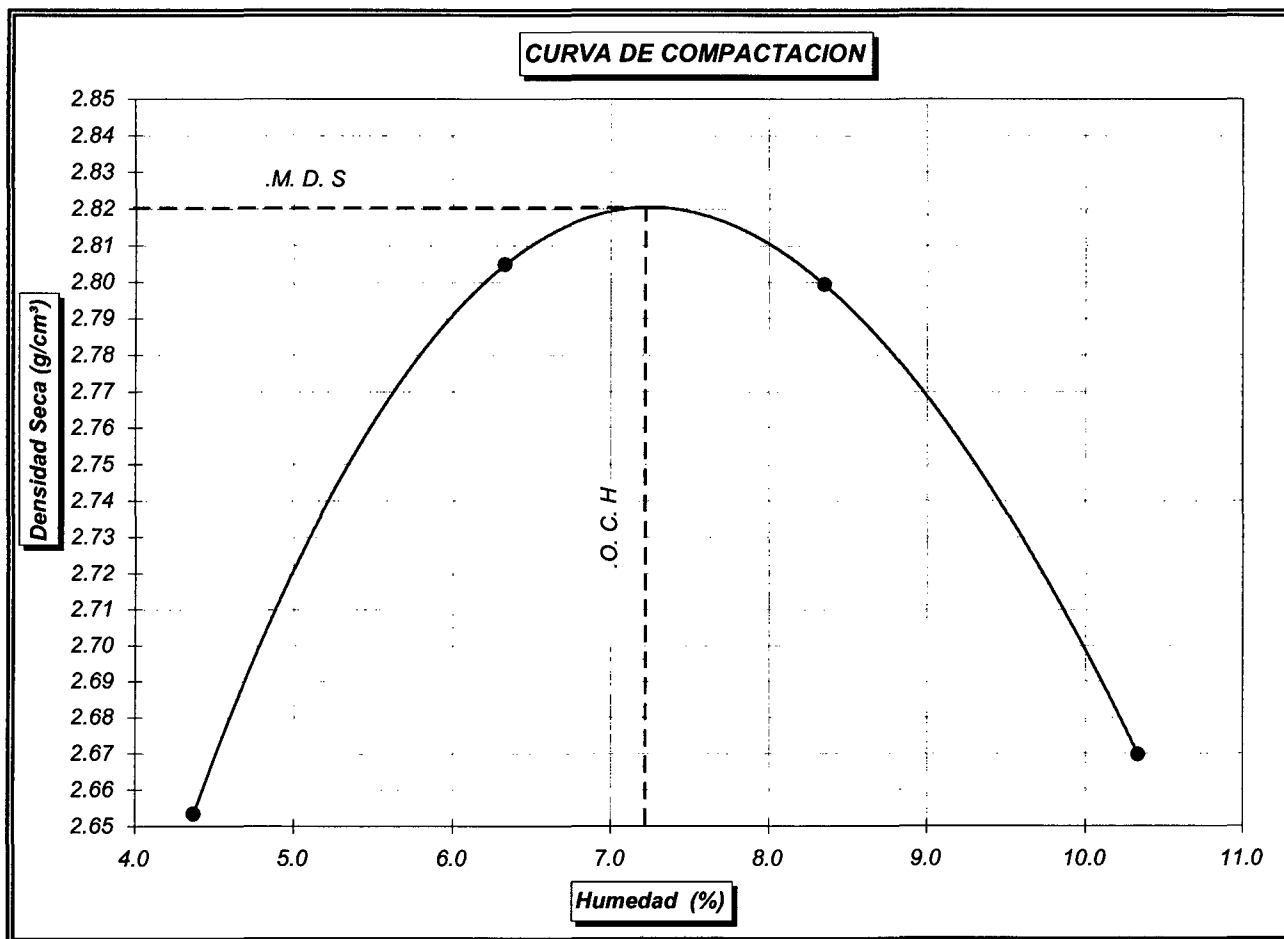


TABLA DE RESULTADOS	
Óptimo Contenido de Humedad - O.C.H. .H. (%)	7.22
Máxima Densidad Seca - M.D.S. (g/cm³)	2.82



ENSAYOS DE CARACTERIZACIONES FISICAS

(ASTM - D4426; D422; D4318; D427; D2487; D-3282)

Informe :
Solicitante :
Proyecto : Depósitos de Relaves Filtrados Pahuaypite 2

Fecha : Julio, 2010

Ubicación :

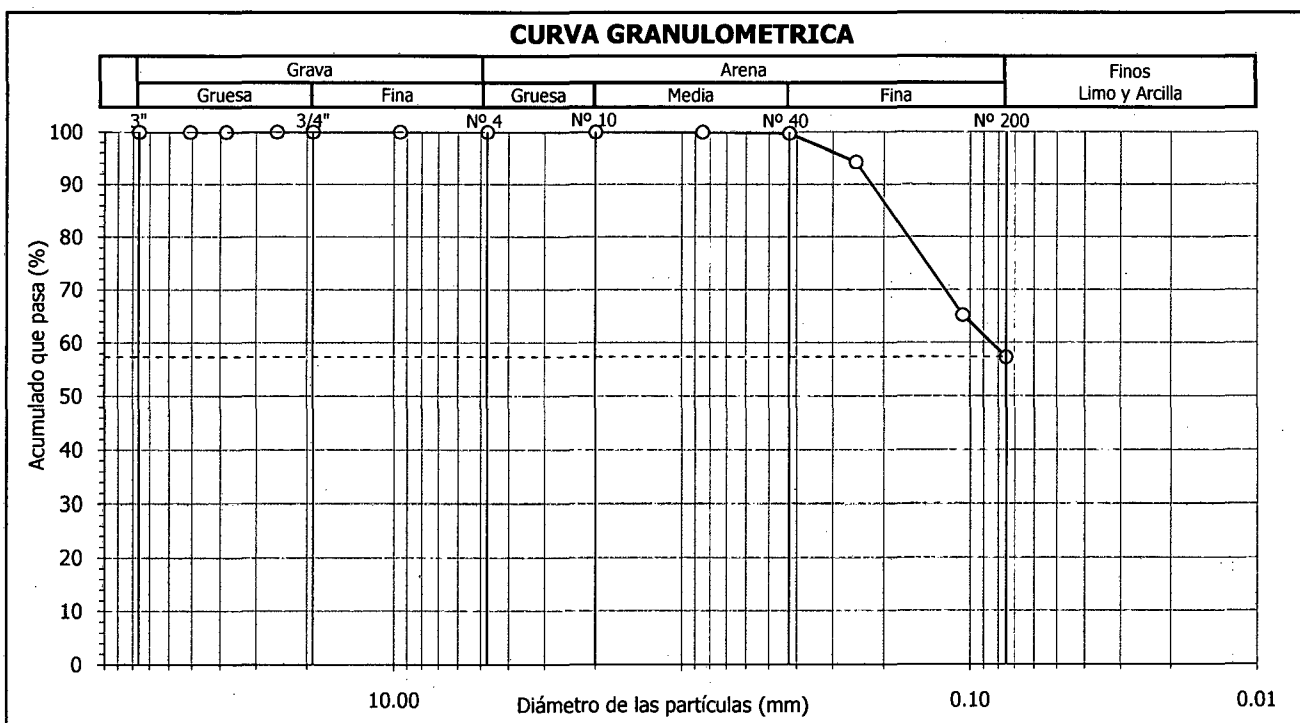
Sondaje : ---
Muestra : M - 1
Profundidad (m) : ---

Hoja : 1 de 1

Granulometría por tamizado		
Tamiz	Abertura (mm)	Acum. q' Pasa (%)
3"	76.200	100.0
2"	50.800	100.0
1½"	38.100	100.0
1"	25.400	100.0
¾"	19.050	100.0
3/8"	9.525	100.0
Nº 4	4.750	100.0
Nº 10	2.000	100.0
Nº 20	0.850	100.0
Nº 40	0.425	99.8
Nº 60	0.250	94.3
Nº 140	0.106	65.3
Nº 200	0.075	57.4

Contenido de humedad (%)		12.9
Límites de consistencia	Límite Líquido (%)	11
	Límite Plástico (%)	NP
	Índice de Plasticidad (%)	NP
	Límite de Contracción (%)	---
Resultados de granulometría por tamizado	Coefficiente de Uniformidad (Cu)	---
	Coefficiente de Curvatura (Cc)	---
	Grava [Nº 4 < ϕ < 3"] (%)	0.0
	Arena [Nº 200 < ϕ < Nº 4] (%)	42.6
	Finos [ϕ < Nº 200] (%)	57.4

Clasificación	
AASHTO	SUCS
A-4 (0)	ML Limo arenoso



Observación : La muestra ha sido identificada y entregada por el solicitante.



ENSAYOS DE CARACTERIZACIONES FISICAS
(ASTM - D4426; D422; D4318; D427; D2487; D-3282)

Informe :
Solicitante :
Proyecto : Depósitos de Relaves Filtrados Pahuaypite 2

Fecha : Julio, 2010

Ubicación :

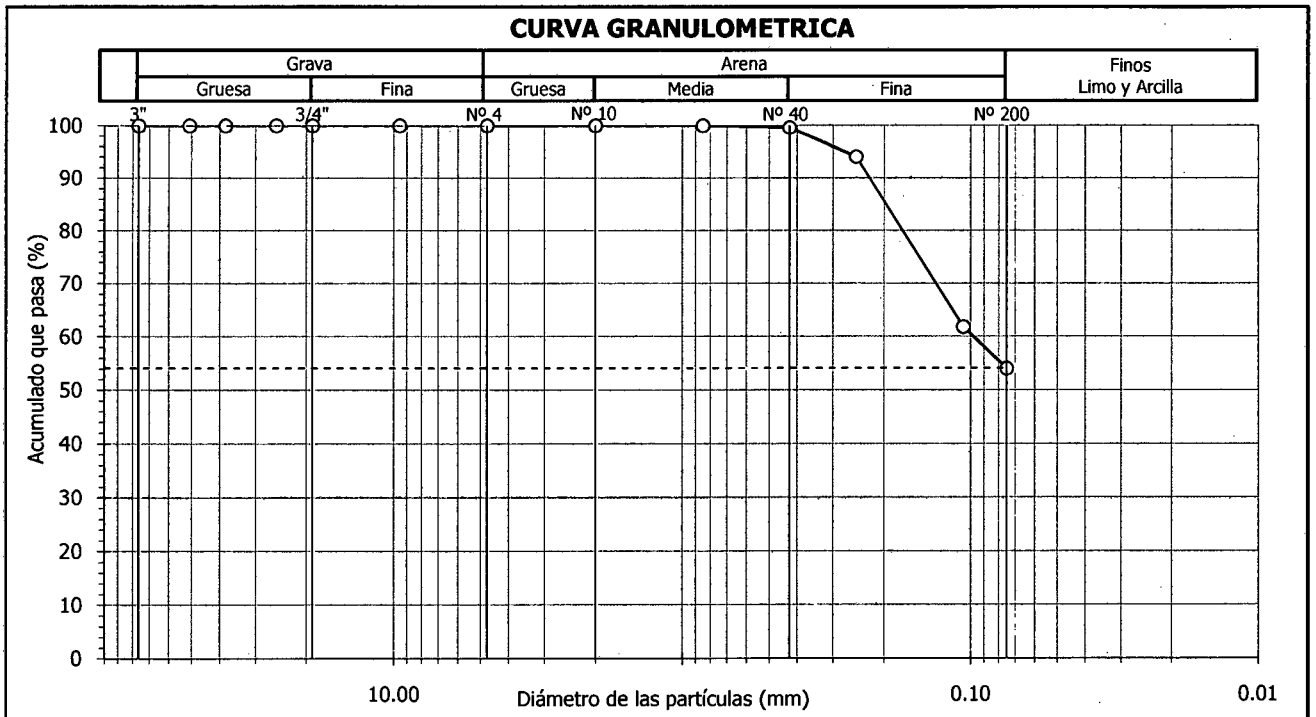
Sondaje : ---
Muestra : M - 2
Profundidad (m) : ---

Hoja : 1 de 1

Granulometría por tamizado		
Tamiz	Abertura (mm)	Acum. q' Pasa (%)
3"	76.200	100.0
2"	50.800	100.0
1½"	38.100	100.0
1"	25.400	100.0
¾"	19.050	100.0
3/8"	9.525	100.0
Nº 4	4.750	100.0
Nº 10	2.000	100.0
Nº 20	0.850	100.0
Nº 40	0.425	99.7
Nº 60	0.250	94.1
Nº 140	0.106	61.9
Nº 200	0.075	54.1

Contenido de humedad (%)		12.4
Límites de consistencia	Límite Líquido (%)	11
	Límite Plástico (%)	NP
	Índice de Plasticidad (%)	NP
	Límite de Contracción (%)	---
Resultados de granulometría por tamizado	Coefficiente de Uniformidad (Cu)	---
	Coefficiente de Curvatura (Cc)	---
	Grava [Nº 4 < ϕ < 3"] (%)	0.0
	Arena [Nº 200 < ϕ < Nº 4] (%)	45.9
	Finos [ϕ < Nº 200] (%)	54.1

Clasificación	
AASHTO	SUCS
A-4 (0)	ML Limo arenoso



Observación : La muestra ha sido identificada y entregada por el solicitante.



ENSAYOS DE CARACTERIZACIONES FISICAS

(ASTM - D4426; D422; D4318; D427; D2487; D-3282)

Informe :
Solicitante :
Proyecto : Depósitos de Relaves Filtrados Pahuaypite 2

Fecha : Julio, 2010

Ubicación :

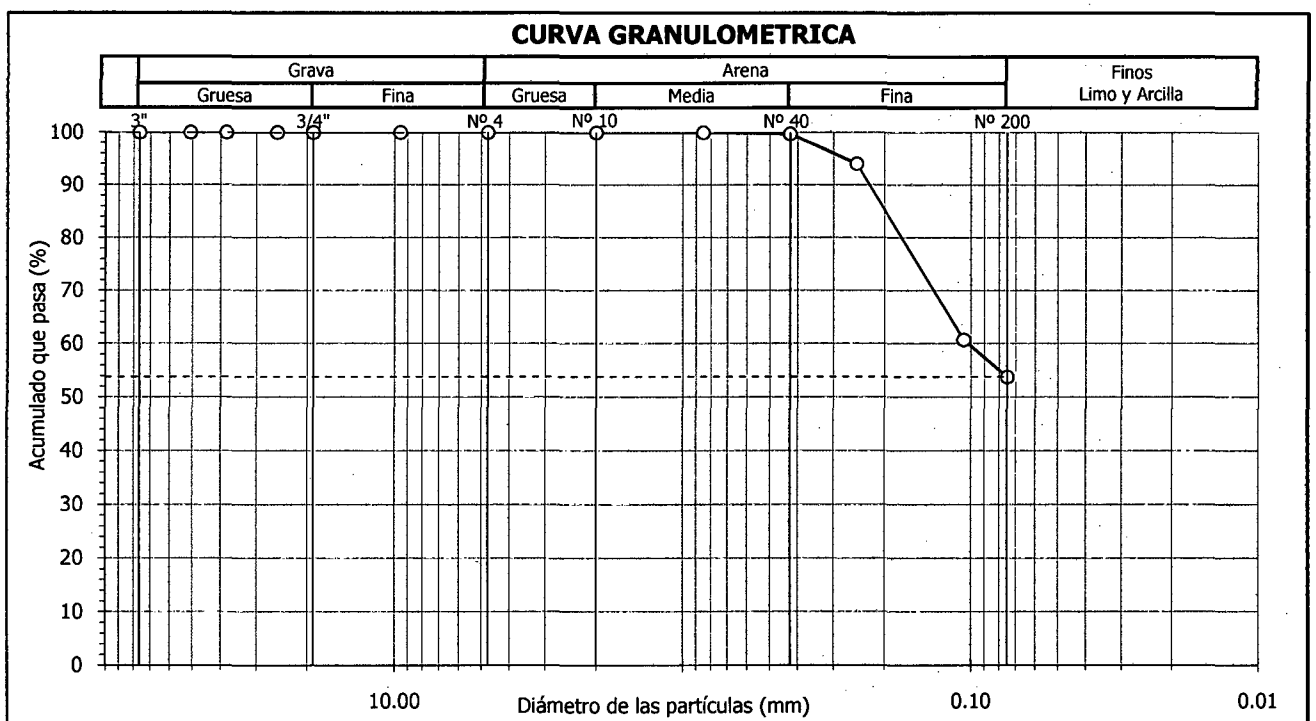
Sondaje : ---
Muestra : M - 3
Profundidad (m) : ---

Hoja : 1 de 1

Granulometría por tamizado		
Tamiz	Abertura (mm)	Acum. q' Pasa (%)
3"	76.200	100.0
2"	50.800	100.0
1½"	38.100	100.0
1"	25.400	100.0
¾"	19.050	100.0
3/8"	9.525	100.0
Nº 4	4.750	100.0
Nº 10	2.000	100.0
Nº 20	0.850	100.0
Nº 40	0.425	99.8
Nº 60	0.250	94.1
Nº 140	0.106	60.8
Nº 200	0.075	53.8

Contenido de humedad (%)		11.8
Límites de consistencia	Límite Líquido (%)	11
	Límite Plástico (%)	NP
	Índice de Plasticidad (%)	NP
	Límite de Contracción (%)	---
Resultados de granulometría por tamizado	Coficiente de Uniformidad (Cu)	---
	Coficiente de Curvatura (Cc)	---
	Grava [Nº 4 < ϕ < 3"] (%)	0.0
	Arena [Nº 200 < ϕ < Nº 4] (%)	46.2
	Finos [ϕ < Nº 200] (%)	53.8

Clasificación	
AASHTO	SUCS
A-4 (0)	ML Limo arenoso



Observación : La muestra ha sido identificada y entregada por el solicitante.



ENSAYOS DE CARACTERIZACIONES FISICAS

(ASTM - D4426; D422; D4318; D427; D2487; D-3282)

Informe :
 Solicitante :
 Proyecto : Depósitos de Relaves Filtrados Pahuaypite 2

Fecha : Julio, 2010

Ubicación :

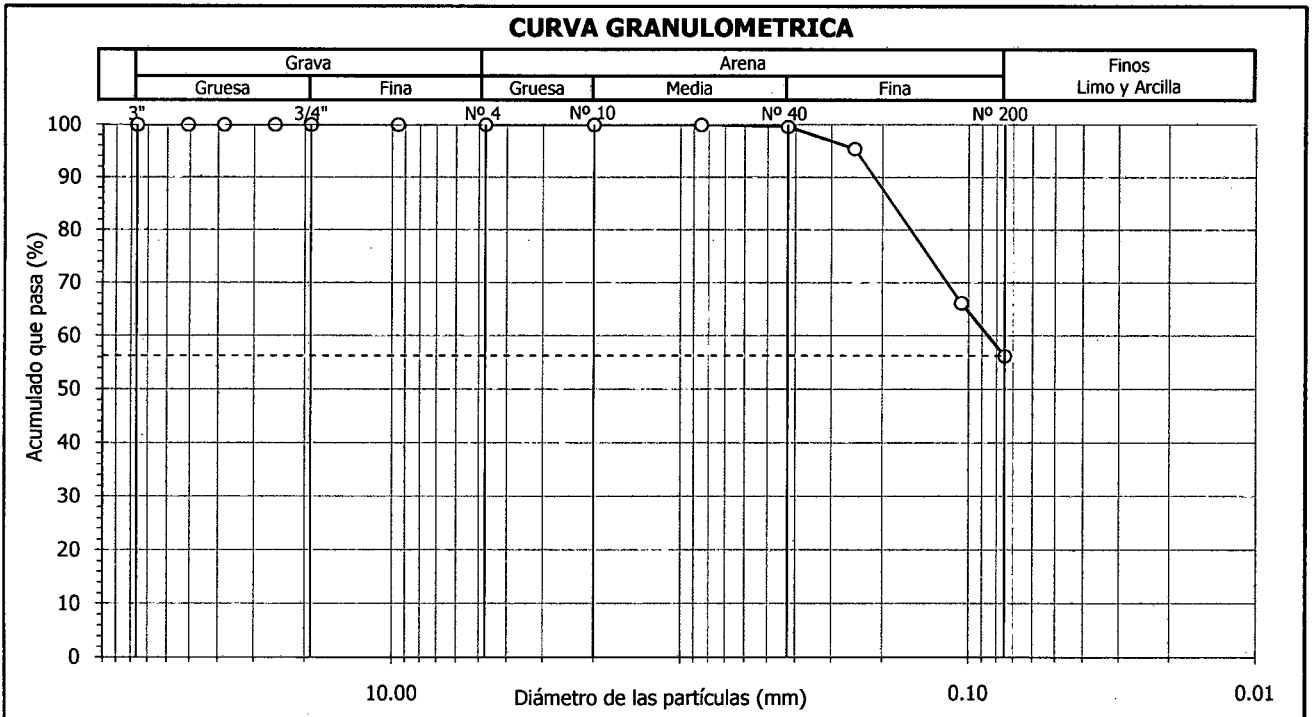
Sondaje : ---
 Muestra : M - 4
 Profundidad (m) : ---

Hoja : 1 de 1

Granulometría por tamizado		
Tamiz	Abertura (mm)	Acum. q' Pasa (%)
3"	76.200	100.0
2"	50.800	100.0
1½"	38.100	100.0
1"	25.400	100.0
¾"	19.050	100.0
3/8"	9.525	100.0
Nº 4	4.750	100.0
Nº 10	2.000	100.0
Nº 20	0.850	100.0
Nº 40	0.425	99.7
Nº 60	0.250	95.5
Nº 140	0.106	66.2
Nº 200	0.075	56.3

Contenido de humedad (%)		12.1
Límites de consistencia	Límite Líquido (%)	11
	Límite Plástico (%)	NP
	Índice de Plasticidad (%)	NP
	Límite de Contracción (%)	---
Resultados de granulometría por tamizado	Coefficiente de Uniformidad (Cu)	---
	Coefficiente de Curvatura (Cc)	---
	Grava [Nº 4 < ϕ < 3"] (%)	0.0
	Arena [Nº 200 < ϕ < Nº 4] (%)	43.7
	Finos [ϕ < Nº 200] (%)	56.3

Clasificación	
AASHTO	SUCS
A-4 (0)	ML Limo arenoso



Observación : La muestra ha sido identificada y entregada por el solicitante.



ENSAYOS DE CARACTERIZACIONES FISICAS

(ASTM - D4426; D422; D4318; D427; D2487; D-3282)

Informe :
Solicitante :
Proyecto : Depósitos de Relaves Filtrados Pahuaypite 2

Fecha : Julio, 2010

Ubicación :

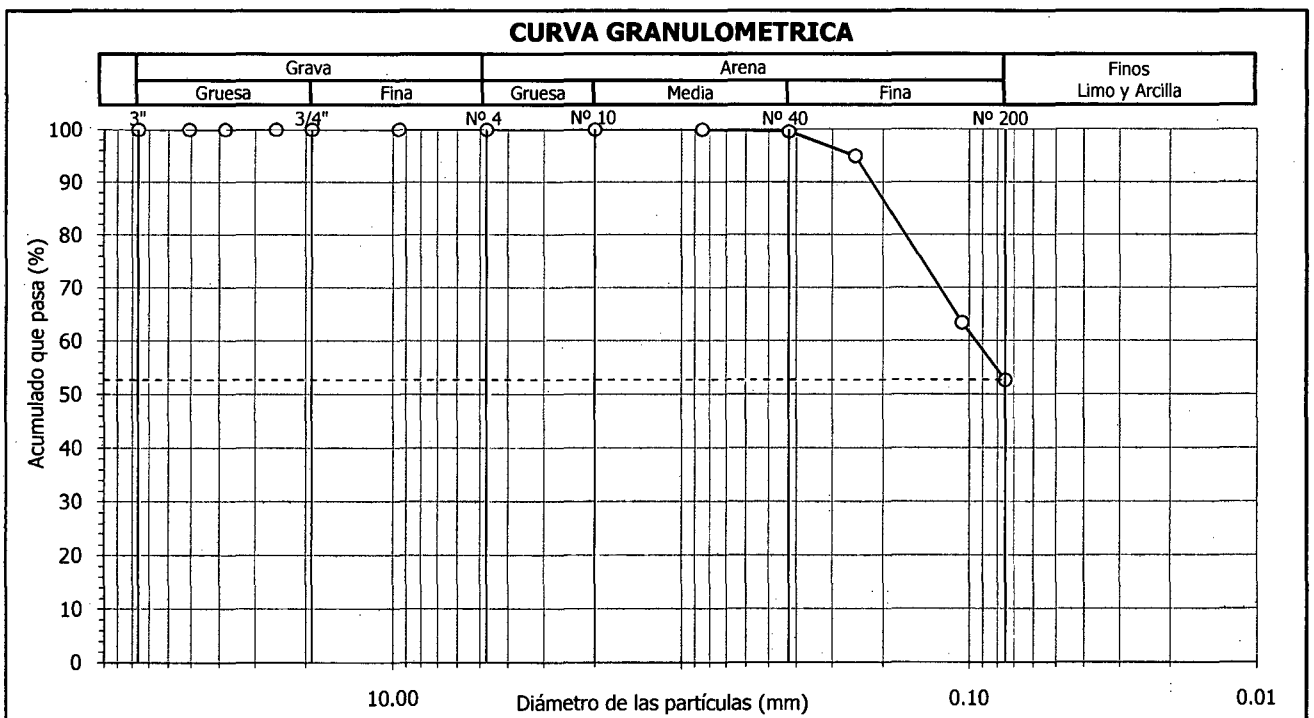
Sondaje : ---
Muestra : M - 5
Profundidad (m) : ---

Hoja : 1 de 1

Granulometría por tamizado		
Tamiz	Abertura (mm)	Acum. q' Pasa (%)
3"	76.200	100.0
2"	50.800	100.0
1½"	38.100	100.0
1"	25.400	100.0
¾"	19.050	100.0
3/8"	9.525	100.0
Nº 4	4.750	100.0
Nº 10	2.000	100.0
Nº 20	0.850	100.0
Nº 40	0.425	99.7
Nº 60	0.250	95.0
Nº 140	0.106	63.5
Nº 200	0.075	52.7

Contenido de humedad		(%)	10.4
Límites de consistencia	Límite Líquido	(%)	10
	Límite Plástico	(%)	NP
	Índice de Plasticidad	(%)	NP
	Límite de Contracción	(%)	---
Resultados de granulometría por tamizado	Coefficiente de Uniformidad (Cu)		---
	Coefficiente de Curvatura (Cc)		---
	Grava [Nº 4 < ϕ < 3"]	(%)	0.0
	Arena [Nº 200 < ϕ < Nº 4]	(%)	47.3
	Finos [ϕ < Nº 200]	(%)	52.7

Clasificación	
AASHTO	SUCS
A-4 (0)	ML Limo arenoso



Observación : La muestra ha sido identificada y entregada por el solicitante.



ENSAYOS DE CARACTERIZACIONES FISICAS

(ASTM - D4426; D422; D4318; D427; D2487; D-3282)

Informe :
Solicitante :
Proyecto : Depósitos de Relaves Filtrados Pahuaypite 2

Fecha : Julio, 2010

Ubicación :

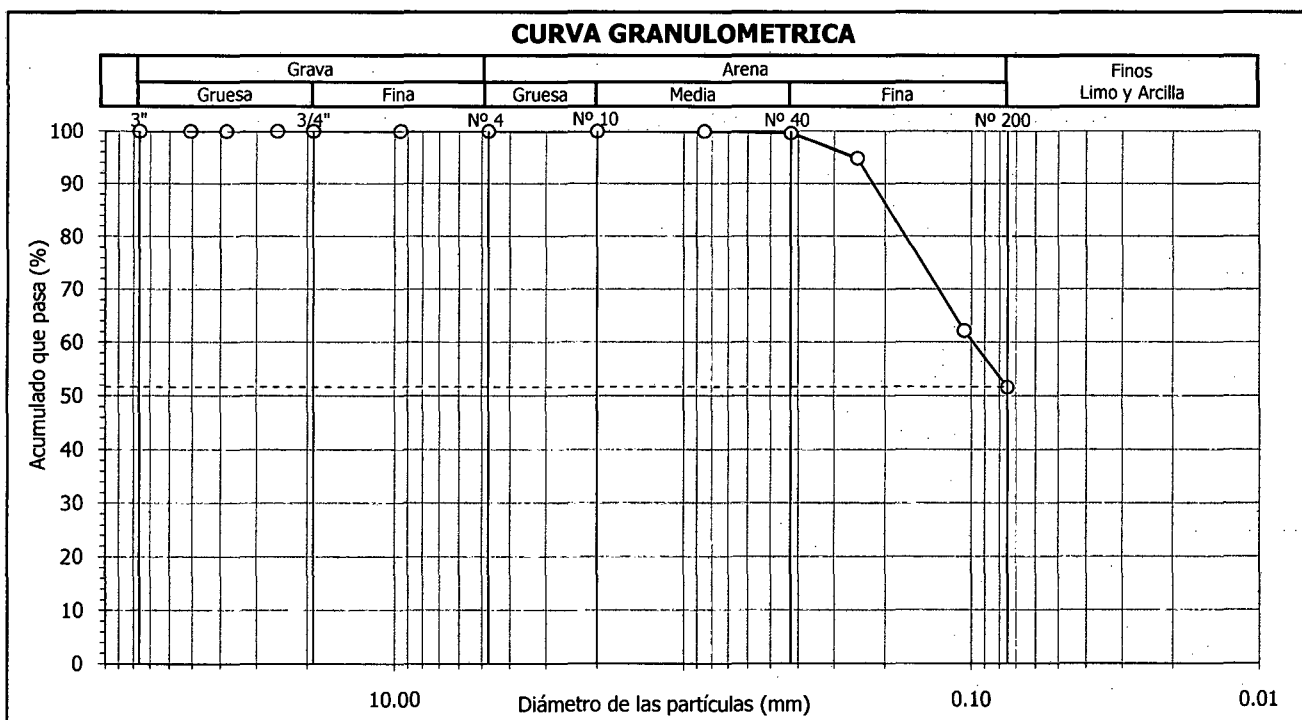
Sondaje : Mezcla
Muestra : M-1, M-2, M-3, M-4 y M-5
Profundidad (m) : ---

Hoja : 1 de 1

Granulometría por tamizado		
Tamiz	Abertura (mm)	Acum. q' Pasa (%)
3"	76.200	100.0
2"	50.800	100.0
1½"	38.100	100.0
1"	25.400	100.0
¾"	19.050	100.0
3/8"	9.525	100.0
Nº 4	4.750	100.0
Nº 10	2.000	100.0
Nº 20	0.850	100.0
Nº 40	0.425	99.7
Nº 60	0.250	94.9
Nº 140	0.106	62.2
Nº 200	0.075	51.7

Contenido de humedad		(%)	9.3
Límites de consistencia	Límite Líquido	(%)	10
	Límite Plástico	(%)	NP
	Índice de Plasticidad	(%)	NP
	Límite de Contracción	(%)	---
Resultados de granulometría por tamizado	Coefficiente de Uniformidad (Cu)		---
	Coefficiente de Curvatura (Cc)		---
	Grava [Nº 4 < ϕ < 3"]	(%)	0.0
	Arena [Nº 200 < ϕ < Nº 4]	(%)	48.3
	Finos [ϕ < Nº 200]	(%)	51.7

Clasificación	
AASHTO	SUCS
A-4 (0)	ML Limo arenoso



Observación : La muestra ha sido identificada y entregada por el solicitante. La mezcla ha sido realizada en proporciones iguales con auto



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

CENTRO PERUANO JAPONES DE INVESTIGACIONES SISMICAS Y MITIGACION DE DESASTRES
LABORATORIO GEOTECNICO



Av. Túpac Amaru N° 1150, Lima 25, Perú - Apartado postal 31-250, Lima 31 - Teléfono: (51-1) 482-0777 - Telefax: 482-0804 / 481-0170 - E-mail: labgeo@cismid.uni.pe

ENSAYOS DE LABORATORIO

Informe : Fecha : Julio, 2010
Solicitante :
Proyecto : Depósitos de Relaves Filtrados Pahuaypite 2
Ubicación : Hoja : 1 de 1

Identificación

Sondaje : ---
Muestra : M - 6
Profundidad (m) : ---

Contenido de humedad

Humedad : 9.8 %

Observaciones

La muestra ha sido identificada y entregada por el solicitante.



COMPACTACIÓN PROCTOR ESTANDAR
(ASTM - D698 "A")

Informe : I
Solicitante : :
Proyecto : Depósitos de Relaves Filtrados Pahuaypite 2

Fecha : Julio, 2010

Ubicación :

Sondaje : Mezcla
Muestra : M-1, M-2, M-3, M-4 y M-5
Prof. (m) : ---

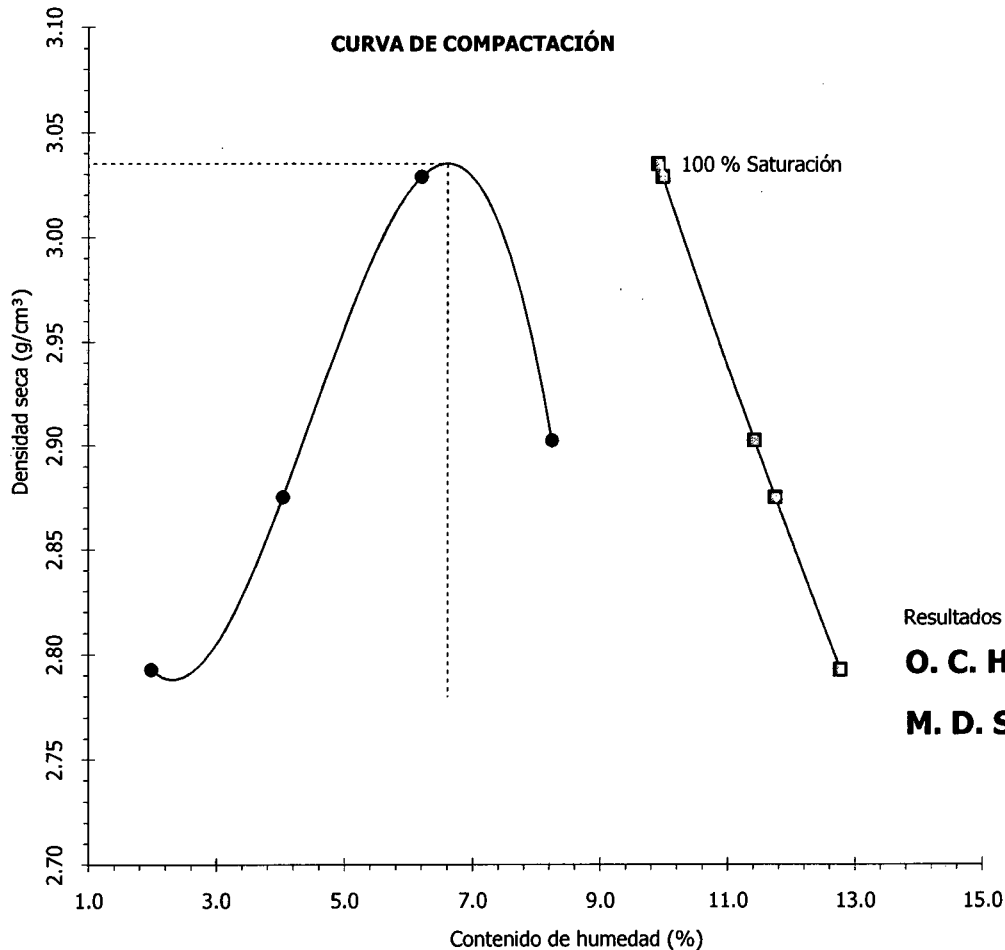
Hoja : 1 de 1
AASHTO : A-4 (0)
SUCS : ML / Limo arenoso

Fracción fina

- Material que pasa el Tamiz N° 4
- Martillo manual

Acumulado que pasa : 100 %
Gravedad de sólidos : 4.342

Humedad (%) :	2.0	4.0	6.2	8.2
Densidad seca (g/cm ³) :	2.793	2.875	3.029	2.903
100% de saturación (%) :	12.8	11.7	10.0	11.4



Observación : La muestra ha sido identificada y entregada por el solicitante.



COMPACTACIÓN PROCTOR ESTANDAR
(ASTM - D698 "A")

Informe :
Solicitante :
Proyecto : Depósitos de Relaves Filtrados Pahuaypite 2

Fecha : Julio, 2010

Ubicación : I

Sondaje : Mezcla
Muestra : M-1, M-2, M-3, M-4 y M-5
Prof. (m) : ---

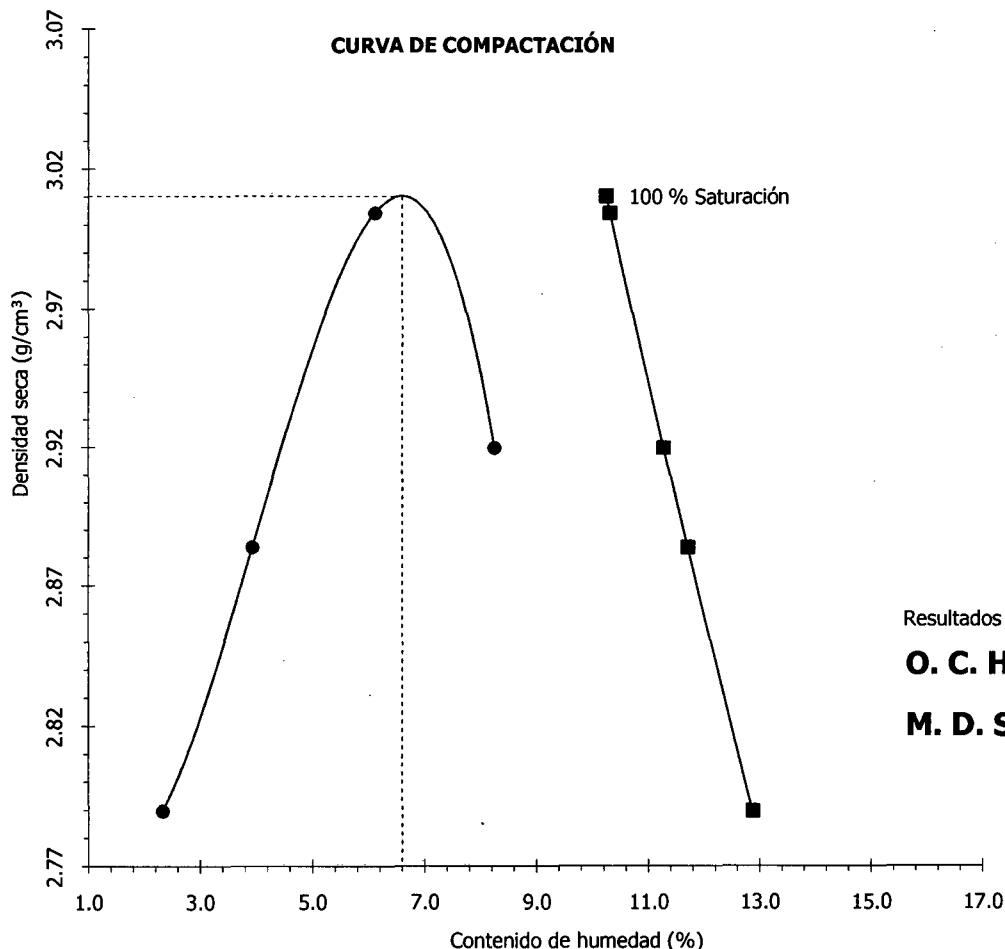
Hoja : 1 de 1
AASHTO : A-4 (0)
SUCS : ML / Limo arenoso

Fracción fina

- Material que pasa el Tamiz Nº 4
- Martillo manual

Acumulado que pasa : 100 %
Gravedad de sólidos : 4.354

Humedad (%) :	2.3	3.9	6.1	8.3
Densidad seca (g/cm ³) :	2.790	2.884	3.004	2.920
100% de saturación (%) :	12.9	11.7	10.3	11.3



Observación : La muestra ha sido identificada y entregada por el solicitante.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CENTRO PERUANO JAPONÉS DE INVESTIGACIONES SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES
LABORATORIO GEOTÉCNICO



Av. Túpac Amaru N° 1150, Lima 25, Perú - Apartado postal 31-250, Lima 31 - Teléfono: (51-1) 482-0777 - Telefax: 482-0804 / 481-0170 - E-mail: labgeo@cismid.uni.pe

PERMEABILIDAD CON CARGA CONSTANTE
Pared Flexible ASTM - D5084

Informe :
Solicitante :
Proyecto : Depósitos de Relaves Filtrados Pahuaypite 2
Ubicación :

Fecha : Agosto, 2010

Procedencia : Mezcla Hoja : 1 de 1
Sondaje/Muestra : M-1, M-2, M-3, M-4 y M Instalación : 11/08/10
Profundidad (m) : --- AASHTO : A-4 (0)
Estado : Remoldeado S U C S : ML / Limo arenoso

Datos del ensayo

Diámetro (cm)	5.00	Humedad inicial (%)	7.2
Altura (cm)	10.10	Humedad final (%)	12.1
Densidad seca (g/cm ³)	2.83	Saturación inicial (%)	59.1
Gravedad de sólidos	4.34	Saturación final (%)	98.7

Calculo del parámetro B

Presión de celda (kg/cm ²)	Presión de poros (kg/cm ²)	Contrapresión (kg/cm ²)
3.80	3.60	3.82
4.01	3.80	4.03

Parámetro B (%) : 95.2

Medición del coeficiente de permeabilidad ($K_{T20^{\circ}C}$)

Gradiente hidráulico	15.0	Presión de salida (kg/cm ²)	3.88
Presión de celda (kg/cm ²)	4.01	Contrapresión (kg/cm ²)	4.03

Tiempo (min)	Volumen (cm ³)	Caudal (cm ³ /seg)	K_T (cm/seg)	Temperatura (°C)	$K_{T20^{\circ}C}$ (cm/seg)
2.9	1.00	5.6 E-03	1.9 E-05	17.0	2.1 E-05
3.1	1.00	5.3 E-03	1.8 E-05	17.0	1.9 E-05
3.3	1.00	5.0 E-03	1.7 E-05	17.0	1.8 E-05
3.2	1.00	5.1 E-03	1.7 E-05	17.0	1.9 E-05
3.3	1.00	5.1 E-03	1.7 E-05	17.0	1.9 E-05
3.3	1.00	5.1 E-03	1.7 E-05	17.0	1.9 E-05
3.2	1.00	5.1 E-03	1.7 E-05	17.0	1.9 E-05

$K_{T20^{\circ}C}$ (cm/seg) 1.9 E-05

Observaciones : La muestra ha sido identificada y entregada por el solicitante. Máxima humedad trabajable = 7.0% (humedad sugerida = 10.0%), densidad seca = 2.85g/cm³. Los datos de remoldeo son responsabilidad del solicitante.



ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL

Consolidado - No Drenado (CU) // ASTM - D4767

Informe N° :
Solicitante :
Proyecto : Depósitos de Relaves Filtrados Pahuaypite 2

Fecha : Agosto, 2010

Ubicación :

Sondaje : Mezcla Hoja : 1 de 5
Muestra : M-1, M-2, M-3, M-4 y M-5 AASHTO : A-4 (0)
Profundidad (m) : --- SUCS : ML // Limo arenoso
Estado : Remoldeado Velocidad : 0.2 mm/min

ESFUERZO AXIAL : 1 kg/cm²

Presión de celda (σ_3) : 2 kg/cm² Esfuerzo efectivo inicial ($\bar{\sigma}_3$) : 1 kg/cm²
Contra presión : 1 kg/cm² Parámetro "B" : 98 %

Etapa	Instalación del espécimen	Especímen consolidado	Final de la compresión
Diámetro (cm)	10.00	9.86	---
Altura (cm)	20.70	20.62	18.22
Humedad (%)	7.0	---	9.4
Densidad seca (g/cm ³)	2.85	2.95	---

Cuadro de detalle al aplicar el esfuerzo desviador

Deformación (%)	Esf. Desv. (kg/cm ²)	Presión Poros (kg/cm ²)	$\bar{\sigma}_3$ (kg/cm ²)	$\bar{\sigma}_1$ (kg/cm ²)	p (kg/cm ²)	q (kg/cm ²)	q/p	Oblicuidad ($\bar{\sigma}_1/\bar{\sigma}_3$)
0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	1.00
0.05	0.36	0.00	1.00	1.36	1.18	0.18	0.15	1.36
0.10	0.54	0.01	0.99	1.54	1.26	0.27	0.21	1.55
0.19	0.80	0.02	0.98	1.79	1.39	0.40	0.29	1.82
0.34	1.12	0.02	0.98	2.10	1.54	0.56	0.36	2.14
0.48	1.43	0.02	0.98	2.41	1.69	0.72	0.42	2.47
0.72	1.66	0.03	0.97	2.64	1.80	0.83	0.46	2.71
0.97	1.89	0.02	0.98	2.87	1.92	0.95	0.49	2.94
1.21	2.08	0.02	0.98	3.06	2.02	1.04	0.51	3.11
1.45	2.25	0.01	0.99	3.24	2.11	1.13	0.53	3.28
1.69	2.33	0.01	0.99	3.32	2.16	1.17	0.54	3.35
1.93	2.45	0.00	1.00	3.45	2.23	1.22	0.55	3.44
2.42	2.58	-0.05	1.05	3.63	2.34	1.29	0.55	3.46
2.90	2.67	-0.04	1.04	3.70	2.37	1.33	0.56	3.57
3.38	2.80	-0.06	1.06	3.86	2.46	1.40	0.57	3.64
3.86	2.90	-0.08	1.08	3.98	2.53	1.45	0.57	3.68
4.35	2.95	-0.10	1.10	4.05	2.57	1.47	0.57	3.68
4.83	2.96	-0.11	1.11	4.07	2.59	1.48	0.57	3.67
5.80	3.16	-0.14	1.14	4.30	2.72	1.58	0.58	3.76
6.76	3.26	-0.17	1.17	4.43	2.80	1.63	0.58	3.79
7.73	3.34	-0.22	1.22	4.56	2.89	1.67	0.58	3.75
8.70	3.36	-0.23	1.23	4.59	2.91	1.68	0.58	3.75
9.66	3.33	-0.25	1.25	4.59	2.92	1.67	0.57	3.66
10.63	3.35	-0.26	1.26	4.61	2.94	1.68	0.57	3.66
11.59	3.35	-0.26	1.26	4.61	2.94	1.67	0.57	3.65

Observaciones :

La muestra ha sido identificada y entregada por el solicitante. Máxima humedad trabajable = 7.0% (humedad sugerida = 10.0%), densidad seca = 2.85g/cm³. Los datos de remoldeo son responsabilidad del solicitante.



ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL

Consolidado - No Drenado (CU) // ASTM - D4767

Informe N° : I
Solicitante : :
Proyecto : Depósitos de Relaves Filtrados Pahuaypite 2

Fecha : Agosto, 2010

Ubicación : I

Sondaje : Mezcla Hoja : 2 de 5
Muestra : M-1, M-2, M-3, M-4 y M-5 AASHTO : A-4 (0)
Profundidad (m) : --- SUCS : ML // Limo arenoso
Estado : Remoldeado Velocidad : 0.2 mm/min

ESFUERZO AXIAL : 2 kg/cm²

Presión de celda (σ_3) : 2 kg/cm² Esfuerzo efectivo inicial ($\bar{\sigma}_3$) : 1 kg/cm²
Contra presión : 1 kg/cm² Parámetro "B" : 98 %

Etapa	Instalación del espécimen	Especímen consolidado	Final de la compresión
Diámetro (cm)	10.00	9.83	---
Altura (cm)	20.70	20.62	18.23
Humedad (%)	7.0	---	8.1
Densidad seca (g/cm ³)	2.85	2.96	---

Cuadro de detalle al aplicar el esfuerzo desviador

Deformación (%)	Esf. Desv. (kg/cm ²)	Presión Poros (kg/cm ²)	$\bar{\sigma}_3$ (kg/cm ²)	$\bar{\sigma}_1$ (kg/cm ²)	p (kg/cm ²)	q (kg/cm ²)	q/p	Oblicuidad ($\bar{\sigma}_1/\bar{\sigma}_3$)
0.00	0.00	0.00	2.00	2.00	2.00	0.00	0.00	1.00
0.05	0.64	0.01	1.99	2.63	2.31	0.32	0.14	1.32
0.10	0.89	0.02	1.98	2.87	2.43	0.44	0.18	1.45
0.19	1.39	0.03	1.97	3.36	2.66	0.69	0.26	1.70
0.34	1.82	0.06	1.94	3.76	2.85	0.91	0.32	1.94
0.48	2.14	0.07	1.93	4.07	3.00	1.07	0.36	2.11
0.72	2.54	0.09	1.91	4.45	3.18	1.27	0.40	2.33
0.97	2.89	0.11	1.89	4.77	3.33	1.44	0.43	2.53
1.21	3.13	0.12	1.88	5.01	3.44	1.56	0.45	2.66
1.45	3.35	0.13	1.87	5.22	3.55	1.68	0.47	2.79
1.69	3.51	0.14	1.87	5.37	3.62	1.75	0.48	2.88
1.93	3.58	0.14	1.86	5.44	3.65	1.79	0.49	2.92
2.42	3.78	0.14	1.86	5.64	3.75	1.89	0.50	3.03
2.90	3.79	0.14	1.86	5.65	3.75	1.89	0.50	3.04
3.38	4.09	0.13	1.87	5.96	3.91	2.05	0.52	3.19
3.86	4.18	0.12	1.88	6.06	3.97	2.09	0.53	3.22
4.35	4.25	0.12	1.88	6.13	4.01	2.13	0.53	3.26
4.83	4.32	0.11	1.89	6.21	4.05	2.16	0.53	3.28
5.80	4.40	0.09	1.91	6.31	4.11	2.20	0.54	3.30
6.76	4.54	0.07	1.93	6.48	4.20	2.27	0.54	3.35
7.73	4.63	0.05	1.95	6.58	4.27	2.31	0.54	3.37
8.70	4.70	0.02	1.98	6.68	4.33	2.35	0.54	3.38
9.66	4.71	0.01	1.99	6.69	4.34	2.35	0.54	3.37
10.63	4.71	0.00	2.00	6.72	4.36	2.36	0.54	3.36
11.59	4.81	-0.02	2.02	6.83	4.43	2.41	0.54	3.38

Observaciones :

La muestra ha sido identificada y entregada por el solicitante. Máxima humedad trabajable = 7.0% (humedad sugerida = 10.0%), densidad seca = 2.85g/cm³. Los datos de remoldeo son responsabilidad del solicitante.



ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL

Consolidado - No Drenado (CU) // ASTM - D4767

Informe N° :
Solicitante :
Proyecto : Depósitos de Relaves Filtrados Pahuaypite 2

Fecha : Agosto, 2010

Ubicación :

Sondaje : Mezcla Hoja : 3 de 5
Muestra : M-1, M-2, M-3, M-4 y M-5 AASHTO : A-4 (0)
Profundidad (m) : --- SUCS : ML // Limo arenoso
Estado : Remoldeado Velocidad : 0.2 mm/min

ESFUERZO AXIAL : 4 kg/cm²

Presión de celda (σ_3) : 2 kg/cm² Esfuerzo efectivo inicial ($\bar{\sigma}_3$) : 1 kg/cm²
Contra presión : 1 kg/cm² Parámetro "B" : 98 %

Etapa	Instalación del espécimen	Especímen consolidado	Final de la compresión
Diámetro (cm)	10.00	9.81	---
Altura (cm)	20.70	20.58	18.20
Humedad (%)	7.0	---	9.2
Densidad seca (g/cm ³)	2.85	2.98	---

Cuadro de detalle al aplicar el esfuerzo desviador

Deformación (%)	Esf. Desv. (kg/cm ²)	Presión Poros (kg/cm ²)	$\bar{\sigma}_3$ (kg/cm ²)	$\bar{\sigma}_1$ (kg/cm ²)	p (kg/cm ²)	q (kg/cm ²)	q/p	Oblicuidad ($\bar{\sigma}_1/\bar{\sigma}_3$)
0.00	0.00	0.00	4.00	4.00	4.00	0.00	0.00	1.00
0.05	0.20	0.01	3.99	4.19	4.09	0.10	0.02	1.05
0.10	0.31	0.01	3.99	4.29	4.14	0.15	0.04	1.08
0.19	0.52	0.02	3.98	4.50	4.24	0.26	0.06	1.13
0.34	1.47	0.05	3.95	5.42	4.68	0.73	0.16	1.37
0.48	2.03	0.07	3.93	5.96	4.94	1.02	0.21	1.52
0.72	2.77	0.12	3.88	6.65	5.27	1.38	0.26	1.71
0.97	3.39	0.17	3.83	7.22	5.53	1.70	0.31	1.88
1.21	3.83	0.21	3.79	7.62	5.70	1.92	0.34	2.01
1.45	4.22	0.25	3.75	7.97	5.86	2.11	0.36	2.13
1.69	4.51	0.28	3.72	8.23	5.97	2.26	0.38	2.21
1.93	4.74	0.32	3.68	8.42	6.05	2.37	0.39	2.29
2.42	5.14	0.37	3.63	8.77	6.20	2.57	0.41	2.42
2.90	5.48	0.42	3.58	9.06	6.32	2.74	0.43	2.53
3.38	5.64	0.44	3.56	9.21	6.39	2.82	0.44	2.58
3.86	5.84	0.46	3.54	9.38	6.46	2.92	0.45	2.65
4.35	6.01	0.47	3.53	9.54	6.53	3.01	0.46	2.71
4.83	6.09	0.49	3.52	9.61	6.56	3.05	0.46	2.73
5.80	6.35	0.50	3.50	9.85	6.68	3.17	0.48	2.81
6.76	6.50	0.50	3.50	10.00	6.75	3.25	0.48	2.86
7.73	6.61	0.50	3.50	10.11	6.81	3.30	0.49	2.89
8.70	6.76	0.50	3.50	10.27	6.89	3.38	0.49	2.93
9.66	6.94	0.48	3.52	10.46	6.99	3.47	0.50	2.97
10.63	6.99	0.47	3.53	10.52	7.03	3.50	0.50	2.98
11.59	7.22	0.46	3.54	10.76	7.15	3.61	0.50	3.04

Observaciones :

La muestra ha sido identificada y entregada por el solicitante. Máxima humedad trabajable = 7.0% (humedad sugerida = 10.0%), densidad seca = 2.85g/cm³. Los datos de remoldeo son responsabilidad del solicitante.



ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL

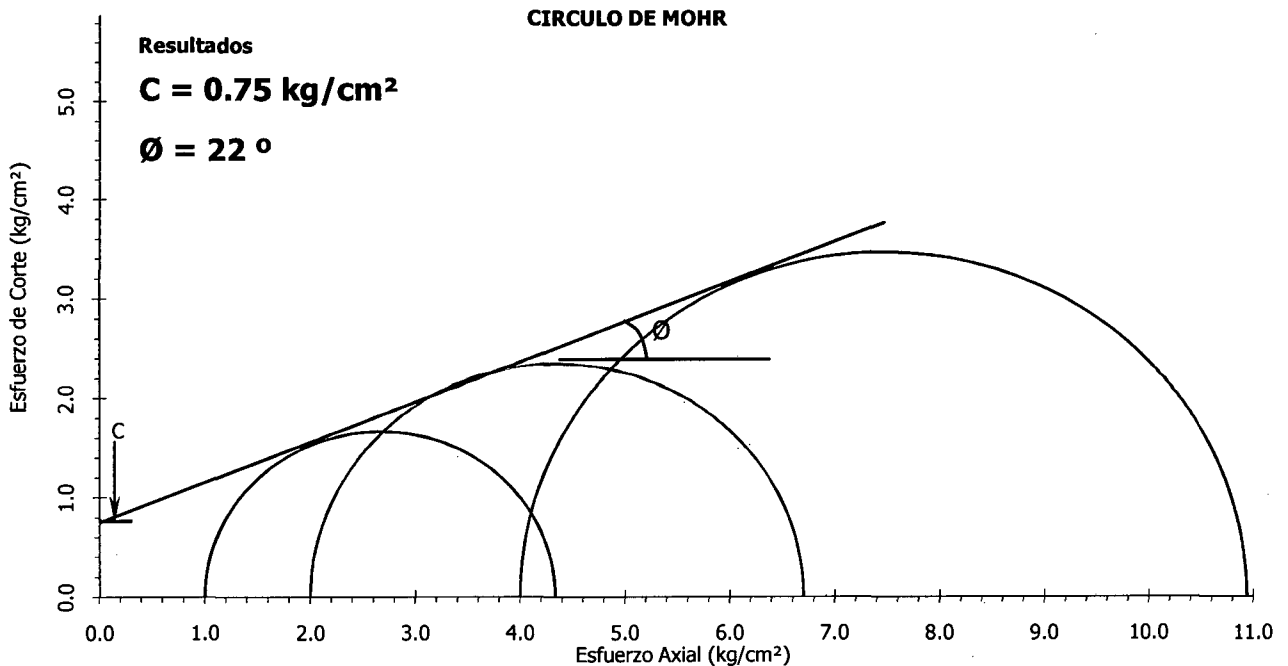
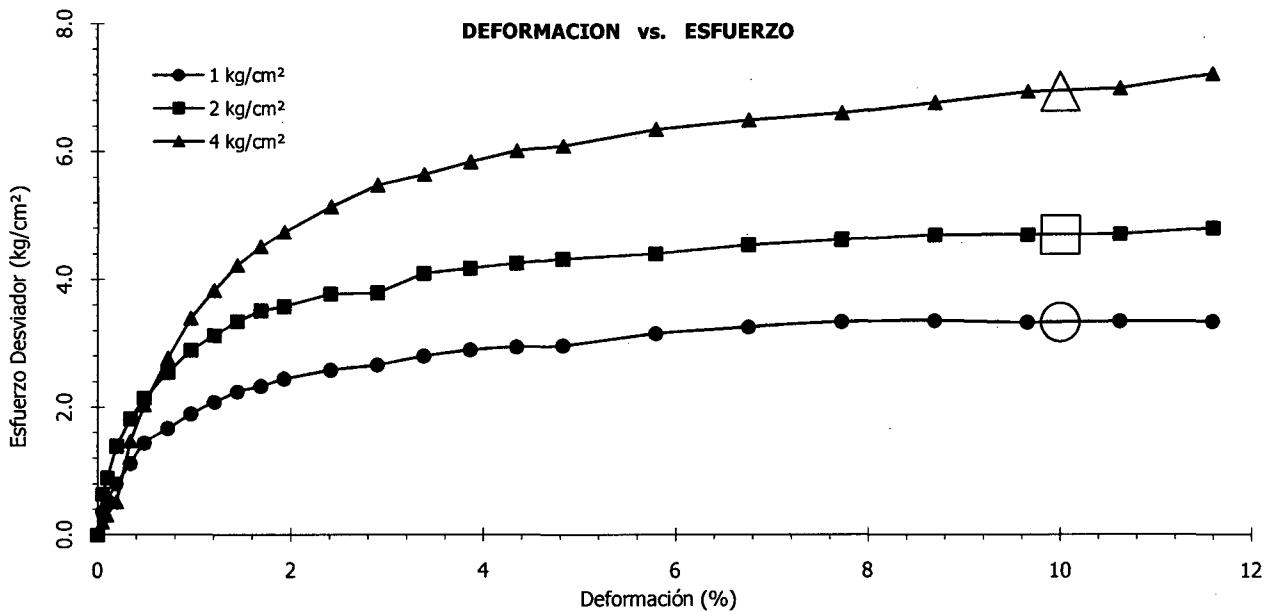
Consolidado - No Drenado (CU) // ASTM - D4767

Informe Nº :
Solicitante :
Proyecto : Depósitos de Relaves Filtrados Pahuaypite 2

Fecha : Agosto, 2010

Ubicación :

Sondaje : Mezcla Hoja : 4 de 5
Muestra : M-1, M-2, M-3, M-4 y M-5 AASHTO : A-4 (0)
Profundidad (m) : --- SUCS : ML // Limo arenoso
Estado : Remoldeado Velocidad : 0.2 mm/min





ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL

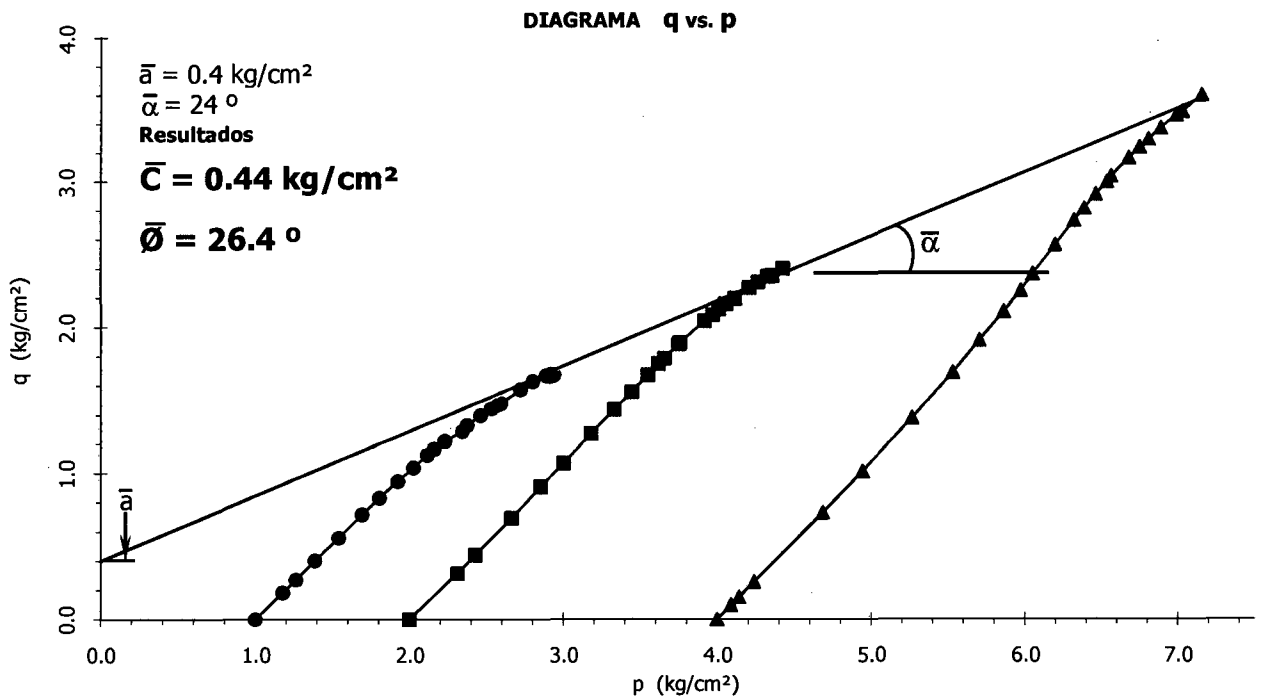
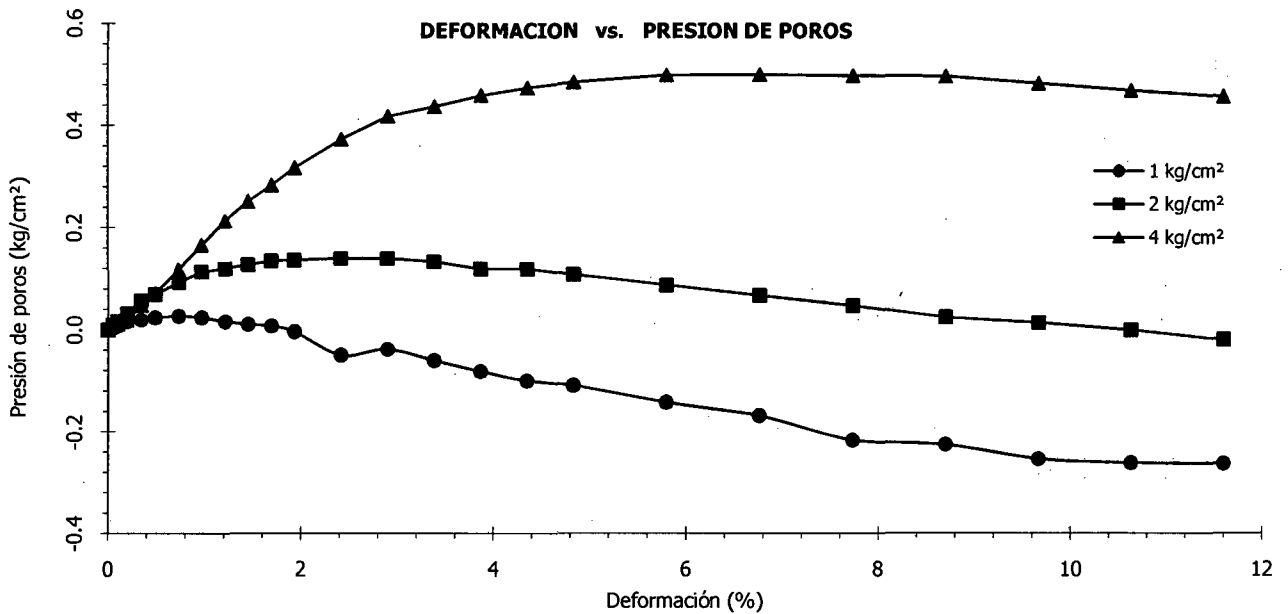
Consolidado - No Drenado (CU) // ASTM - D4767

Informe N° :
Solicitante :
Proyecto : Depósitos de Relaves Filtrados Pahuaypite 2

Fecha : Agosto, 2010

Ubicación :

Sondaje : Mezcla
Muestra : M-1, M-2, M-3, M-4 y M-5
Profundidad (m) : ---
Estado : Remoldeado
Hoja : 5 de 5
AASHTO : A-4 (0)
SUCS : ML // Limo arenoso
Velocidad : 0.2 mm/min





ENSAYO DE LICUACIÓN DE SUELOS

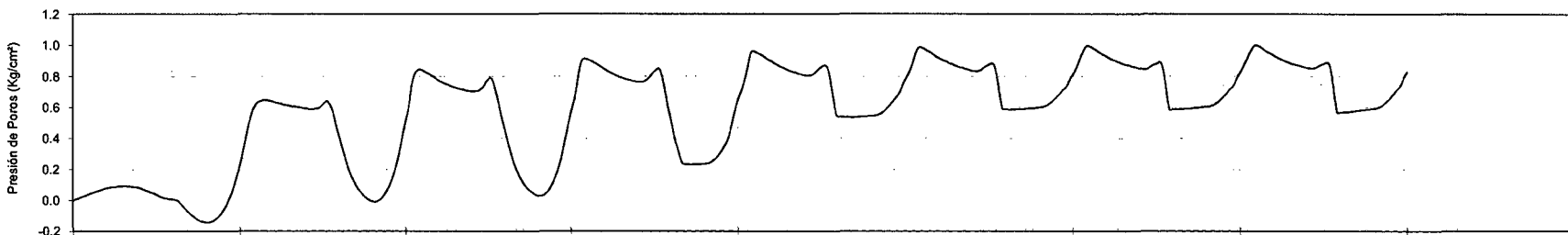
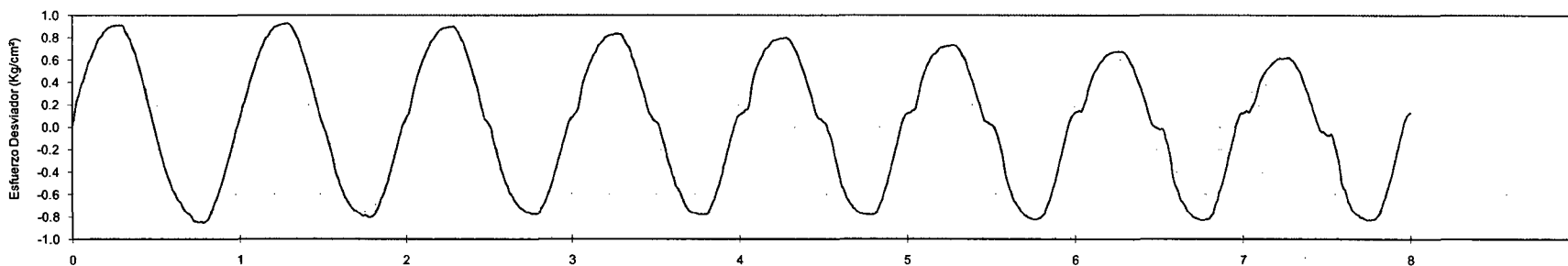
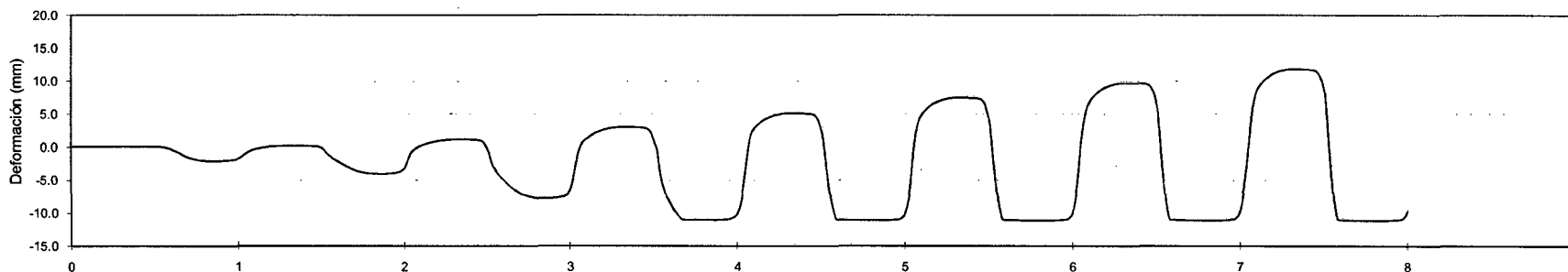
Informe :
Solicitante :
Proyecto : Depósitos de Relaves Filtrados Pahuavpite 2
Ubicación :
Fecha : Agosto, 2010

Sondaje : Mezcla
Muestra : M-1, M-2, M-3, M-4 y M-5
Estado : Remoldeado
Clasif. (SUCS) : ML / Limo arenoso
Hoja : 1 de 9

Etapa de consolidación	inicial	final
Altura (cm)	10.10	10.04
Diámetro (cm)	5.00	4.99
Densidad seca (g/cm ³)	2.85	2.88

Parámetro B (%)	95
Esfuerzo efectivo inicial (Kg/cm ²)	1.00
Rd	0.44
Frecuencia de la función carga (Hz)	0.10

Primera Carga Cíclica





ENSAYO DE LICUACIÓN DE SUELOS

Número de Ciclos

Informe :
Solicitante :
Proyecto : Depósitos de Relaves Filtrados Pahuaypite 2
Ubicación :
Fecha : Agosto, 2010

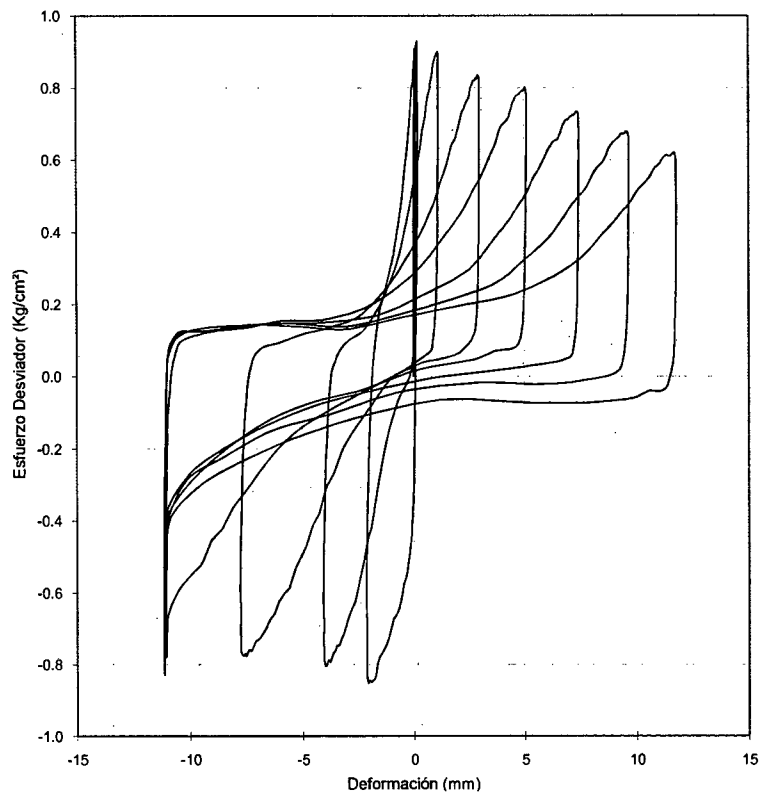
Sondaje : Mezcla
Muestra : M-1, M-2, M-3, M-4 y M-5
Estado : Remoldeado
Clasif. (SUCS) : ML / Limo arenoso
Hoja : 2 de 9

Etapa de consolidación	Inicial	Final
Altura (cm)	10.10	10.04
Diámetro (cm)	5.00	4.99
Densidad seca (g/cm ³)	2.85	2.88

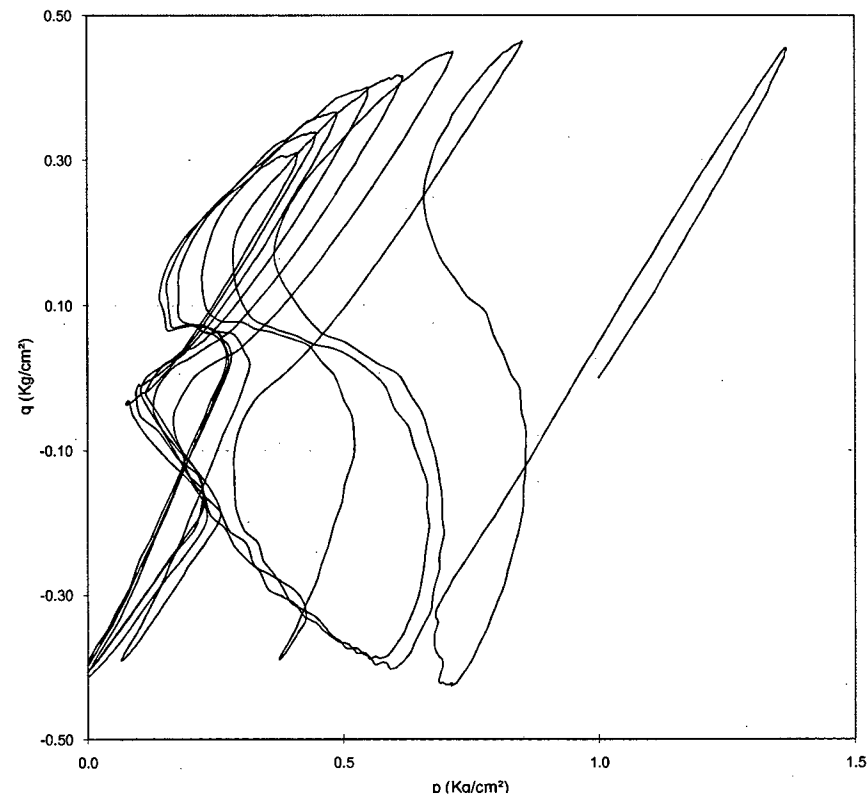
Parámetro B (%)	95
Esfuerzo efectivo inicial (Kg/cm ²)	1.00
Rd	0.44
Frecuencia de la función carga (Hz)	0.10

Primera Carga Cíclica

Esfuerzo desviador vs Deformación



p vs q





ENSAYO DE LICUACIÓN DE SUELOS

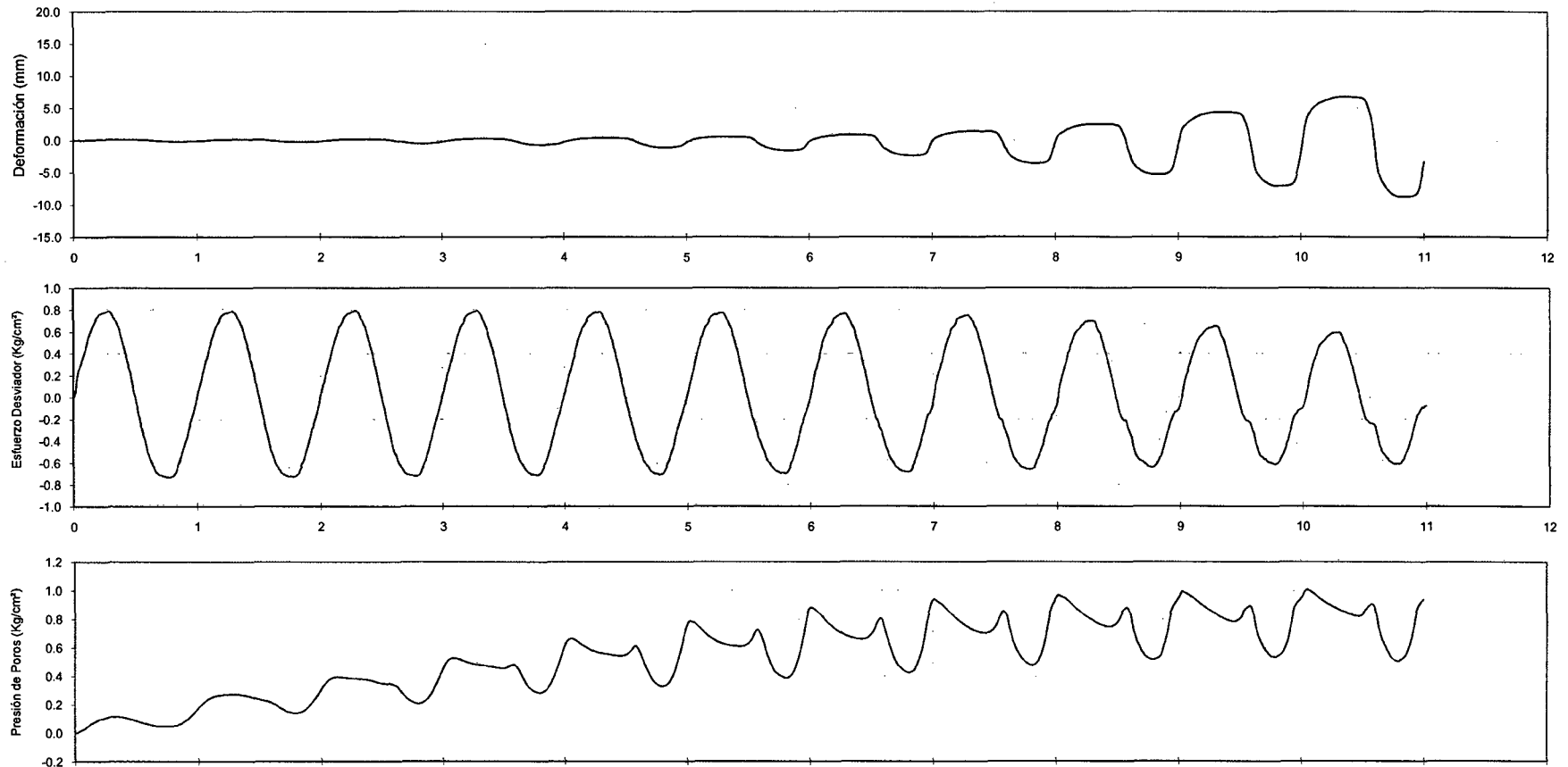
Informe :
Solicitante :
Proyecto : Depósitos de Relaves Filtrados Pahuaypite 2
Ubicación :
Fecha : Agosto, 2010

Sondaje : Mezcla
Muestra : M-1, M-2, M-3, M-4 y M-5
Estado : Remoldeado
Clasif. (SUCS) : ML / Limo arenoso
Hoja : 3 de 9

Etapa de consolidación	inicial	final
Altura (cm)	10.10	10.06
Diámetro (cm)	5.00	4.98
Densidad seca (g/cm ³)	2.85	2.88

Parámetro B (%)	95
Esfuerzo efectivo inicial (Kg/cm ²)	1.00
Rd	0.38
Frecuencia de la función carga (Hz)	0.10

Segunda Carga Cíclica





ENSAYO DE LICUACIÓN DE SUELOS

INFORME :
SOLICITANTE :
PROYECTO : Depósitos de Relaves Filtrados Pahuaypite 2
UBICACIÓN :
FECHA : Agosto, 2010

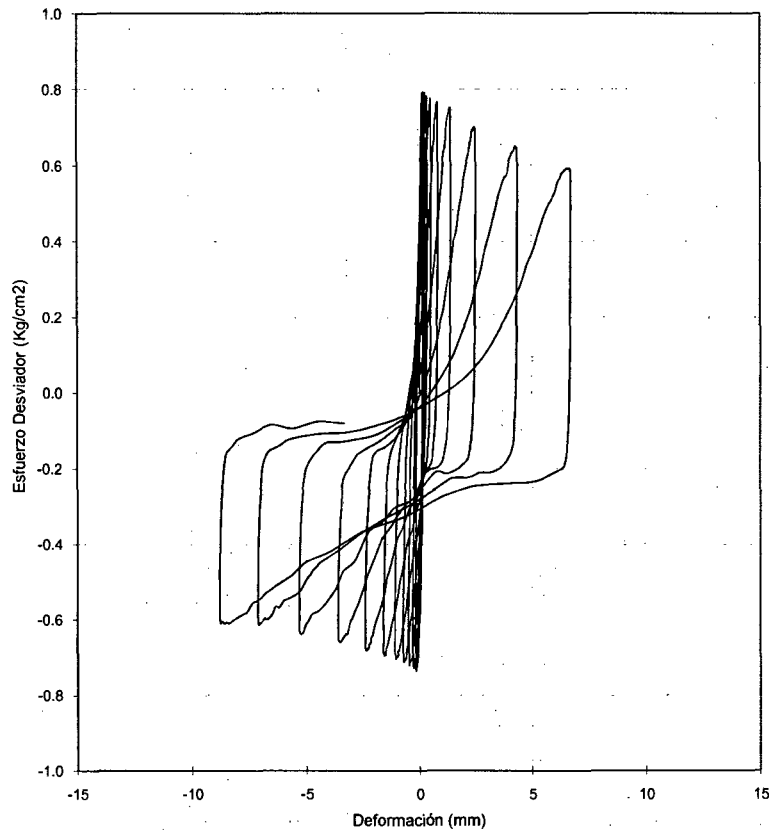
Sondaje : Mezcla
Muestra : M-1, M-2, M-3, M-4 y M-5
Estado : Remoldeado
Clasif. (SUCS) : ML / Limo arenoso
Hoja : 4 de 9

Etapa de consolidación	inicial	final
Altura (cm)	10.10	10.06
Diámetro (cm)	5.00	4.98
Densidad seca (g/cm ³)	2.85	2.88

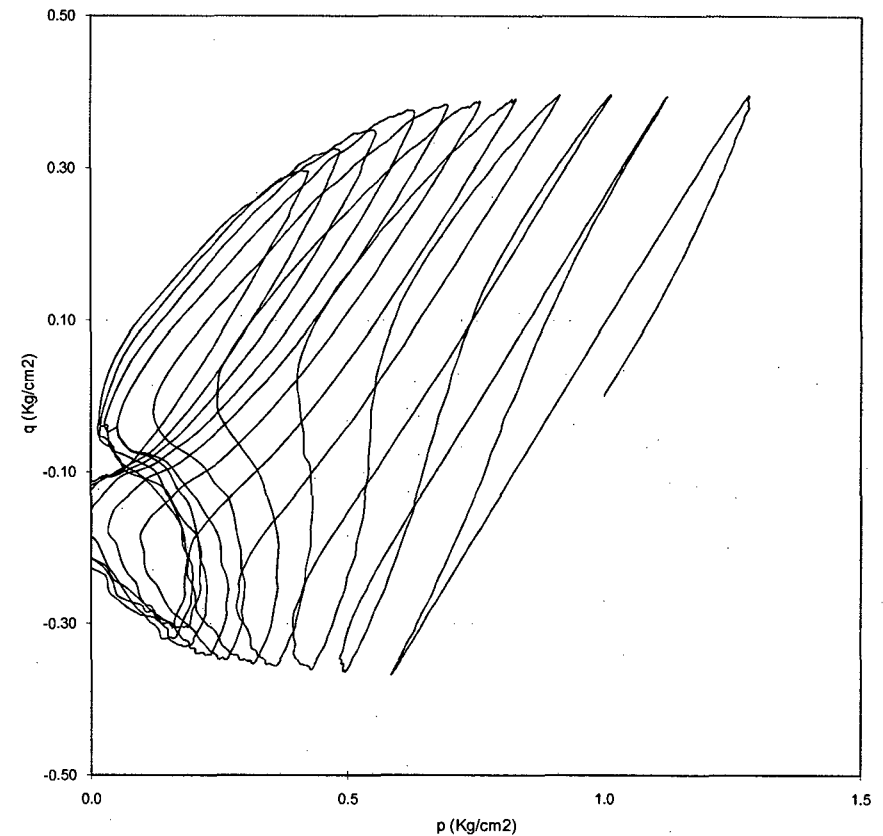
Parámetro B (%)	95
Esfuerzo efectivo inicial (Kg/cm ²)	1.00
Rd	0.38
Frecuencia de la función carga (Hz)	0.10

Segunda Carga Cíclica

Esfuerzo desviador vs Deformación



p vs q





ENSAYO DE LICUACIÓN DE SUELOS

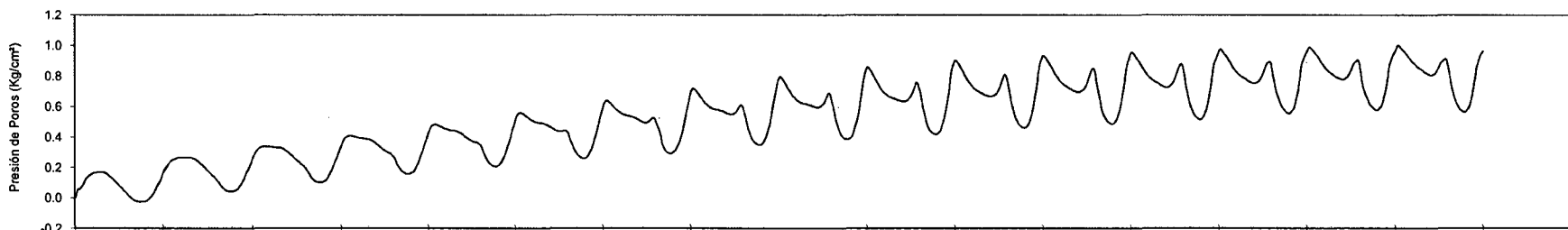
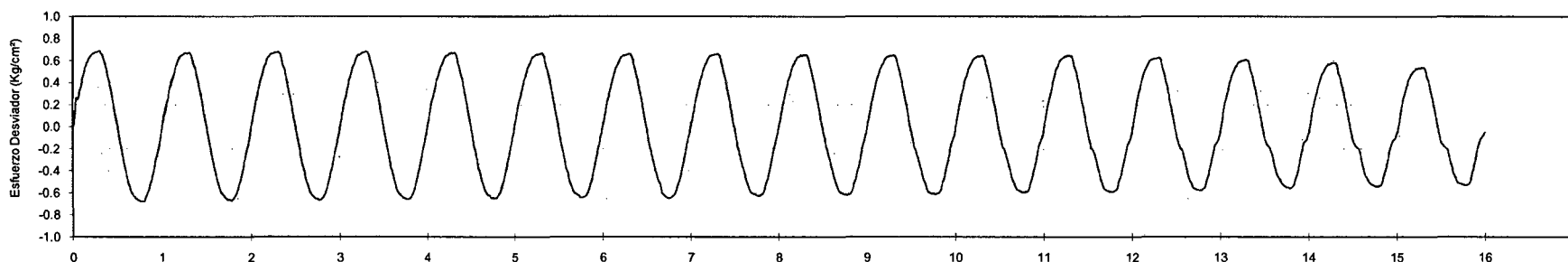
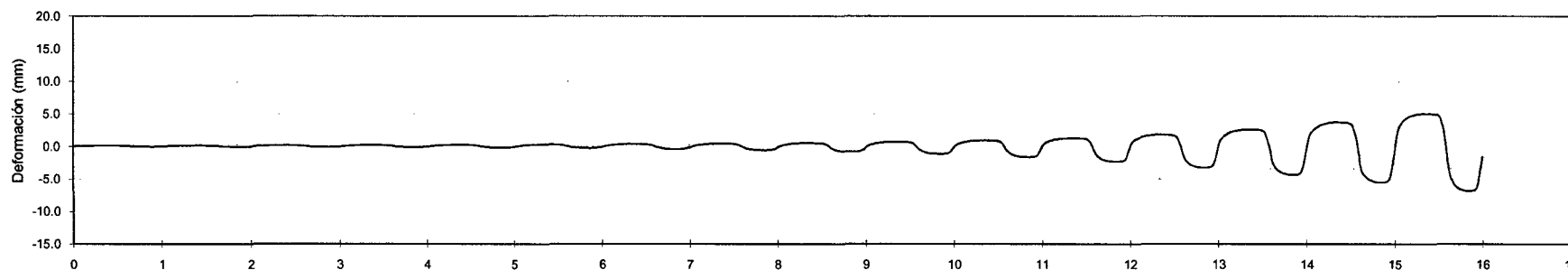
Informe :
Solicitante :
Proyecto : Depósitos de Relaves Filtrados Pahuaypite 2
Ubicación :
Fecha : Agosto, 2010

Sondaje : Mezcla
Muestra : M-1, M-2, M-3, M-4 y M-5
Estado : Remoldeado
Clasif. (SUCS) : ML / Limo arenoso
Hoja : 5 de 9

Etapa de consolidación	inicial	final
Altura (cm)	10.10	10.06
Diámetro (cm)	5.00	4.99
Densidad seca (g/cm ³)	2.85	2.87

Parámetro B (%)	94
Esfuerzo efectivo inicial (Kg/cm ²)	1.00
Rd	0.34
Frecuencia de la función carga (Hz)	0.10

Tercera Carga Cíclica





ENSAYO DE LICUACIÓN DE SUELOS

Informe :
Solicitante :
Proyecto : Depósitos de Relaves Filtrados Pahuaypite 2
Ubicación :
Fecha : Agosto, 2010

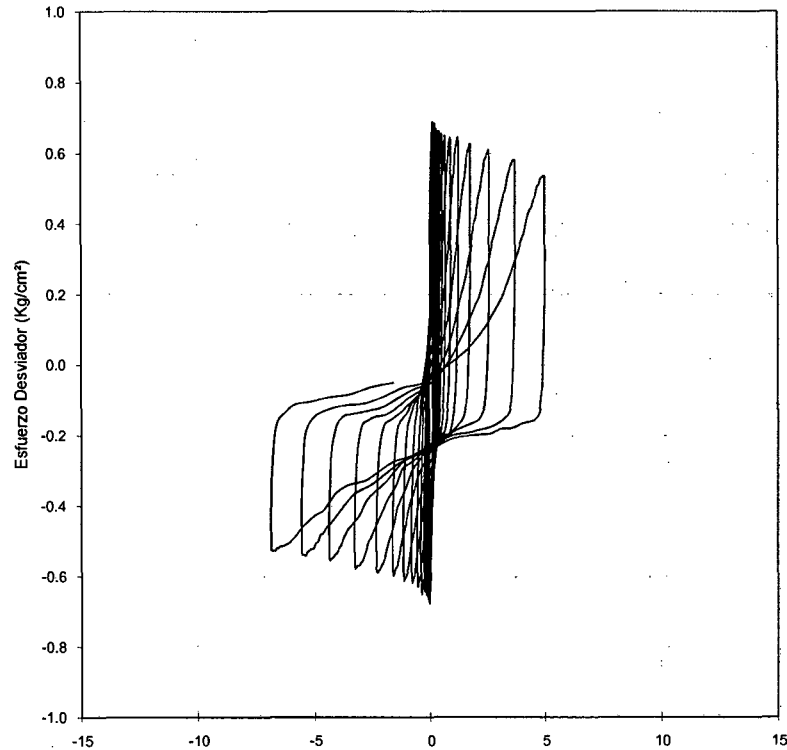
Sondaje : Mezcla
Muestra : M-1, M-2, M-3, M-4 y M-5
Estado : Remoldeado
Clasif. (SUCS) : ML / Limo arenoso
Hoja : 6 de 9

Etapa de consolidación	inicial	final
Altura (cm)	10.10	10.06
Diámetro (cm)	5.00	4.99
Densidad seca (g/cm ³)	2.85	2.87

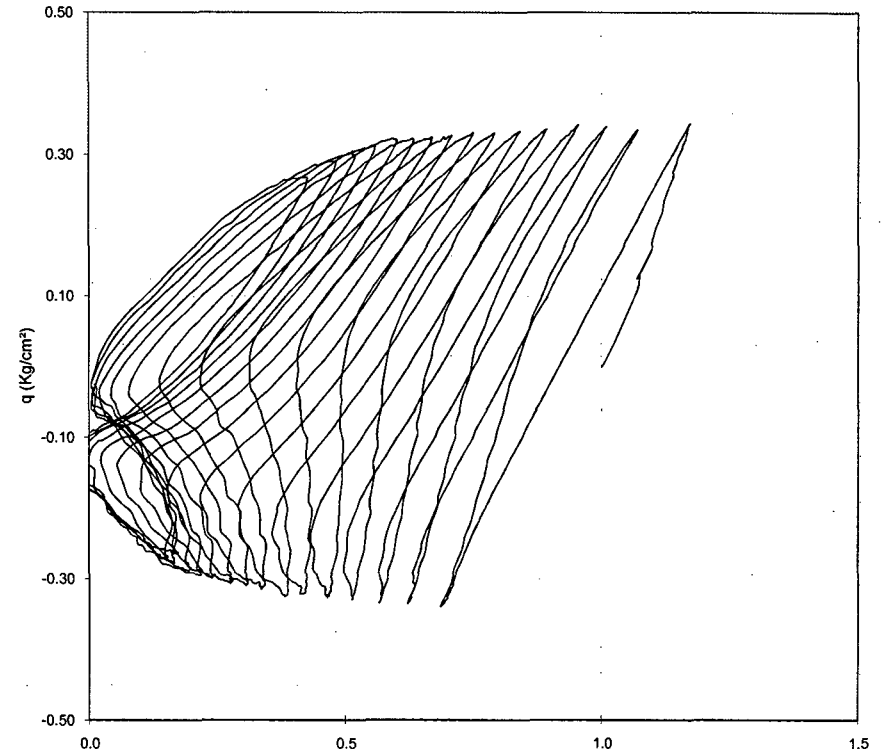
Parámetro B (%)	94
Esfuerzo efectivo inicial (Kg/cm ²)	1.00
Rd	0.34
Frecuencia de la función carga (Hz)	0.10

Tercera Carga Cíclica

Esfuerzo desviador vs Deformación



p vs q





ENSAYO DE LICUACIÓN DE SUELOS

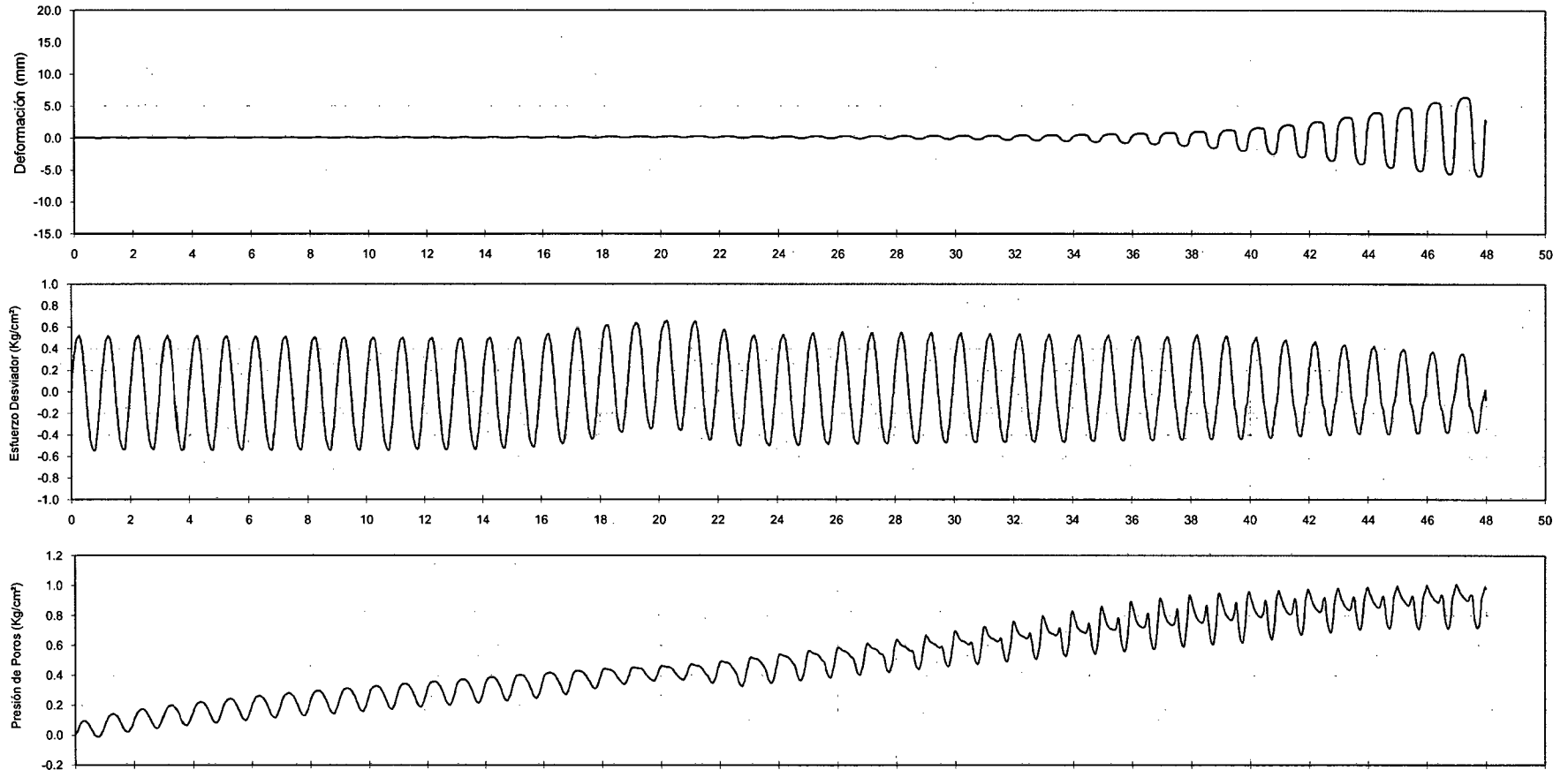
Informe :
Solicitante :
Proyecto : Depósitos de Relaves Filtrados Pahuaypite 2
Ubicación :
Fecha : Agosto, 2010

Sondaje : Mezcla
Muestra : M-1, M-2, M-3, M-4 y M-5
Estado : Remoldeado
Clasif. (SUCS) : ML / Limo arenoso
Hoja : 7 de 9

Etapa de consolidación	inicial	final
Altura (cm)	10.10	10.07
Diámetro (cm)	5.00	4.99
Densidad seca (g/cm ³)	2.85	2.87

Parámetro B (%)	93
Esfuerzo efectivo inicial (Kg/cm ²)	1.00
Rd	0.27
Frecuencia de la función carga (Hz)	0.10

Cuarta Carga Cíclica





ENSAYO DE LICUACIÓN DE SUELOS

Informe :
Solicitante :
Proyecto : Depósitos de Relaves Filtrados Pahuaypite 2
Ubicación :
Fecha : Agosto, 2010

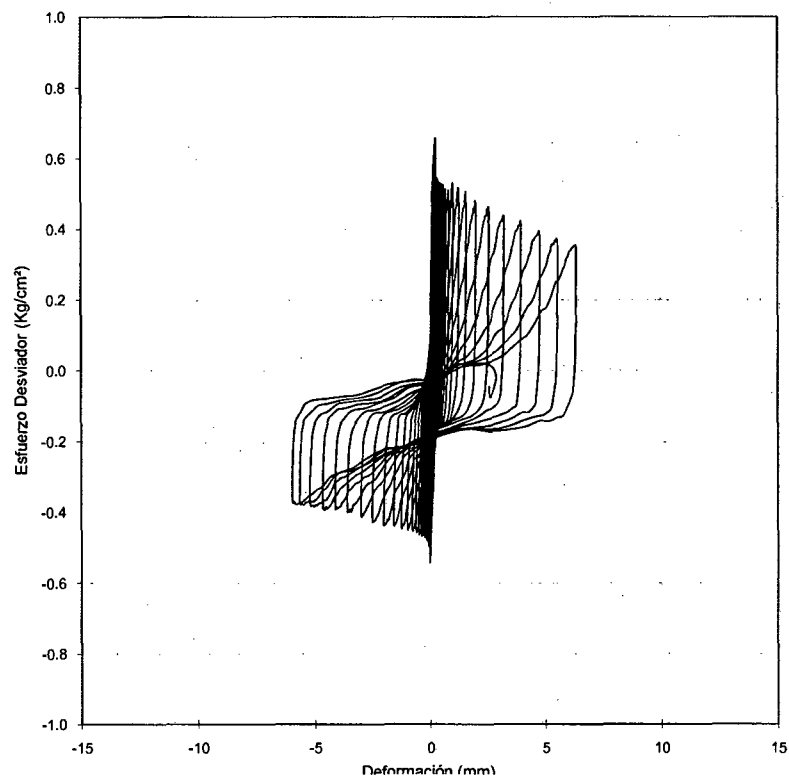
Sondaje : Mezcla
Muestra : M-1, M-2, M-3, M-4 y M-5
Estado : Remoldeado
Clasif. (SUCS) : ML / Limo arenoso
Hoja : 8 de 9

Etapa de consolidación	inicial	final
Altura (cm)	10.10	10.07
Diámetro (cm)	5.00	4.99
Densidad seca (g/cm ³)	2.85	2.87

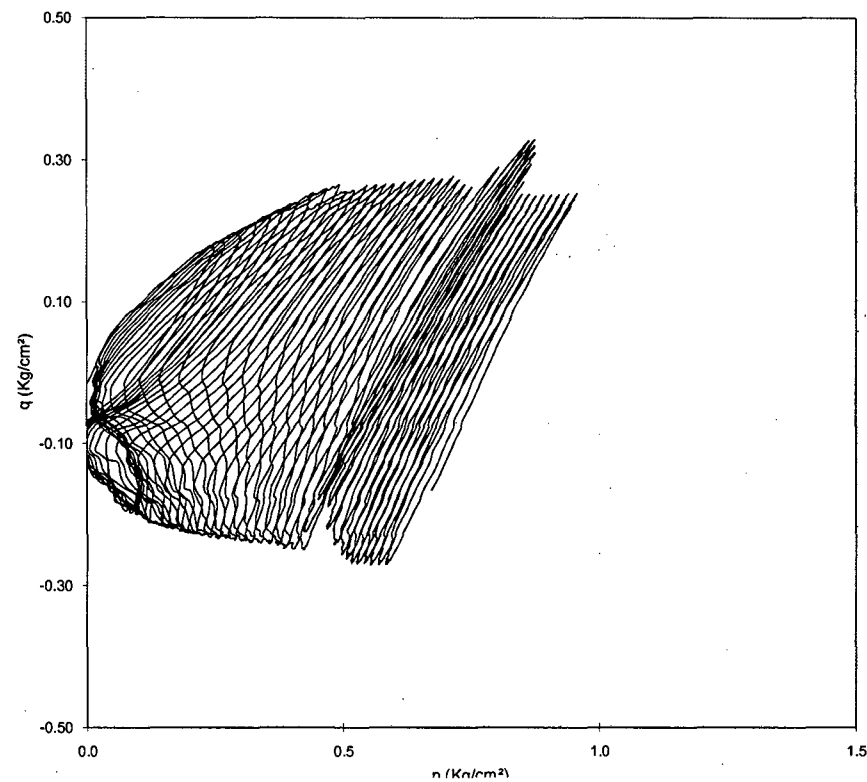
Parámetro B (%)	93
Esfuerzo efectivo inicial (Kg/cm ²)	1.00
Rd	0.27
Frecuencia de la función carga (Hz)	0.10

Cuarta Carga Cíclica

Esfuerzo desviador vs Deformación



p vs q





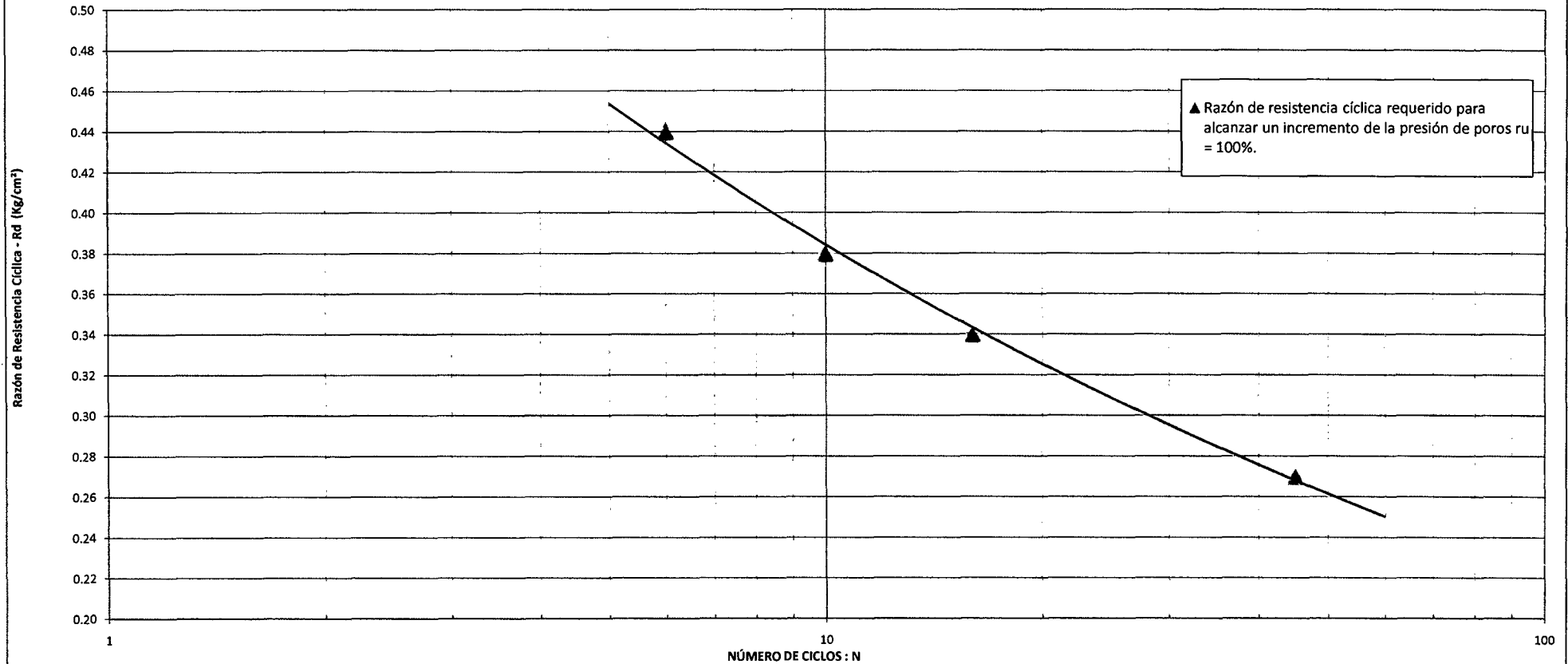
ENSAYO DE LICUACIÓN DE SUELOS

Informe :
Solicitante :
Proyecto : Depósitos de Relaves Filtrados Pahuaypite 2
Ubicación :
Fecha : Agosto, 2010

Sondaje : Mezcla
Muestra : M-1, M-2, M-3, M-4 y M-5
Estado : Remoldeado
Clasif. (SUCS) : ML / Limo arenoso
Hoja : 9 de 9

Esfuerzo efectivo inicial (Kg/cm ²)	1.00
Frecuencia de la función carga (Hz)	0.10
Densidad seca de remoldeo (g/cm ³)	2.85

CURVA DE RESISTENCIA CÍCLICA



**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO
 POR TAMIZADO**
 ASTM - D422

Nombre del Proyecto: **Evaluación de Estabilidad Depósito de Relaves Filtrados Pahuaypite 1**

Ciente

N° de Proyecto:

N° Informe Lab :

Ubicación:

Solicitado por:

N° de muestra / Prof. (m):

Fecha:

02-mar-10

Descripción / Zona: 1.00 - 1.30

Partículas >3" (%) : ---

Grava (%) : -

Arena (%) : 49,4

Limos y Arcillas (%) : 50,6

D10 :

D30 :

D60 : 0,09

Cu :

Cc :

Límites de Atterberg:

LL (%) : 9,1

LP (%) : 6,3

IP (%) : 2,8

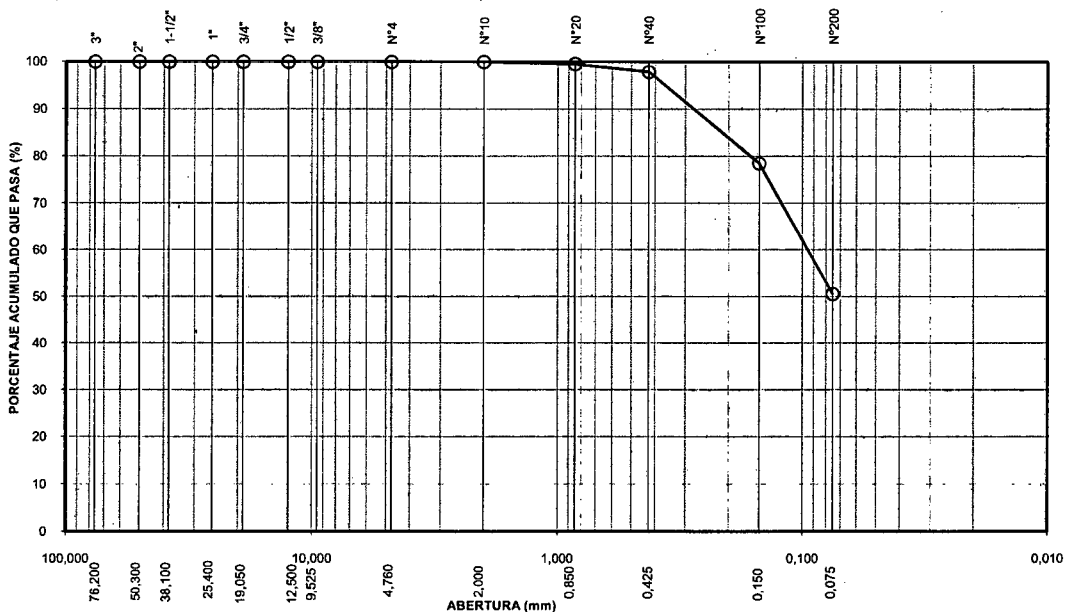
Humedad (%) : 4,7

Clasificación SUCS : **ML**

Limo arenoso

Tamiz	Abertura (mm)	% Acumulado que pasa
3"	76,200	100,0
2"	50,300	100,0
1 1/2"	38,100	100,0
1"	25,400	100,0
3/4"	19,050	100,0
1/2"	12,500	100,0
3/8"	9,525	100,0
N°4	4,760	100,0
N°10	2,000	100,0
N°20	0,850	99,5
N°40	0,425	97,9
N°100	0,150	78,5
N°200	0,075	50,6

CURVA GRANULOMÉTRICA



Notas: Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante

Estos datos se aplican solo a las muestras indicadas. Los datos e información contenidos en esta hoja no pueden ser utilizados sin la autorización de Vector Perú S.A.C. Con la aceptación de los datos y resultados presentados en esta página, el Cliente está de acuerdo en limitar la responsabilidad de Vector Perú S.A.C. de cualquier reclamo que provenga del Cliente y otras partes por el uso de estos datos al costo de los ensayos respectivos representados aquí.

Realizado por:

RPG

Ingresado por:

TOM

Revisado por:

CSM

Laboratorio:

VP-043-10

Nombre del Proyecto: **Evaluación de Estabilidad Depósito de Relaves Filtrados Pahuaypite 1**

Ciente

N° de Proyecto:

N° Informe Lab :

Ubicación:

Solicitado por:

N° de muestra / Prof. (m):

Fecha:

03-mar-10

Descripción / Zona: **1.00 - 1.30**

Límites de Atterberg

LL (%): **9,1**

LP (%): **6,3**

IP (%): **2,8**

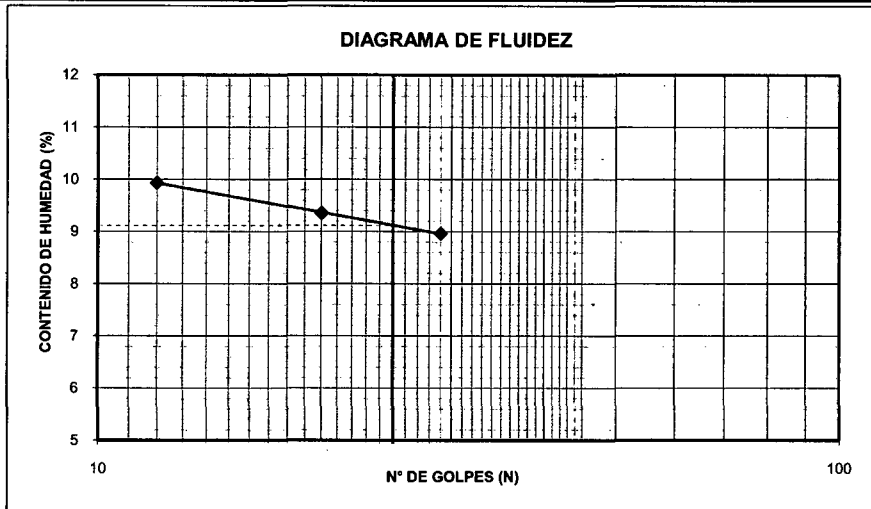
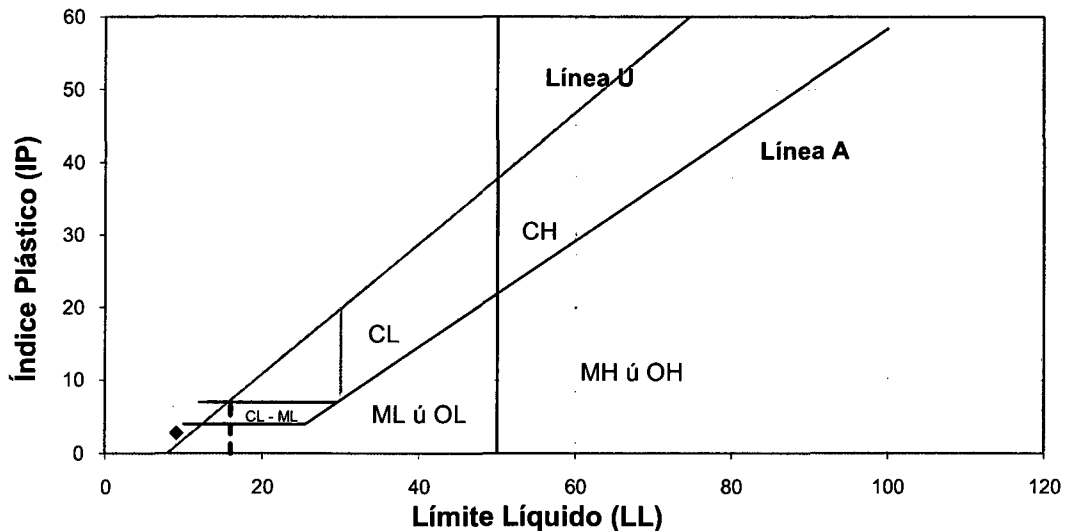


GRÁFICO DE PLASTICIDAD



Notas: Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante

Estos datos se aplican solo a las muestras indicadas. Los datos e información contenidos en esta hoja no pueden ser utilizados sin la autorización de Vector Perú S.A.C. Con la aceptación de los datos y resultados presentados en esta página, el Cliente está de acuerdo en limitar la responsabilidad de Vector Perú S.A.C. de cualquier reclamo que provenga del Cliente y otras partes por el uso de estos datos al costo de los ensayos respectivos representados aquí.

Realizado por:

CG

Ingresado por:

TOM

Revisado por:

CSM

Laboratorio:

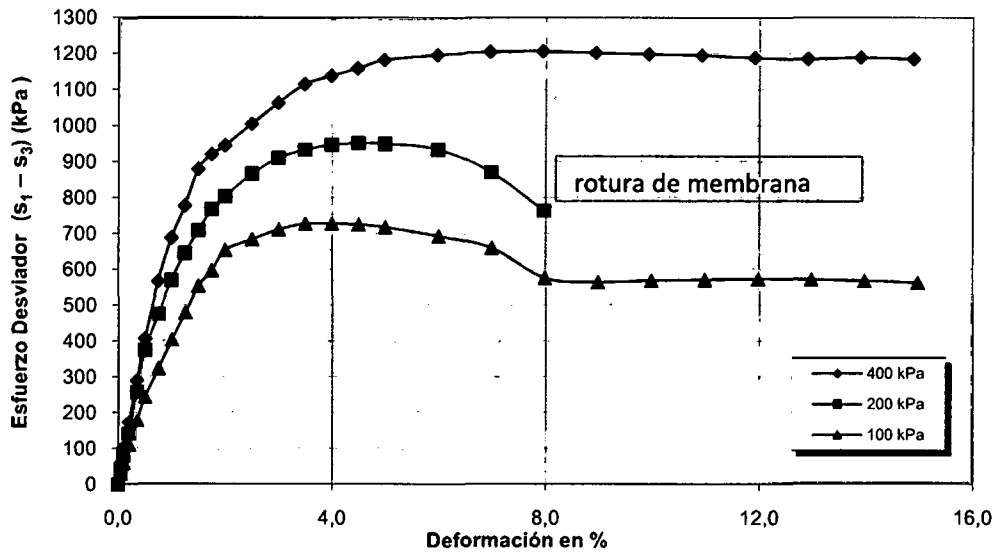
VP-043-10

ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL

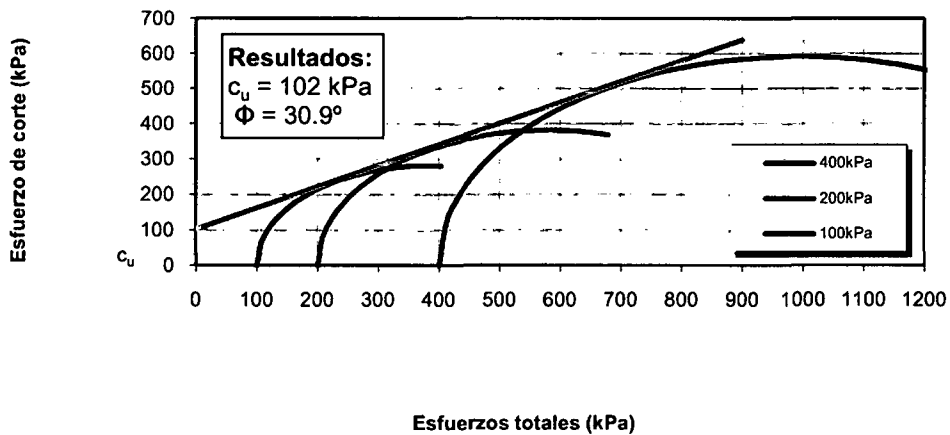
No Consolidado - No drenado (UU)
ASTM - D2850

Nombre del Proyecto	Evaluación de Estabilidad Depósito de Relaves Filtrados Pahuaypite 1		
Cliente			
Nº de Proyecto			Nº Informe de Lab
Ubicación			Solicitado por
Nº de muestra			Fecha 25-feb-10
Profundidad (m)	1.00 - 1.30		

ESFUERZO vs. DEFORMACIÓN



CÍRCULO DE MOHR



Realizado por: TBP Ingresado por: TOM Revisado por: CSM Laboratorio: VP-043-10

Nombre del Proyecto Evaluación de Estabilidad Depósito de Relaves Filtrados Pahuaypite 1

Cliente

Nº de Proyecto

Nº Informe de Lab

Ubicación

Solicitado por

Nº de muestra

Fecha

14-abr-10

Descripción 1.00 - 1.30

Estado : Inalterado

Clasificación: ML

Etapa de consolidación	Inicial	Final
Altura (cm)	14,73	14,62
Diámetro (cm)	7,03	6,95
Humedad (%)	4,47	7,16
Densidad seca (gr/cc)	3,123	3,359

Velocidad (pulg/min)	0,01
Parámetro "B"	0,93
Presión de celda kPa	676
Contra presión kPa	276
Esf. Efect. Inicial kPa	400

Deformación (%)	Esf. Desv. kPa	m kPa	s ₂ kPa	s ₁ kPa	p̄ kPa	q̄ kPa	q̄ / p̄	Oblicuidad (s ₁ /s ₂)
0,00	0,00	0,00	400,00	400,00	400,00	0,00	0,00	1,00
0,05	82,67	6,89	393,11	475,77	434,44	41,33	0,10	1,21
0,10	157,41	13,10	386,90	544,31	465,61	78,71	0,17	1,41
0,20	272,88	22,06	377,94	650,82	514,38	136,44	0,27	1,72
0,35	381,63	32,41	367,59	749,22	558,41	190,81	0,34	2,04
0,50	477,22	40,68	359,32	836,54	597,93	238,61	0,40	2,33
0,75	587,29	48,95	351,05	938,34	644,69	293,65	0,46	2,67
1,00	677,55	52,40	347,60	1025,15	686,38	338,78	0,49	2,95
1,25	746,99	51,71	348,29	1095,28	721,78	373,49	0,52	3,14
1,50	806,95	48,95	351,05	1158,00	754,52	403,47	0,53	3,30
1,75	862,22	44,13	355,87	1218,10	786,98	431,11	0,55	3,42
2,00	906,87	38,61	361,39	1268,26	814,82	453,43	0,56	3,51
2,50	991,79	24,82	375,18	1366,97	871,08	495,90	0,57	3,64
3,00	1064,78	9,65	390,35	1455,12	922,74	532,39	0,58	3,73
3,50	1123,05	-4,83	404,83	1527,87	966,35	561,52	0,58	3,77
4,00	1172,67	-18,62	418,62	1591,29	1004,95	586,34	0,58	3,80
4,50	1210,98	-31,03	431,03	1642,01	1036,52	605,49	0,58	3,81
5,00	1244,82	-42,75	442,75	1687,57	1065,16	622,41	0,58	3,81
6,00	1292,06	-62,05	462,05	1754,12	1108,08	646,03	0,58	3,80
7,00	1316,78	-77,91	477,91	1794,69	1136,30	658,39	0,58	3,76
8,00	1316,63	-88,25	488,25	1804,88	1146,57	658,31	0,57	3,70
9,00	1307,12	-93,08	493,08	1800,20	1146,64	653,56	0,57	3,65
10,00	1273,88	-95,84	495,84	1769,72	1132,78	636,94	0,56	3,57
11,00	1252,32	-94,46	494,46	1746,78	1120,62	626,16	0,56	3,53
12,00	1241,14	-93,77	493,77	1734,91	1114,34	620,57	0,56	3,51
13,00	1231,82	-92,39	492,39	1724,21	1108,30	615,91	0,56	3,50
14,00	1227,74	-91,70	491,70	1719,44	1105,57	613,87	0,56	3,50
15,00	1225,31	-91,01	491,01	1716,32	1103,67	612,66	0,56	3,50
16,00	1218,48	-91,01	491,01	1709,49	1100,25	609,24	0,55	3,48
17,00	1212,43	-91,01	491,01	1703,44	1097,23	606,21	0,55	3,47

Observaciones:

Los parámetros de resistencia cortante reportados podrían ser reinterpretados en caso ser considerado pertinente por un profesional competente en geotecnia.

Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante

Realizado por:

Ingresado por:

Revisado por:

Fecha:

TBP

JSCQ

CSM

14-abr-10

Estado : Inalterado

Clasificación: ML

Etapas de consolidación	Inicial	Final
Altura (cm)	14,75	14,67
Diámetro (cm)	7,08	7,03
Humedad (%)	4,30	7,75
Densidad seca (gr/cc)	3,068	3,264

Velocidad (pulg/min)	0,01
Parámetro "B"	0,93
Presión de celda kPa	476
Contra presión kPa	276
Esf. Efect. Inicial kPa	200

Deformación (%)	Esf. Desv. kPa	m kPa	s _s kPa	s ₁ kPa	p̄ kPa	q̄ kPa	q̄ / p̄	Oblicuidad (s ₁ /s _s)
0,00	0,00	0,00	200,00	200,00	200,00	0,00	0,00	1,00
0,05	56,15	5,52	194,48	250,64	222,56	28,08	0,13	1,29
0,10	106,06	10,34	189,66	295,72	242,69	53,03	0,22	1,56
0,20	181,71	19,99	180,01	361,71	270,86	90,85	0,34	2,01
0,35	226,45	25,51	174,49	400,94	287,71	113,23	0,39	2,30
0,50	280,07	30,34	169,66	449,73	309,70	140,04	0,45	2,65
0,75	348,44	31,72	168,28	516,72	342,50	174,22	0,51	3,07
1,00	397,51	28,96	171,04	568,55	369,80	198,75	0,54	3,32
1,25	442,70	23,44	176,56	619,25	397,91	221,35	0,56	3,51
1,50	483,14	16,55	183,45	666,59	425,02	241,57	0,57	3,63
1,75	516,94	9,65	190,35	707,29	448,82	258,47	0,58	3,72
2,00	550,57	2,07	197,93	748,50	473,22	275,29	0,58	3,78
2,50	603,77	-12,41	212,41	816,18	514,30	301,88	0,59	3,84
3,00	650,61	-25,51	225,51	876,12	550,82	325,30	0,59	3,89
3,50	686,64	-39,99	239,99	926,63	583,31	343,32	0,59	3,86
4,00	723,26	-51,71	251,71	974,97	613,34	361,63	0,59	3,87
4,50	749,82	-62,05	262,05	1011,88	636,97	374,91	0,59	3,86
5,00	771,06	-71,02	271,02	1042,08	656,55	385,53	0,59	3,85
6,00	802,93	-86,18	286,18	1089,11	687,65	401,46	0,58	3,81
7,00	822,96	-97,91	297,91	1120,87	709,39	411,48	0,58	3,76
8,00	836,05	-106,87	306,87	1142,92	724,90	418,03	0,58	3,72
9,00	835,00	-115,83	315,83	1150,83	733,33	417,50	0,57	3,64
10,00	839,86	-118,59	318,59	1158,45	738,52	419,93	0,57	3,64
11,00	841,55	-121,35	321,35	1162,89	742,12	420,77	0,57	3,62
12,00	840,77	-124,11	324,11	1164,87	744,49	420,38	0,56	3,59
13,00	839,89	-126,17	326,17	1166,07	746,12	419,95	0,56	3,57
14,00	832,61	-127,55	327,55	1160,16	743,86	416,30	0,56	3,54
15,00	825,94	-127,55	327,55	1153,50	740,53	412,97	0,56	3,52
16,00	820,56	-127,55	327,55	1148,11	737,83	410,28	0,56	3,51

Observaciones:

Los parámetros de resistencia cortante reportados podrían ser reinterpretados en caso ser considerado pertinente por un profesional competente en geotecnia.

Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante

Realizado por:

Ingresado por:

Revisado por:

Fecha:

TBP

JSCQ

CSM

14-abr-10

ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL

Consolidado - No drenado (CU)

ASTM - D4767

Nº de Proyecto

Nº Informe de Lab

Ubicación

Solicitado por

Nº de muestra

Fecha

14-abr-10

Descripción 1.00 - 1.30

Estado : Inalterado

Clasificación: ML

Etapas de consolidación	Inicial	Final
Altura (cm)	14,61	14,53
Diámetro (cm)	7,04	6,99
Humedad (%)	4,55	8,46
Densidad seca (gr/cc)	3,043	3,244

Velocidad (pulg/min)	0,01
Parámetro "B"	0,93
Presión de celda kPa	376
Contra presión kPa	276
Esf. Efect. Inicial kPa	100

Deformación (%)	Esf. Desv. kPa	m kPa	s ₃ kPa	s ₁ kPa	p kPa	q kPa	q / p	Oblicuidad (s ₁ /s ₃)
0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	100,00	0,00	0,00	1,00
0,05	43,90	6,21	93,79	137,70	115,75	21,95	0,19	1,47
0,10	80,59	8,96	91,04	171,62	131,33	40,29	0,31	1,89
0,20	102,95	11,72	88,28	191,22	139,75	51,47	0,37	2,17
0,35	127,04	12,41	87,59	214,63	151,11	63,52	0,42	2,45
0,50	160,30	12,41	87,59	247,89	167,74	80,15	0,48	2,83
0,75	199,23	11,03	88,97	288,20	188,59	99,62	0,53	3,24
1,00	246,24	6,89	93,11	339,34	216,22	123,12	0,57	3,64
1,25	276,86	3,45	96,55	373,41	234,98	138,43	0,59	3,87
1,50	304,81	0,00	100,00	404,81	252,41	152,41	0,60	4,05
1,75	330,91	-2,76	102,76	433,67	268,21	165,46	0,62	4,22
2,00	349,72	-5,52	105,52	455,24	280,38	174,86	0,62	4,31
2,50	373,82	-13,10	113,10	486,92	300,01	186,91	0,62	4,31
3,00	409,34	-33,09	133,09	542,43	337,76	204,67	0,61	4,08
3,50	434,63	-46,88	146,88	581,51	364,20	217,31	0,60	3,96
4,00	453,52	-62,05	162,05	615,57	388,81	226,76	0,58	3,80
4,50	472,96	-75,15	175,15	648,11	411,63	236,48	0,57	3,70
5,00	487,77	-81,36	181,36	669,13	425,24	243,88	0,57	3,69
6,00	514,88	-92,39	192,39	707,27	449,83	257,44	0,57	3,68
7,00	525,57	-97,91	197,91	723,48	460,69	262,79	0,57	3,66
8,00	545,73	-107,56	207,56	753,28	480,42	272,86	0,57	3,63
9,00	557,09	-113,07	213,07	770,17	491,62	278,55	0,57	3,61
10,00	566,62	-117,90	217,90	784,52	501,21	283,31	0,57	3,60
11,00	576,31	-122,04	222,04	798,35	510,19	288,15	0,56	3,60
12,00	583,81	-126,17	226,17	809,98	518,08	291,90	0,56	3,58
13,00	540,47	-129,62	229,62	770,09	499,86	270,23	0,54	3,35
14,00	597,85	-133,07	233,07	830,92	531,99	298,92	0,56	3,57
15,00	603,80	-136,52	236,52	840,32	538,42	301,90	0,56	3,55
16,00	610,04	-139,27	239,27	849,31	544,29	305,02	0,56	3,55
17,00	613,93	-142,72	242,72	856,66	549,69	306,97	0,56	3,53

Observaciones:

Los parámetros de resistencia cortante reportados podrían ser reinterpretados en caso ser considerado pertinente por un profesional competente en geotecnia.

Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante

Realizado por:

Ingresado por:

Revisado por:

Fecha:

TBP

JSCQ

CSM

14-abr-10

ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL

Consolidado - No drenado (CU)

ASTM - D4767

Nº de Proyecto

Nº Informe de Lab

Ubicación

Solicitado por

Nº de muestra

Fecha

14-abr-10

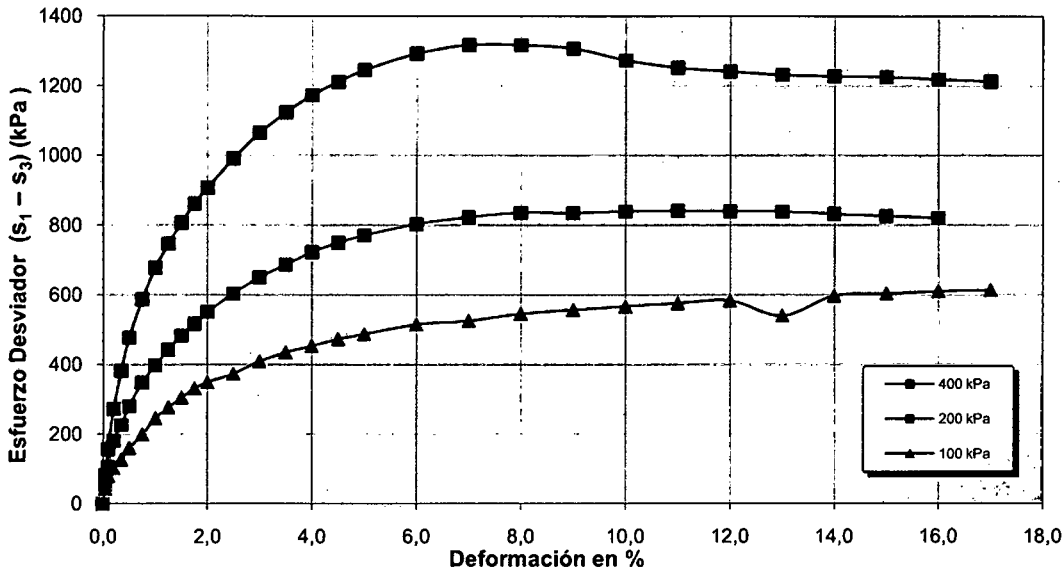
Descripción

1.00 - 1.30

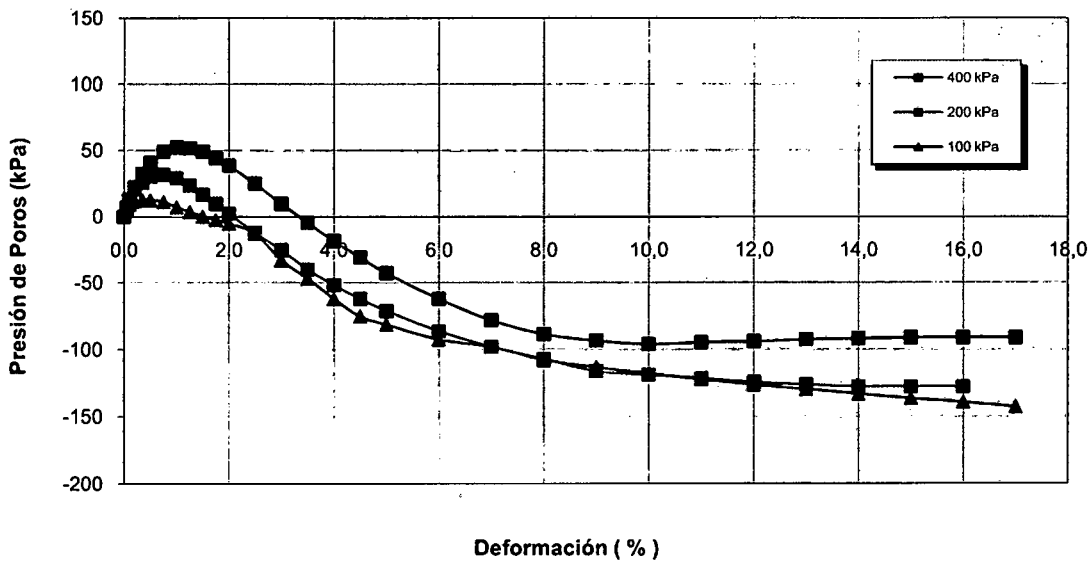
Estado : Inalterado

Clasificación : ML

ESFUERZO vs. DEFORMACIÓN



PRESIÓN DE POROS vs. DEFORMACIÓN



Realizado por:

Ingresado por:

Revisado por:

Fecha:

TBP

JSCQ

CSM

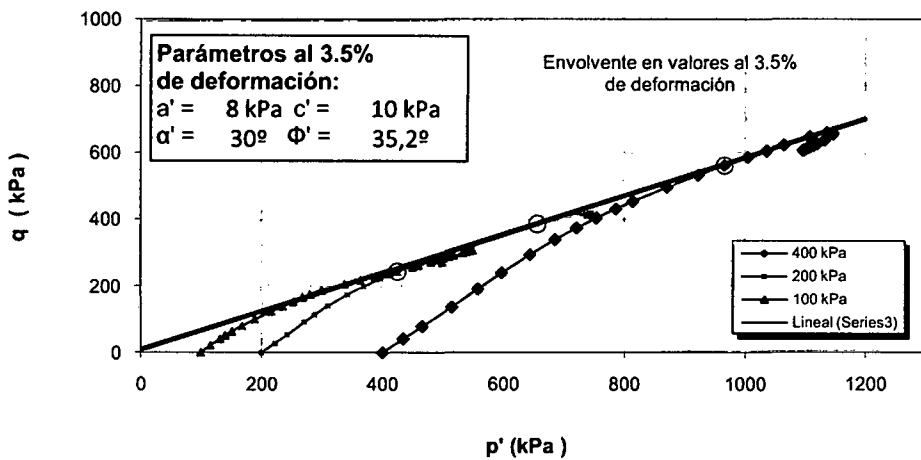
14-abr-10

Nº de Proyecto	Nº Informe de Lab
Ubicación	Solicitado por
Nº de muestra	Fecha
Descripción	1.00 - 1.30
	14-abr-10

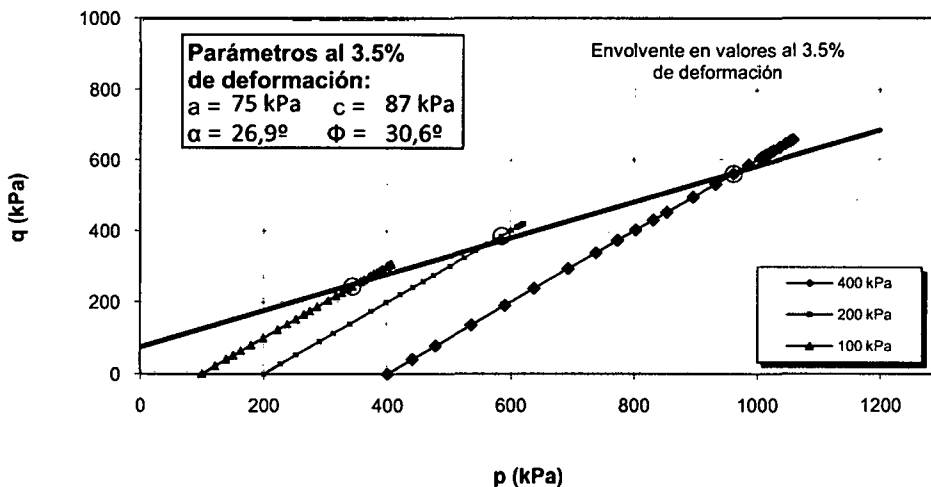
Estado : Inalterado

Clasificación : ML

TRAYECTORIA DE ESFUERZOS



p vs. q



Observaciones:

Los parámetros de resistencia cortante reportados podrían ser reinterpretados en caso ser considerado pertinente por un profesional competente en geotecnia.

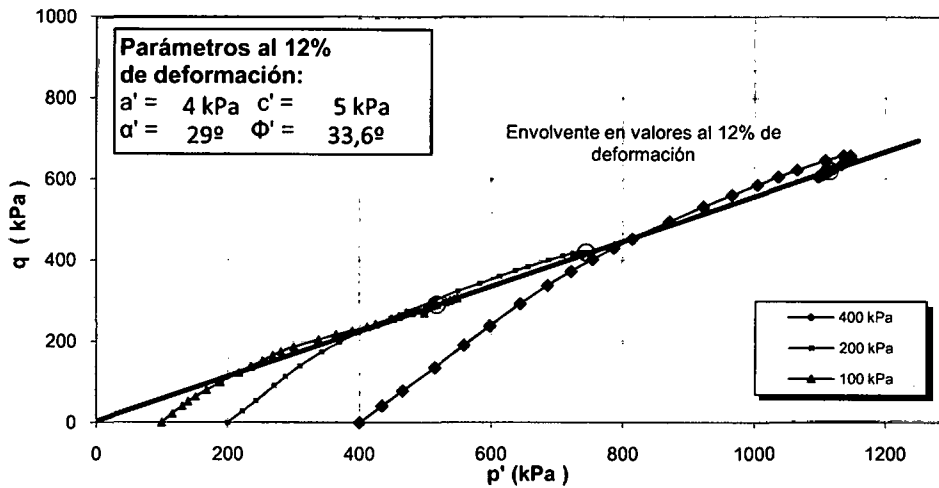
Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante

Realizado por:	Ingresado por:	Revisado por:	Fecha:
TBP	JSCQ	CSM	14-abr-10

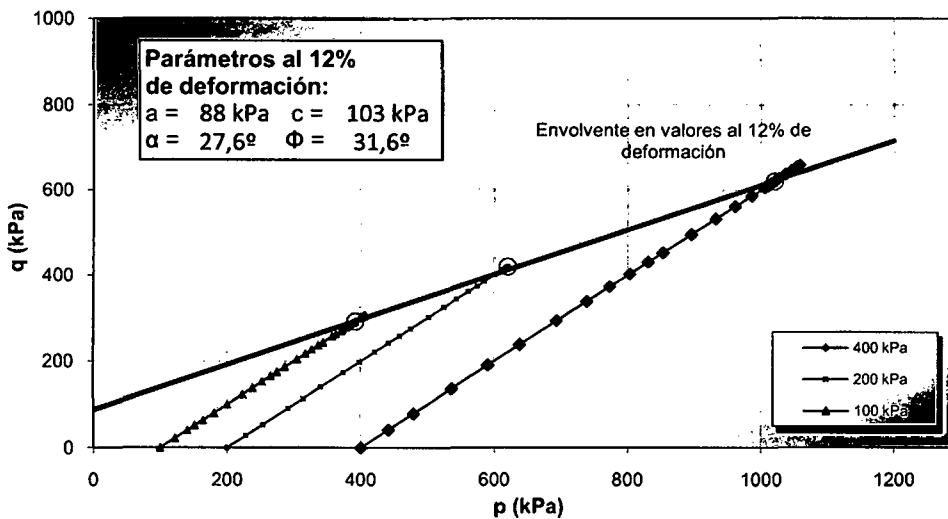
Estado : Inalterado

Clasificación : ML

TRAYECTORIA DE ESFUERZOS



p vs. q



Observaciones:

Los parámetros de resistencia cortante reportados podrían ser reinterpretados en caso ser considerado pertinente por un profesional competente en geotecnia.

Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante

Realizado por:

Ingresado por:

Revisado por:

Fecha:

TBP

JSCQ

CSM

14-abr-10

ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL

Consolidado - No drenado (CU)

ASTM - D4767

Nº de Proyecto	Nº Informe de Lab
Ubicación	Solicitado por
Nº de mues	Fecha
Descripción	14-abr-10

Estado : Inalterado

Clasificación : ML

PANEL FOTOGRAFICO



Observaciones:

Los parámetros de resistencia cortante reportados podrían ser reinterpretados en caso ser considerado pertinente por un profesional competente en geotecnia.

Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante

Realizado por:	Ingresado por:	Revisado por:	Fecha:
TBP	JSCQ	CSM	14-abr-10

Nombre del Proyecto: **Evaluación de Estabilidad Depósito de Relaves Filtrados Pahuaypite 1**
 Cliente:
 N° de Proyecto: N° Informe Lab :
 Ubicación: Solicitado por:
 N° de muestra / Prof. (m): **1.10-1.40** Fecha: **11-mar-10**
 Descripción / Zona: ---

Partículas >3" (%): ---

Grava (%): -

Arena (%): 51,7

Limos y Arcillas (%): 48,3

Límites de Atterberg:

LL (%):

LP (%):

IP (%):

Cont. Humedad del Triaxial UU

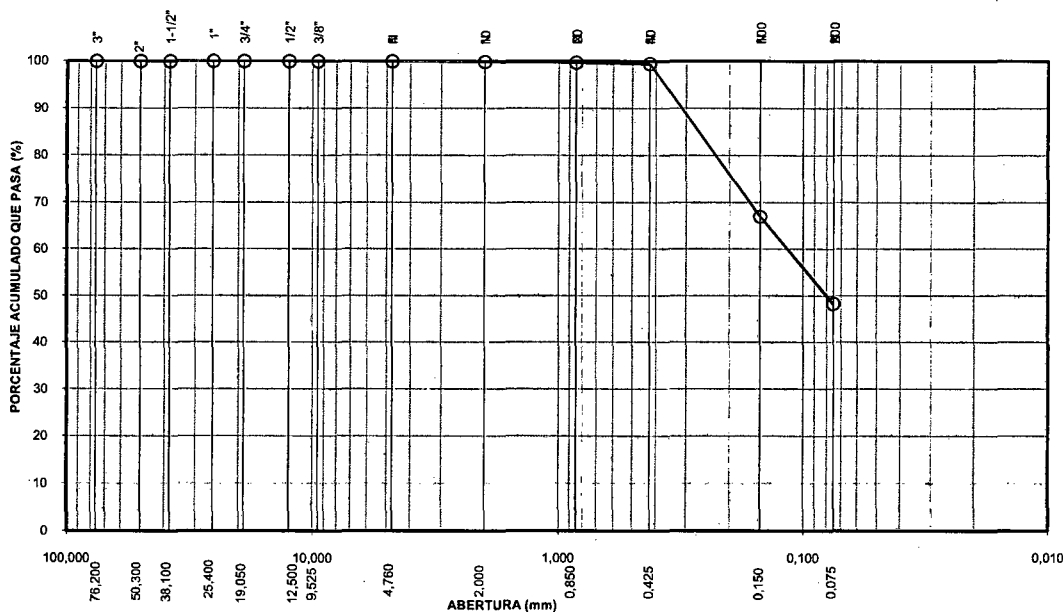
Clasificación SUCS: **SM**

Arena limosa

D10: 0,11
 D30:
 D60:
 Cu:
 Cc:

Tamiz	Abertura (mm)	% Acumulado que pasa
3"	76,200	100,0
2"	50,300	100,0
1 1/2"	38,100	100,0
1"	25,400	100,0
3/4"	19,050	100,0
1/2"	12,500	100,0
3/8"	9,525	100,0
N	4,760	100,0
ND	2,000	99,9
FD	0,850	99,7
FD	0,425	99,5
ND	0,150	67,1
FD	0,075	48,3

CURVA GRANULOMÉTRICA



Notas: Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante

Estos datos se aplican solo a las muestras indicadas. Los datos e información contenidos en esta hoja no pueden ser utilizados sin la autorización de Vector Perú S.A.C. Con la aceptación de los datos y resultados presentados en esta página, el Cliente está de acuerdo en limitar la responsabilidad de Vector Perú S.A.C. de cualquier reclamo que provenga del Cliente y otras partes por el uso de estos datos al costo de los ensayos respectivos representados aquí.

Realizado por: **DC / FF** Ingresado por: **SCQ** Revisado por: **CSM** Laboratorio: **VP-057-10**

ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL

No Consolidado - No drenado (UU)
ASTM - D2850

Nombre del Proyecto: Evaluación de Estabilidad Depósito de Relaves Filtrados Pahuaypite 1

Cliente:

Nº de Proyecto:

Nº Informe de Lab:

Ubicación:

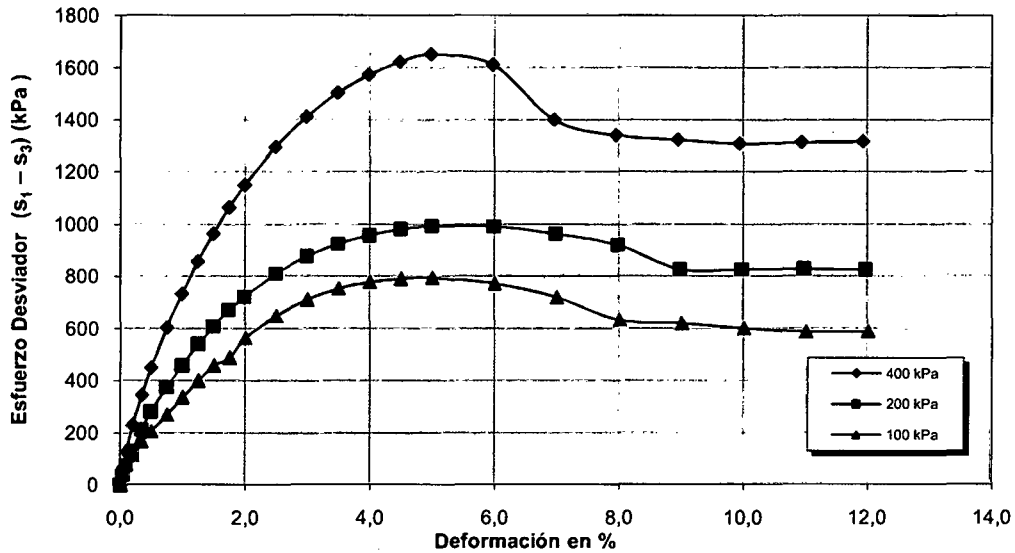
Solicitado por:

Nº de muestra:

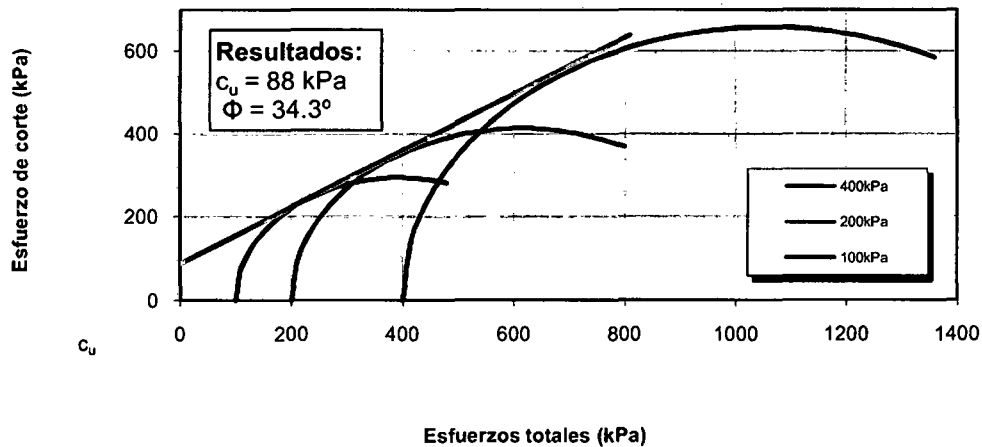
Fecha: 12-mar-10

Profundidad (m): 1.10 - 1.40

ESFUERZO vs. DEFORMACIÓN



CÍRCULO DE MOHR



Realizado por:

TBP

Ingresado por:

TOM

Revisado por:

CSM

Laboratorio:

VP-057-10

ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL

Consolidado - No drenado (CU)

ASTM - D4767

Nº de Proyecto

Nº Informe de Lab

Ubicación

Solicitado por

Nº de muestra

Fecha

09-abr-10

Descripción 1.10-1.40

Estado : Inalterado

Clasificación: SM

Etapas de consolidación	Inicial	Final
Altura (cm)	14,77	14,68
Diámetro (cm)	7,09	7,07
Humedad (%)	4,79	7,14
Densidad seca (gr/cc)	3,270	3,469

Velocidad (pulg/min)	0,01
Parámetro "B"	0,97
Presión de celda kPa	676
Contra presión kPa	276
Esf. Efect. Inicial kPa	400

Deformación (%)	Esf. Desv. kPa	m kPa	s ₃ kPa	s ₁ kPa	p̄ kPa	q̄ kPa	q̄ / p̄	Oblicuidad (s ₁ /s ₃)
0,00	0,00	0,00	400,00	400,00	400,00	0,00	0,00	1,00
0,05	103,12	6,21	393,79	496,91	445,35	51,56	0,12	1,26
0,10	172,15	11,72	388,28	560,43	474,35	86,08	0,18	1,44
0,20	282,86	20,68	379,32	662,18	520,75	141,43	0,27	1,75
0,35	388,52	30,34	369,66	758,18	563,92	194,26	0,34	2,05
0,50	480,09	35,85	364,15	844,24	604,19	240,05	0,40	2,32
0,75	585,33	39,30	360,70	946,03	653,37	292,67	0,45	2,62
1,00	691,38	36,54	363,46	1054,84	709,15	345,69	0,49	2,90
1,25	787,04	29,65	370,35	1157,39	763,87	393,52	0,52	3,13
1,50	884,88	19,31	380,69	1265,57	823,13	442,44	0,54	3,32
1,75	977,98	6,21	393,79	1371,77	882,78	488,99	0,55	3,48
2,00	1059,04	-6,89	406,89	1465,93	936,41	529,52	0,57	3,60
2,50	1234,25	-38,61	438,61	1672,86	1055,74	617,13	0,58	3,81
3,00	1346,69	-62,74	462,74	1809,43	1136,09	673,35	0,59	3,91
3,50	1437,56	-83,43	483,43	1920,98	1202,20	718,78	0,60	3,97
4,00	1495,41	-97,91	497,91	1993,32	1245,61	747,70	0,60	4,00
4,50	1600,22	-126,17	526,17	2126,40	1326,28	800,11	0,60	4,04
5,00	1650,65	-142,03	542,03	2192,68	1367,36	825,32	0,60	4,05
6,00	1706,81	-166,85	566,85	2273,66	1420,26	853,40	0,60	4,01
7,00	1694,36	-187,54	587,54	2281,90	1434,72	847,18	0,59	3,88
8,00	1659,02	-197,88	597,88	2256,90	1427,39	829,51	0,58	3,77
9,00	1624,89	-202,02	602,02	2226,91	1414,46	812,45	0,57	3,70
10,00	1588,67	-206,84	606,84	2195,51	1401,18	794,33	0,57	3,62
11,00	1550,84	-208,91	608,91	2159,75	1384,33	775,42	0,56	3,55
12,00	1544,39	-210,29	610,29	2154,68	1382,48	772,19	0,56	3,53
13,00	1532,75	-211,67	611,67	2144,42	1378,05	766,38	0,56	3,51
14,00	1519,04	-212,36	612,36	2131,39	1371,88	759,52	0,55	3,48
15,00	1506,19	-213,74	613,74	2119,93	1366,83	753,10	0,55	3,45

Observaciones:

Los parámetros de resistencia cortante reportados podrían ser reinterpretados en caso ser considerado pertinente por un profesional competente en geotecnia.

Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante

Realizado por:

Ingresado por:

Revisado por:

Fecha:

TBP

TOM

CSM

09-abr-10

Nº de Proyecto

Nº Informe de Lab

Ubicación

Solicitado por

Nº de muestra

Fecha

09-abr-10

Descripción 1.10-1.40

Estado : Inalterado

Clasificación: SM

Etapa de consolidación	Inicial	Final
Altura (cm)	14,71	14,63
Diámetro (cm)	7,08	7,06
Humedad (%)	4,73	6,97
Densidad seca (gr/cc)	3,293	3,487

Velocidad (pulg/min)	0,01
Parámetro "B"	0,97
Presión de celda kPa	476
Contra presión kPa	276
Esf. Efect. Inicial kPa	200

Deformación (%)	Esf. Desv. kPa	m kPa	s _a kPa	s ₁ kPa	p̄ kPa	q̄ kPa	q̄ / p̄	Oblicuidad (s ₁ /s _a)
0,00	0,00	0,00	200,00	200,00	200,00	0,00	0,00	1,00
0,05	56,78	5,52	194,48	251,27	222,87	28,39	0,13	1,29
0,10	104,99	9,65	190,35	295,34	242,84	52,50	0,22	1,55
0,20	184,60	17,24	182,76	367,36	275,06	92,30	0,34	2,01
0,35	244,10	17,93	182,07	426,18	304,13	122,05	0,40	2,34
0,50	301,62	17,93	182,07	483,69	332,88	150,81	0,45	2,66
0,75	394,57	15,17	184,83	579,40	382,12	197,28	0,52	3,13
1,00	471,19	6,21	193,79	664,98	429,39	235,59	0,55	3,43
1,25	548,54	-5,52	205,52	754,05	479,78	274,27	0,57	3,67
1,50	642,28	-22,75	222,75	865,03	543,89	321,14	0,59	3,88
1,75	720,01	-37,92	237,92	957,94	597,93	360,01	0,60	4,03
2,00	792,67	-53,78	253,78	1046,45	650,12	396,34	0,61	4,12
2,50	928,10	-84,12	284,12	1212,21	748,17	464,05	0,62	4,27
3,00	1039,06	-111,01	311,01	1350,07	830,54	519,53	0,63	4,34
3,50	1127,56	-133,07	333,07	1460,63	896,85	563,78	0,63	4,39
4,00	1200,03	-153,06	353,06	1553,09	953,08	600,01	0,63	4,40
4,50	1247,49	-168,23	368,23	1615,72	991,98	623,74	0,63	4,39
5,00	1287,91	-182,71	382,71	1670,62	1026,67	643,96	0,63	4,37
6,00	1334,06	-205,46	405,46	1739,52	1072,49	667,03	0,62	4,29
7,00	1340,89	-222,01	422,01	1762,90	1092,46	670,45	0,61	4,18
8,00	1232,50	-231,66	431,66	1664,17	1047,91	616,25	0,59	3,86
9,00	1142,49	-231,66	431,66	1574,15	1002,91	571,25	0,57	3,65
10,00	1130,14	-230,97	430,97	1561,11	996,04	565,07	0,57	3,62
11,00	1129,31	-230,97	430,97	1560,29	995,63	564,66	0,57	3,62
12,00	1127,72	-230,28	430,28	1558,01	994,15	563,86	0,57	3,62
13,00	1129,24	-230,28	430,28	1559,53	994,91	564,62	0,57	3,62
14,00	1132,09	-230,28	430,28	1562,38	996,33	566,05	0,57	3,63
15,00	1136,50	-230,28	430,28	1566,79	998,54	568,25	0,57	3,64

Observaciones:

Los parámetros de resistencia cortante reportados podrían ser reinterpretados en caso ser considerado pertinente por un profesional competente en geotecnia.

Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante

Realizado por:

Ingresado por:

Revisado por:

Fecha:

TBP

TOM

CSM

09-abr-10

ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL

Consolidado - No drenado (CU)

ASTM - D4767

Nº de Proyecto

Nº Informe de Lab

Ubicación

Solicitado por

Nº de muestra

Fecha

09-abr-10

Descripción 1.10-1.40

Estado : Inalterado

Clasificación: SM

Etapa de consolidación	Inicial	Final
Altura (cm)	14,73	14,68
Diámetro (cm)	7,07	7,06
Humedad (%)	4,76	7,37
Densidad seca (gr/cc)	3,270	3,452

Velocidad (pulg/min)	0,01
Parámetro "B"	0,97
Presión de celda kPa	376
Contra presión kPa	276
Esf. Efect. Inicial kPa	100

Deformación (%)	Esf. Desv. kPa	m kPa	\bar{s}_3 kPa	\bar{s}_1 kPa	\bar{p} kPa	\bar{q} kPa	\bar{q} / \bar{p}	Oblicuidad (s1/s3)
0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	100,00	0,00	0,00	1,00
0,05	47,65	6,21	93,79	141,45	117,62	23,83	0,20	1,51
0,10	72,41	11,72	88,28	160,69	124,48	36,20	0,29	1,82
0,20	102,20	15,17	84,83	187,03	135,93	51,10	0,38	2,20
0,35	137,76	16,55	83,45	221,21	152,33	68,88	0,45	2,65
0,50	167,10	15,17	84,83	251,93	168,38	83,55	0,50	2,97
0,75	198,75	11,03	88,97	287,72	188,35	99,38	0,53	3,23
1,00	305,94	-5,52	105,52	411,46	258,49	152,97	0,59	3,90
1,25	361,35	-17,93	117,93	479,28	298,60	180,67	0,61	4,06
1,50	415,35	-29,65	129,65	545,00	337,32	207,68	0,62	4,20
1,75	481,04	-44,82	144,82	625,85	385,33	240,52	0,62	4,32
2,00	585,02	-71,02	171,02	756,04	463,53	292,51	0,63	4,42
2,50	686,70	-97,22	197,22	883,92	540,57	343,35	0,64	4,48
3,00	722,81	-106,87	206,87	929,67	568,27	361,40	0,64	4,49
3,50	832,28	-137,21	237,21	1069,49	653,35	416,14	0,64	4,51
4,00	891,11	-156,51	256,51	1147,62	702,06	445,55	0,63	4,47
4,50	921,89	-168,92	268,92	1190,81	729,87	460,94	0,63	4,43
5,00	941,98	-184,09	284,09	1226,07	755,08	470,99	0,62	4,32
6,00	956,72	-199,26	299,26	1255,97	777,62	478,36	0,62	4,20
7,00	946,01	-206,15	306,15	1252,16	779,16	473,00	0,61	4,09
8,00	914,90	-210,98	310,98	1225,88	768,43	457,45	0,60	3,94
9,00	901,02	-210,98	310,98	1212,00	761,49	450,51	0,59	3,90
10,00	891,73	-211,67	311,67	1203,40	757,54	445,87	0,59	3,86
11,00	888,10	-212,36	312,36	1200,46	756,41	444,05	0,59	3,84
12,00	886,14	-213,05	313,05	1199,18	756,12	443,07	0,59	3,83
13,00	880,03	-213,74	313,74	1193,76	753,75	440,01	0,58	3,80
14,00	871,48	-213,74	313,74	1185,21	749,48	435,74	0,58	3,78
15,00	875,37	-214,43	314,43	1189,79	752,11	437,68	0,58	3,78

Observaciones:

Los parámetros de resistencia cortante reportados podrían ser reinterpretados en caso ser considerado pertinente por un profesional competente en geotecnia.

Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante

Realizado por:

Ingresado por:

Revisado por:

Fecha:

TBP

TOM

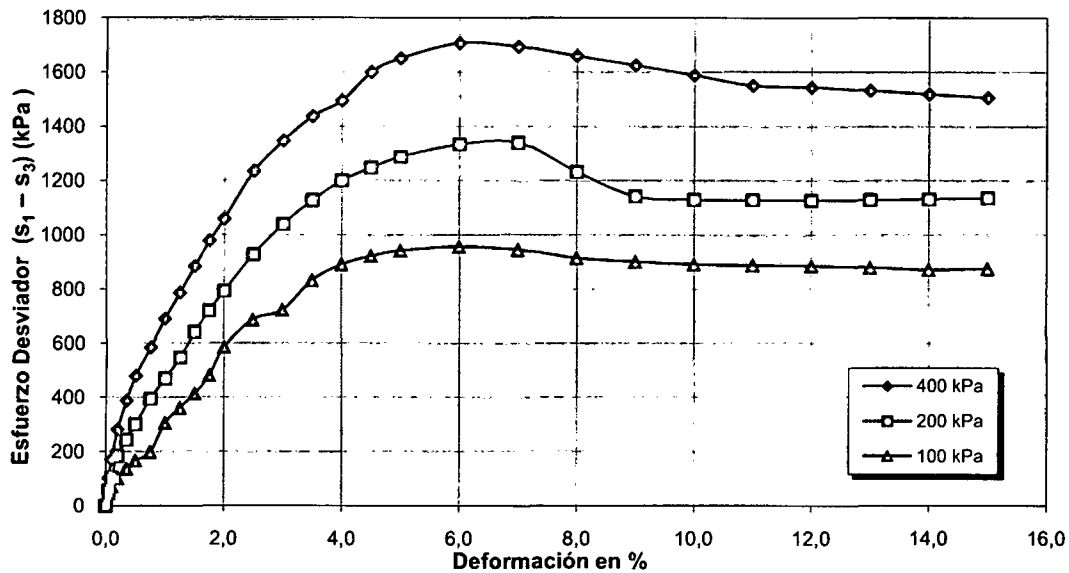
CSM

09-abr-10

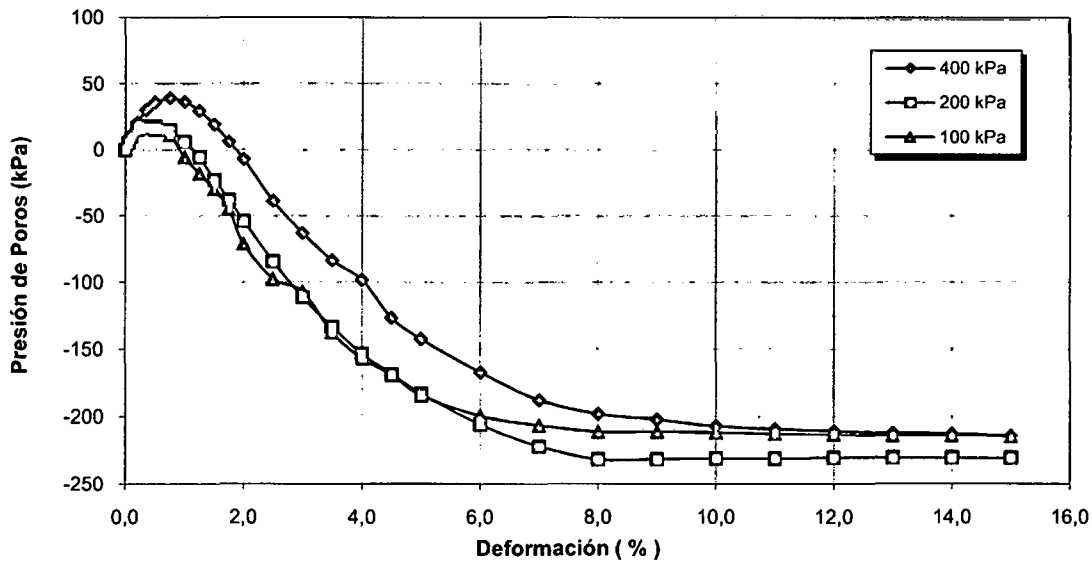
Estado : Inalterado

Clasificación : SM

ESFUERZO vs. DEFORMACIÓN



PRESIÓN DE POROS vs. DEFORMACIÓN



Realizado por:

TBP

Ingresado por:

TOM

Revisado por:

CSM

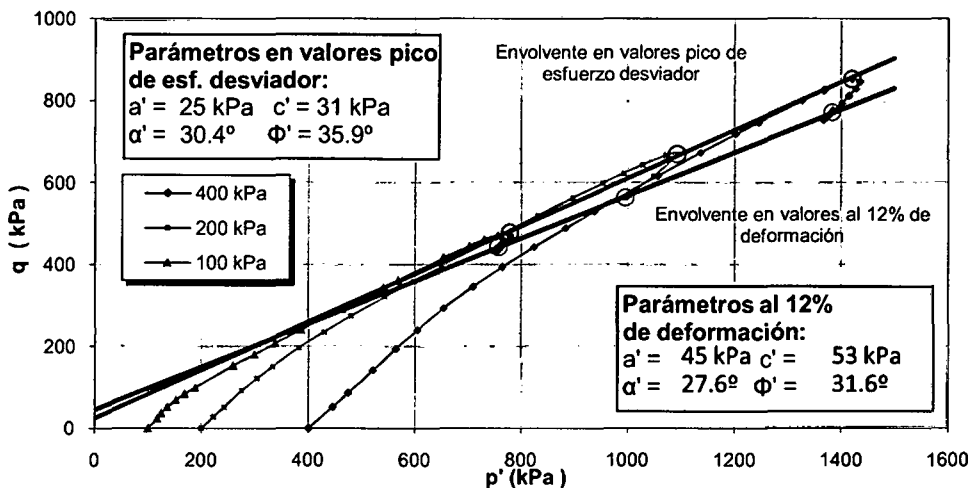
Fecha:

09-abr-10

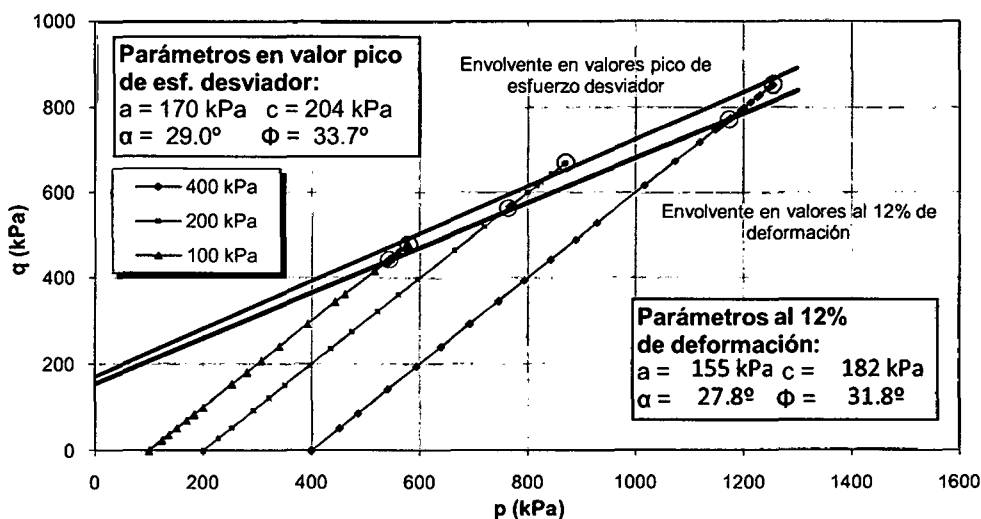
Estado : Inalterado

Clasificación : SM

TRAYECTORIA DE ESFUERZOS



p vs. q



Observaciones:

Los parámetros de resistencia cortante reportados podrían ser reinterpretados en caso ser considerado pertinente por un profesional competente en geotecnia.

Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante

Realizado por:

Ingresado por:

Revisado por:

Fecha:

TBP

TOM

CSM

09-abr-10

ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL

Consolidado - No drenado (CU)

ASTM - D4767

Nº de Proyecto	Nº Informe de Lab
Ubicación	Solicitado por
Nº de muestra	Fecha
Descripción	1.10-1.40

Estado : Inalterado

Clasificación : SM

PANEL FOTOGRAFICO



Observaciones:

Los parámetros de resistencia cortante reportados podrían ser reinterpretados en caso ser considerado pertinente por un profesional competente en geotecnia.

Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante

Realizado por:	Ingresado por:	Revisado por:	Fecha:
TBP	TOM	CSM	09-abr-10

Nombre del Proyecto: **Evaluación de Estabilidad Depósito de Relaves Filtrados Pahuaypite 1**

Cliente

N° de Proyecto:

N° Informe Lab :

Ubicación:

Solicitado por:

N° de muestra / Prof. (m):

M-1 / 0.80-2.00

Fecha:

16-mar-10

Descripción / Zona: ---

MATERIAL RETENIDO EN LA MALLA N° 4

% Retenido en la Malla N° 4		P ₁		0,0	
N° de Prueba		1	2		
1) Peso de grava en agua S.S.S. en aire (gr)					
2) Peso de grava en agua S.S.S. en agua (gr)					
3) Peso de grava seca (gr)					Promedio
4) Gravedad Especifica de Solidos Aparente	(3) / [(3)-(2)]	G _{s1}			
5) Gravedad Especifica de Solidos Seca	(3) / [(1)-(2)]				
6) Gravedad Especifica de Solidos S.S.S.	(1) / [(1)-(2)]				
7) Absorción (%)	[(1)-(3)] / (3) * 100				

MATERIAL PASA LA MALLA N° 4

% Pasa la Malla N° 4		P ₂		100,0	
1) N° de Fiola		1	2		
2) Peso de Fiola (gr)		157,6	179,5		
3) Peso de Muestra Seca (gr)		100,0	100,0		
4) Peso de Muestra Seca + Fiola (gr)		257,6	279,5		
5) Peso de Muestra Seca + Fiola + Agua (gr)		732,7	754,8		
6) Peso de Fiola + Peso de agua		655,8	677,8		
7) Gravedad Especifica de Sólidos	(3)/[(3)+(6)-(5)]	G _{s2}	4,33	4,35	
8) Temperatura (°C)		25	25		
9) Corrección por Temperatura (K)		0,9988	0,9988		
10) Gravedad Especifica de Sólidos Corregido	(7)*(9)	G _{s2 (20°C)}	4,33		

$$G_{s_{prom}} = \frac{1}{\frac{P_1}{100 \times G_{s_1}} + \frac{P_2}{100 \times G_{s_2 (20^\circ C)}}}$$

$$G_{s_{prom}} = 4,33$$

Nota:

El Gprom reportado está dado en función al Peso Especifico de Solidos Aparente.
 Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante

Estos datos se aplican solo a las muestras indicadas. Los datos e información contenidos en esta hoja no pueden ser utilizados sin la autorización de Vector Perú S.A.C. Con la aceptación de los datos y resultados presentados en esta página, el Cliente está de acuerdo en limitar la responsabilidad de Vector Perú S.A.C. de cualquier reclamo que provenga del Cliente y otras partes por el uso de estos datos al costo de los ensayos respectivos representados aquí.

Realizado por:

JET

Ingresado por:

JSCQ

Revisado por:

CSM

Laboratorio:

VP-057-10

PESO VOLUMETRICO

Nombre del Proyecto: **Evaluación de Estabilidad Depósito de Relaves Filtrados Pahuaypite 1**

Cliente

N° de Proyecto:

N° Informe de Lab :

Ubicación:

- Solicitado por:

N° de muestra:

Fecha: 16-mar-10

Profundidad: 0.80-2.00

N° de Prueba	1	2	2
1) Peso de Muestra humeda (gr)	519,7	731,9	807,8
2) Peso de Muestra humeda + Parafina en aire (gr)	538,6	760,6	838,2
3) Peso de Muestra humeda + Parafina en agua (gr)	355,8	503,9	552,1
4) Volumen Muestra con parafina (2) - (3) (cm³)	182,8	256,7	286,1
5) Peso de la parafina (2) - (1) (gr)	18,9	28,7	30,4
6) Densidad de la parafina (gr/cm³)	0,87		
7) Volumen de la parafina (5) / (6) (cm³)	21,7	33,0	34,9
8) Volumen de la muestra (4) - (7) (cm³)	161,1	223,7	251,2
9) Densidad de la muestra humeda (1) / (8)	3,23	3,27	3,22
10) Contenido de Humedad (%)	4,3	4,3	4,3
11) Densidad de la muestra seca (9)/((10)/100))	3,09	3,14	3,08
Densidad natural promedio (gr/cm³)	3,25		
Densidad seca promedio (gr/cm³)	3,115		

Humedad promedio (%)	4,3
-----------------------------	------------

Observaciones:

Notas: Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante

Estos datos se aplican solo a las muestras indicadas. Los datos e información contenidos en esta hoja no pueden ser utilizados sin la autorización de Vector Perú S.A.C. Con la aceptación de los datos y resultados presentados en esta página, el Cliente está de acuerdo en limitar la responsabilidad de Vector Perú S.A.C. de cualquier reclamo que provenga del Cliente y otras partes por el uso de estos datos al costo de los ensayos respectivos representados aquí.

Realizado por:

DC

Ingresado por:

JSCQ

Revisado por:

CSM

Laboratorio:

VP-057-10

Nombre del Proyecto	Evaluación de Estabilidad Depósito de Relaves Filtrados Pahuaypite 1		
Cliente			
N° de Proyecto:		N° Informe Lab :	
Ubicación:		Solicitado por:	
N° de muestra / Prof. (m):		Fecha:	19-abr-10
Descripción / Zona:	---		

Estado de la muestra: Inalterada
Clasificación SUCS: SM
Confinamiento efectivo: 80 PSI

Datos del Ensayo

Diámetro (cm)	7,03	Densidad inicial seca(gr/cm ³)	3,29	Densidad final seca(gr/cm ³)	3,21
Altura (cm)	14,64	Humedad Inicial (%)	4,8	Humedad final (%)	7,0
Gravedad de Sólidos	4,43	Saturación inicial (%)	61	Saturación final (%)	82

Calculo del Parámetro B

Presión de Poros PSI	Presión de Celda PSI	B
31,6	31,6	0,93
34,4	34,6	

Medición del Coeficiente de Permeabilidad

N°	Gradiente (Δh/l)	Vol (V) (cm ³)	Caudal (Q) (cm ³ /s)	Perm. (K _T) (cm/s)	T °C	KT20°C (cm/s)
1	9,78	0,70	7,8E-04	2,0E-06	22,0	1,9E-06
2	9,66	0,85	9,4E-04	2,5E-06	22,0	2,3E-06
3	9,59	0,55	6,1E-04	1,6E-06	22,0	1,5E-06
4	9,49	0,70	7,8E-04	2,0E-06	22,0	1,9E-06
5	9,39	0,70	7,8E-04	2,0E-06	22,0	1,9E-06
6	9,29	0,80	8,9E-04	2,3E-06	22,0	2,2E-06
7	9,19	0,70	7,8E-04	2,0E-06	22,0	1,9E-06
Promedio	9,48			2,1E-06	22,0	2,0E-06

Notas 1) Ensayo de carga constante.

2) Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante

Estos datos se aplican solo a las muestras indicadas. Los datos e información contenidos en esta hoja no pueden ser utilizados sin la autorización de Vector Perú S.A.C. Con la aceptación de los datos y resultados presentados en esta página, el Cliente está de acuerdo en limitar la responsabilidad de Vector Perú S.A.C. de cualquier reclamo que provenga del Cliente y otras partes por el uso de estos datos al costo de los ensayos respectivos representados aquí.

Realizado por: TBP Ingresado por: TOM Revisado por: CSM Laboratorio: VP-057-10

ANEXO 2
Planos

ANEXO 2.1
Caso 1

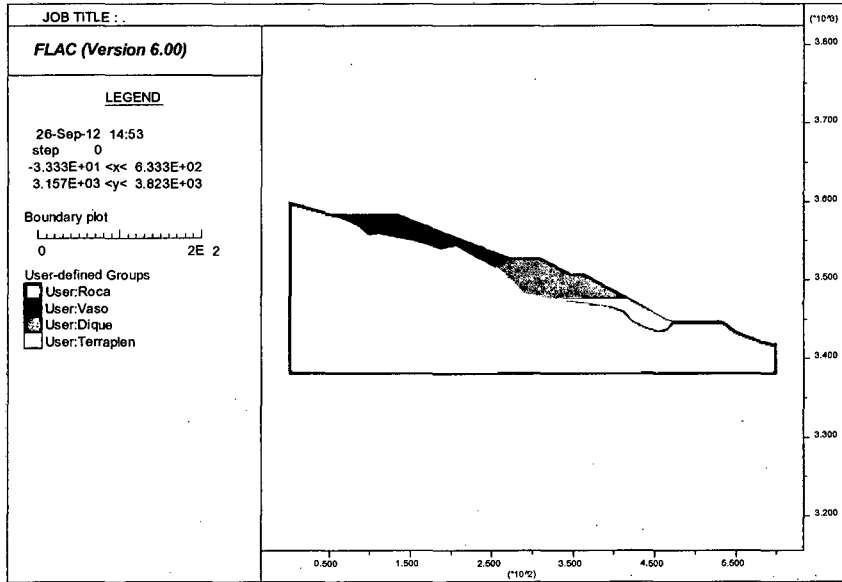
ANEXO 2.2
Caso 2

ANEXO 3
Análisis de estabilidad

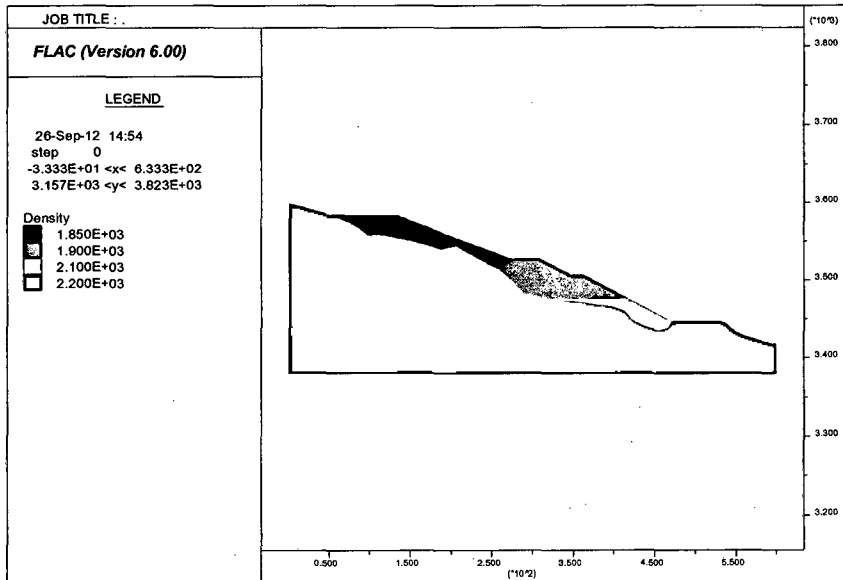
ANEXO 3.1
Caso 1

ANALISIS SECCION A-A – PRIMERA ETAPA

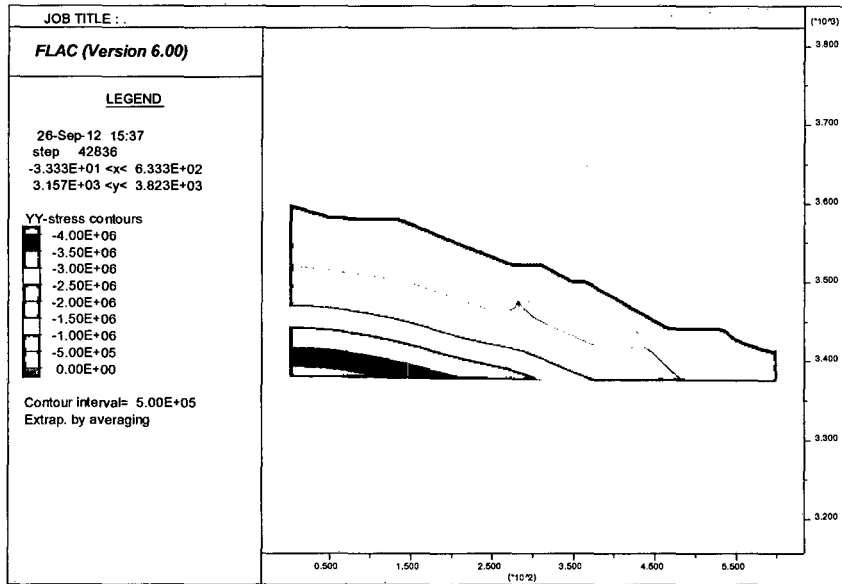
Modelo Geotecnico



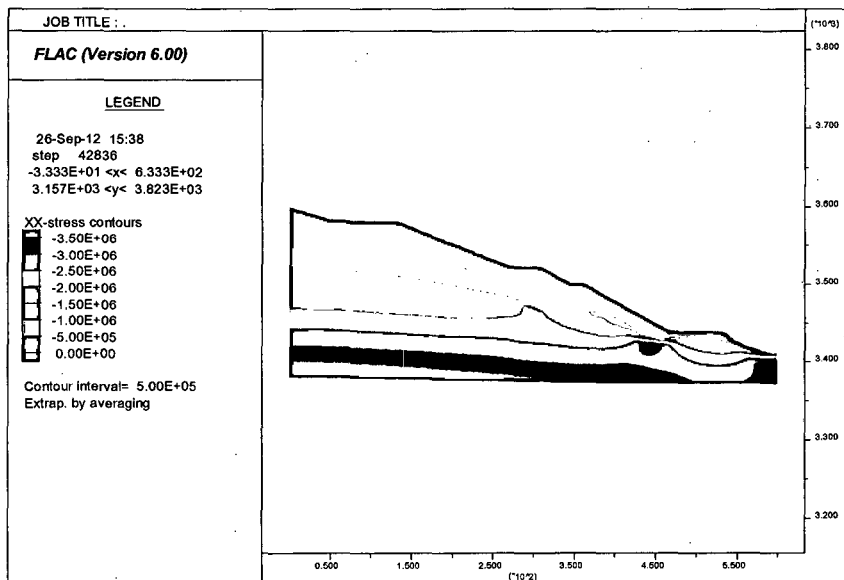
Densidad de los Materiales



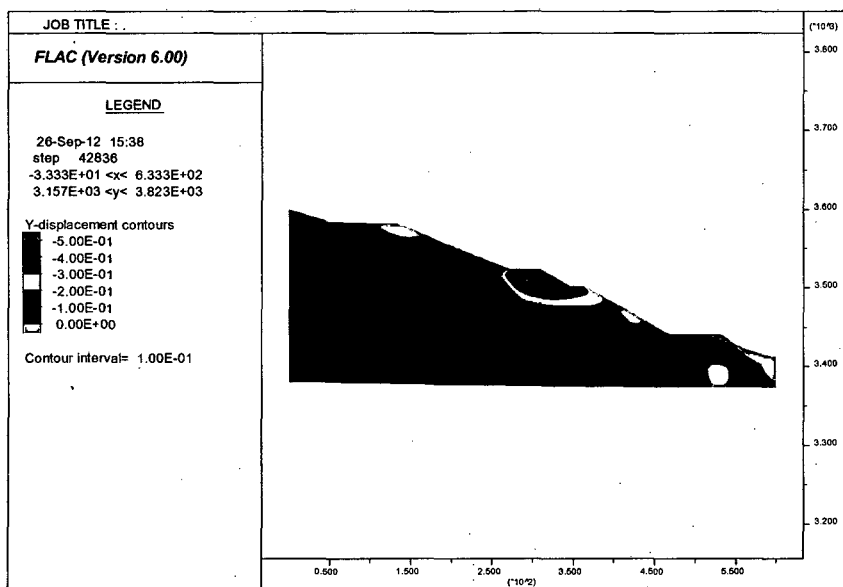
Esfuerzos YY



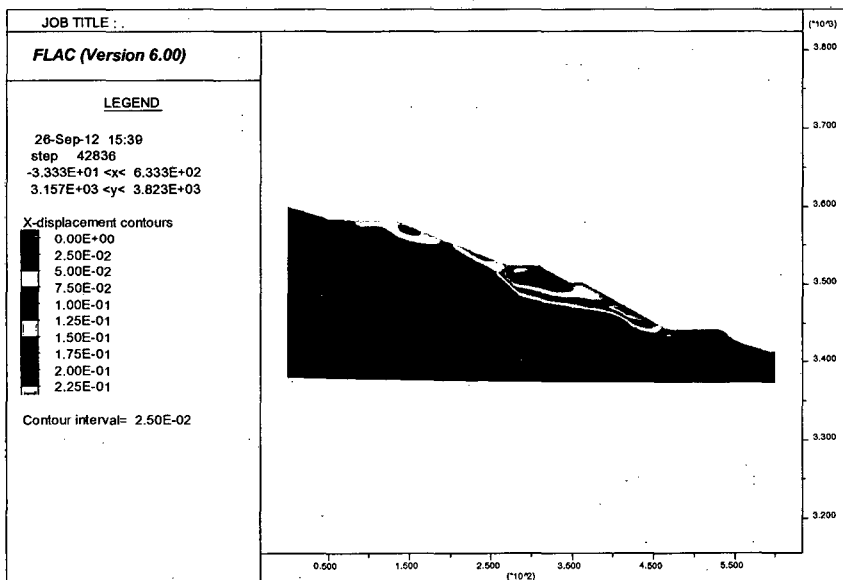
Esfuerzos XX



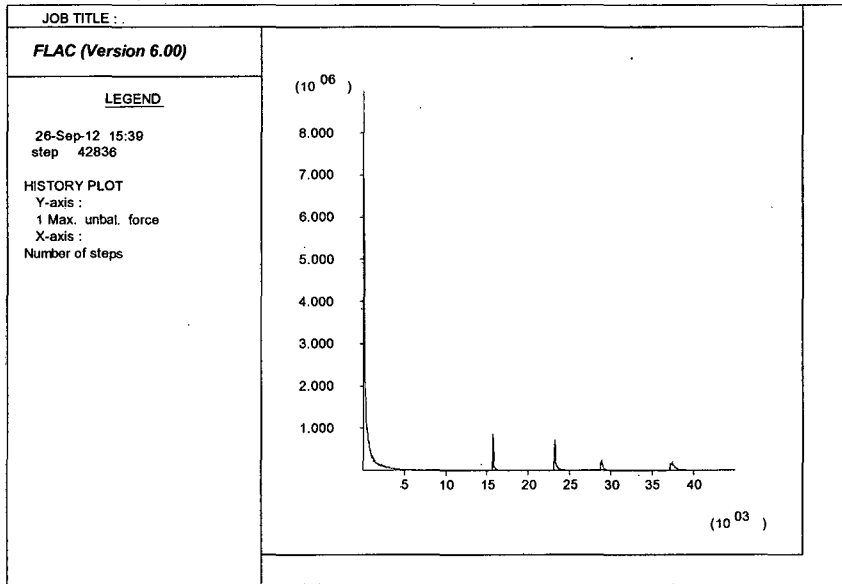
Desplazamientos Y



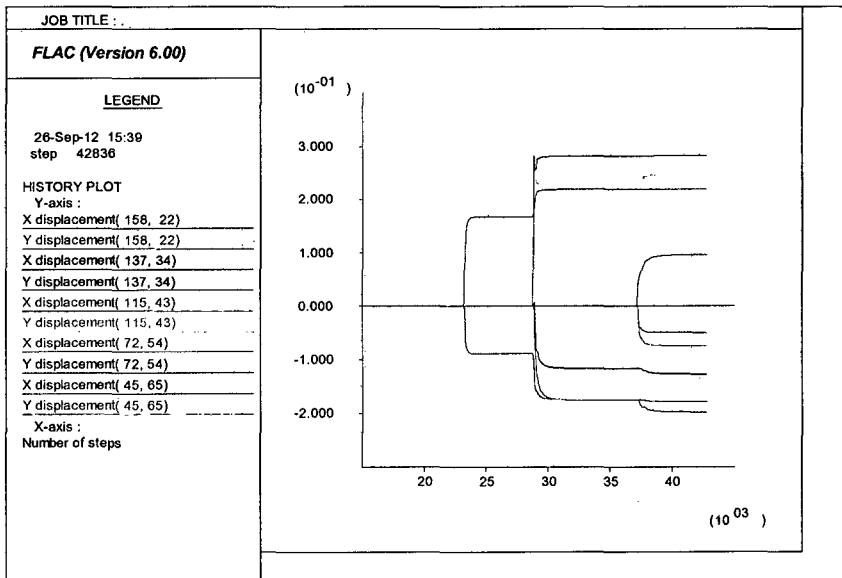
Desplazamientos X



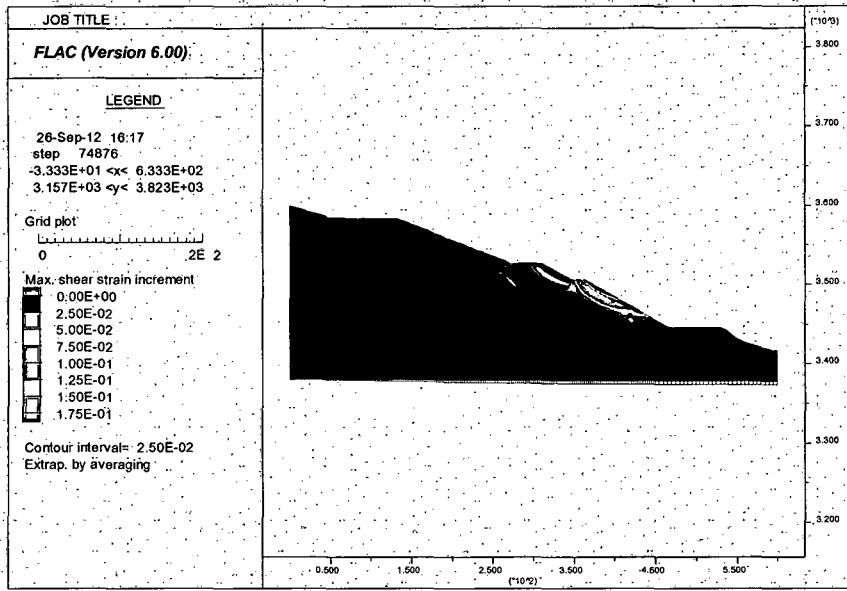
Fuerzas No Balanceadas



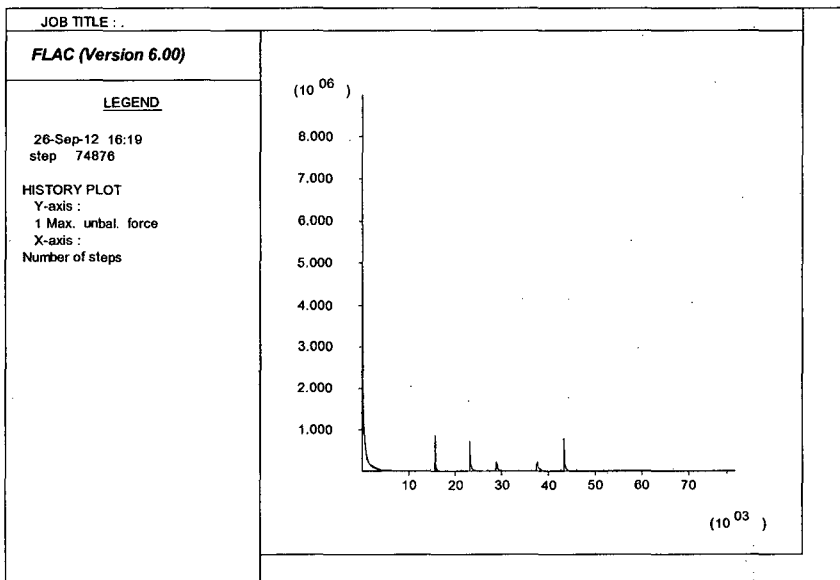
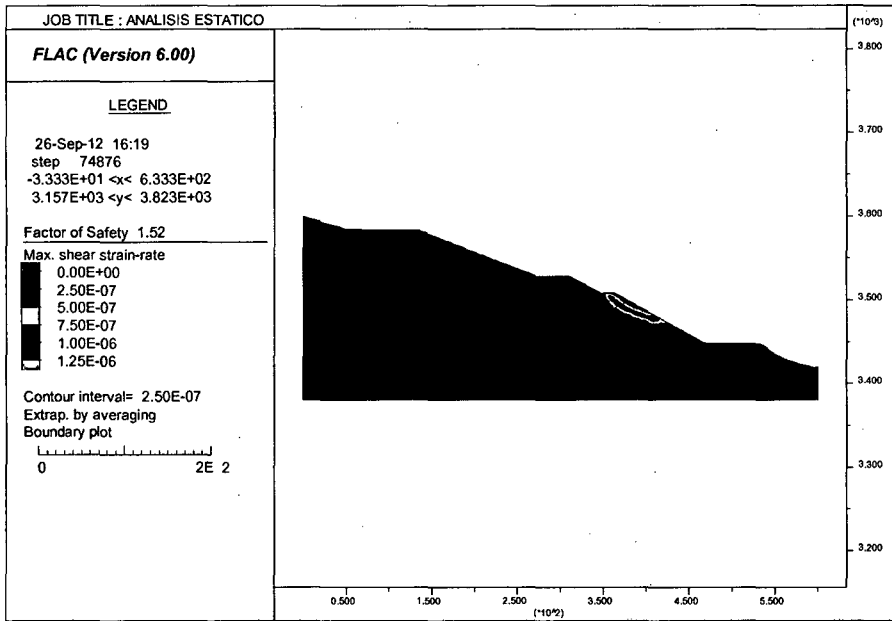
Puntos de Control

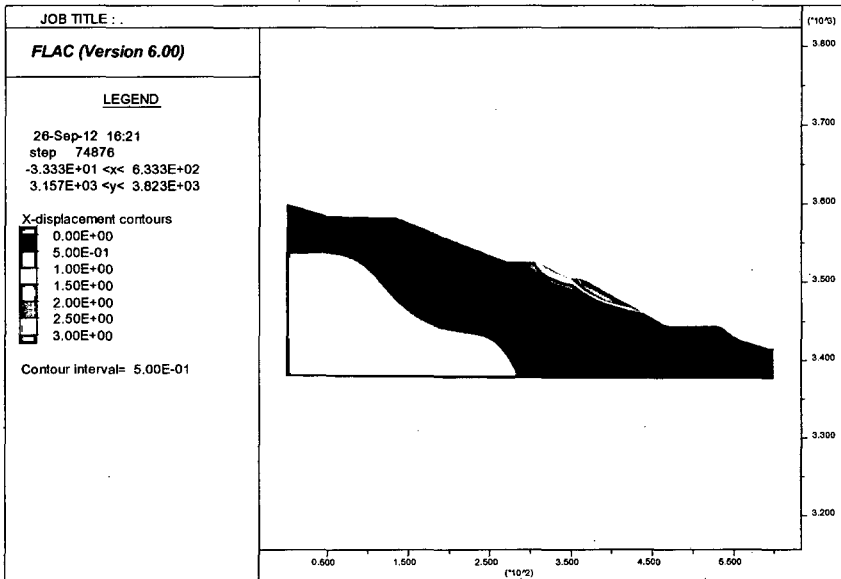
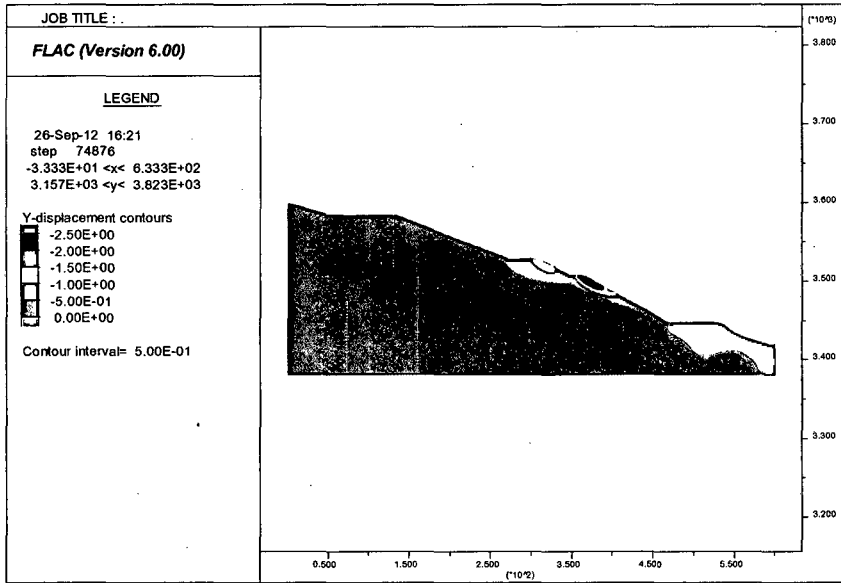


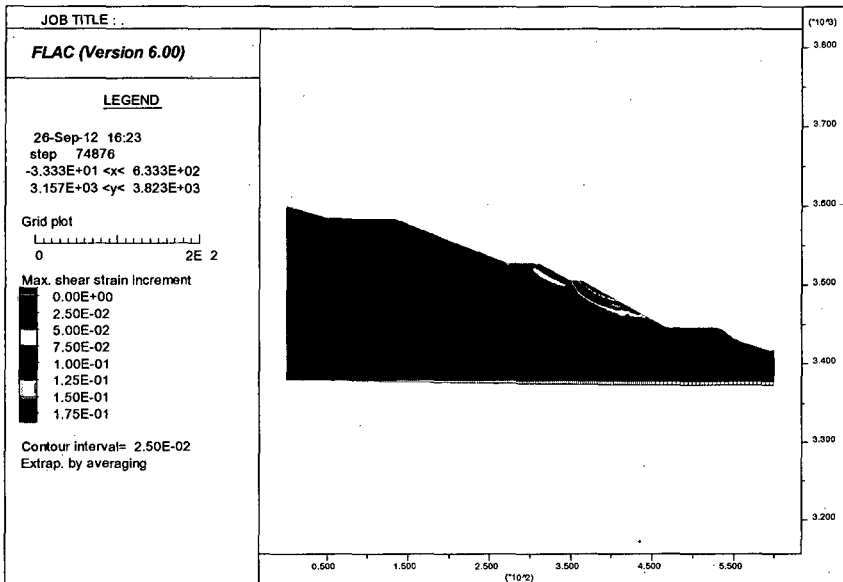
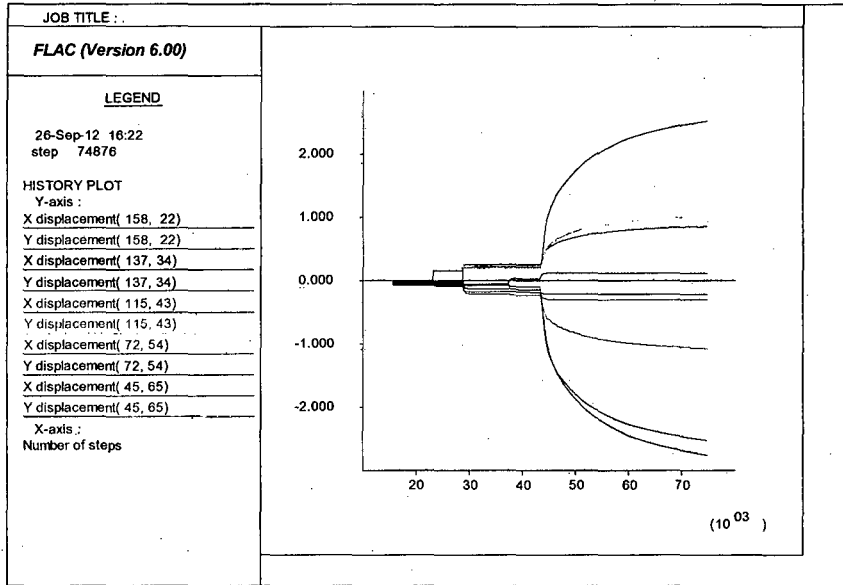
Esfuerzos de Corte



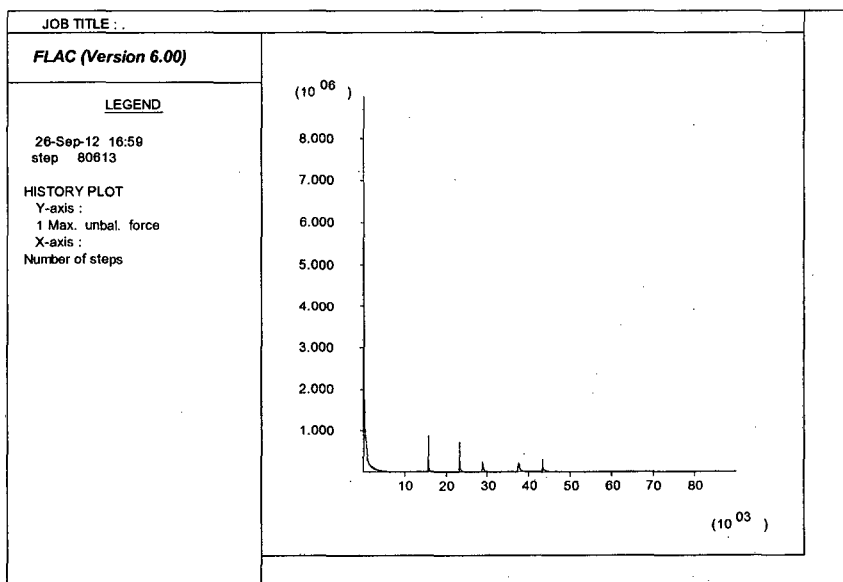
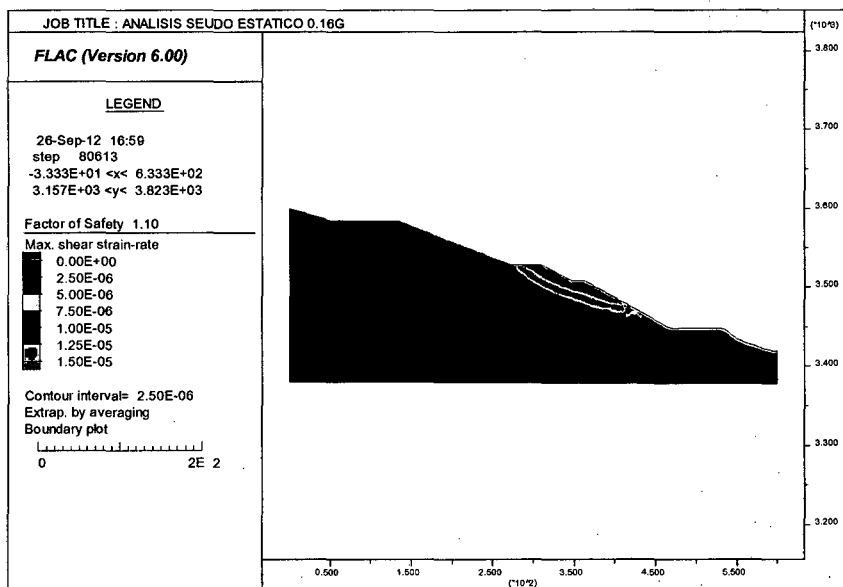
Resultados del Analisis de Estabilidad Estatico

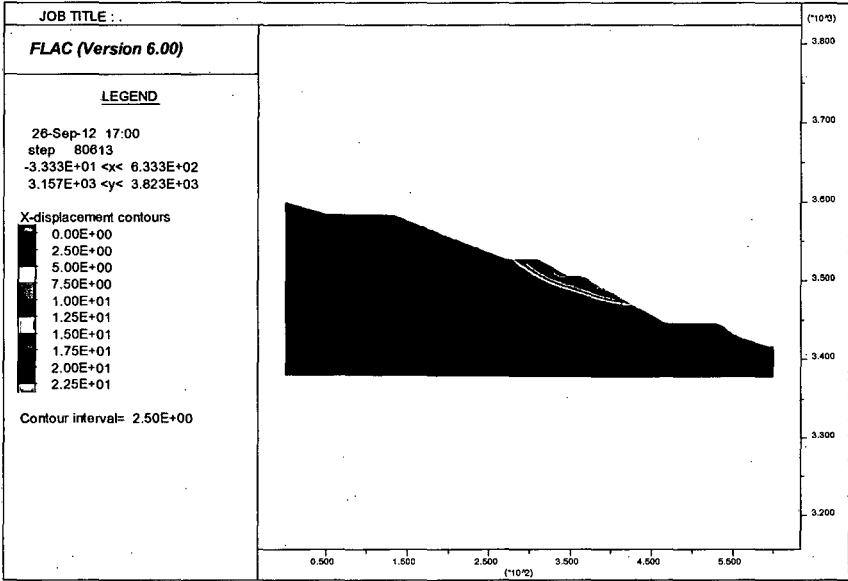
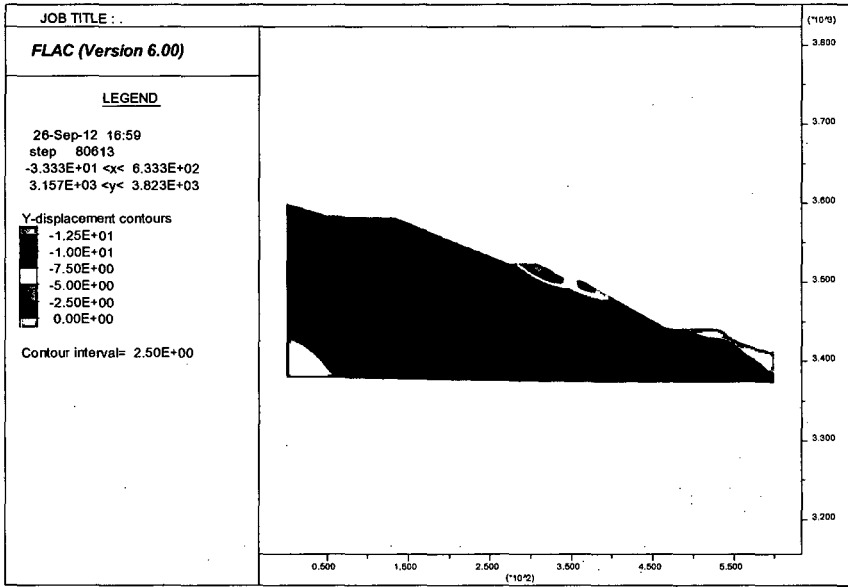


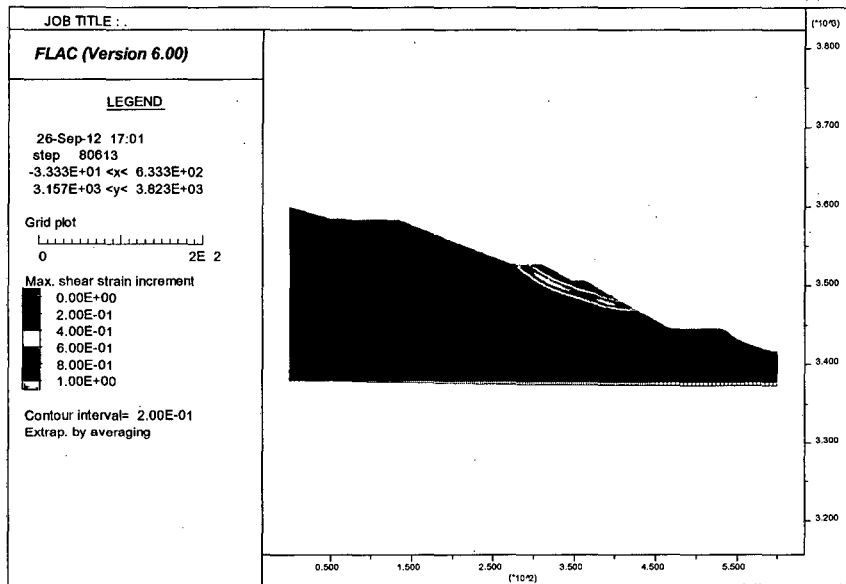
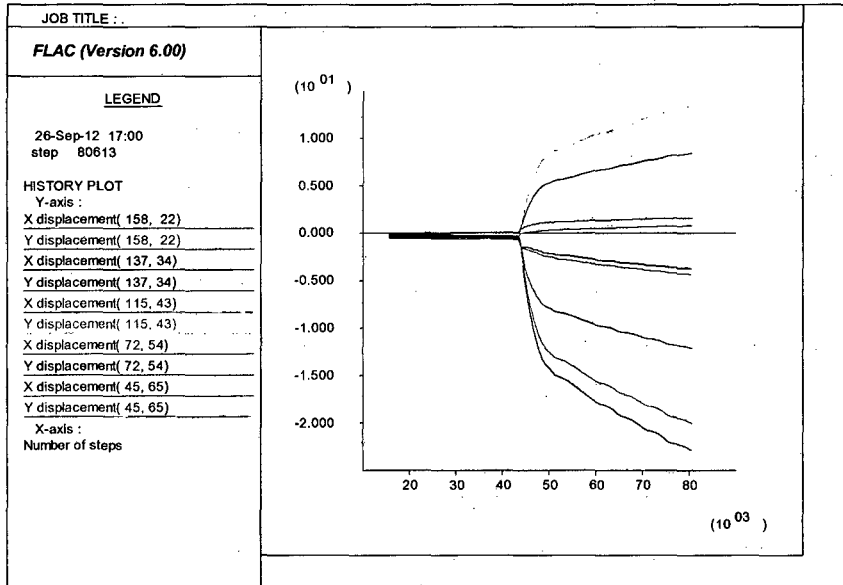




Resultados del Analisis de Estabilidad Seudo Estatico

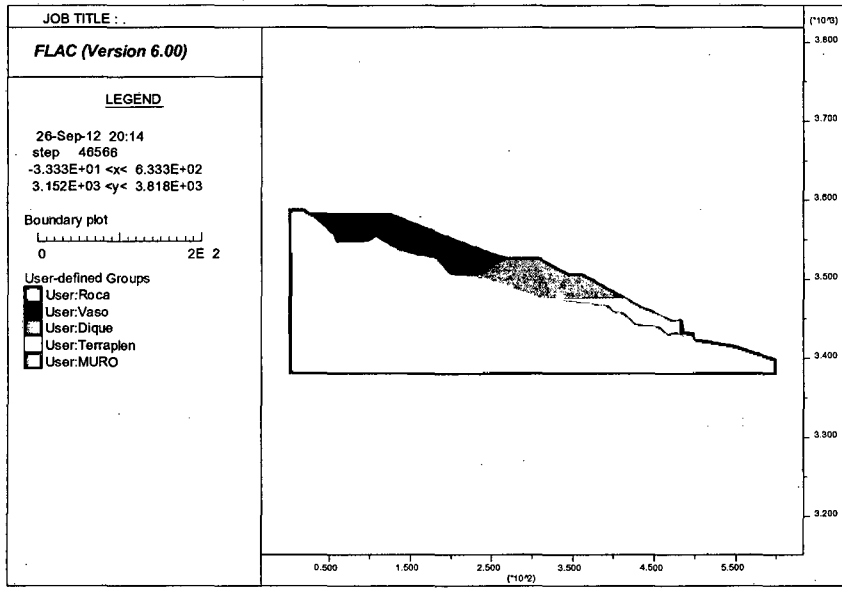




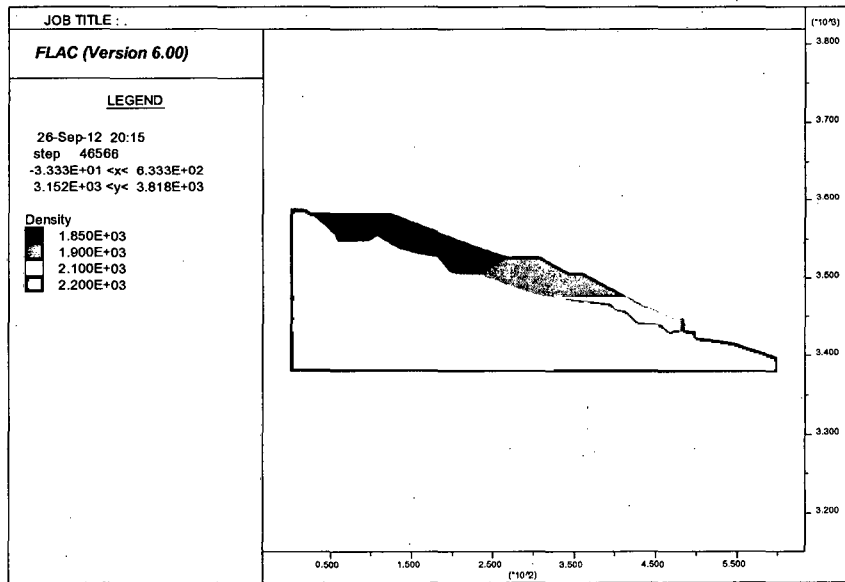


ANALISIS SECCION B-B – PRIMERA ETAPA

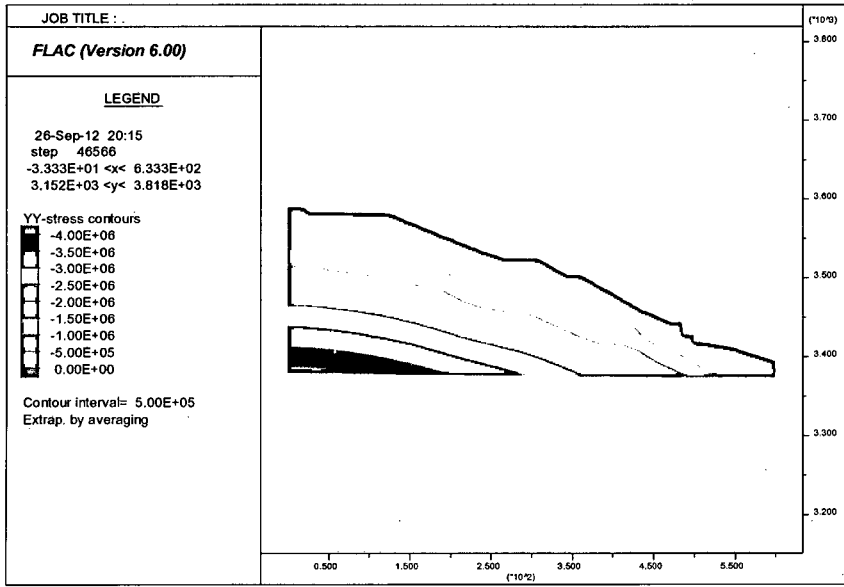
Modelo Geotecnico



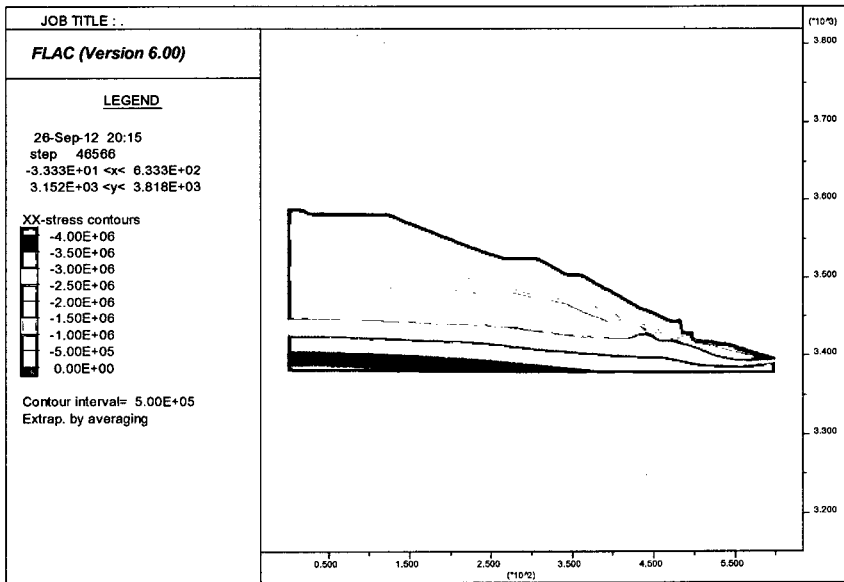
Densidad de los Materiales



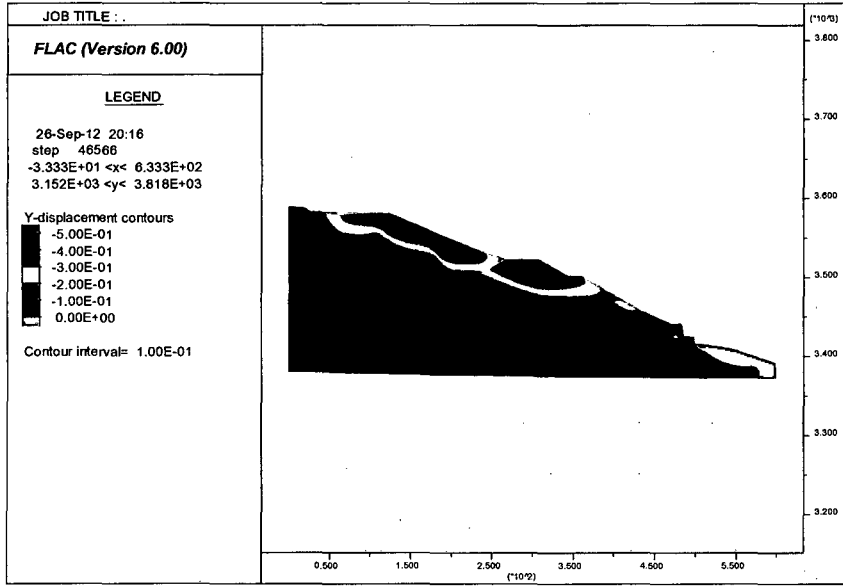
Esfuerzos YY



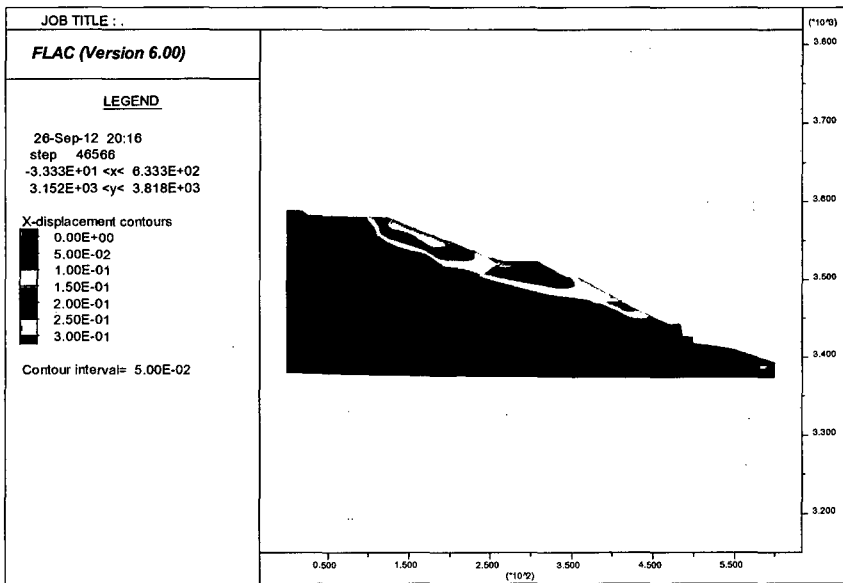
Esfuerzos XX



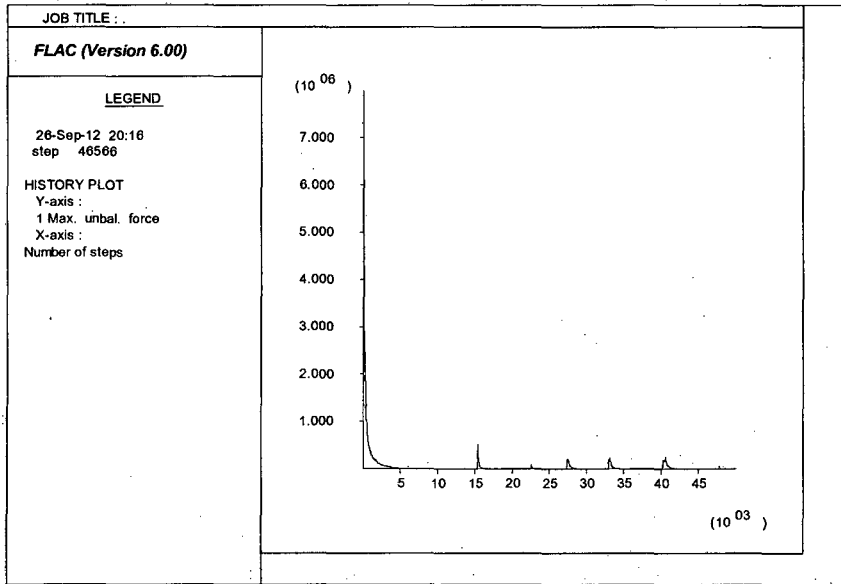
Desplazamientos Y



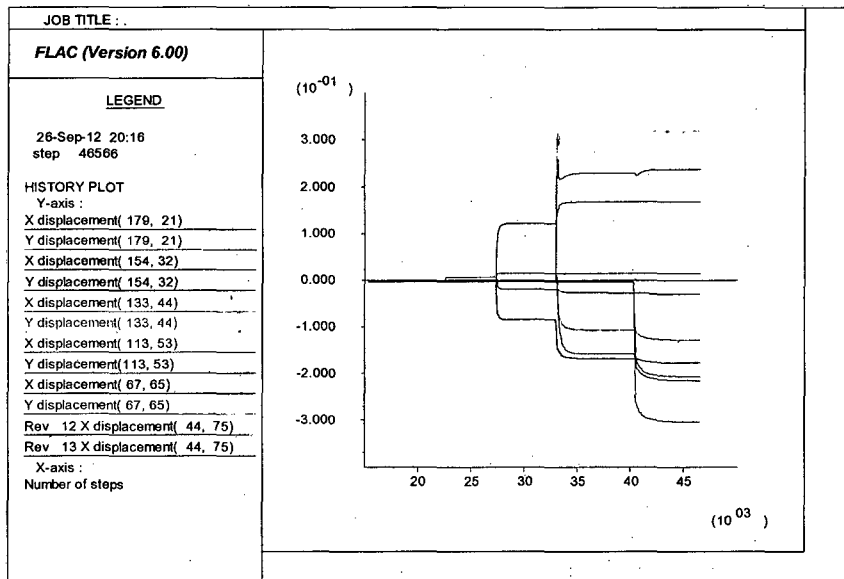
Desplazamientos X



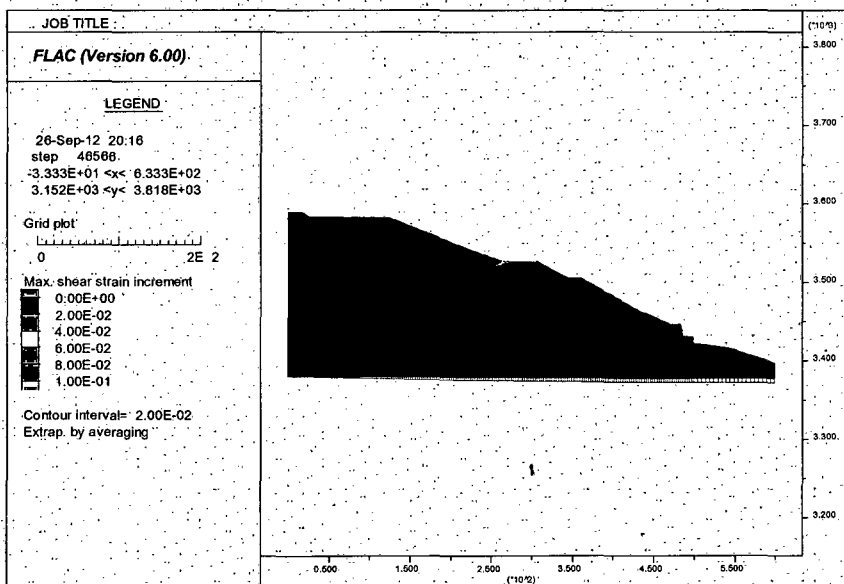
Fuerzas No Balanceadas



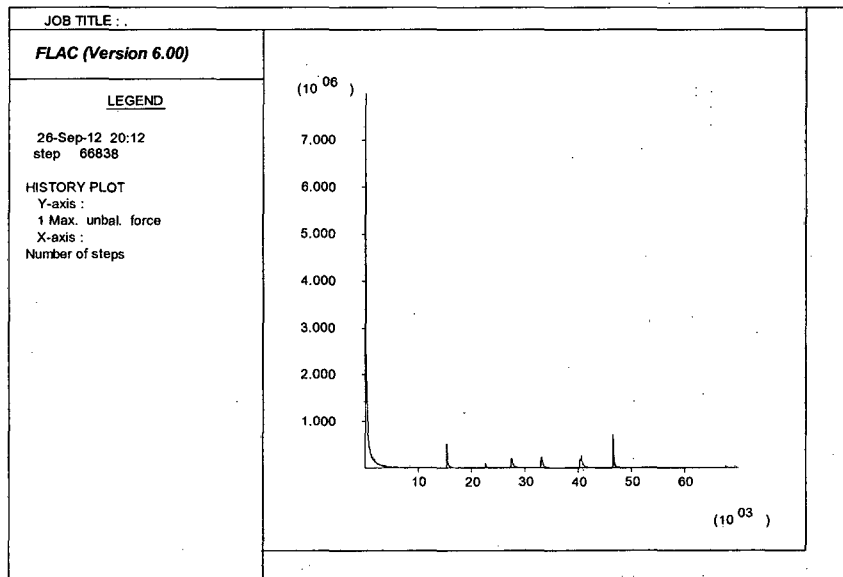
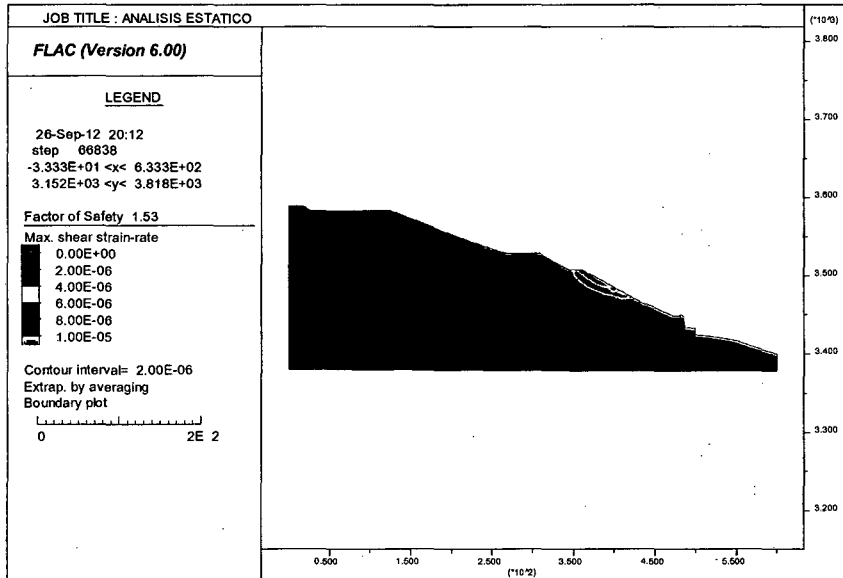
Puntos de Control

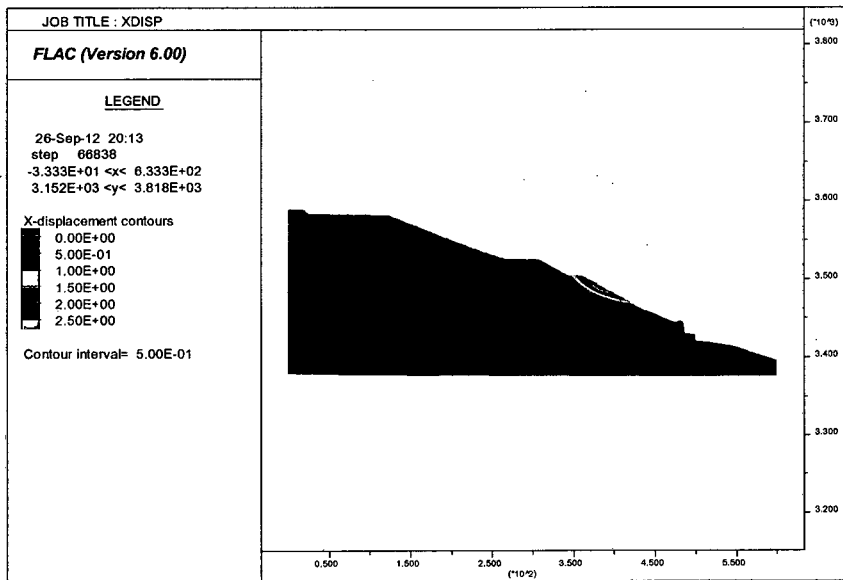
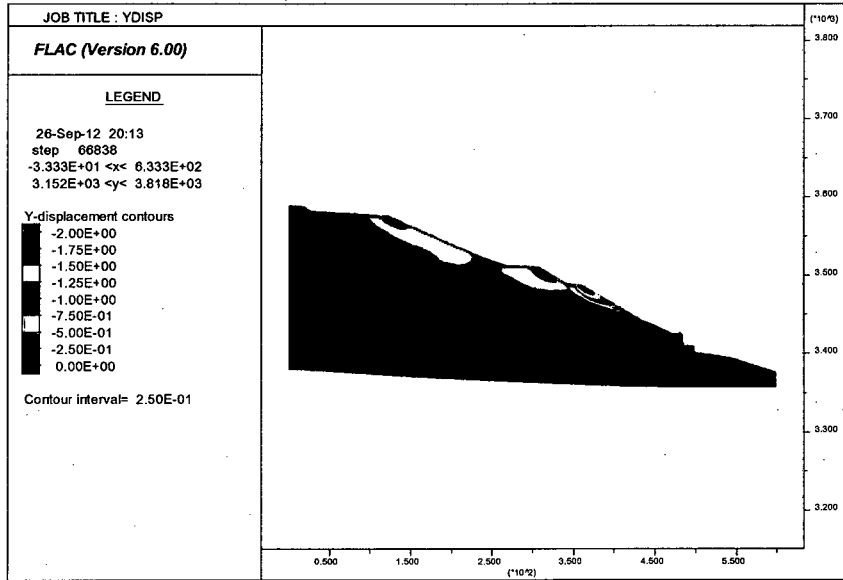


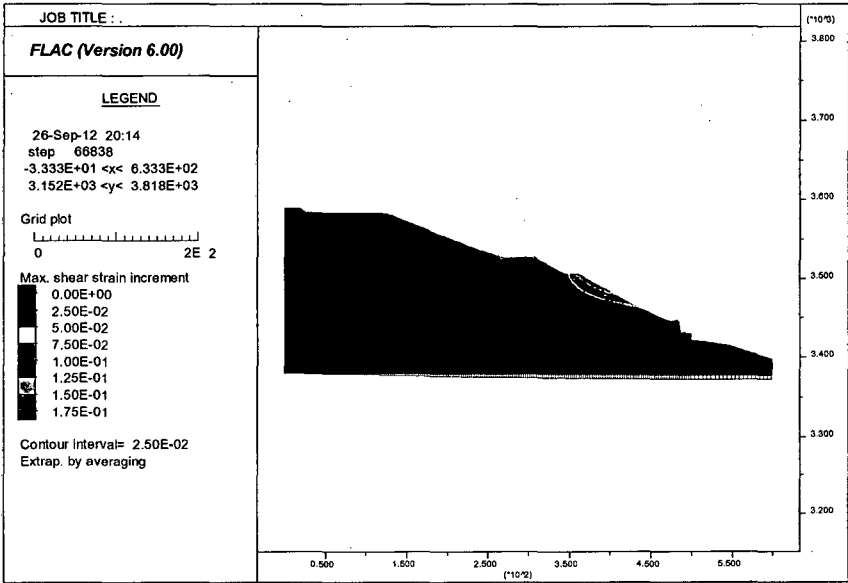
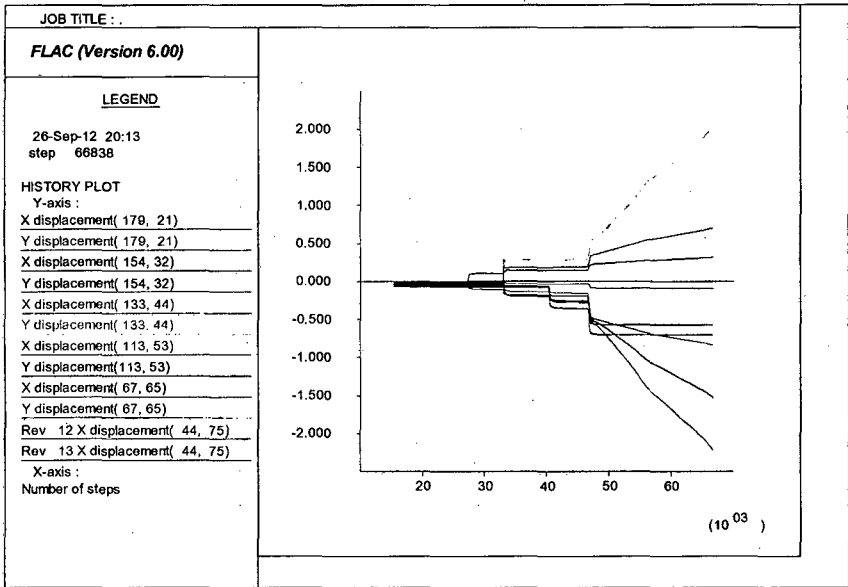
Esfuerzos de Corte



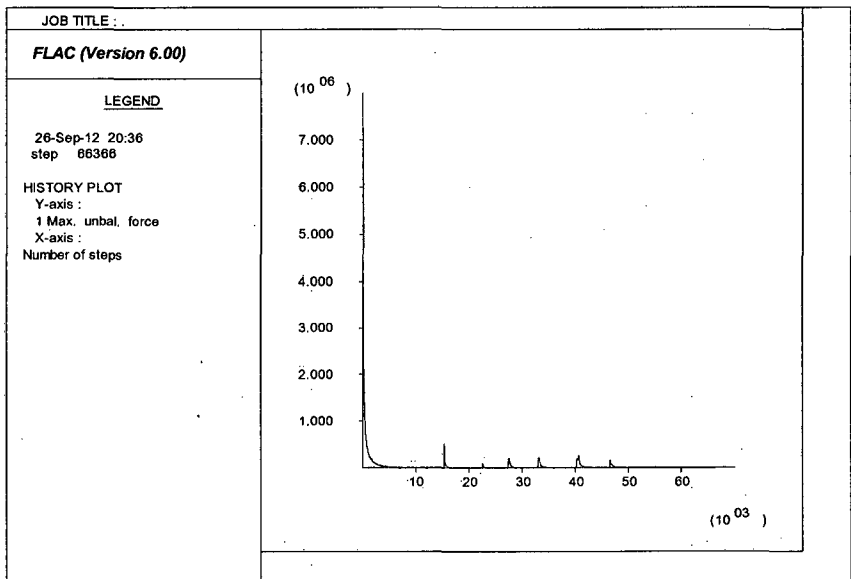
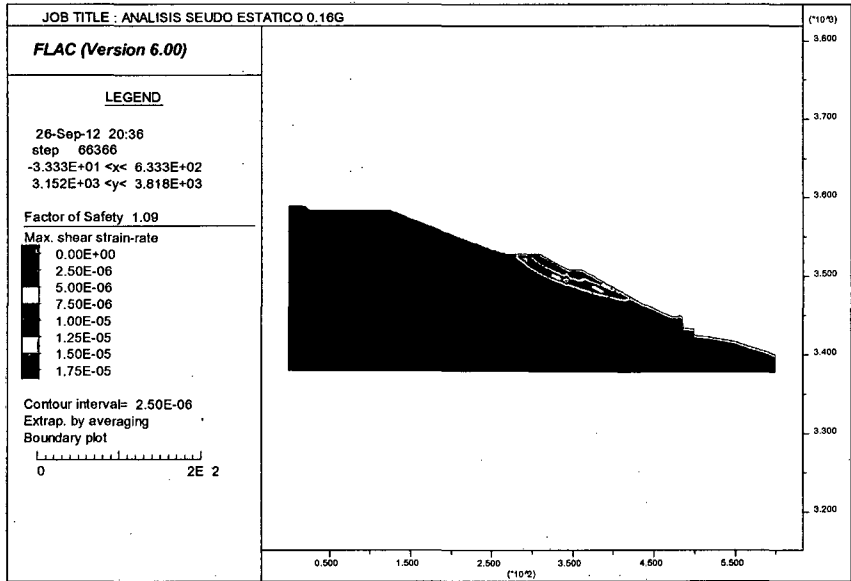
Resultados del Analisis de Estabilidad Estatico

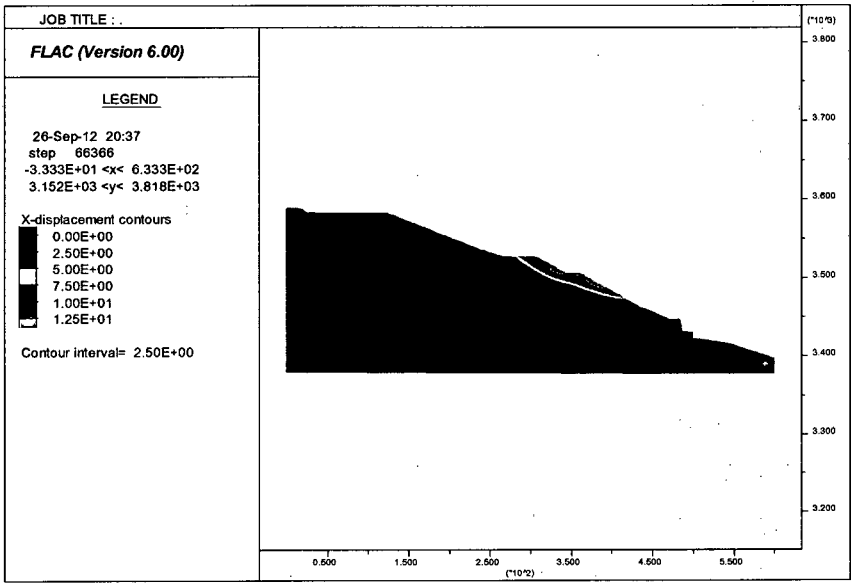
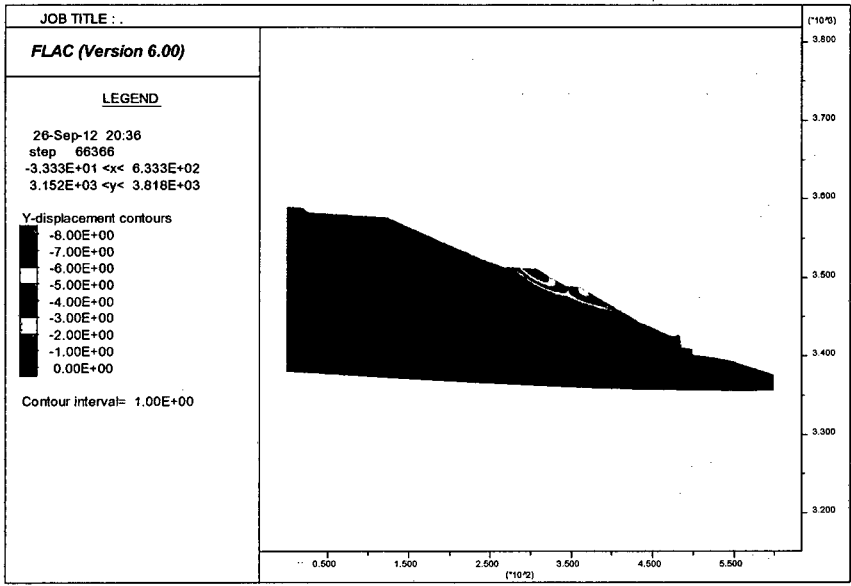


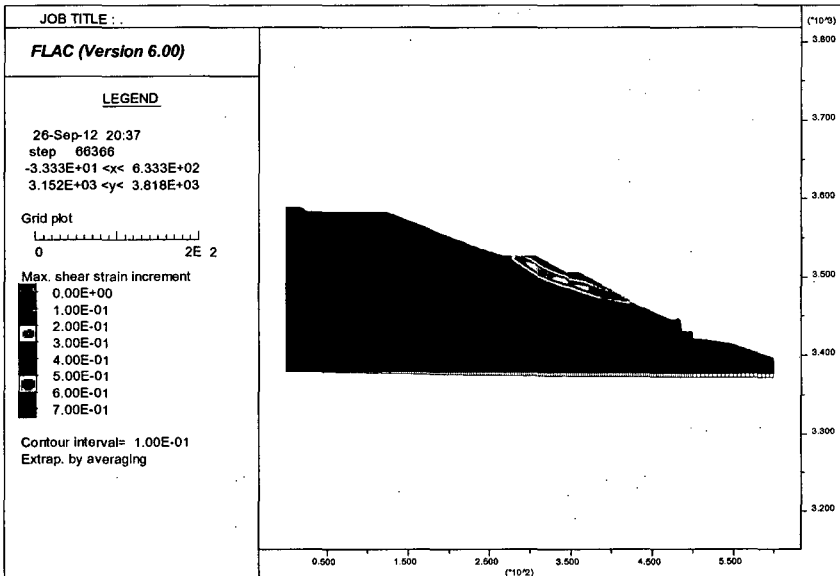
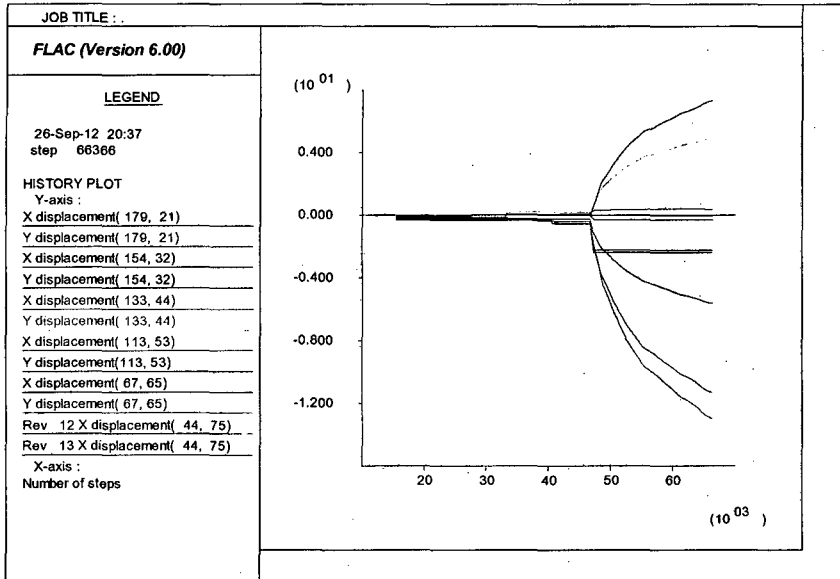




Resultados del Analisis de Estabilidad Seudo Estatico

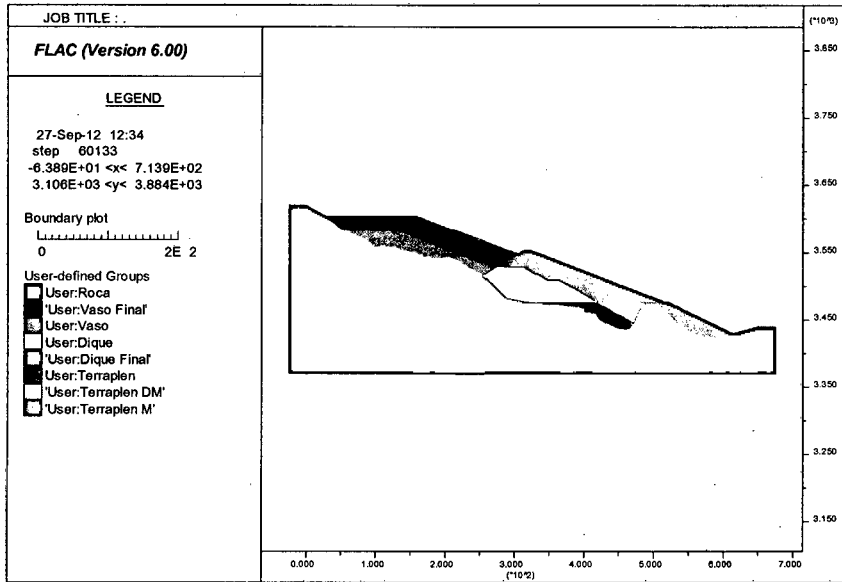




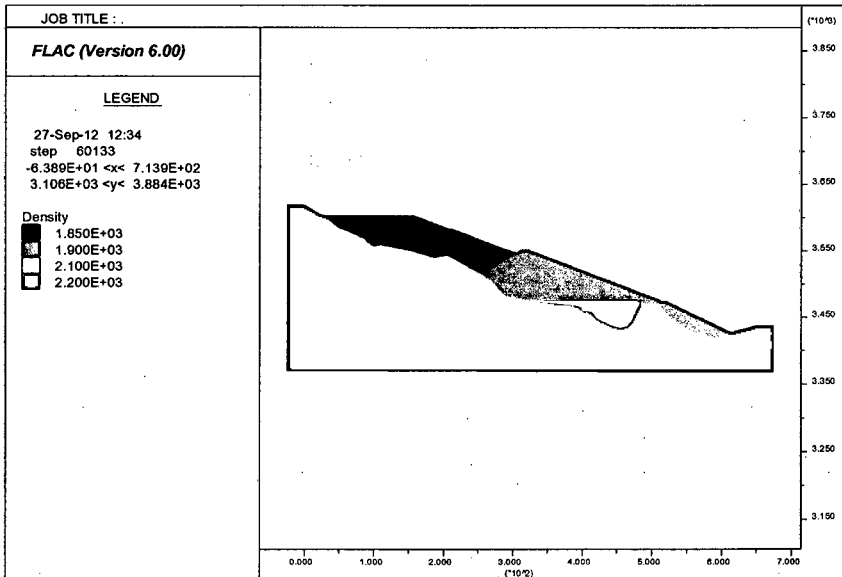


ANALISIS SECCION A-A – ETAPA FINAL

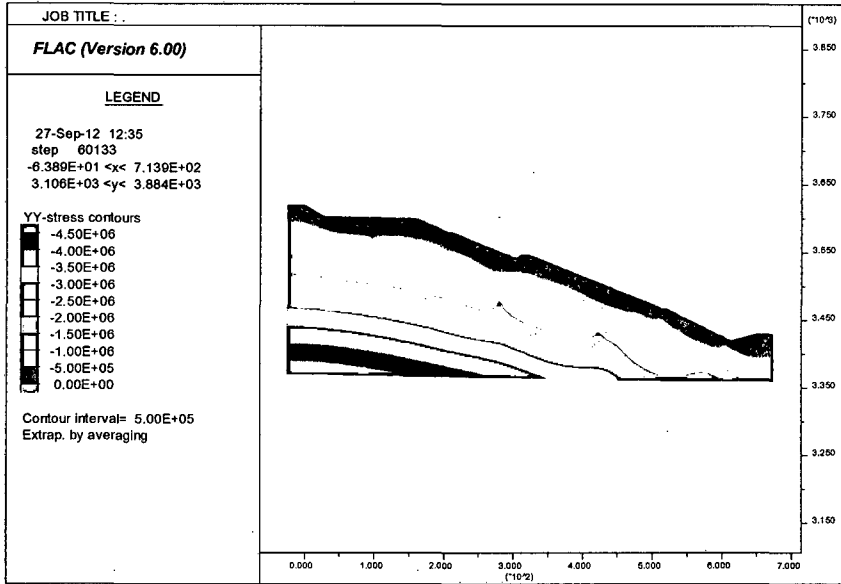
Modelo Geotecnico



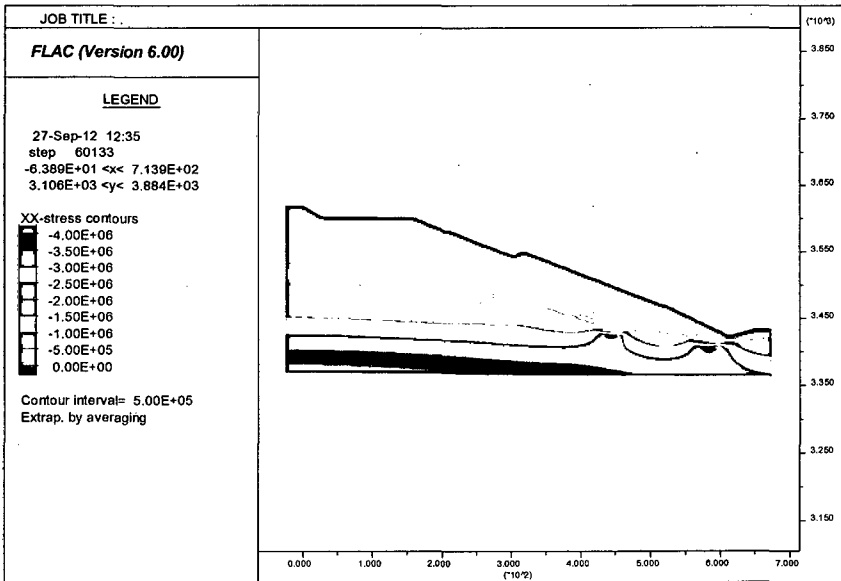
Densidad de los Materiales



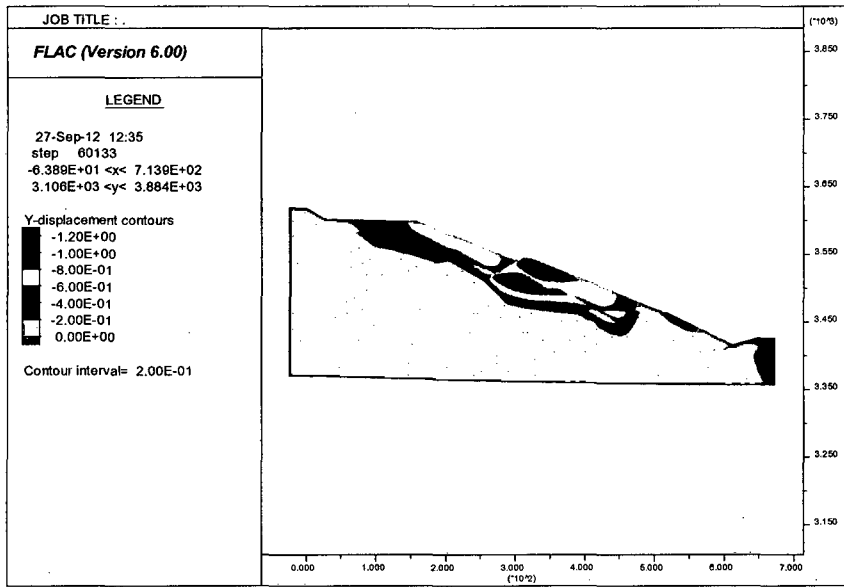
Esfuerzos YY



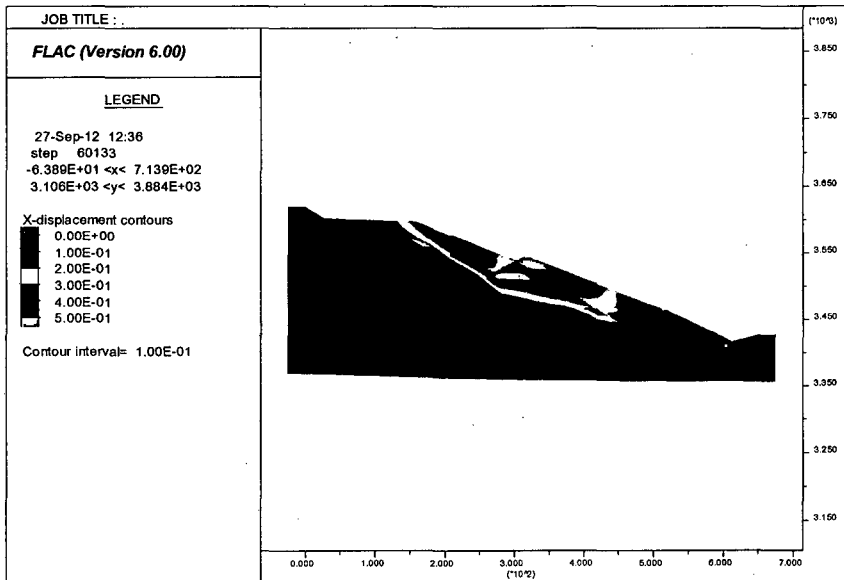
Esfuerzos XX



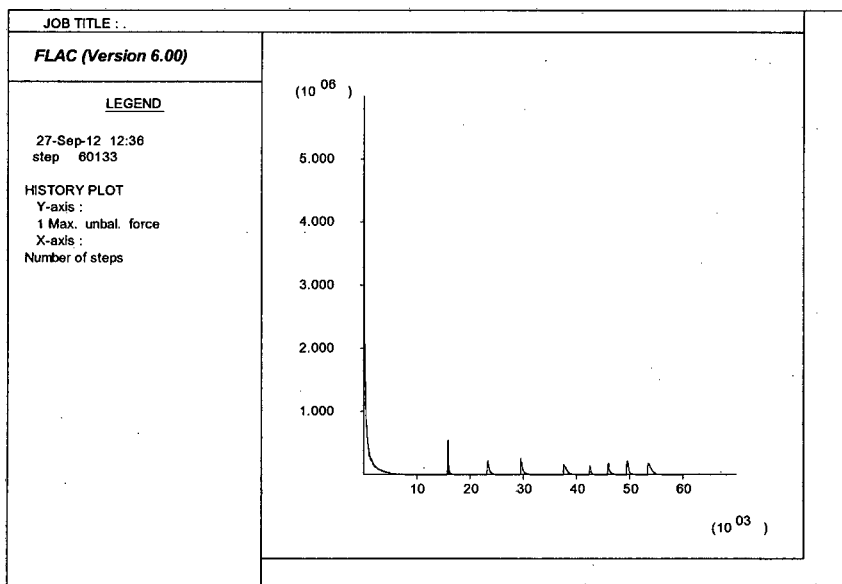
Desplazamientos Y



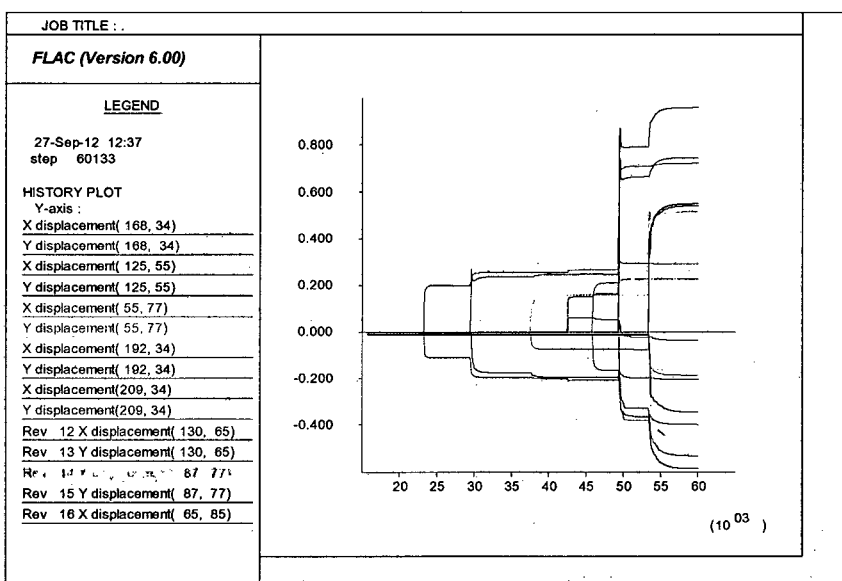
Desplazamientos X



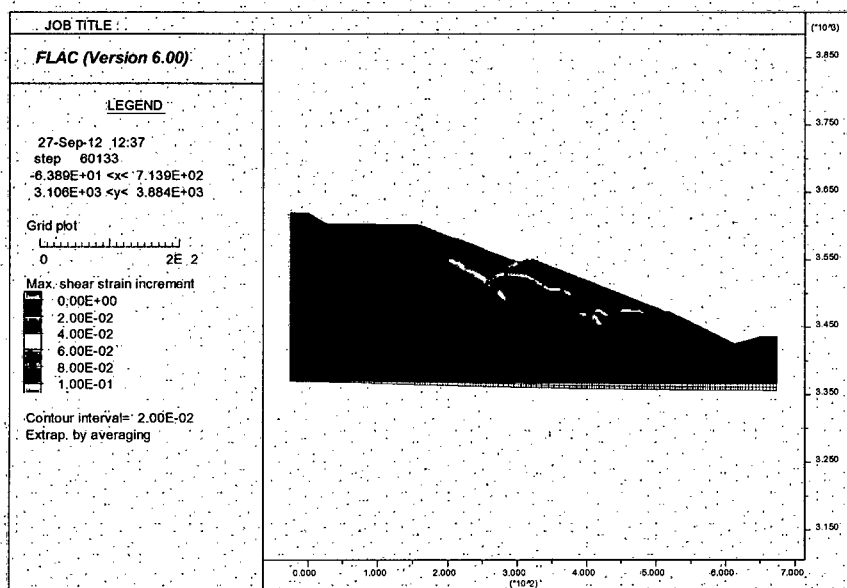
Fuerzas No Balanceadas



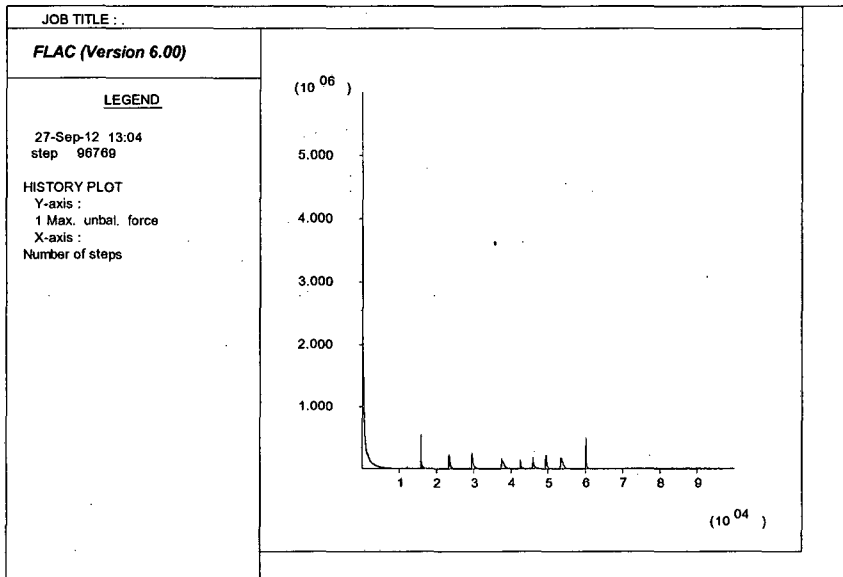
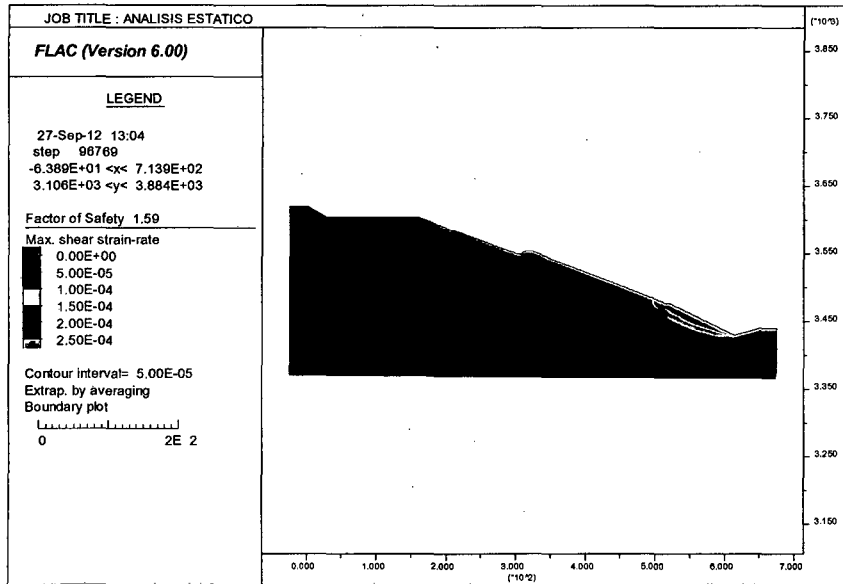
Puntos de Control

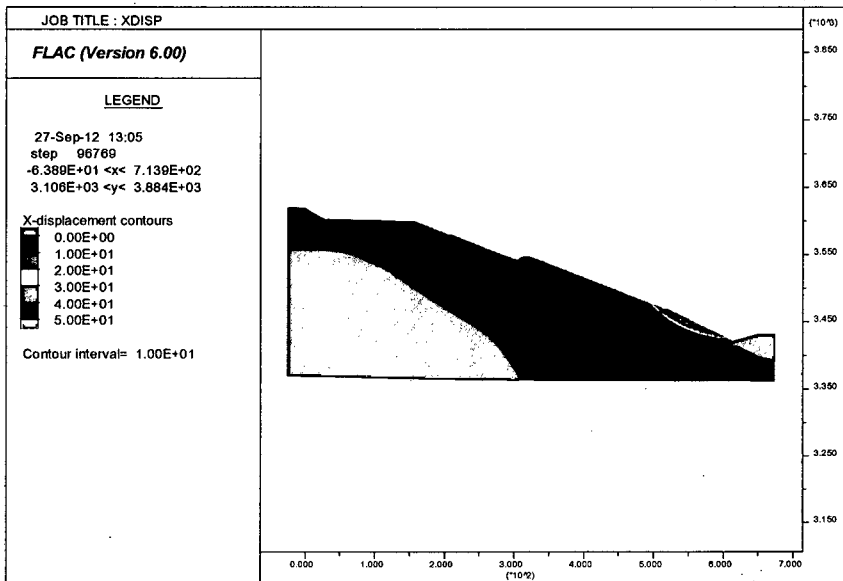
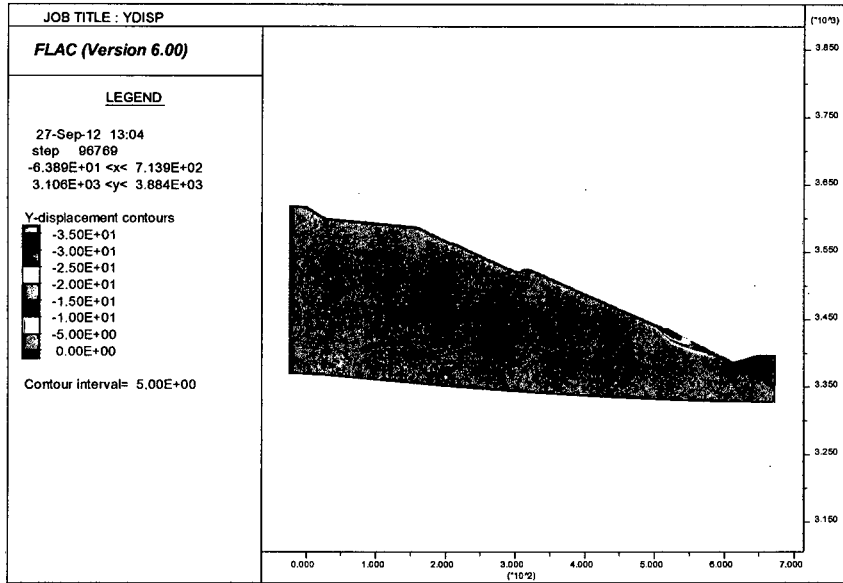


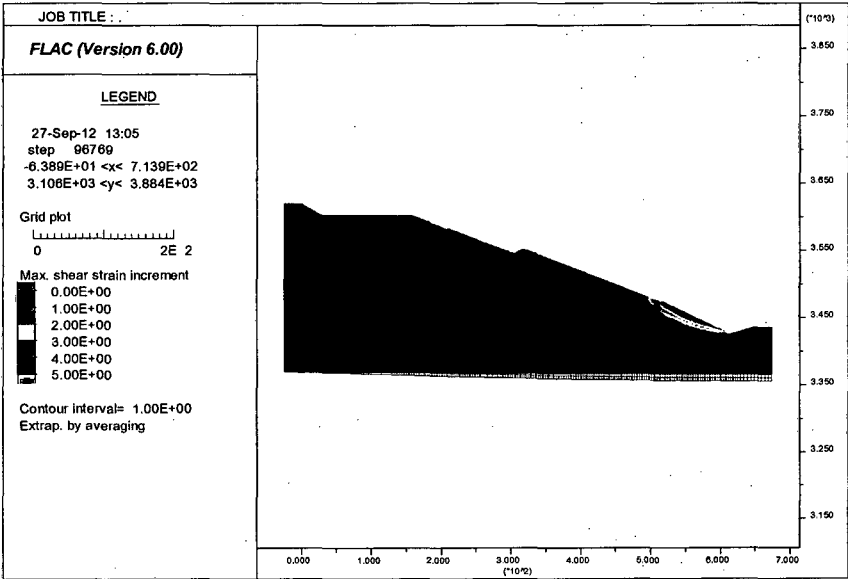
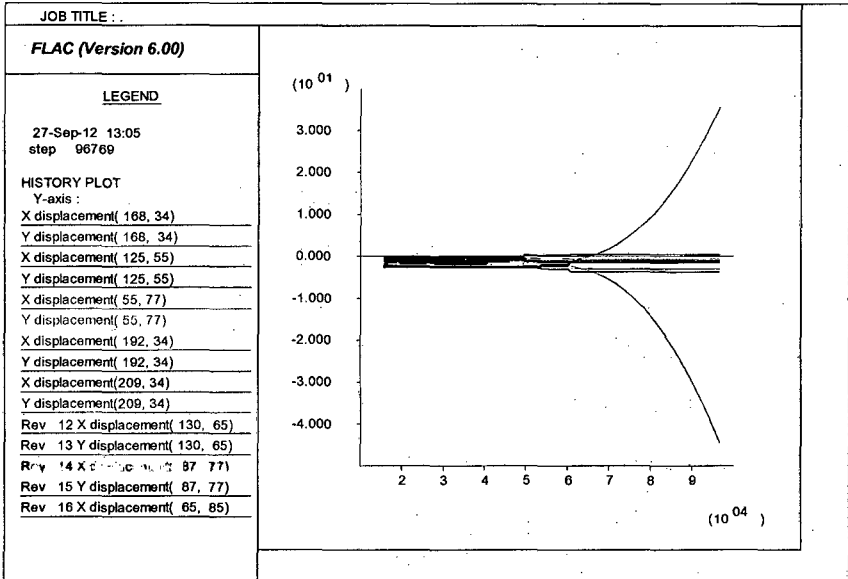
Esfuerzos de Corte



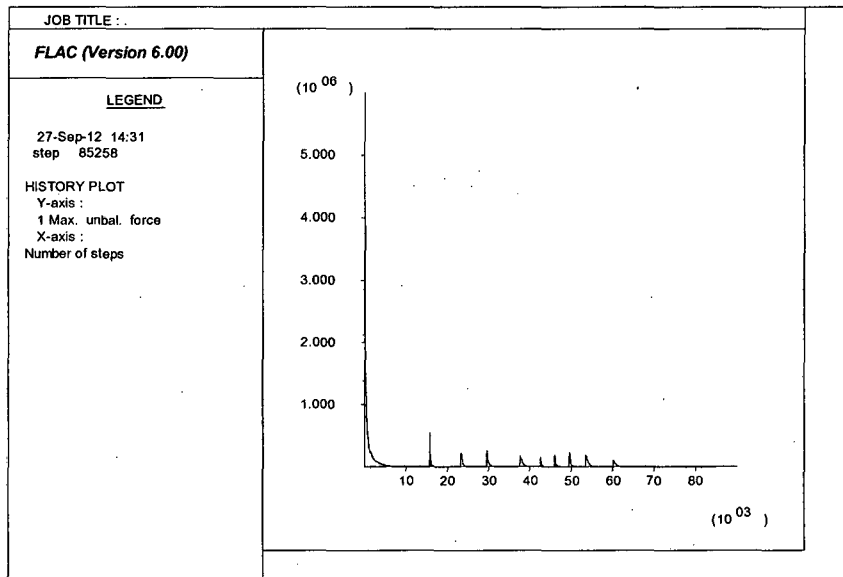
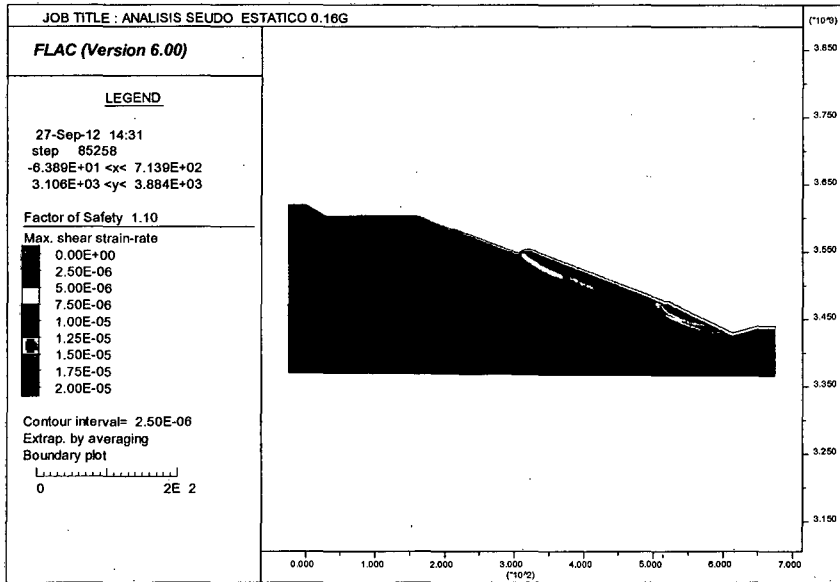
Resultados del Analisis de Estabilidad Estatico

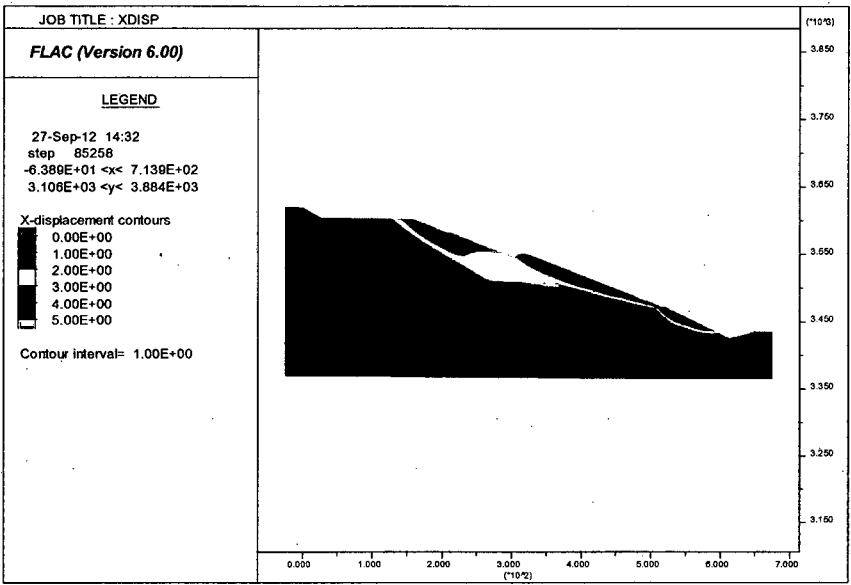
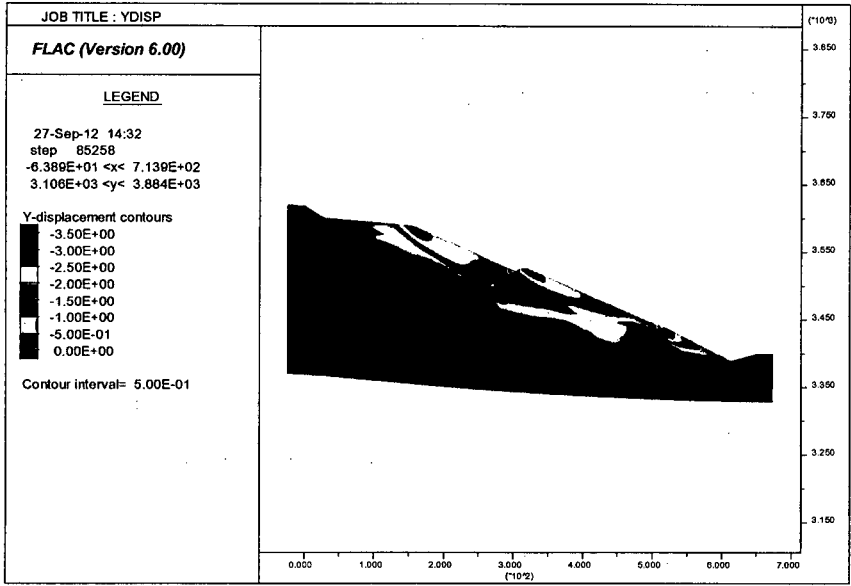


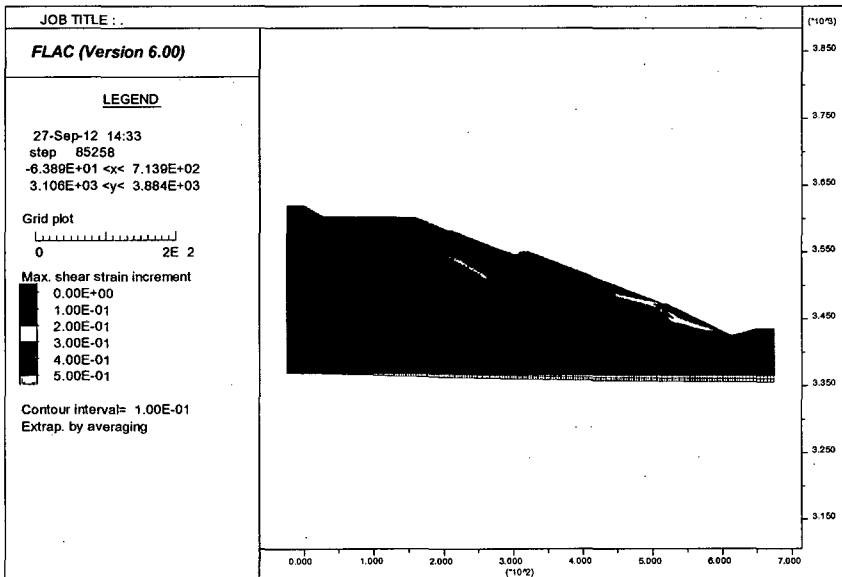
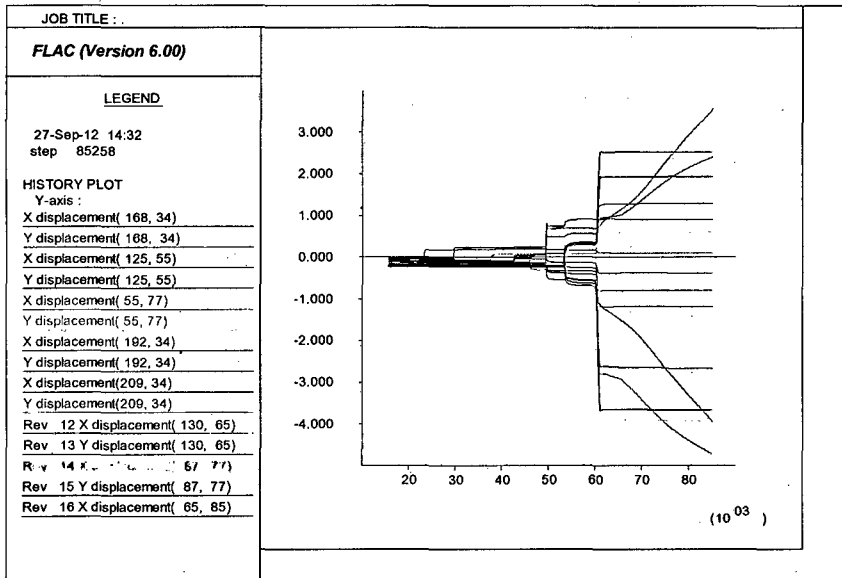




Resultados del Analisis de Estabilidad Seudo Estatico

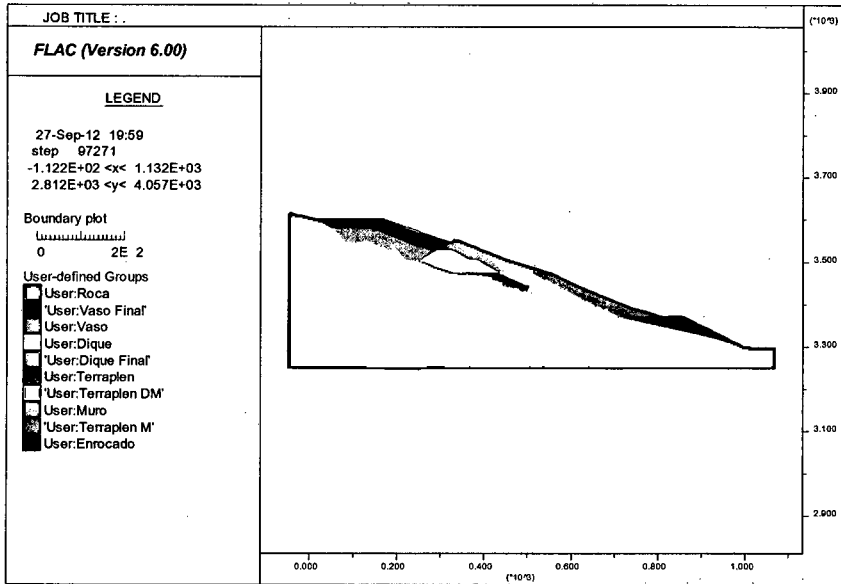




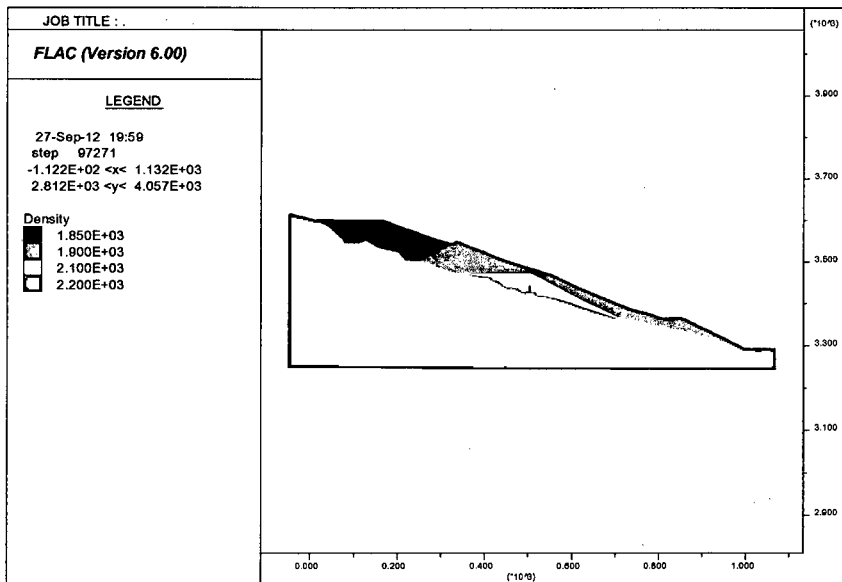


ANALISIS SECCION BB – ETAPA FINAL

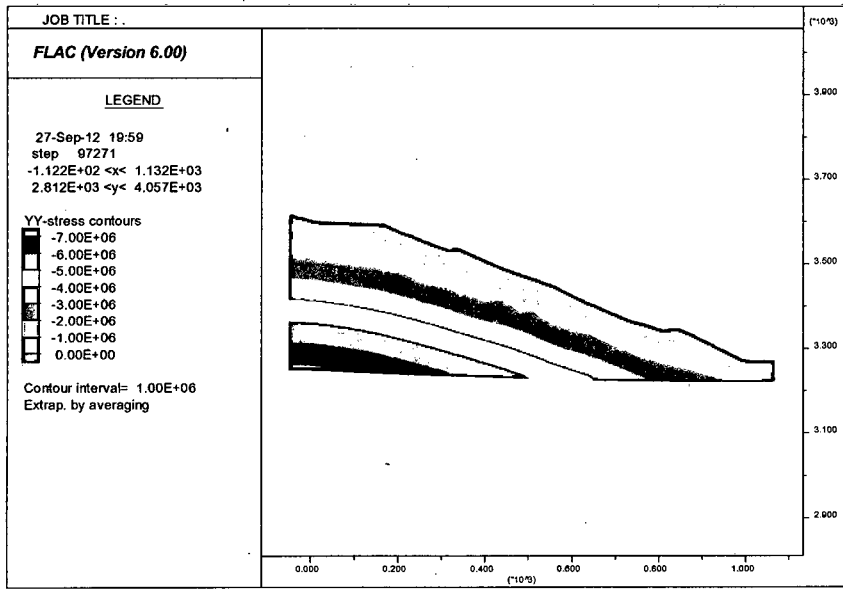
Modelo Geotecnico



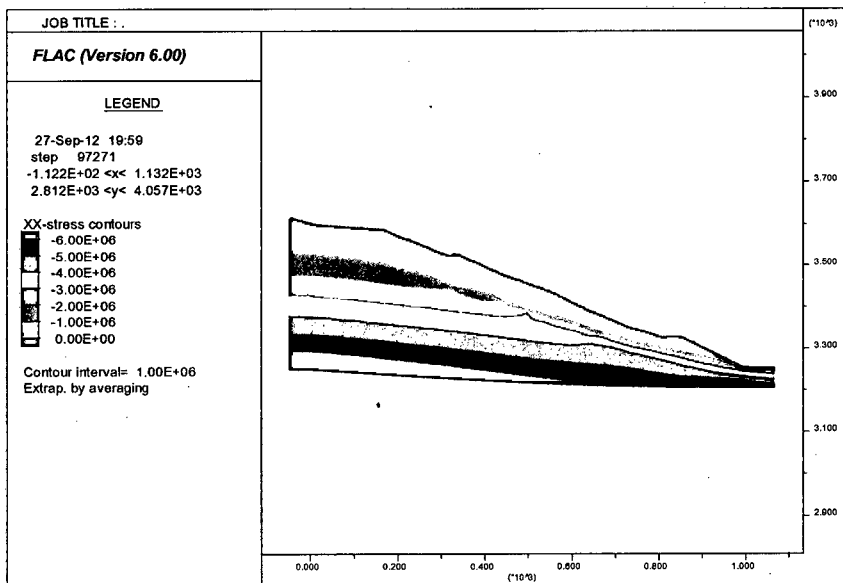
Densidad de los Materiales



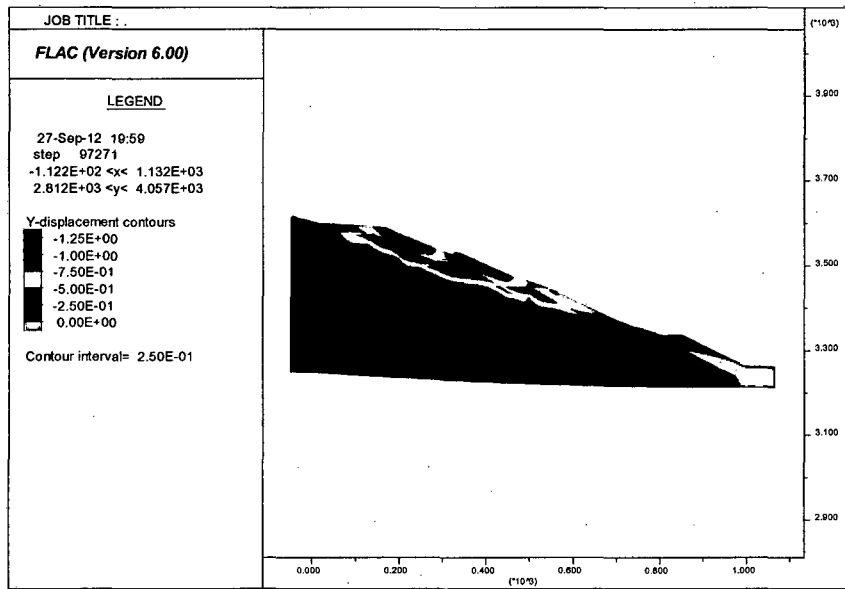
Esfuerzos YY



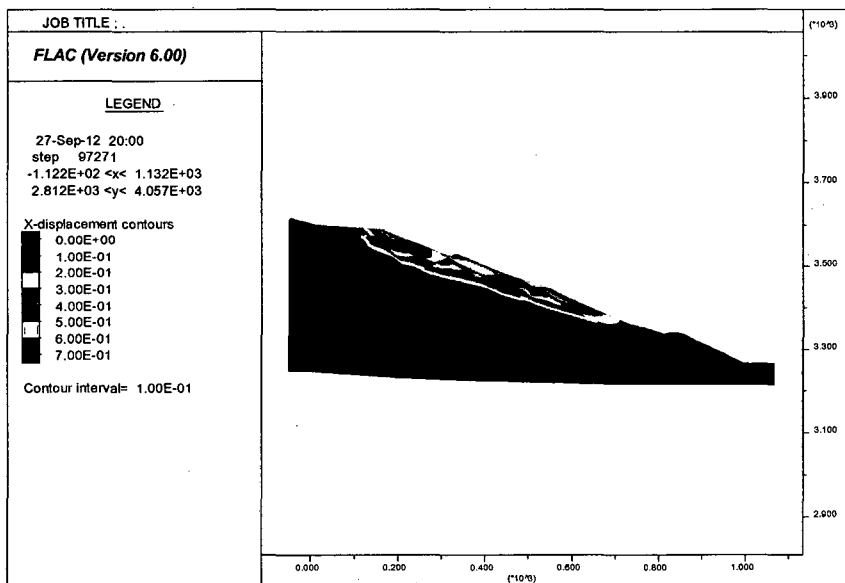
Esfuerzos XX



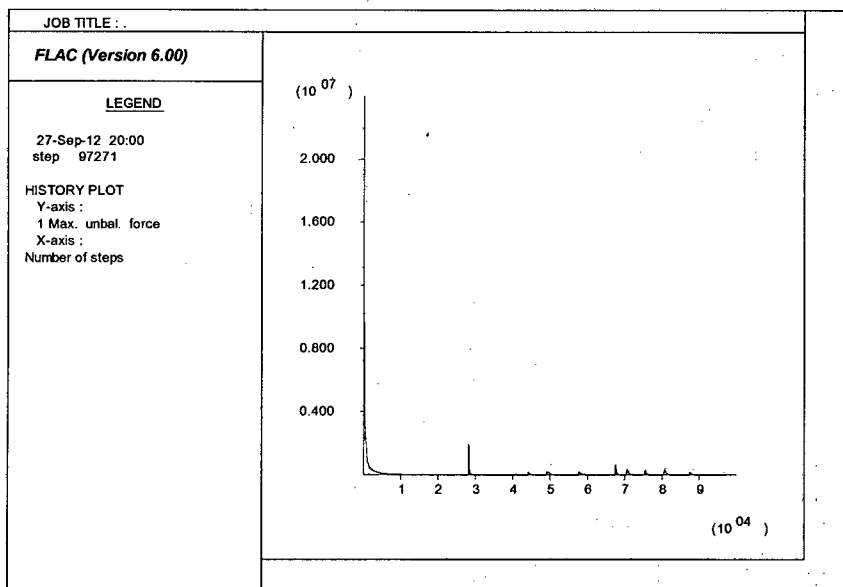
Desplazamientos Y



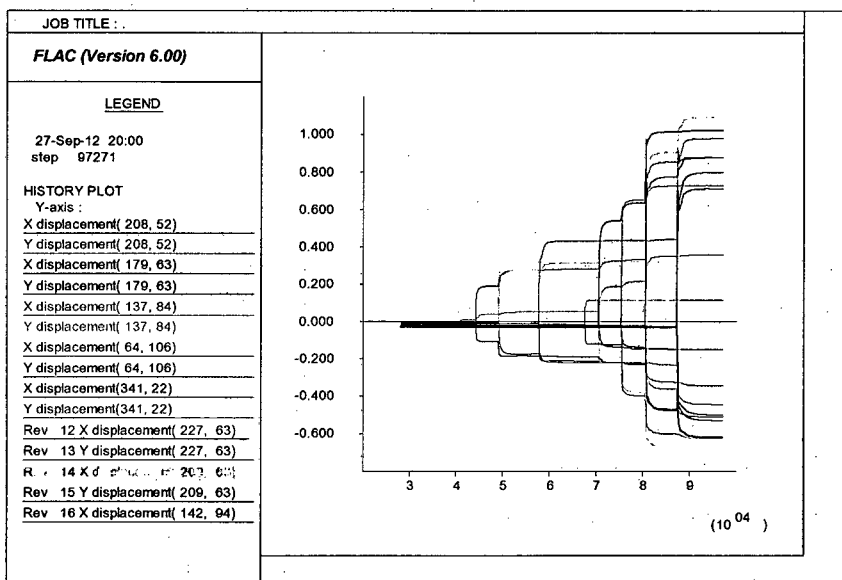
Desplazamientos X



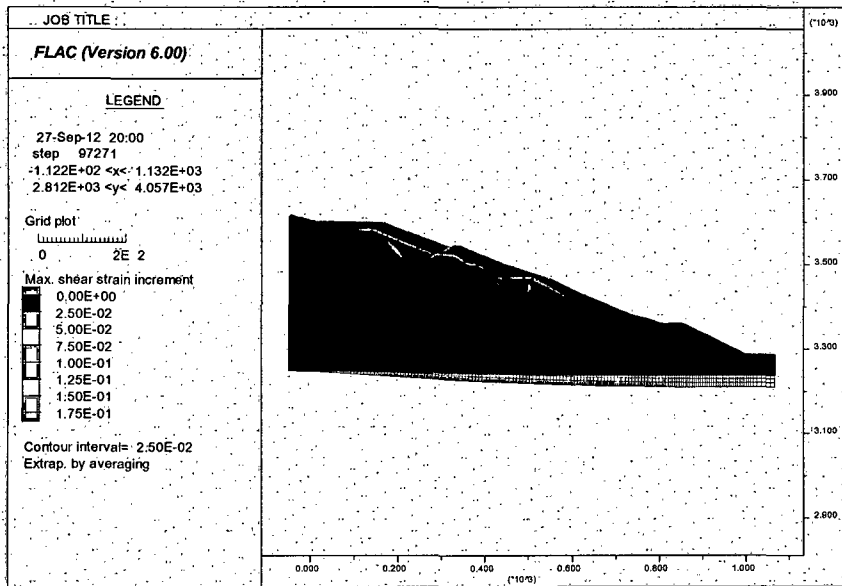
Fuerzas No Balanceadas



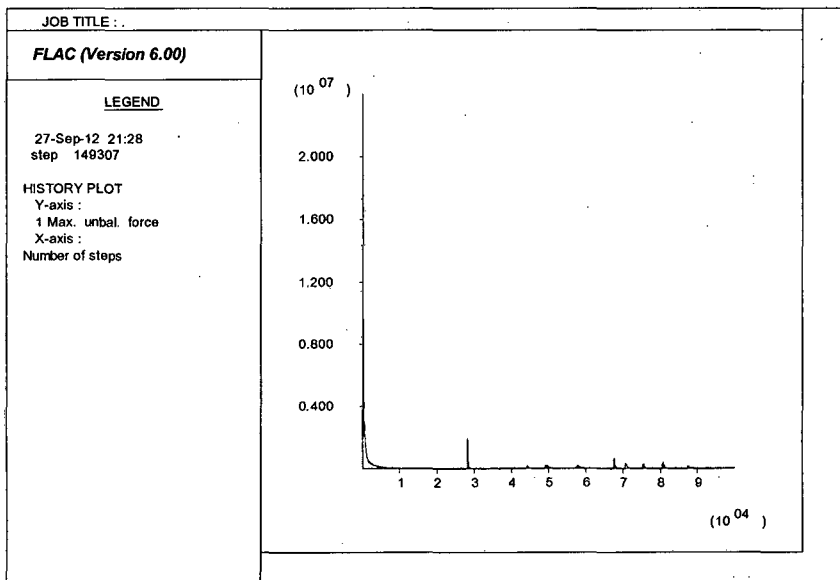
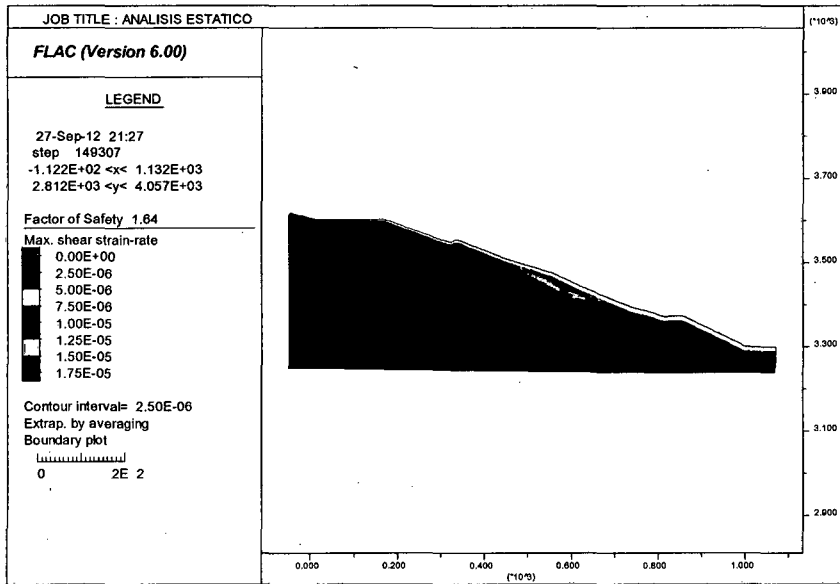
Puntos de Control

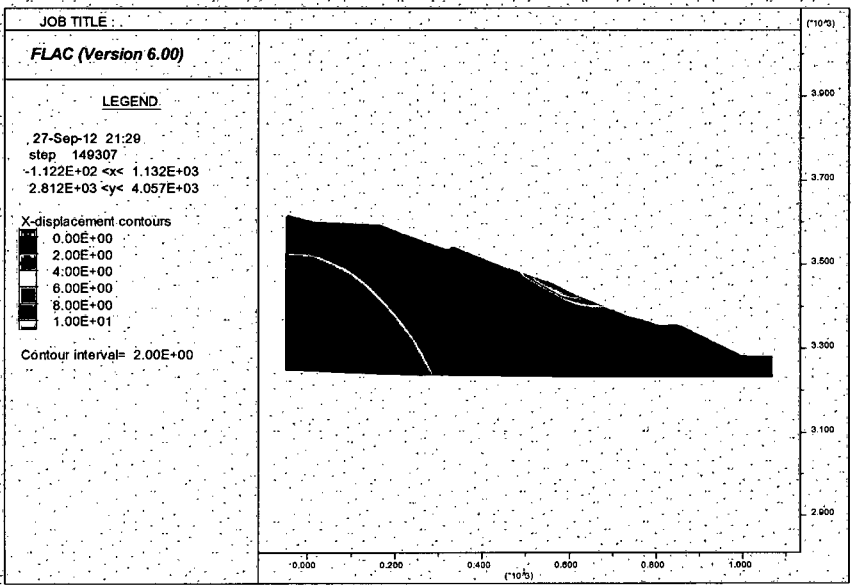
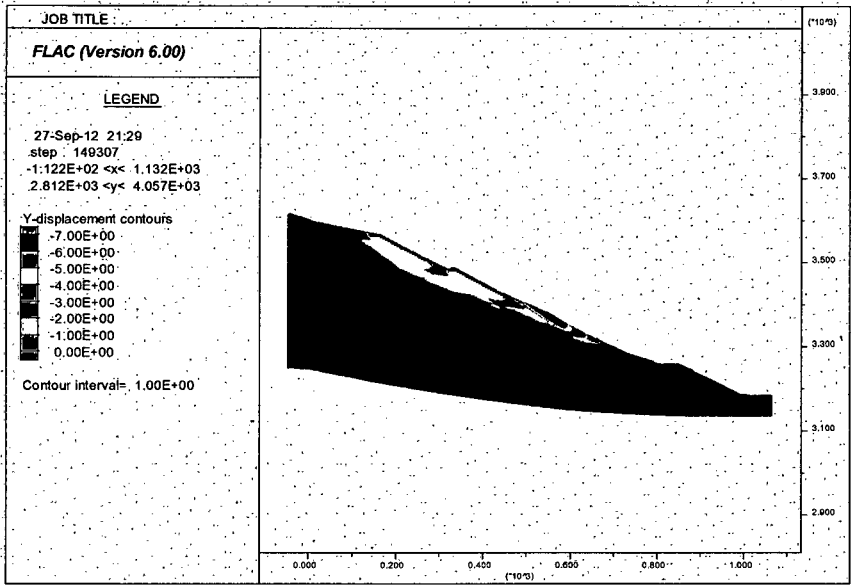


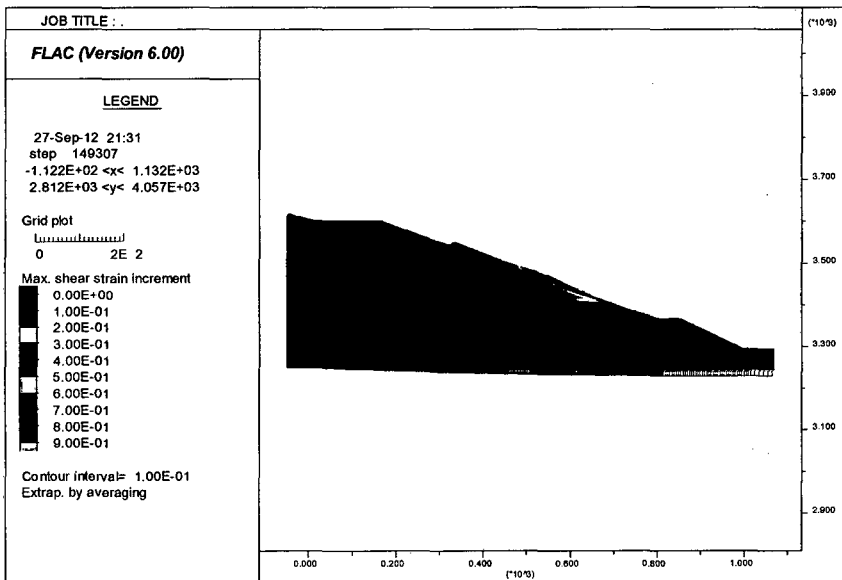
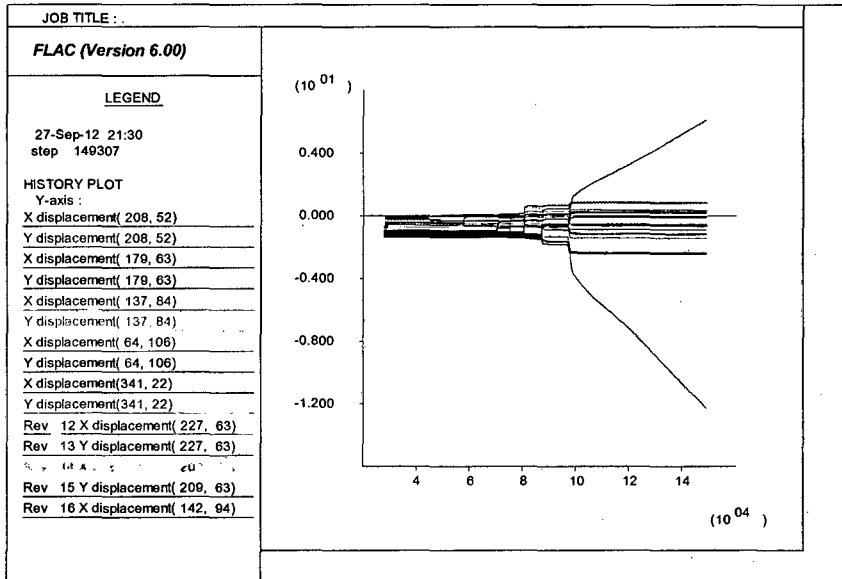
Esfuerzos de Corte



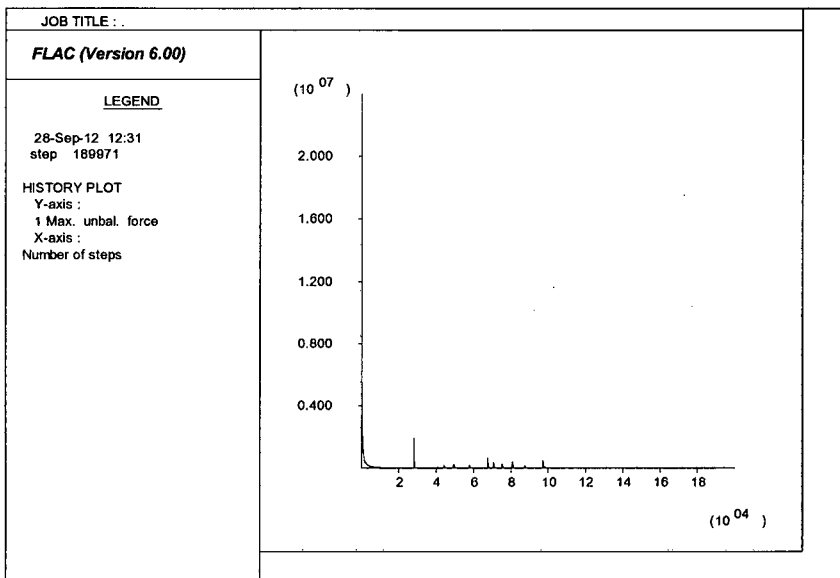
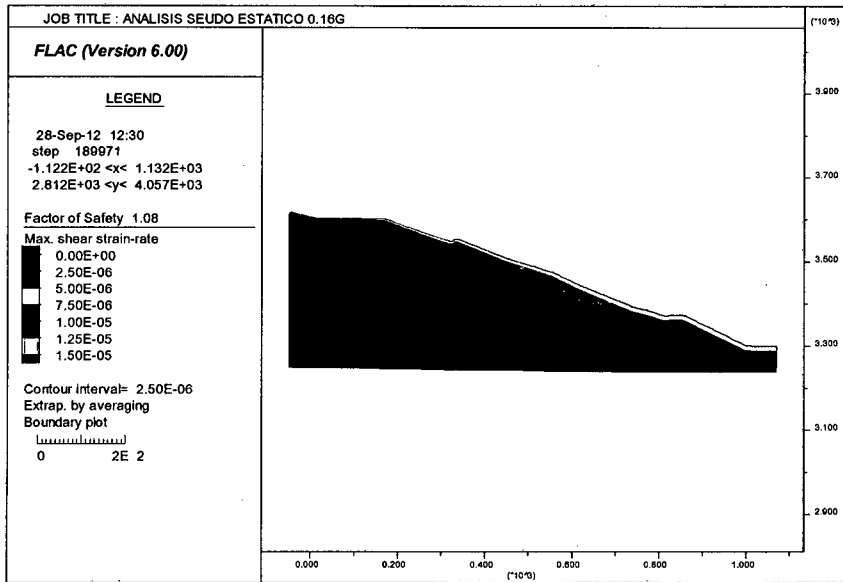
Resultados del Analisis de Estabilidad Estatico

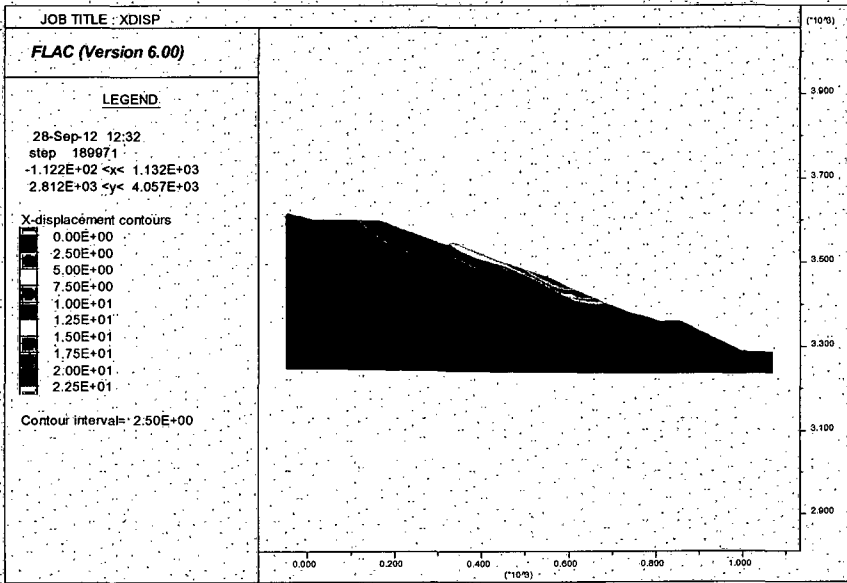
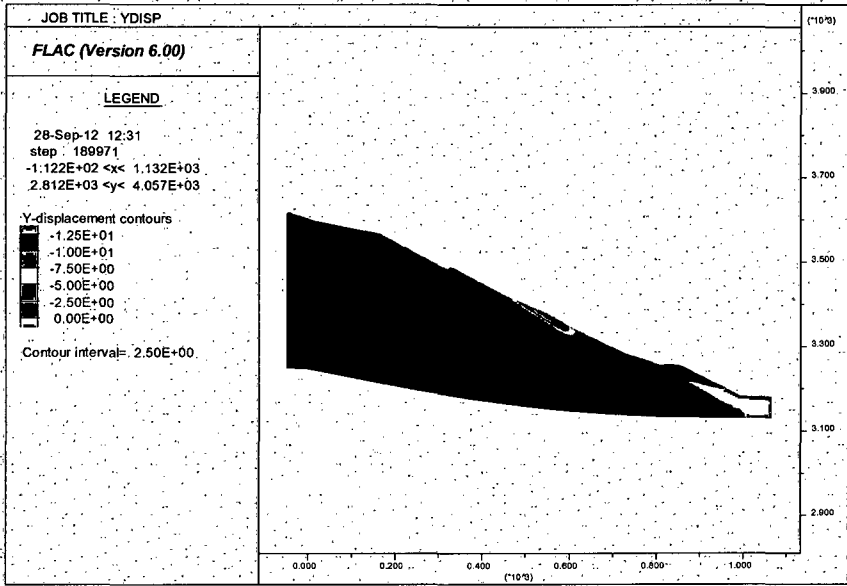


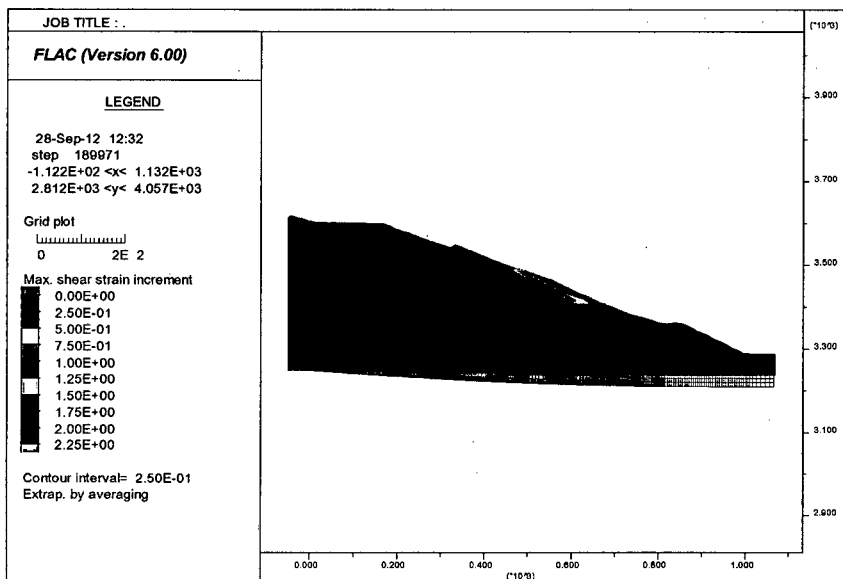
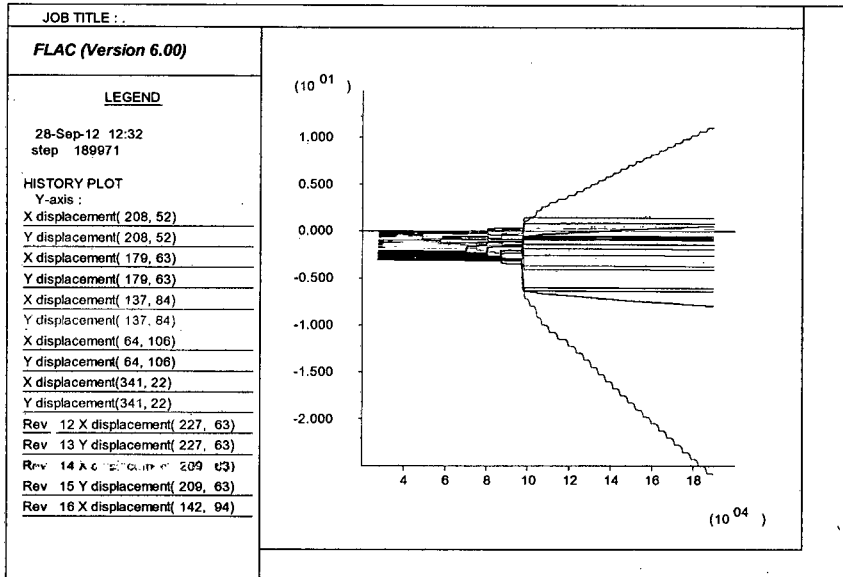




Resultados del Analisis de Estabilidad Seudo Estatico







ANEXO 3.2
Caso 2

ANALISIS ESTATICO

Project Title: DEPOSITO DE RELAVES FILTRADOS PAHUAYPITE 2

Loading

Seismic Load Coefficient (Horizontal): 0.0

Method: bishop simplified

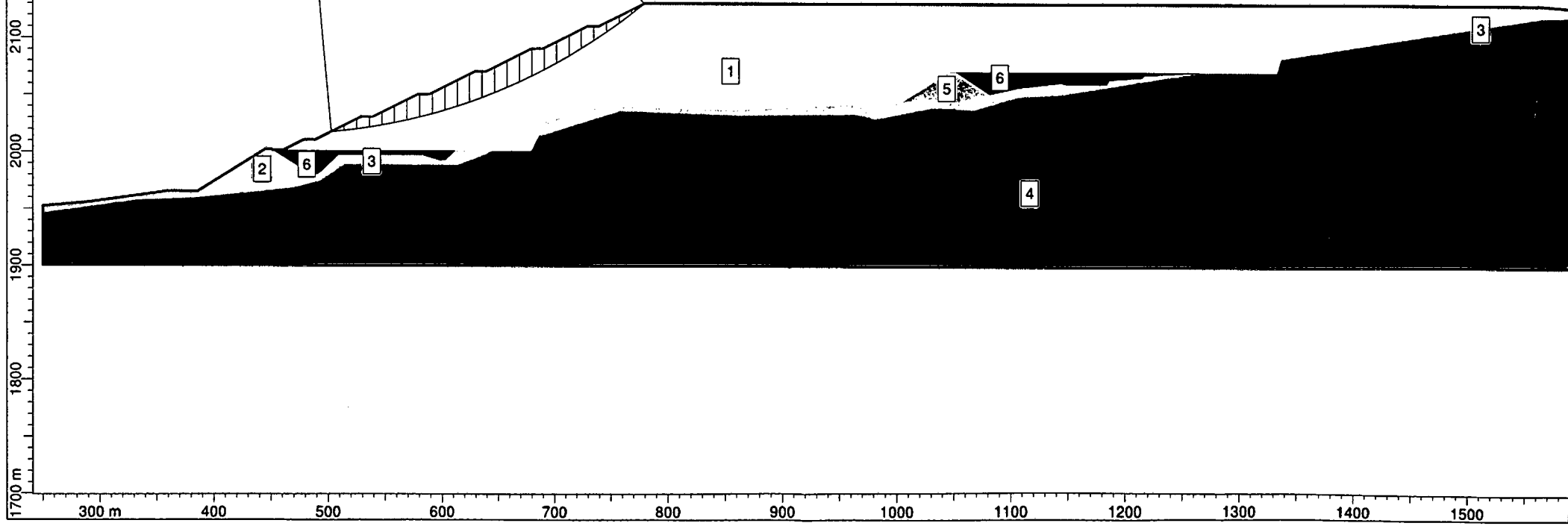
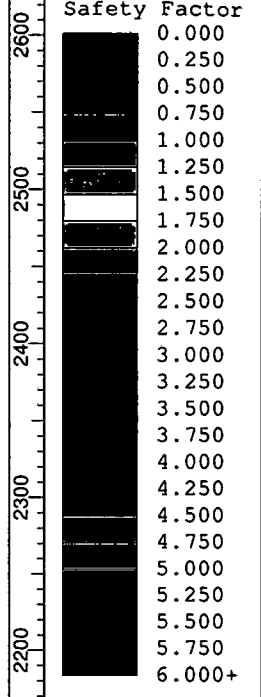
FS: 1.770300

Center: 457.113, 2521.733

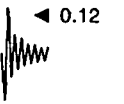
Radius: 506.547

1.770

ITEM	MATERIAL	γ KN/m ³	C KPa	ϕ°	
1	RELAVE FILTRADO	27	20	32	
2	CANTERA SUELO (DIQUES)	22	25	35	
3	GRANODIORITA METEORIZADA	22	168	30	
4	GRANODIORITA	24	1520	58	
5	CANTERA DE ROCA	22	0	41	
6	RELLENO DE ROCA	22	0	38	



ANALISIS SEUDO ESTATICO



Project Title: DEPOSITO DE RELAVES FILTRADOS PAHUAYPITE 2

Loading

Seismic Load Coefficient (Horizontal): 0.12

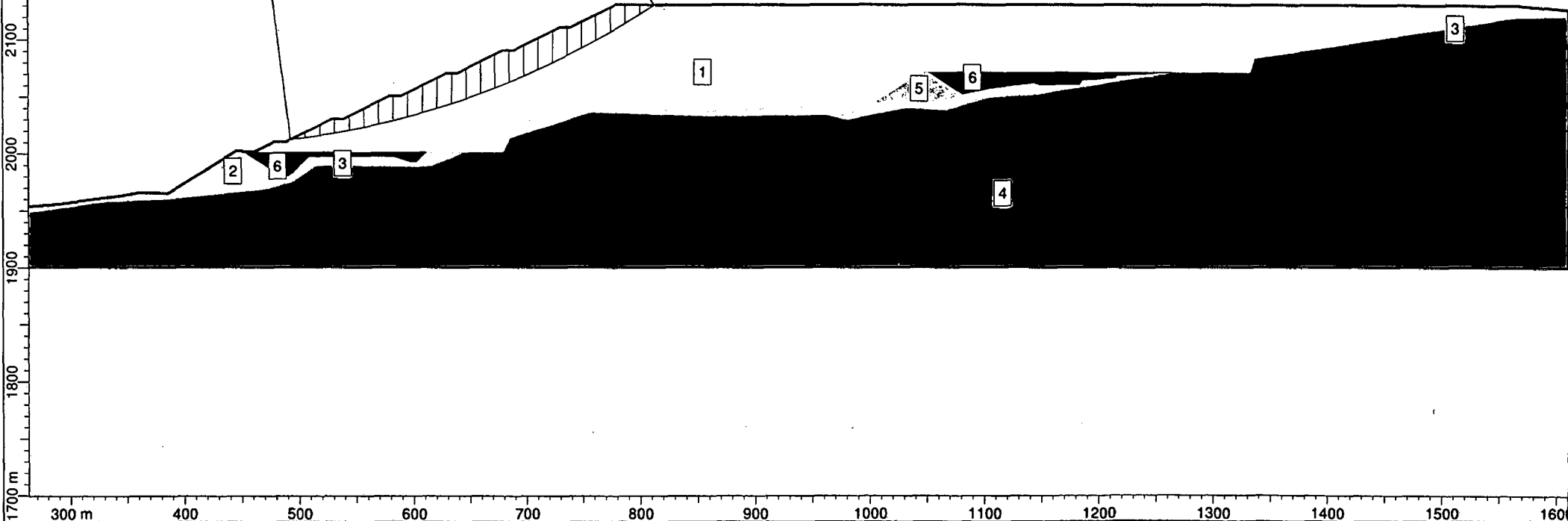
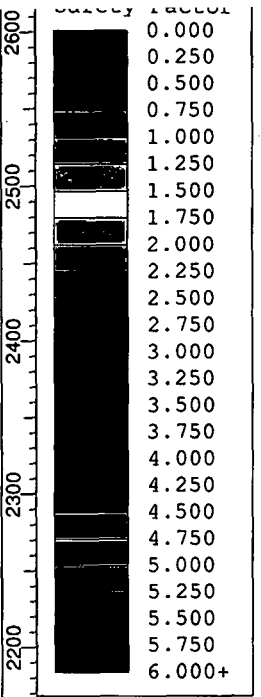
Method: bishop simplified

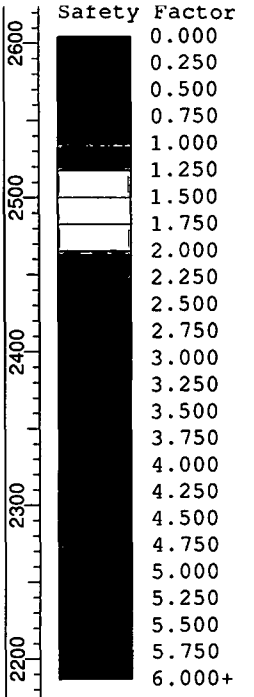
FS: 1.304440

Center: 400.831, 2753.471

Radius: 747.066

ITEM	MATERIAL	γ KN/m ³	C KPa	ϕ°
1	RELAVE FILTRADO	27	20	32
2	CANtera SUELO (DIQUES)	22	25	35
3	GRANODIORITA METEORIZADA	22	168	30
4	GRANODIORITA	24	1520	58
5	CANtera DE ROCA	22	0	41
6	RELLENO DE ROCA	22	0	38





ANALISIS SEUDO ESTATICO



Project Title: DEPOSITO DE RELAVES FILTRADOS PAHUAYPITE 2

Loading

Seismic Load Coefficient (Horizontal): 0.20

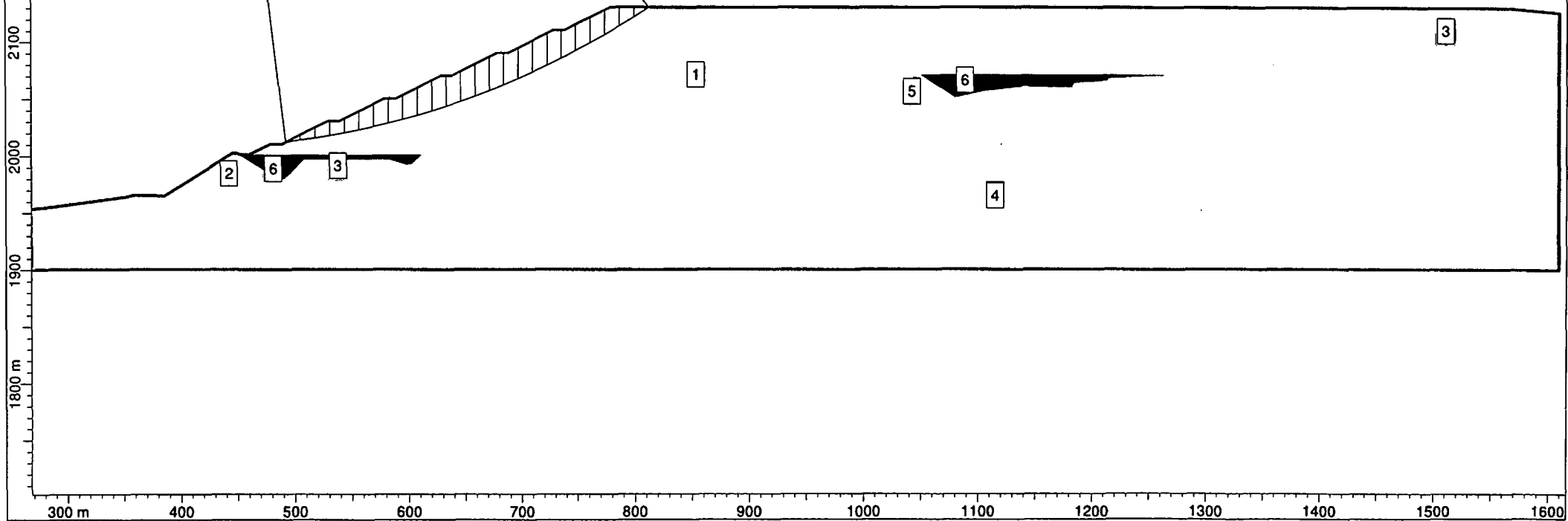
Method: bishop simplified

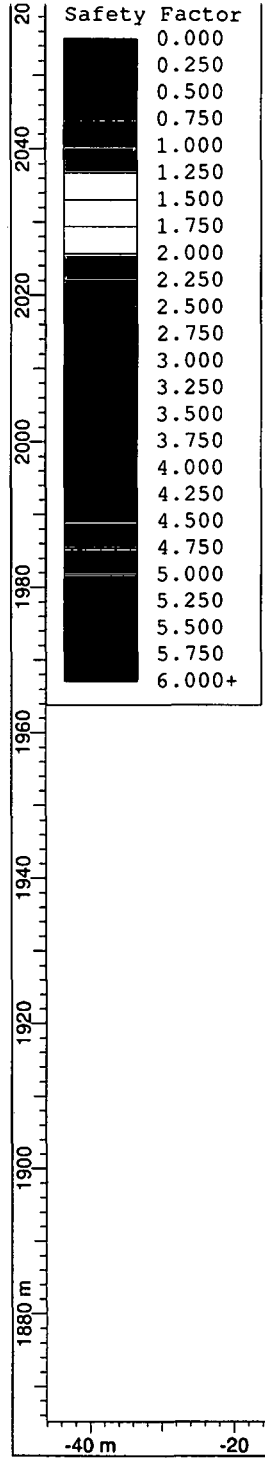
FS: 1.093780

Center: 400.831, 2753.471

Radius: 747.066

ITEM	MATERIAL	γ KN/m ³	C KPa	ϕ°	
1	RELAVE FILTRADO	27	20	32	
2	CANTERA SUELO (DIQUES)	22	25	35	
3	GRANODIORITA METEORIZADA	22	168	30	
4	GRANODIORITA	24	1520	58	
5	CANTERA DE ROCA	22	0	41	
6	RELLENO DE ROCA	22	0	38	

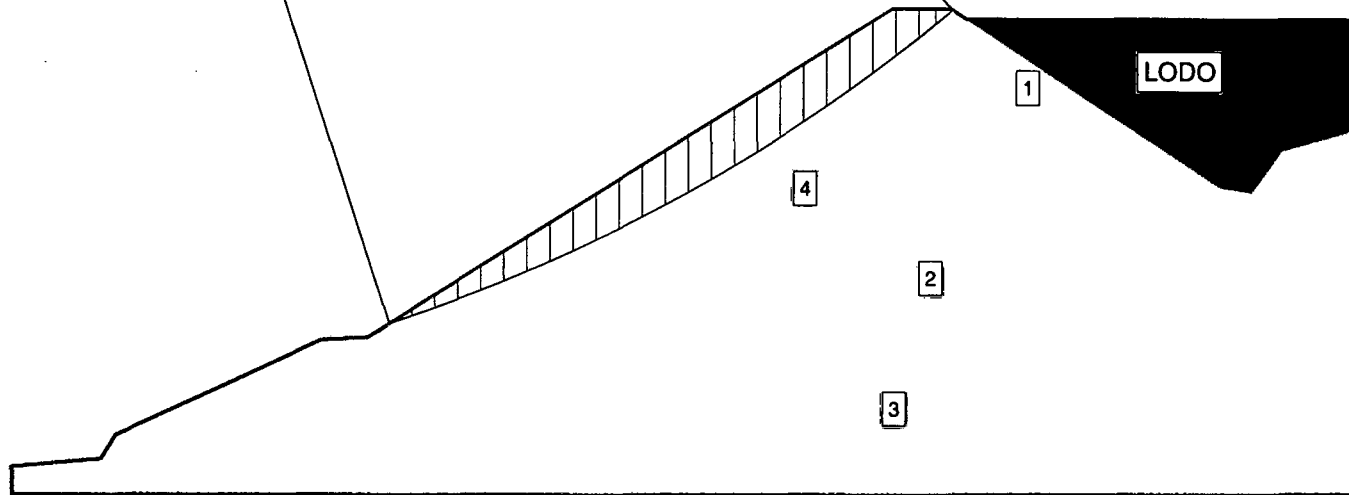


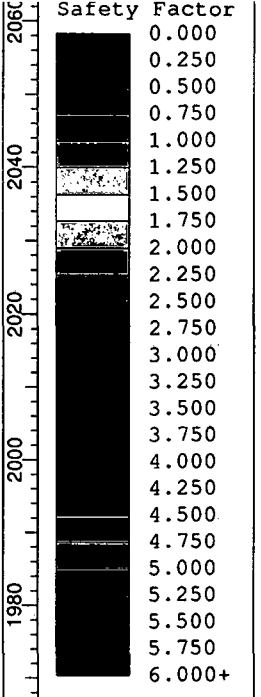


ANALISIS ESTATICO

Project Title: DEPOSITO DE CONTINGENCIAS
Talud Aguas Abajo
Loading
Seismic Load Coefficient (Horizontal): 0.00
Method: bishop simplified
FS: 1.616490
Center: -20.409, 2145.720
Radius: 233.604

ITEM	MATERIAL	γ KN/m ³	C KPa	ϕ°	
1	CANTERA SUELO (DIQUES)	22	25	35	
2	GRANODIORITA METEORIZADA	22	168	30	
3	GRANODIORITA	24	1520	58	
4	CANTERA DE ROCA	22	0	41	

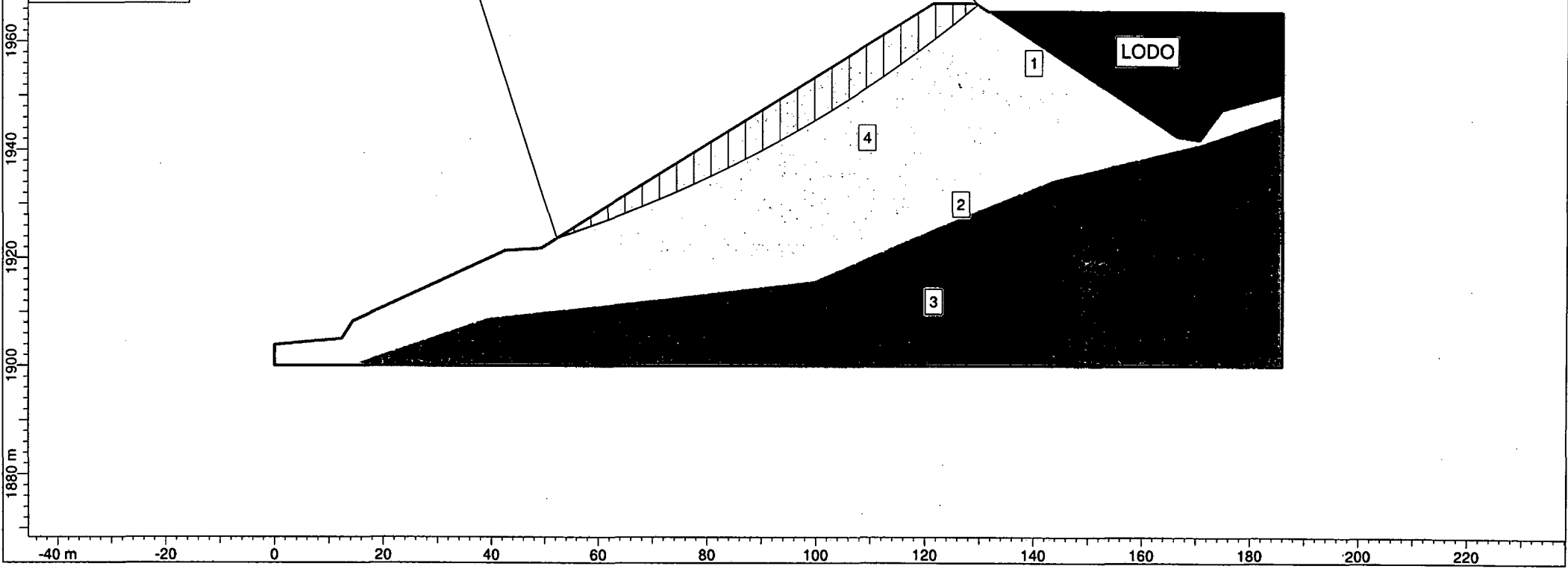


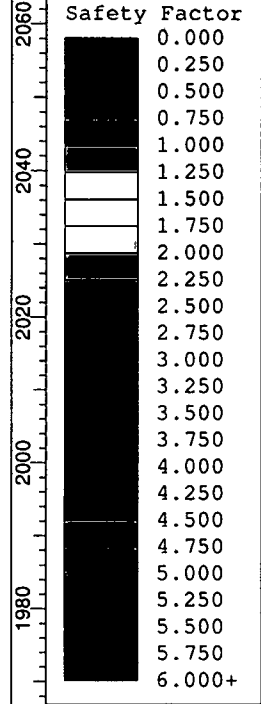


ANALISIS SEUDO ESTATICO

Project Title: DEPOSITO DE CONTINGENCIAS
Talud Aguas Abajo
Loading
Seismic Load Coefficient (Horizontal): 0.12
Method: bishop simplified
FS: 1.257430
Center: -20.409, 2145.720
Radius: 233.604

ITEM	MATERIAL	γ KN/m ³	C KPa	ϕ°	
1	CANTERA SUELO (DIQUES)	22	25	35	
2	GRANODIORITA METEORIZADA	22	168	30	
3	GRANODIORITA	24	1520	58	
4	CANTERA DE ROCA	22	0	41	

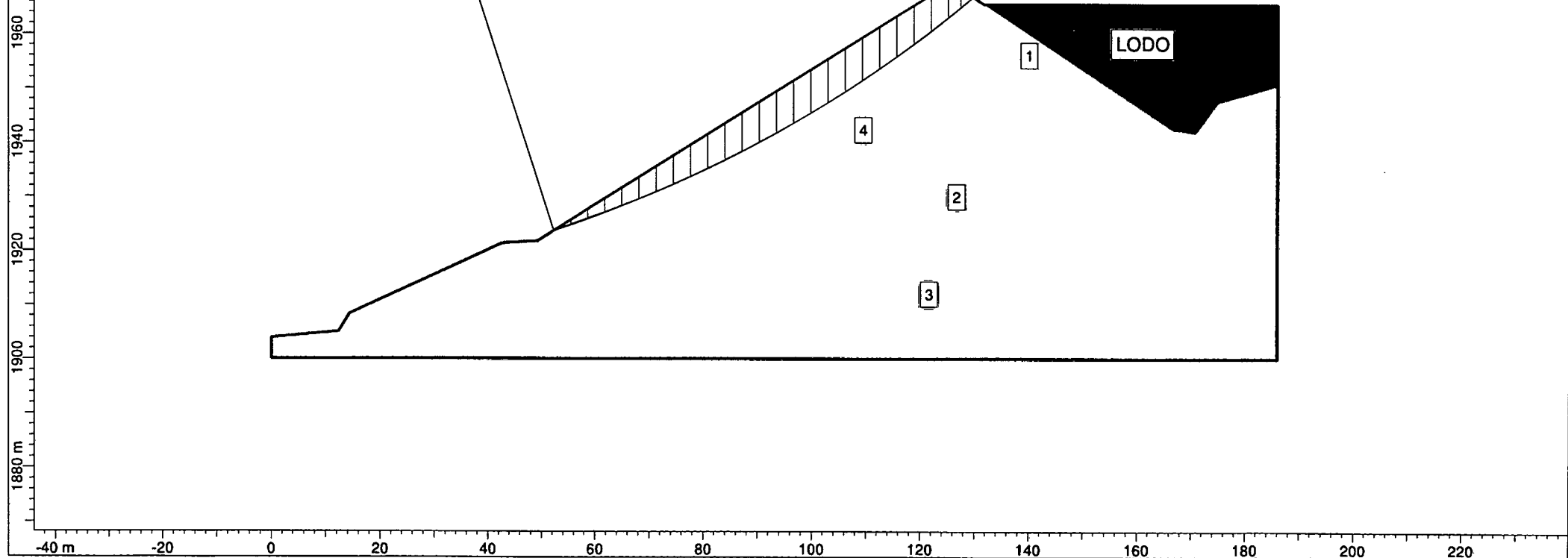




ANALISIS SEUDO ESTATICO





Project Title: DEPOSITO DE CONTINGENCIAS
Talud Aguas Abajo
Loading
Seismic Load Coefficient (Horizontal): 0.20
Method: bishop simplified
FS: 1.078770
Center: -20.409, 2145.720
Radius: 233.604

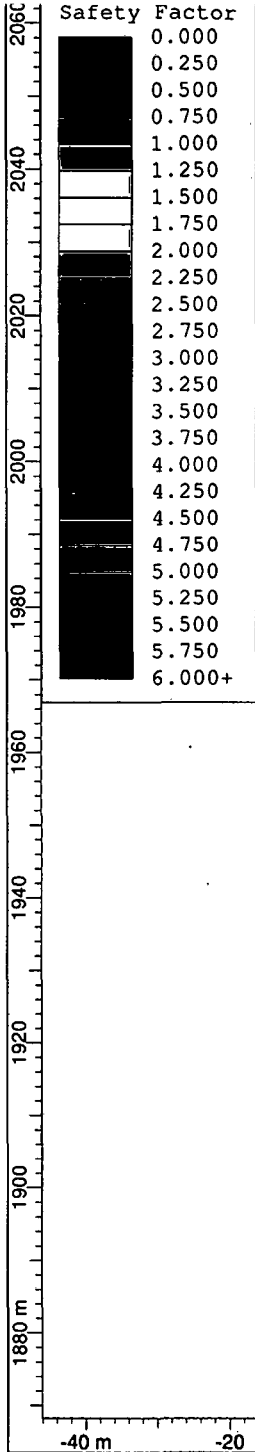
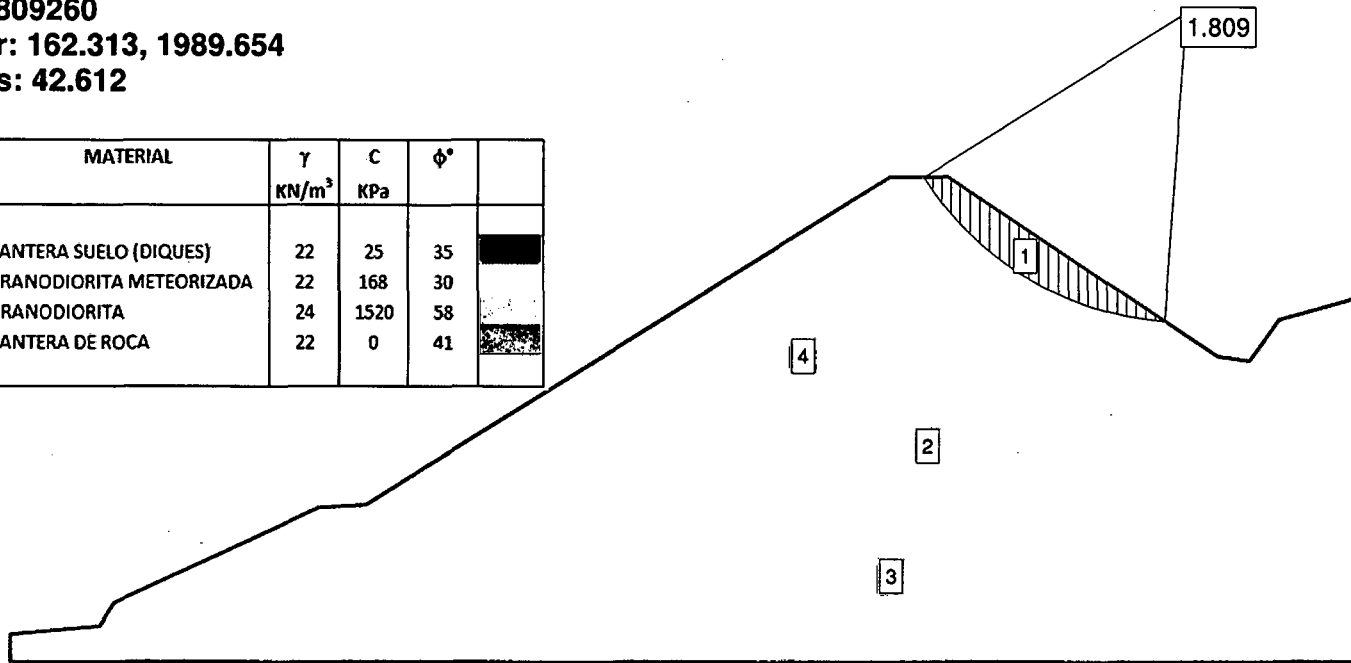
ITEM	MATERIAL	γ KN/m ³	C KPa	ϕ°	
1	CANtera SUELO (DIQUES)	22	25	35	
2	GRANODIORITA METEORIZADA	22	168	30	
3	GRANODIORITA	24	1520	58	
4	CANtera DE ROCA	22	0	41	



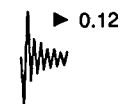
ANALISIS ESTATICO

Project Title: DEPOSITO DE CONTINGENCIAS
Talud Aguas Arriba
Loading
Seismic Load Coefficient (Horizontal): 0.00
Method: bishop simplified
FS: 1.809260
Center: 162.313, 1989.654
Radius: 42.612

ITEM	MATERIAL	γ KN/m ³	C KPa	ϕ°	
1	CANtera SUELO (DIQUES)	22	25	35	
2	GRANODIORITA METEORIZADA	22	168	30	
3	GRANODIORITA	24	1520	58	
4	CANtera DE ROCA	22	0	41	

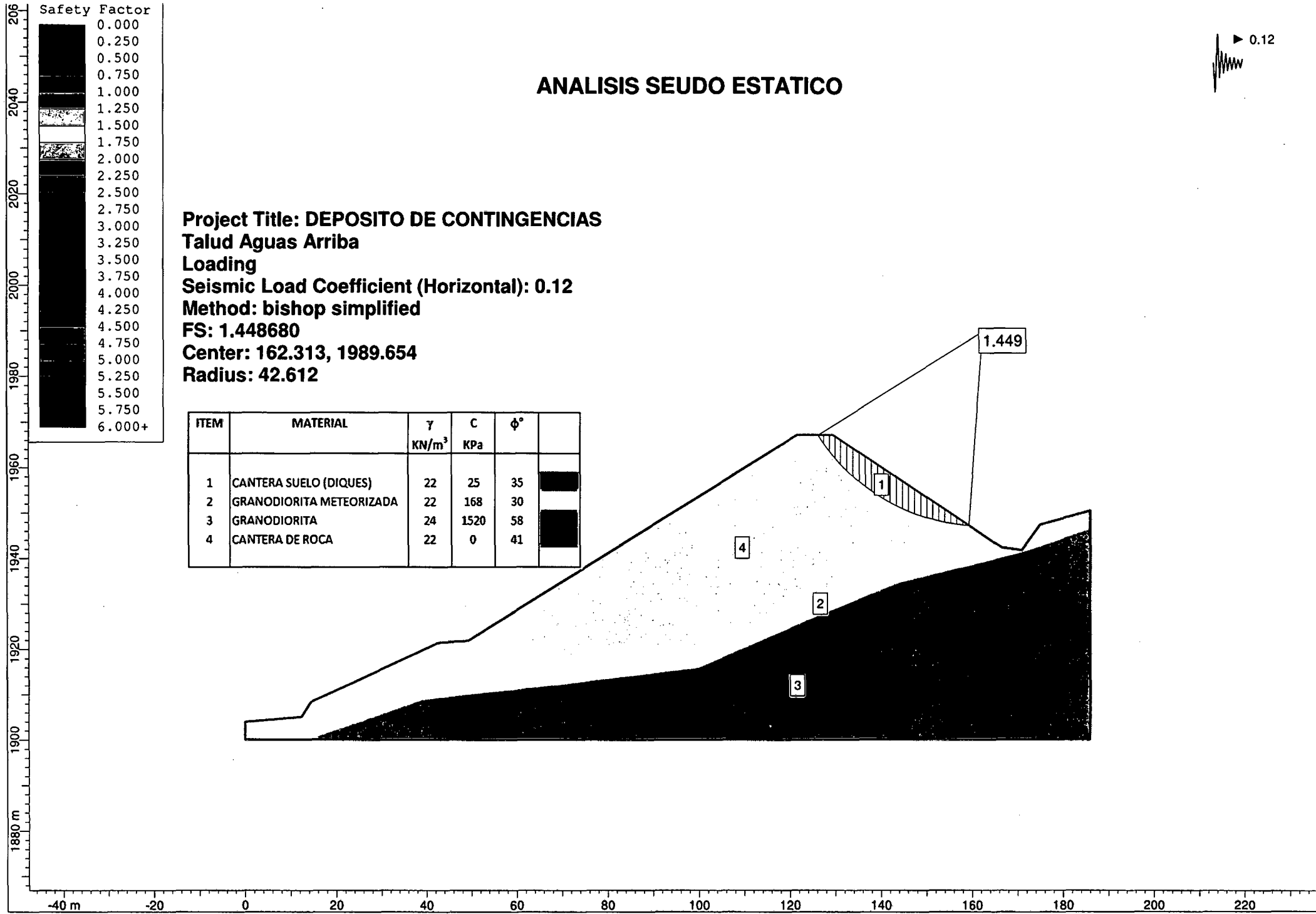


ANALISIS SEUDO ESTATICO



Project Title: DEPOSITO DE CONTINGENCIAS
Talud Aguas Arriba
Loading
Seismic Load Coefficient (Horizontal): 0.12
Method: bishop simplified
FS: 1.448680
Center: 162.313, 1989.654
Radius: 42.612

ITEM	MATERIAL	γ KN/m ³	C KPa	ϕ°	
1	CANTERA SUELO (DIQUES)	22	25	35	
2	GRANODIORITA METEORIZADA	22	168	30	
3	GRANODIORITA	24	1520	58	
4	CANTERA DE ROCA	22	0	41	

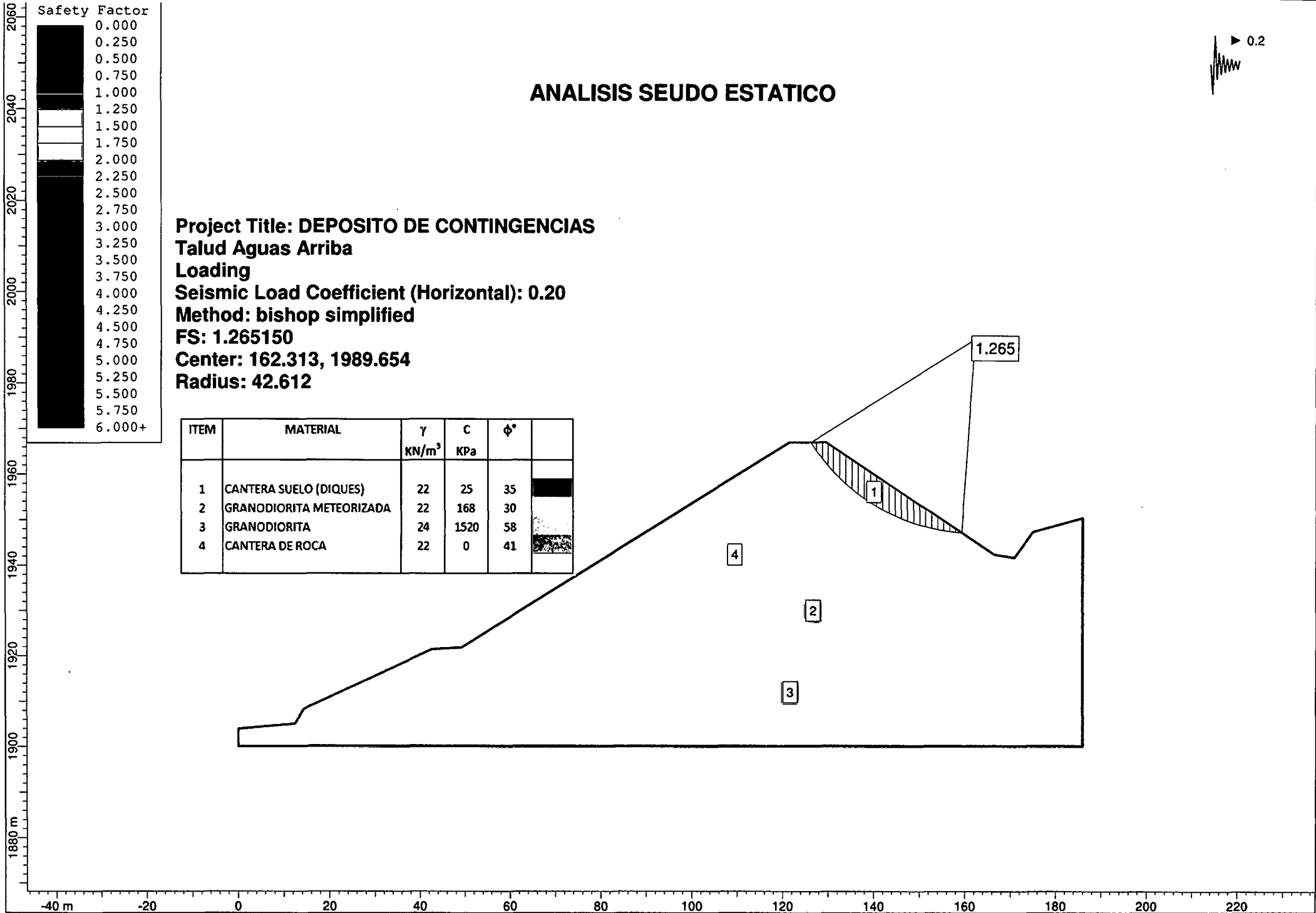


ANALISIS SEUDO ESTATICO

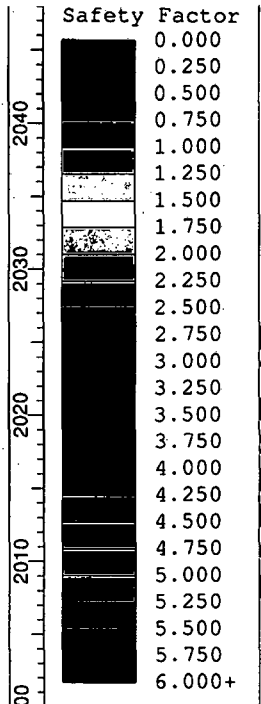


Project Title: DEPOSITO DE CONTINGENCIAS
Talud Aguas Arriba
Loading
Seismic Load Coefficient (Horizontal): 0.20
Method: bishop simplified
FS: 1.265150
Center: 162.313, 1989.654
Radius: 42.612

ITEM	MATERIAL	γ KN/m ³	C KPa	ϕ°	
1	CANtera SUELO (DIQUES)	22	25	35	
2	GRANODIORITA METEORIZADA	22	168	30	
3	GRANODIORITA	24	1520	58	
4	CANtera DE ROCA	22	0	41	



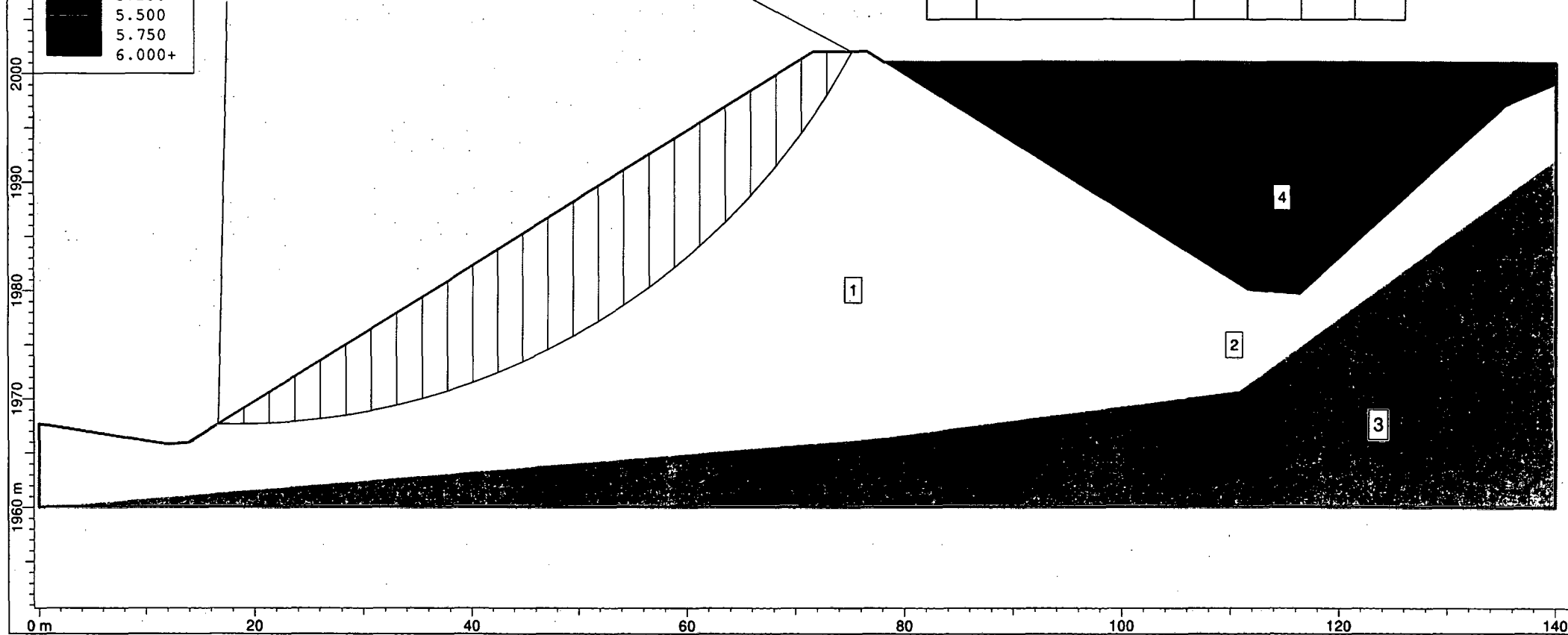
ANALISIS ESTATICO



1.694

Project Title: DIQUE DE ARRANQUE
Talud Aguas Abajo
Loading
Seismic Load Coefficient (Horizontal): 0.00
Method: bishop simplified
FS: 1.694200
Center: 18.121, 2032.321
Radius: 64.687

ITEM	MATERIAL	γ KN/m ³	C KPa	ϕ°	
1	CANtera SUELO (DIQUES)	22	25	35	
2	GRANODIORITA METEORIZADA	22	168	30	
3	GRANODIORITA	24	1520	58	
4	RELLENO DE ROCA	22	0	38	

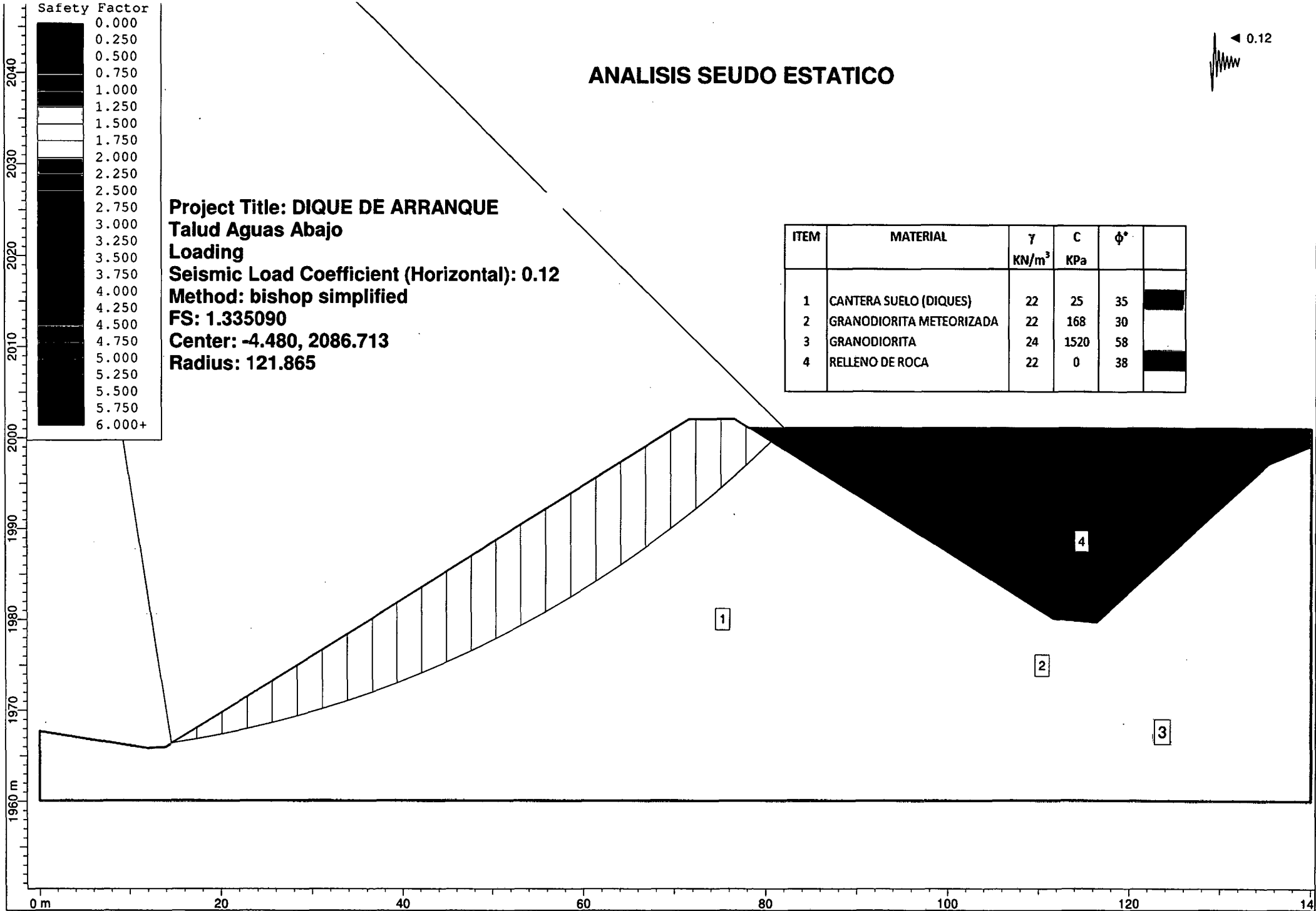


ANALISIS SEUDO ESTATICO



Project Title: DIQUE DE ARRANQUE
Talud Aguas Abajo
Loading
Seismic Load Coefficient (Horizontal): 0.12
Method: bishop simplified
FS: 1.335090
Center: -4.480, 2086.713
Radius: 121.865

ITEM	MATERIAL	γ KN/m ³	C KPa	ϕ°	
1	CANTERA SUELO (DIQUES)	22	25	35	█
2	GRANODIORITA METEORIZADA	22	168	30	█
3	GRANODIORITA	24	1520	58	█
4	RELLENO DE ROCA	22	0	38	█

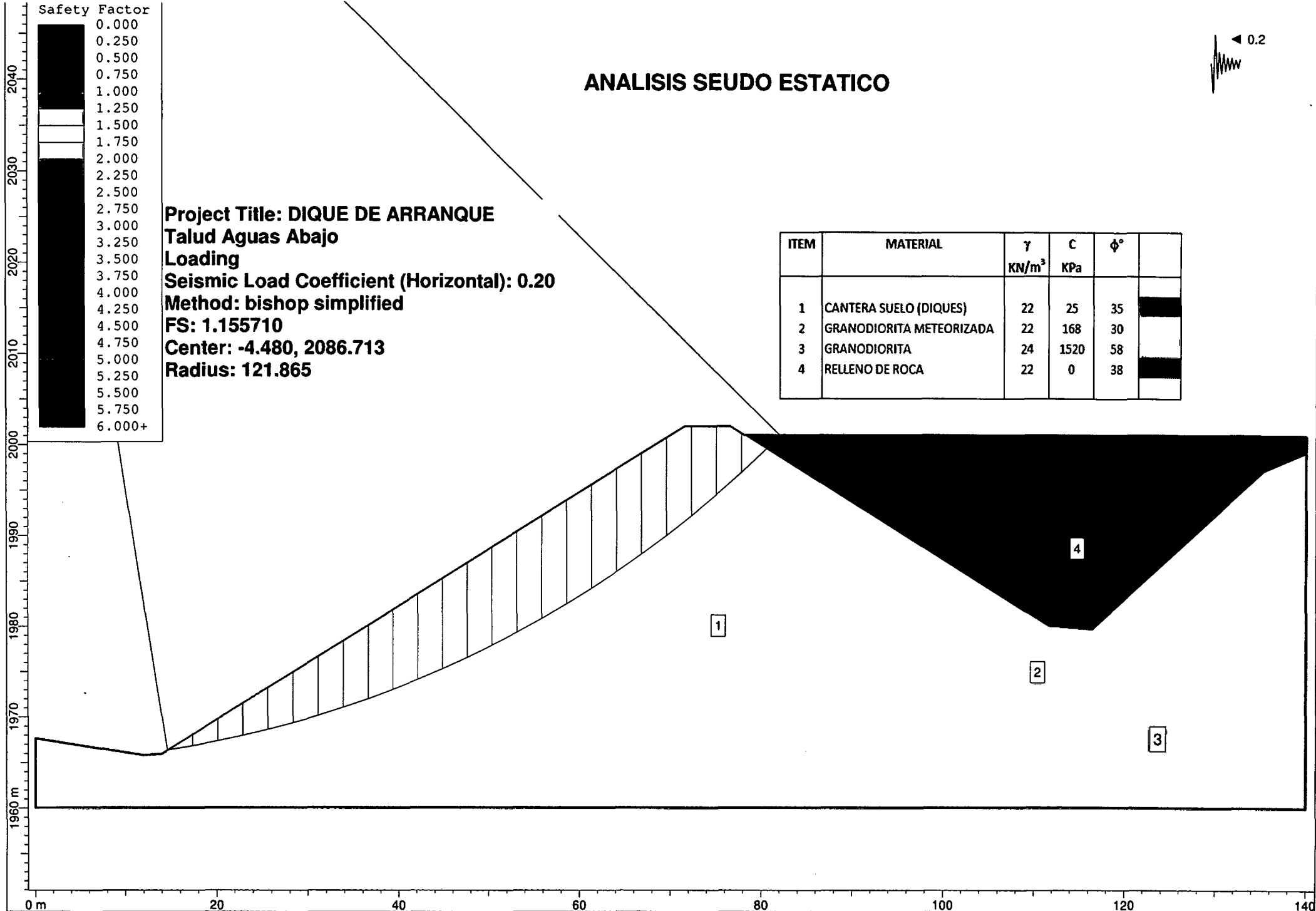


ANALISIS SEUDO ESTATICO



Project Title: DIQUE DE ARRANQUE
Talud Aguas Abajo
Loading
Seismic Load Coefficient (Horizontal): 0.20
Method: bishop simplified
FS: 1.155710
Center: -4.480, 2086.713
Radius: 121.865

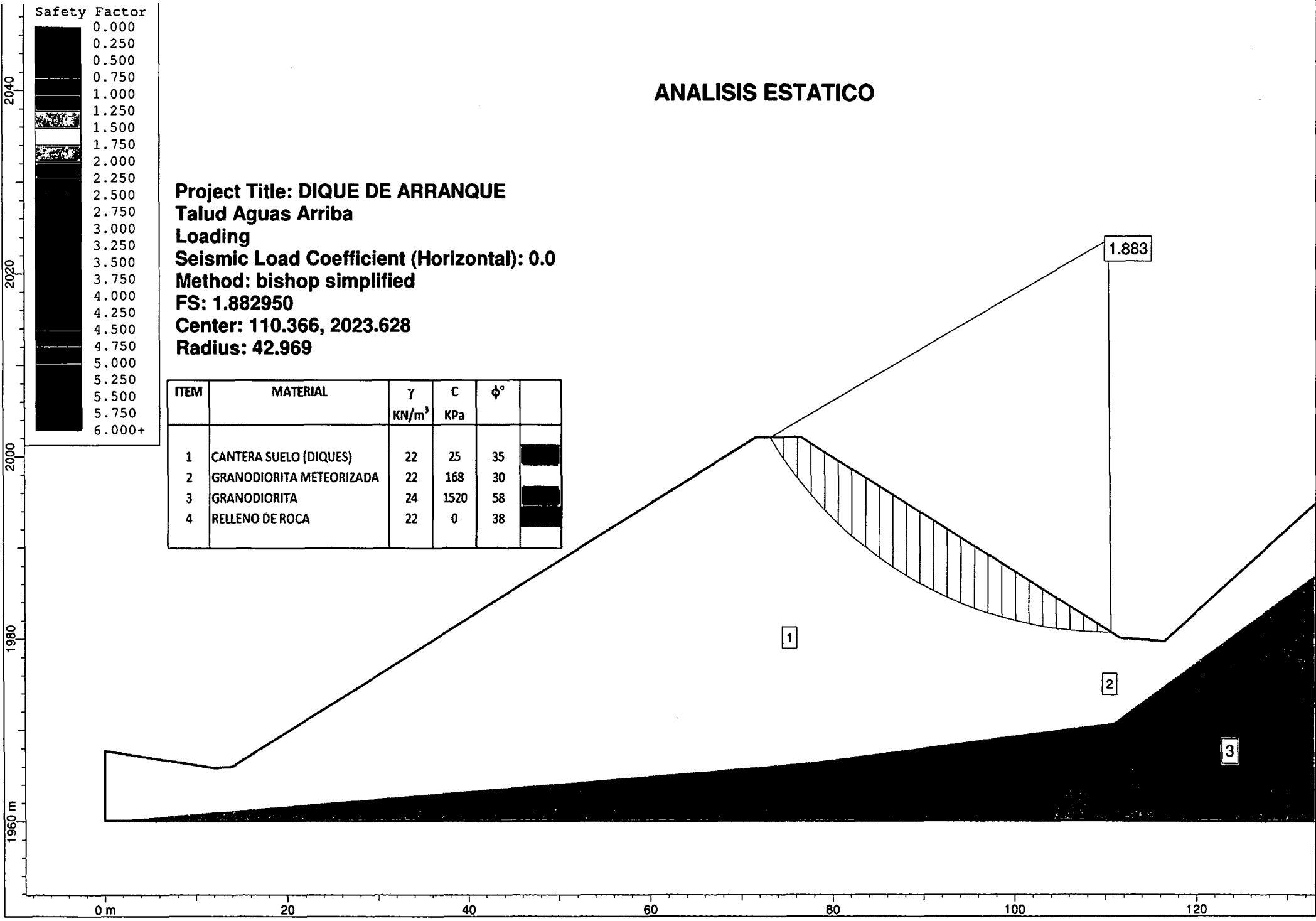
ITEM	MATERIAL	γ KN/m ³	C KPa	ϕ°	
1	CANtera SUELO (DIQUES)	22	25	35	
2	GRANODIORITA METEORIZADA	22	168	30	
3	GRANODIORITA	24	1520	58	
4	RELLENO DE ROCA	22	0	38	



ANALISIS ESTATICO

Project Title: DIQUE DE ARRANQUE
Talud Aguas Arriba
Loading
Seismic Load Coefficient (Horizontal): 0.0
Method: bishop simplified
FS: 1.882950
Center: 110.366, 2023.628
Radius: 42.969

ITEM	MATERIAL	γ KN/m ³	C KPa	ϕ°	
1	CANtera SUELO (DIQUES)	22	25	35	█
2	GRANODIORITA METEORIZADA	22	168	30	█
3	GRANODIORITA	24	1520	58	█
4	RELLENO DE ROCA	22	0	38	█

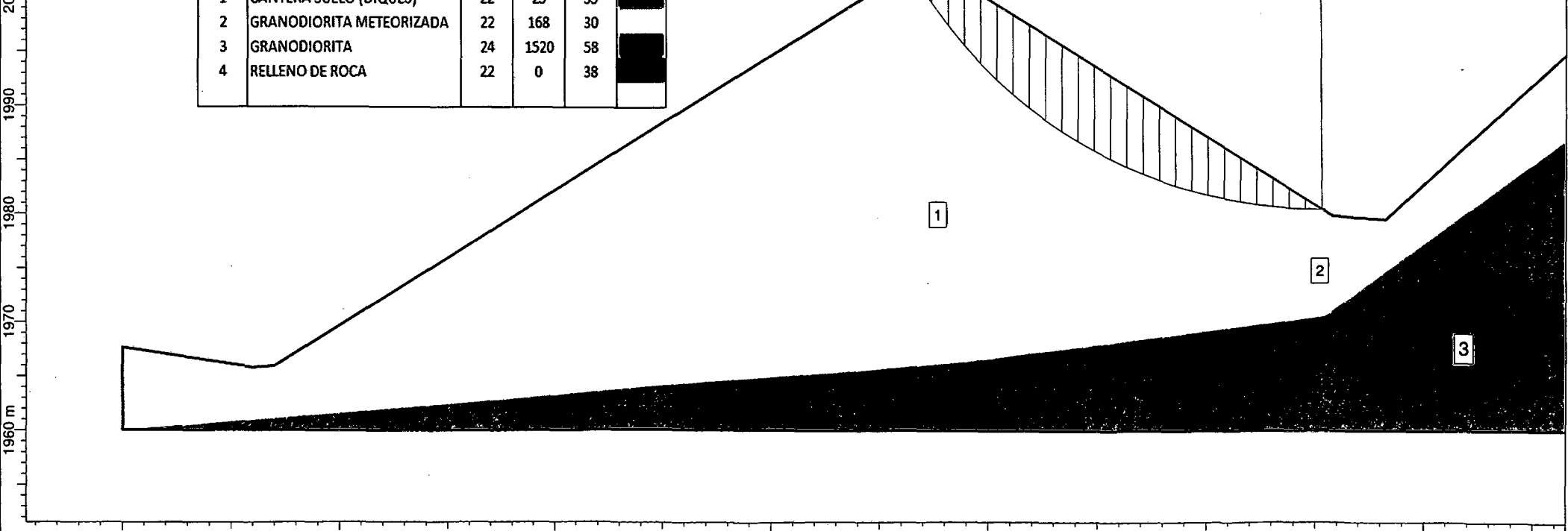
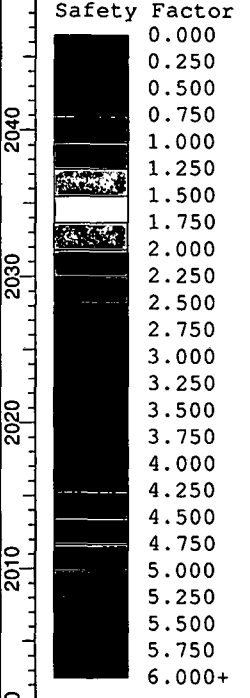


ANALISIS SEUDO ESTATICO



Project Title: DIQUE DE ARRANQUE
Talud Aguas Arriba
Loading
Seismic Load Coefficient (Horizontal): 0.12
Method: bishop simplified
FS: 1.508010
Center: 110.366, 2023.628
Radius: 42.969

ITEM	MATERIAL	γ KN/m ³	C KPa	ϕ°	
1	CANTERA SUELO (DIQUES)	22	25	35	
2	GRANODIORITA METEORIZADA	22	168	30	
3	GRANODIORITA	24	1520	58	
4	RELLENO DE ROCA	22	0	38	

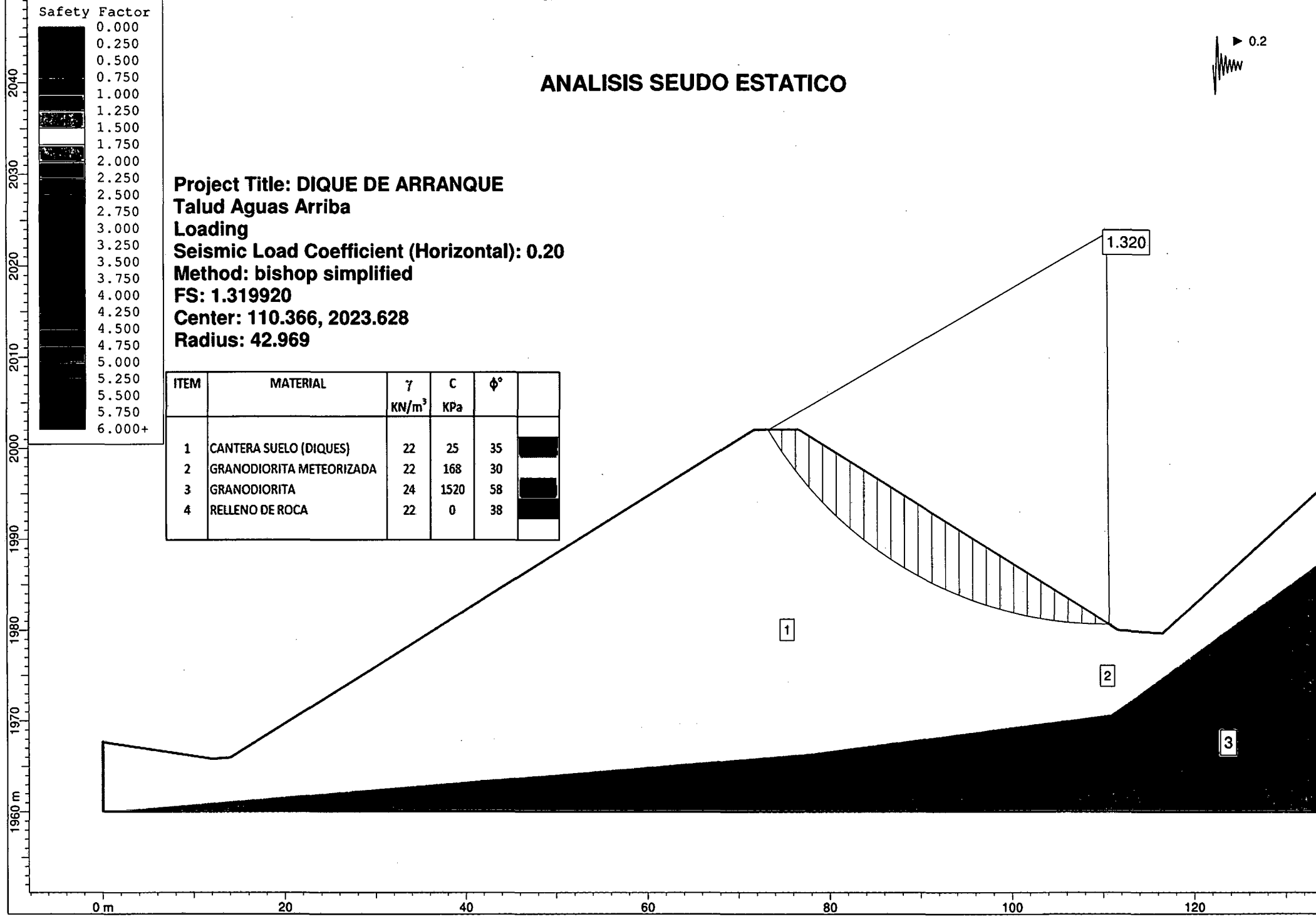


ANALISIS SEUDO ESTATICO



Project Title: DIQUE DE ARRANQUE
Talud Aguas Arriba
Loading
Seismic Load Coefficient (Horizontal): 0.20
Method: bishop simplified
FS: 1.319920
Center: 110.366, 2023.628
Radius: 42.969

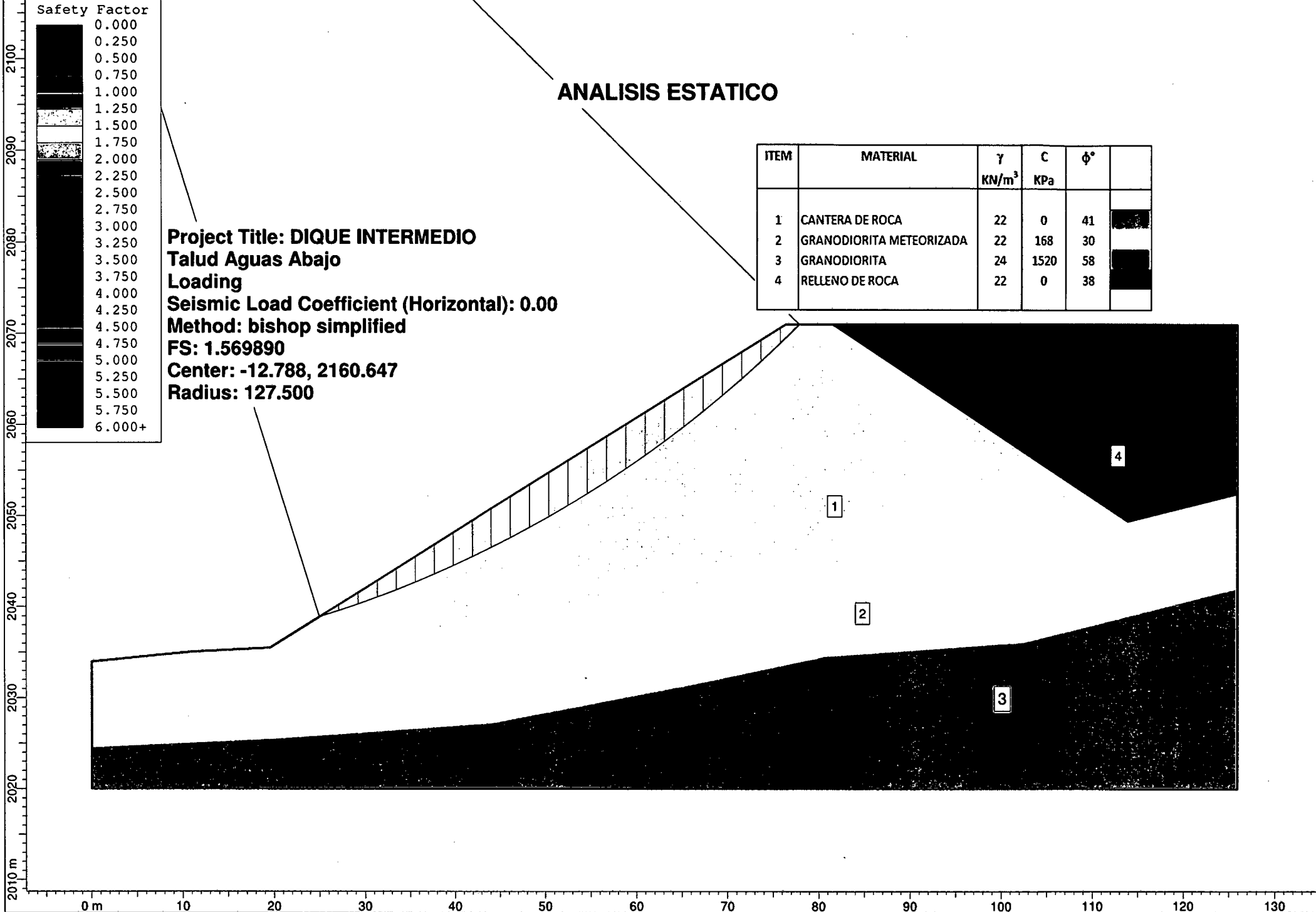
ITEM	MATERIAL	γ KN/m ³	C KPa	ϕ°	
1	CANtera SUELO (DIQUES)	22	25	35	█
2	GRANODIORITA METEORIZADA	22	168	30	█
3	GRANODIORITA	24	1520	58	█
4	RELLENO DE ROCA	22	0	38	█



ANALISIS ESTATICO

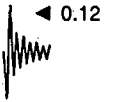
Project Title: DIQUE INTERMEDIO
Talud Aguas Abajo
Loading
Seismic Load Coefficient (Horizontal): 0.00
Method: bishop simplified
FS: 1.569890
Center: -12.788, 2160.647
Radius: 127.500

ITEM	MATERIAL	γ KN/m ³	C KPa	ϕ°	
1	CANtera DE ROCA	22	0	41	
2	GRANODIORITA METEORIZADA	22	168	30	
3	GRANODIORITA	24	1520	58	
4	RELLENO DE ROCA	22	0	38	







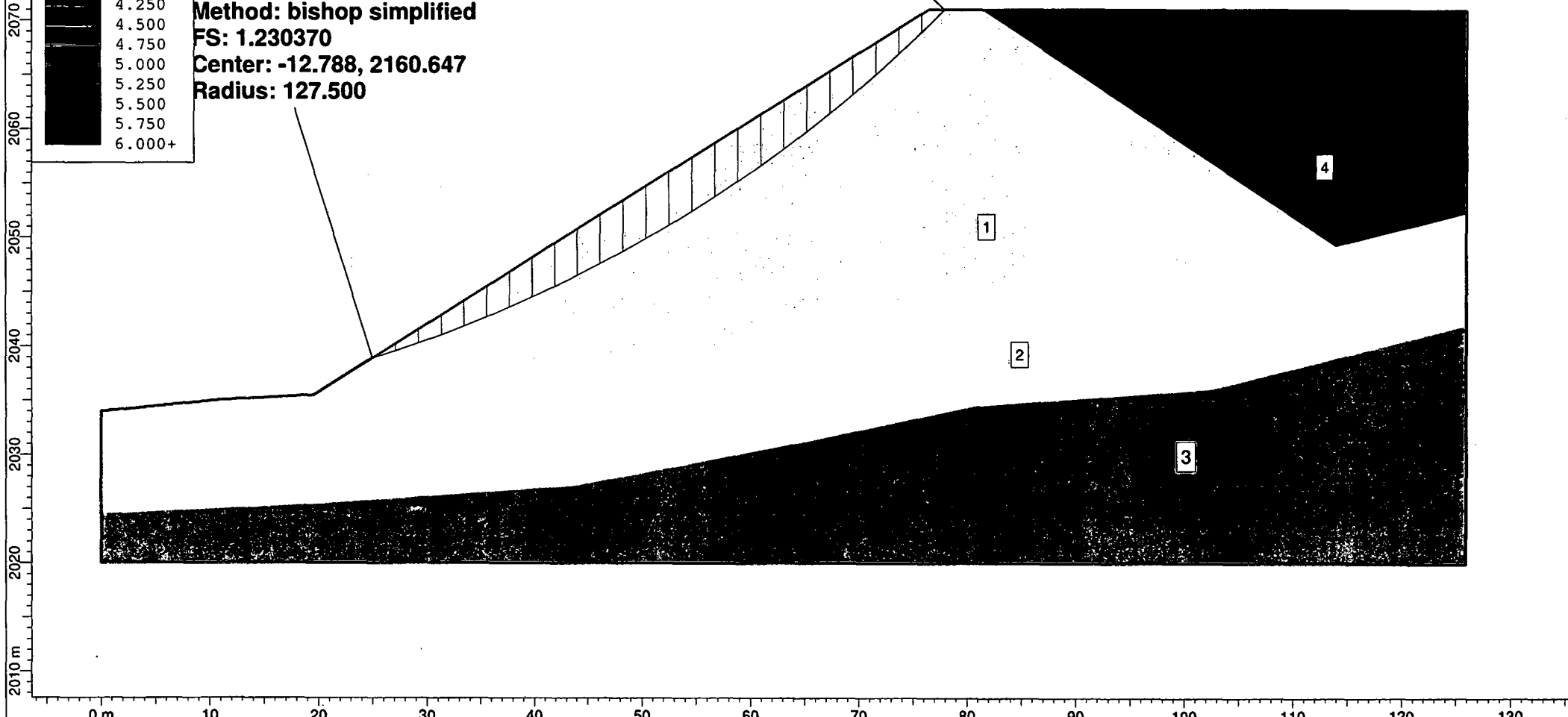
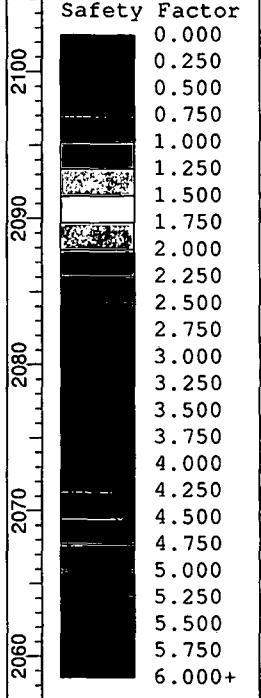
ANALISIS SEUDO ESTATICO

◀ 0.12



Project Title: DIQUE INTERMEDIO
Talud Aguas Abajo
Loading
Seismic Load Coefficient (Horizontal): 0.12
Method: bishop simplified
FS: 1.230370
Center: -12.788, 2160.647
Radius: 127.500

ITEM	MATERIAL	γ KN/m ³	C KPa	ϕ°	
1	CANTERA DE ROCA	22	0	41	
2	GRANODIORITA METEORIZADA	22	168	30	
3	GRANODIORITA	24	1520	58	
4	RELLENO DE ROCA	22	0	38	

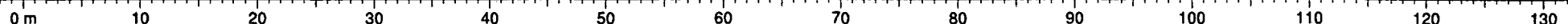
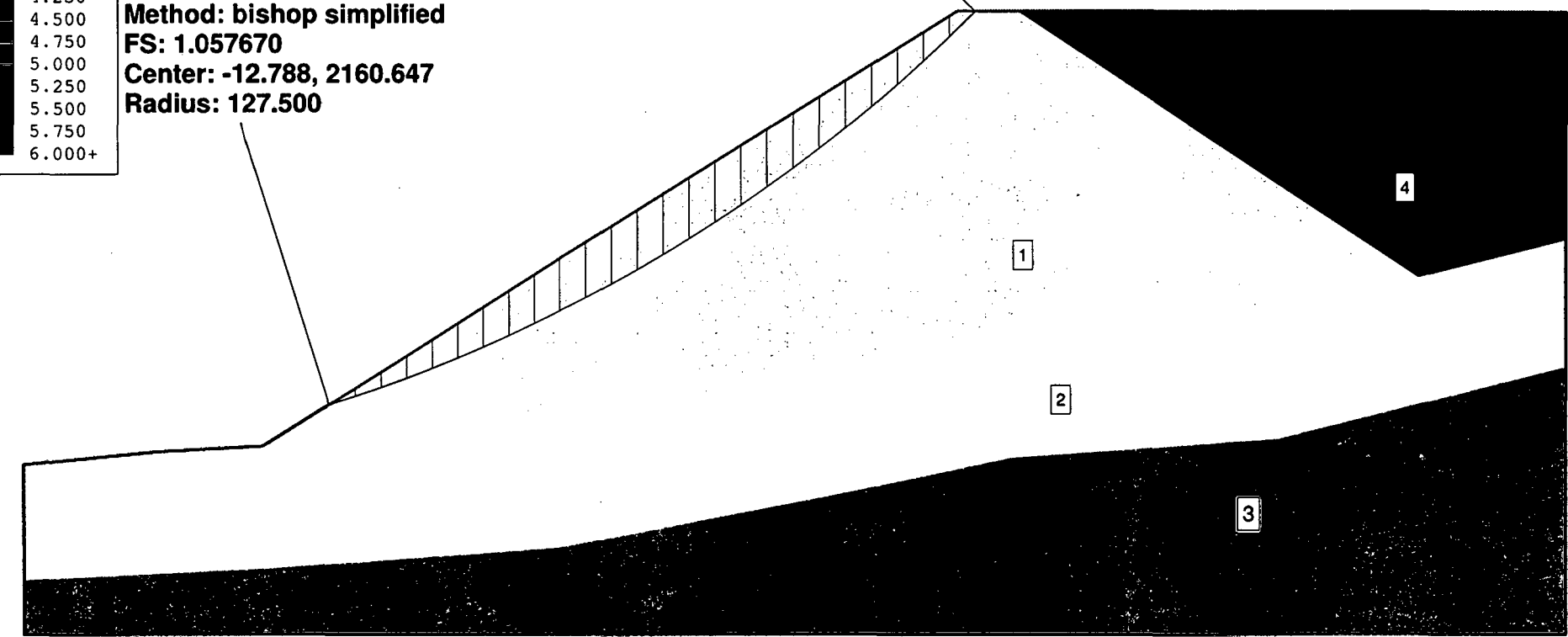
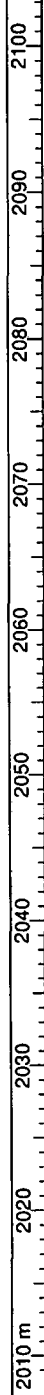
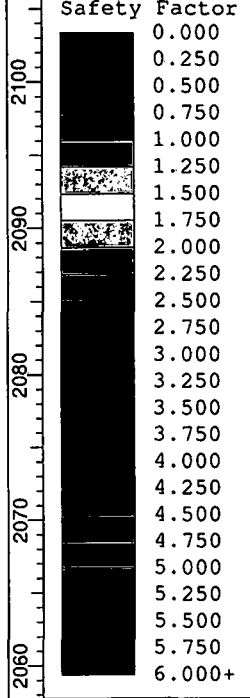


ANALISIS SEUDO ESTATICO



Project Title: DIQUE INTERMEDIO
Talud Aguas Abajo
Loading
Seismic Load Coefficient (Horizontal): 0.20
Method: bishop simplified
FS: 1.057670
Center: -12.788, 2160.647
Radius: 127.500

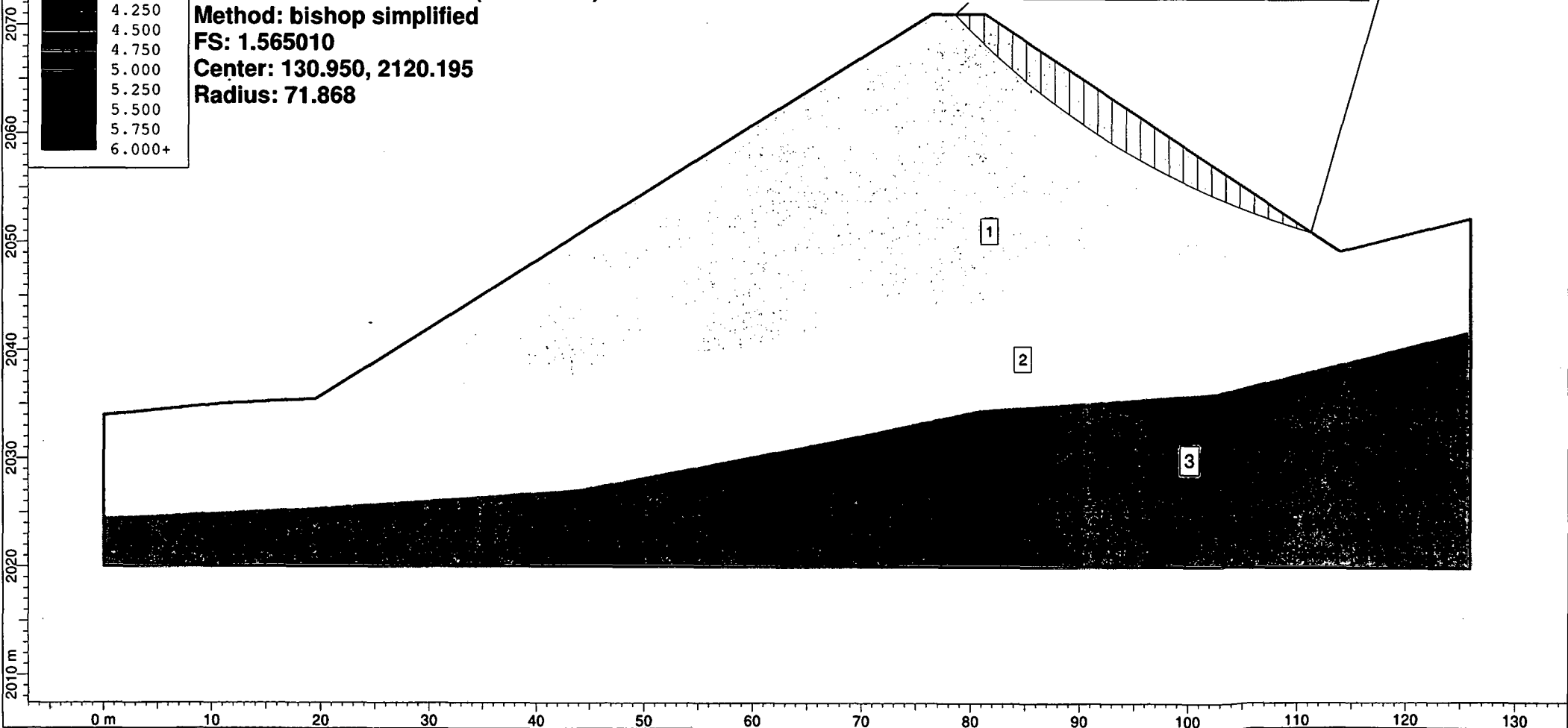
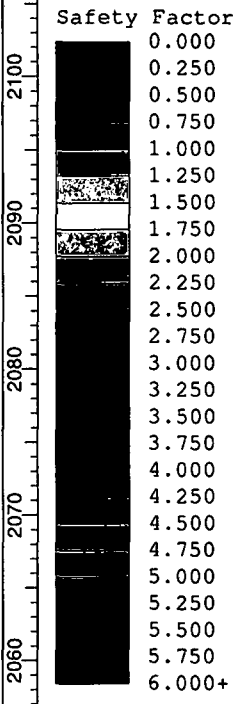
ITEM	MATERIAL	γ KN/m ³	C KPa	ϕ°	
1	CANTERA DE ROCA	22	0	41	
2	GRANODIORITA METEORIZADA	22	168	30	
3	GRANODIORITA	24	1520	58	
4	RELLENO DE ROCA	22	38		



ANALISIS ESTATICO

Project Title: DIQUE INTERMEDIO
Talud Aguas Arriba
Loading
Seismic Load Coefficient (Horizontal): 0.00
Method: bishop simplified
FS: 1.565010
Center: 130.950, 2120.195
Radius: 71.868

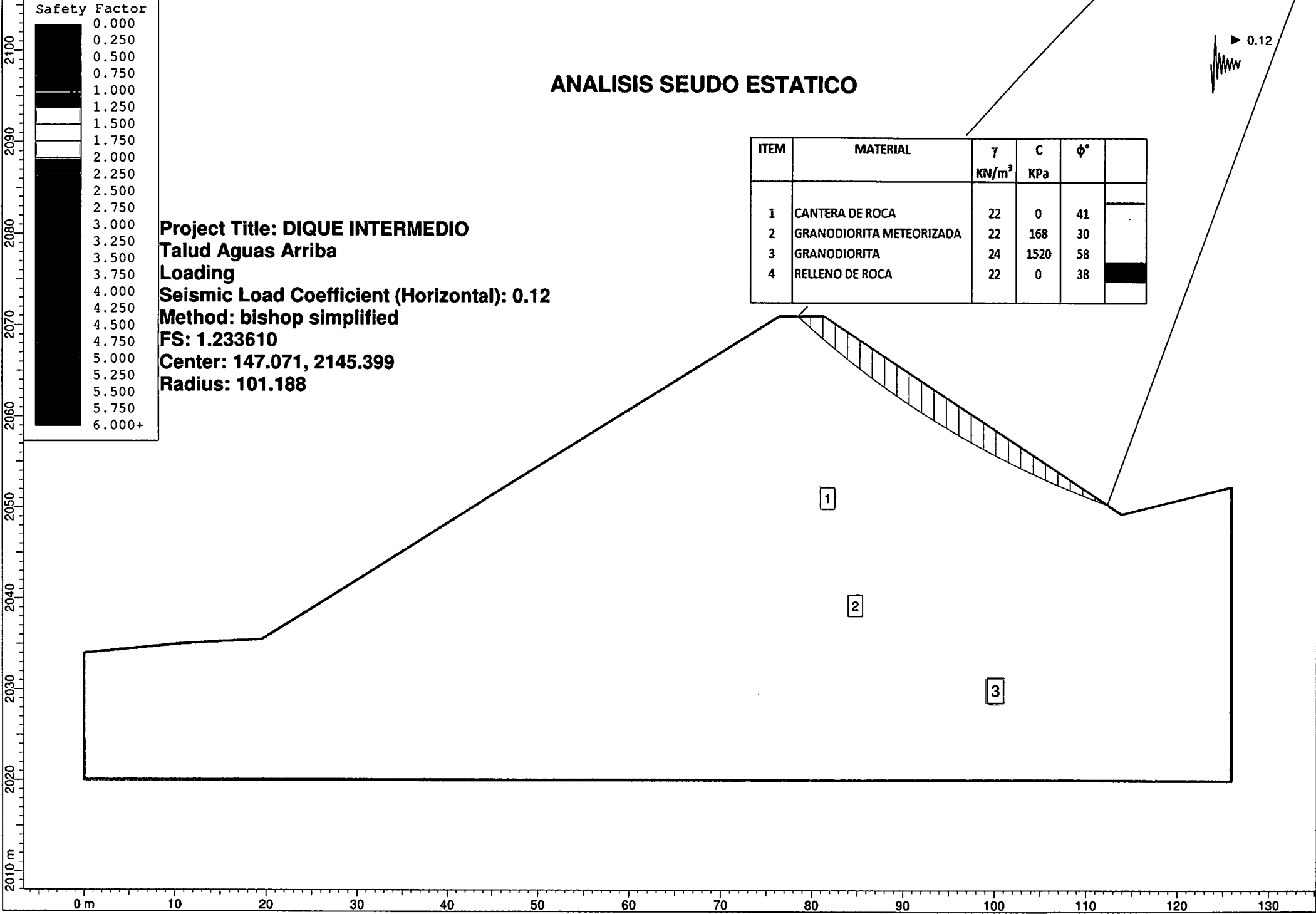
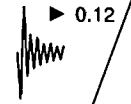
ITEM	MATERIAL	γ KN/m ³	C KPa	ϕ°	
1	CANTERA DE ROCA	22	0	41	
2	GRANODIORITA METEORIZADA	22	168	30	
3	GRANODIORITA	24	1520	58	
4	RELLENO DE ROCA	22	0	38	



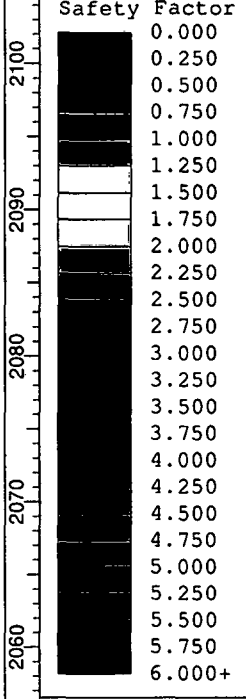
ANALISIS SEUDO ESTATICO

Project Title: DIQUE INTERMEDIO
Talud Aguas Arriba
Loading
Seismic Load Coefficient (Horizontal): 0.12
Method: bishop simplified
FS: 1.233610
Center: 147.071, 2145.399
Radius: 101.188

ITEM	MATERIAL	γ KN/m ³	C KPa	ϕ°	
1	CANtera DE ROCA	22	0	41	
2	GRANODIORITA METEORIZADA	22	168	30	
3	GRANODIORITA	24	1520	58	
4	RELLENO DE ROCA	22	0	38	

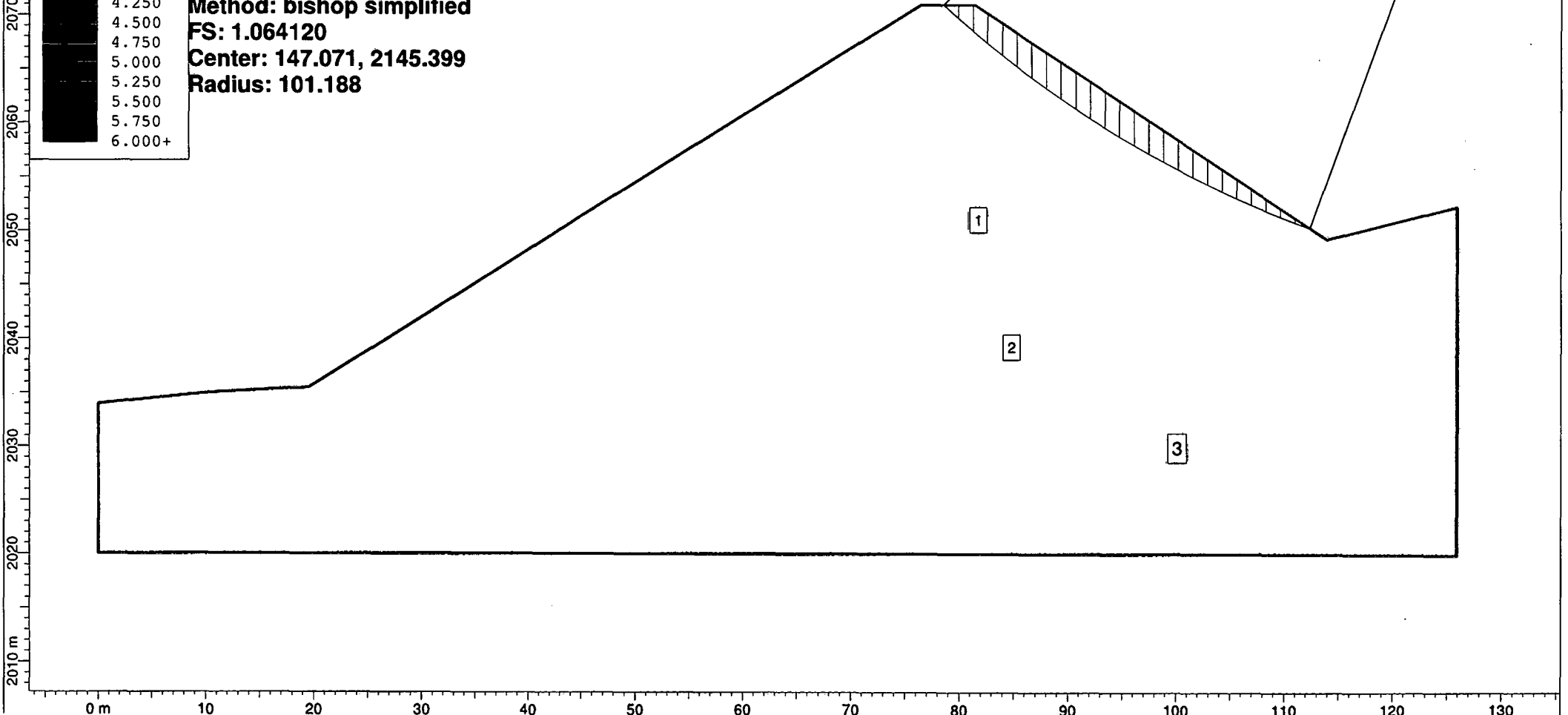


ANALISIS SEUDO ESTATICO



Project Title: DIQUE INTERMEDIO
Talud Aguas Arriba
Loading
Seismic Load Coefficient (Horizontal): 0.20
Method: bishop simplified
FS: 1.064120
Center: 147.071, 2145.399
Radius: 101.188

ITEM	MATERIAL	γ KN/m ³	C KPa	ϕ°	
1	CANtera DE ROCA	22	0	41	
2	GRANODIORITA METEORIZADA	22	168	30	
3	GRANODIORITA	24	1520	58	
4	RELLENO DE ROCA	22	0	38	



ANALISIS ESTATICO

Project Title: DIQUE CHECK DAM

Talud Aguas Abajo

Loading

Seismic Load Coefficient (Horizontal): 0.00

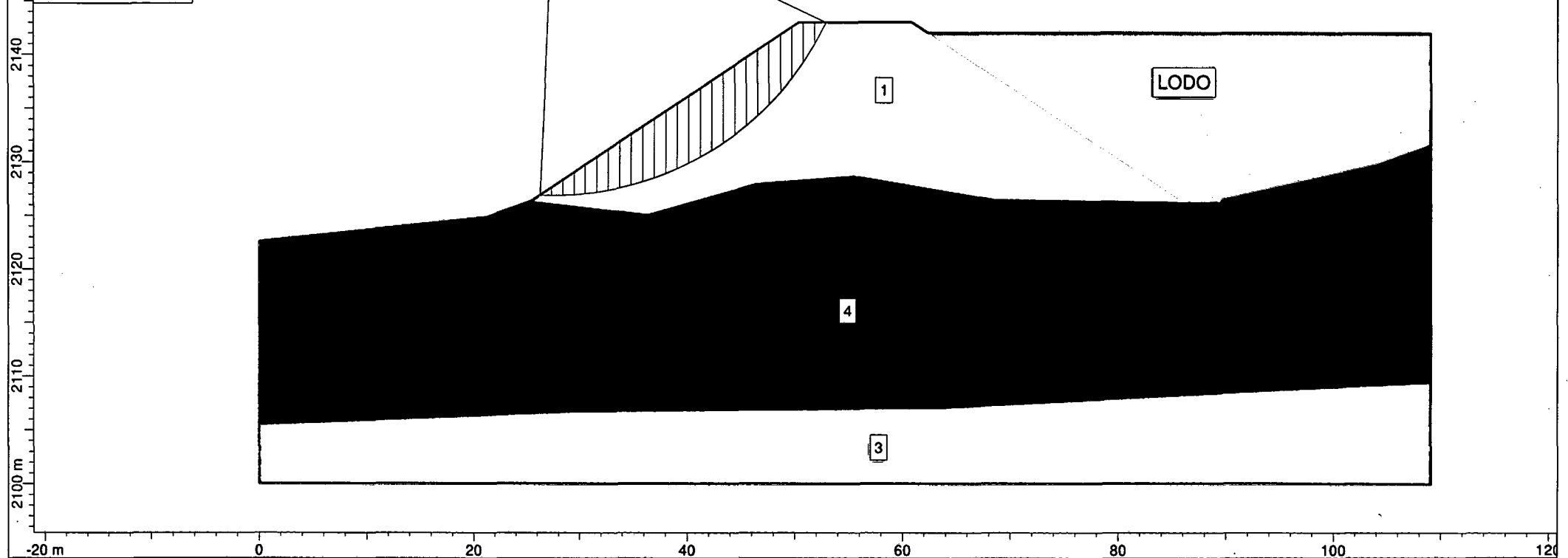
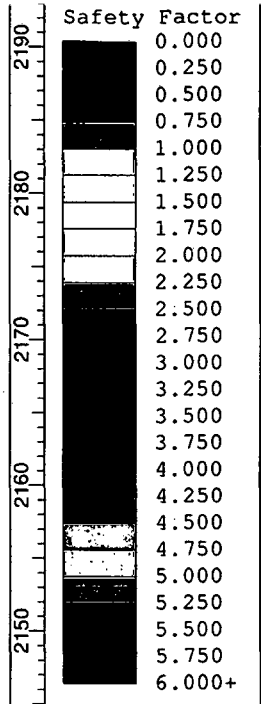
Method: bishop simplified

FS: 1.981040

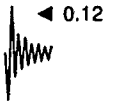
Center: 27.490, 2155.048

Radius: 28.176

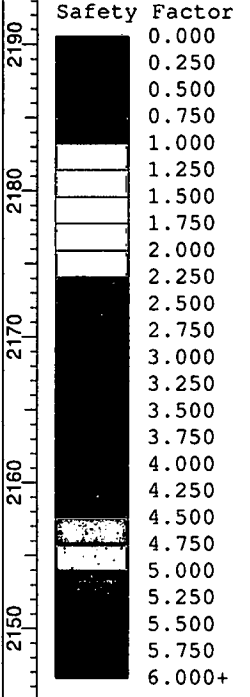
ITEM	MATERIAL	γ KN/m ³	C KPa	ϕ°	
1	CANTERA SUELO (DIQUES)	22	25	35	
2	GRANODIORITA METEORIZADA	22	168	30	
3	GRANODIORITA	24	1520	58	
4	ANDESITA METEORIZADA	26	470	48	



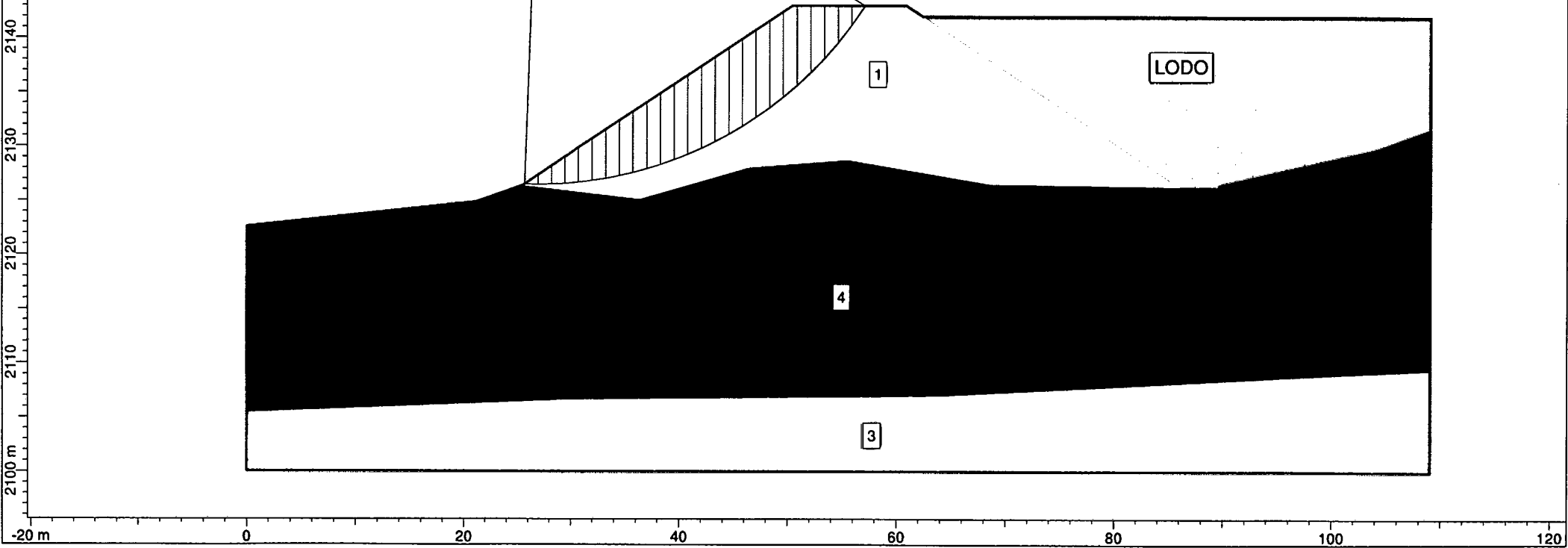
ANALISIS SEUDO ESTATICO



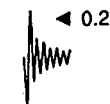
Project Title: DIQUE CHECK DAM
Talud Aguas Abajo
Loading
Seismic Load Coefficient (Horizontal): 0.12
Method: bishop simplified
FS: 1.596530
Center: 26.949, 2162.314
Radius: 35.835



ITEM	MATERIAL	γ KN/m ³	C KPa	ϕ°	
1	CANTERA SUELO (DIQUES)	22	25	35	
2	GRANODIORITA METEORIZADA	22	168	30	
3	GRANODIORITA	24	1520	58	
4	ANDESITA METEORIZADA	26	470	48	

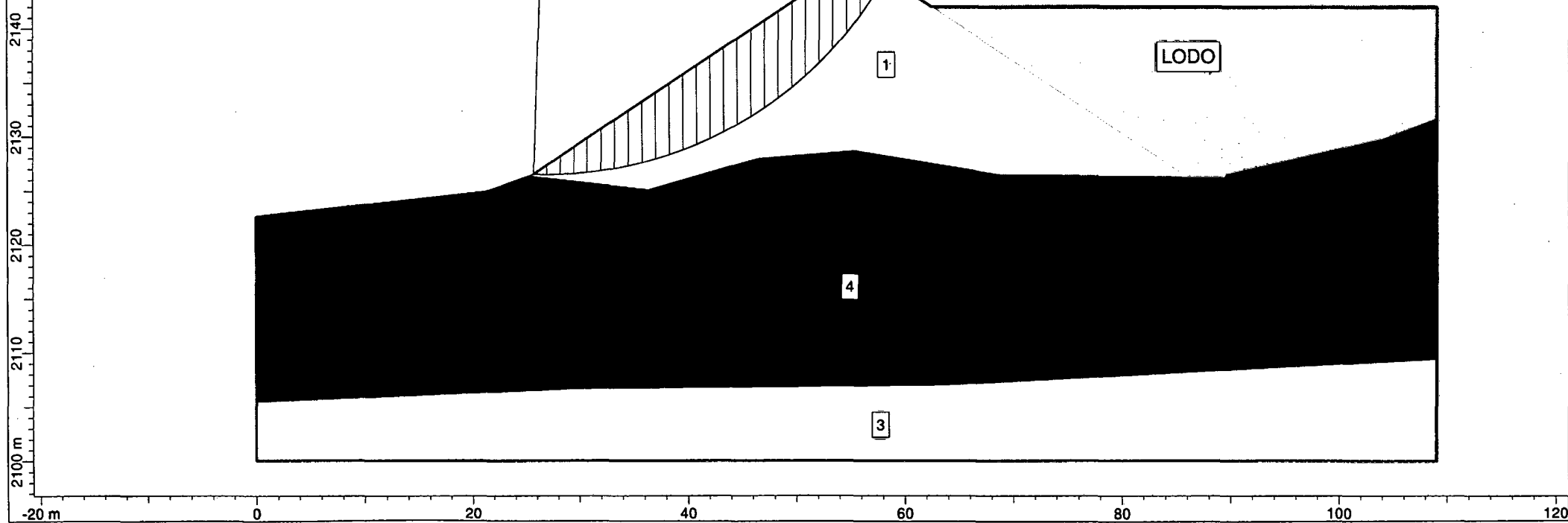
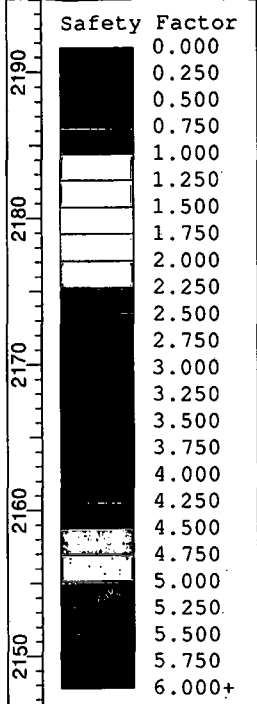


ANALISIS SEUDO ESTATICO



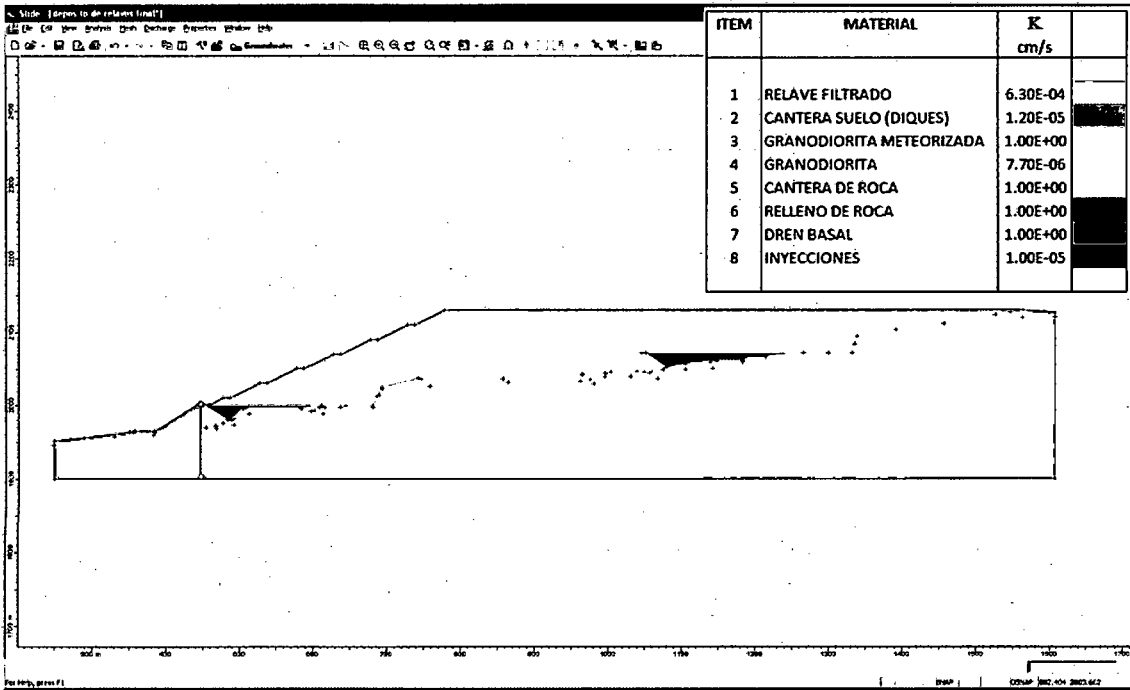
Project Title: DIQUE CHECK DAM
Talud Aguas Abajo
Loading
Seismic Load Coefficient (Horizontal): 0.20
Method: bishop simplified
FS: 1.395470
Center: 26.949, 2162.314
Radius: 35.835

ITEM	MATERIAL	γ KN/m ³	C KPa	ϕ°	
1	CANTERA SUELO (DIQUES)	22	25	35	
2	GRANODIORITA METEORIZADA	22	168	30	
3	GRANODIORITA	24	1520	58	
4	ANDESITA METEORIZADA	26	470	48	

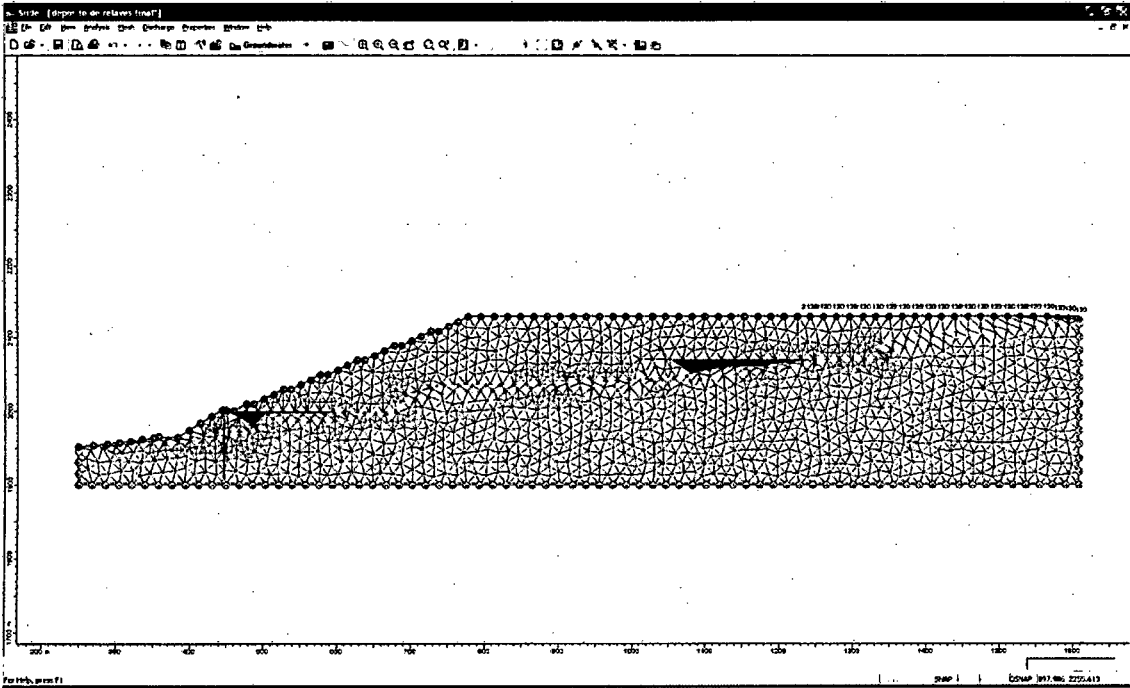


ANALISIS DE FILTRACIONES ESCENARIO 1

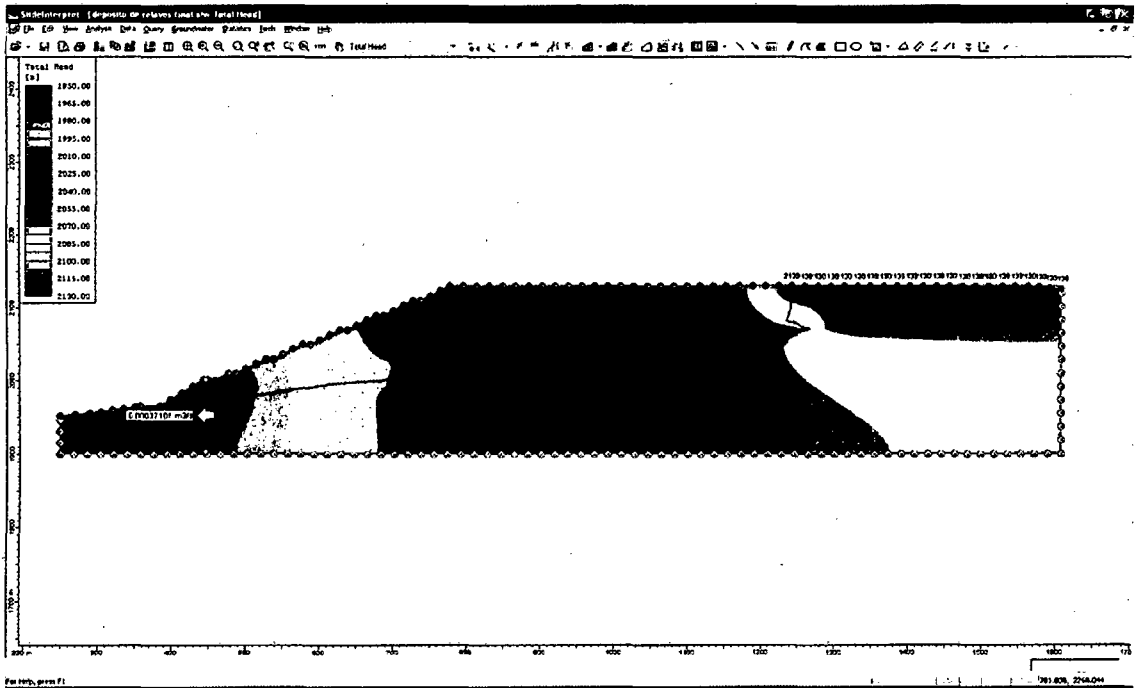
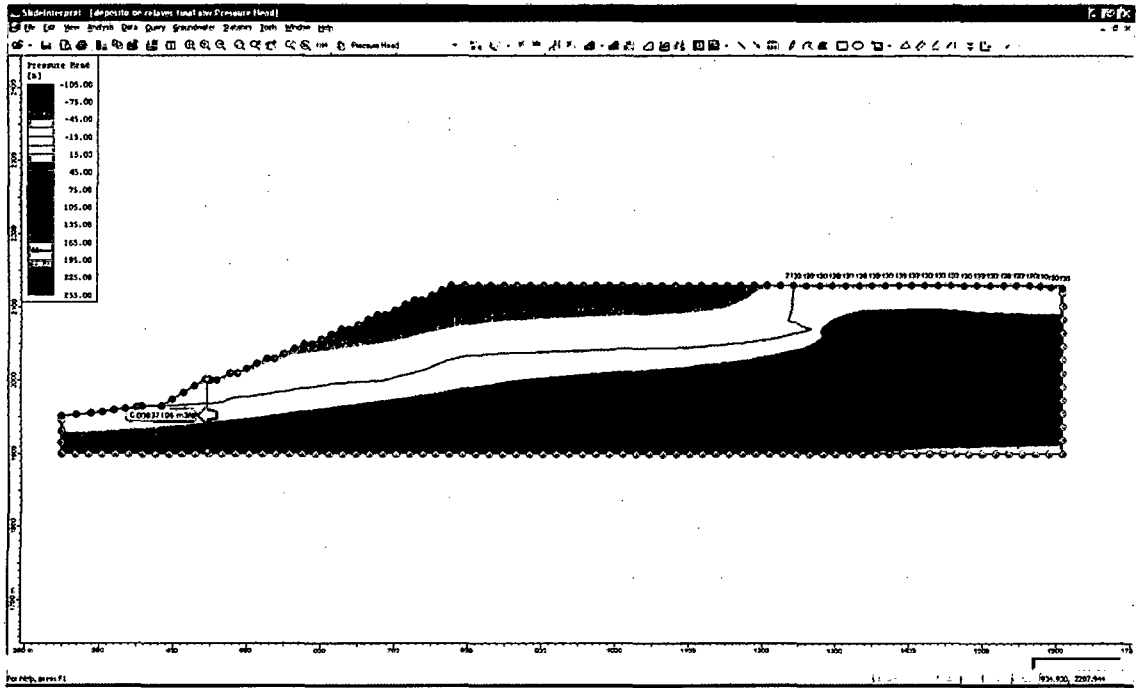
A) GENERACION DE MODELO



B) ENMALLADO Y CARGA HIDRAULICA

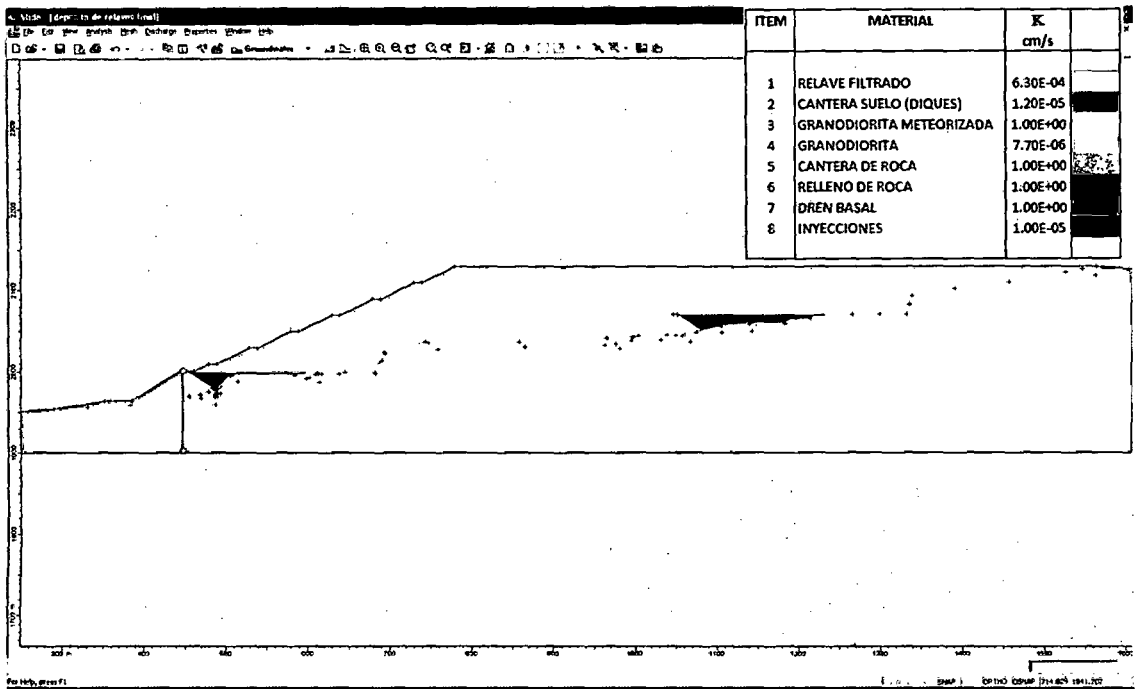


C) RESULTADOS DEL ANALISIS DE FILTRACIONES

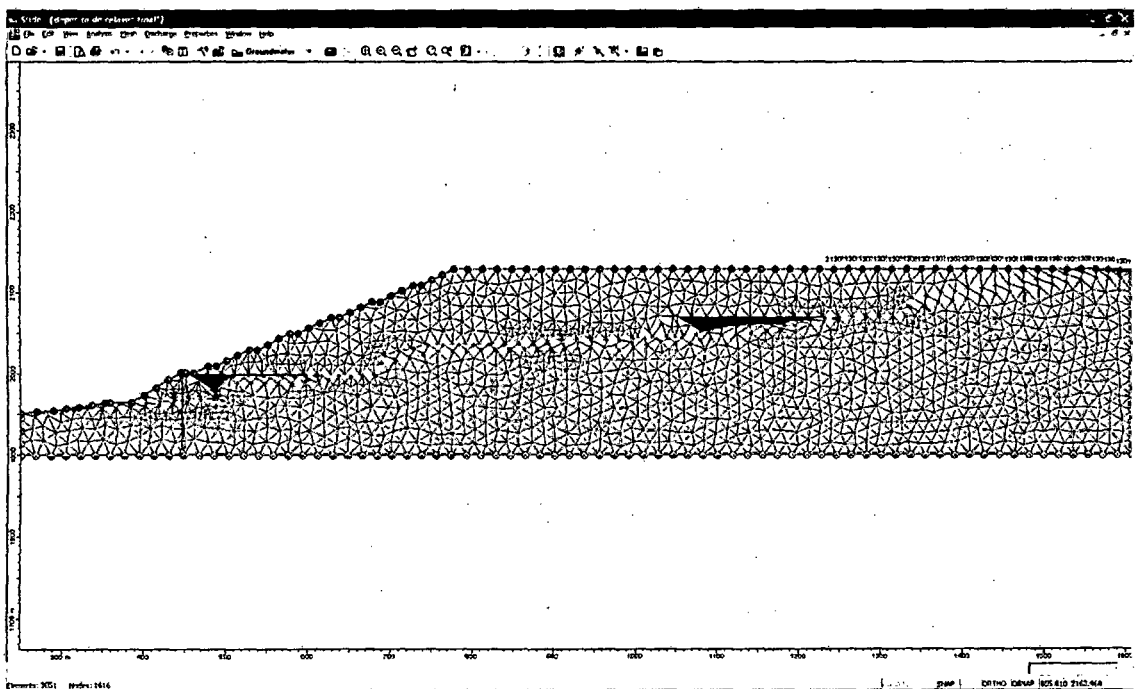


ANALISIS DE FILTRACIONES ESCENARIO 2

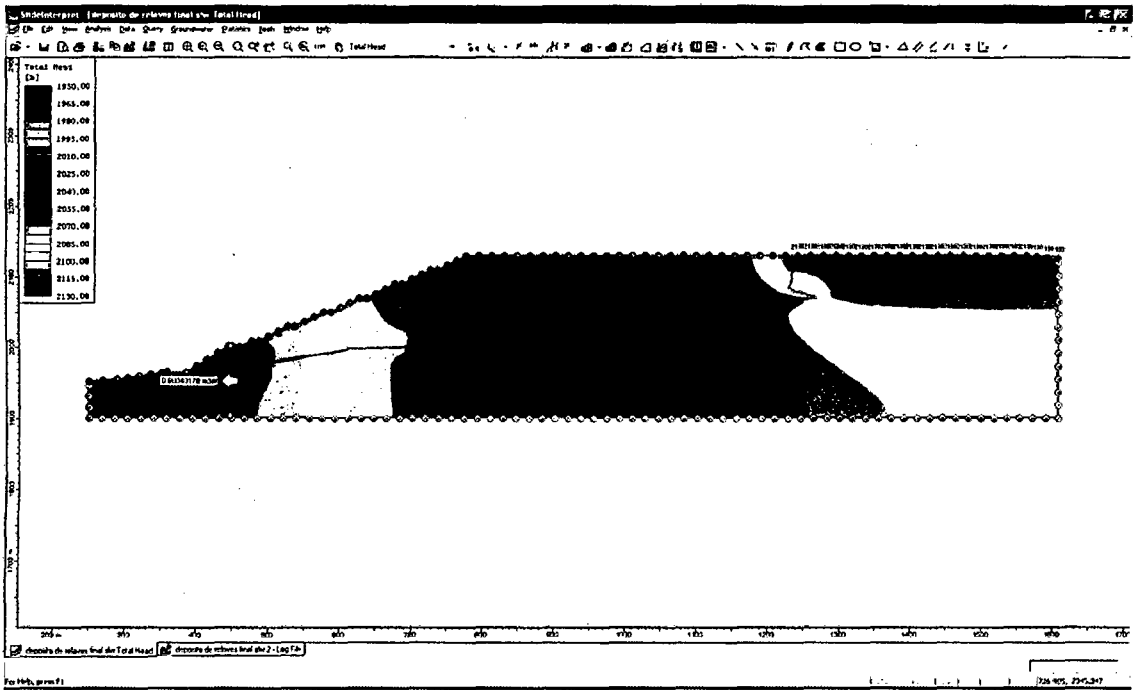
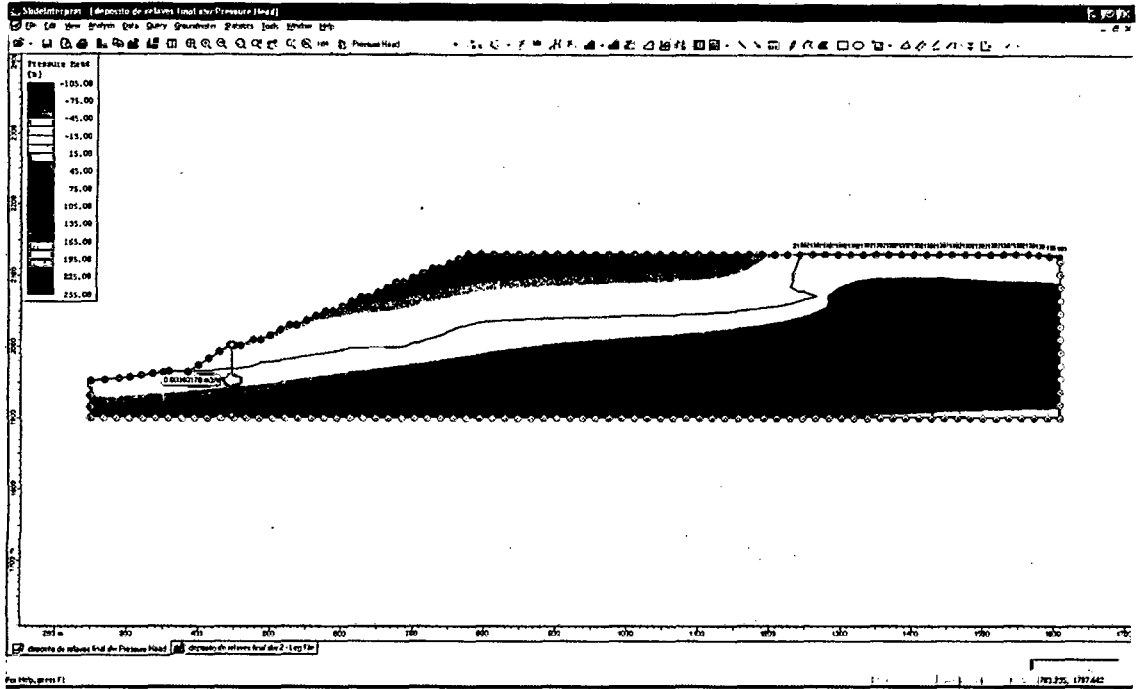
A) GENERACION DE MODELO



B) ENMALLADO Y CARGA HIDRAULICA



C) RESULTADOS DEL ANALISIS DE FILTRACIONES



ANEXO 4
Álbum fotográfico

Depósito de relaves Filtrados – Caso 1

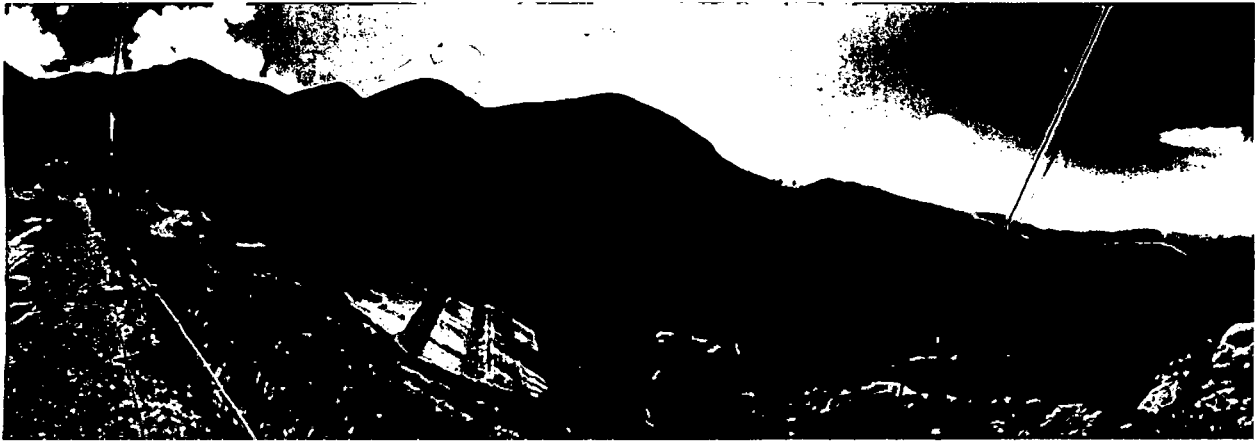


Figura 1: Imagen panorámica del depósito de relaves Ramahuayco – Lado izquierdo



Figura 2: Imagen panorámica del depósito de relaves Ramahuayco – Aguas abajo



Figura 3: Imagen panorámica de la planta de relaves filtrados

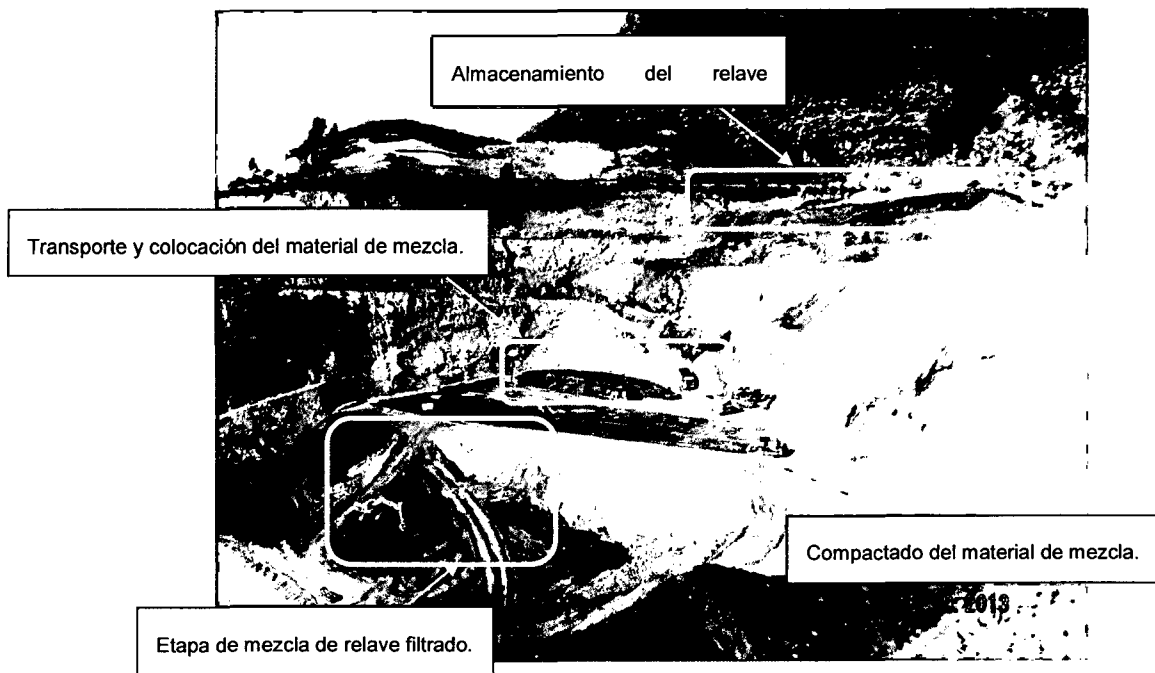


Figura 4: Construcción del depósito de relaves filtrados Ramahuayco

Depósito de relaves Caso 2 – Zona de costa



Figura 5: Planta de relaves filtrados



Figura 6: Imagen panorámica de la planta de relaves filtrados y los depósitos de relaves filtrados.



Figura 7: Depósito de relaves filtrados Pahuaypite 2, vista desde aguas abajo



Figura 8: Disposición de relaves filtrados, se muestran el área de secado, acumulación de relaves, oreado y compactado

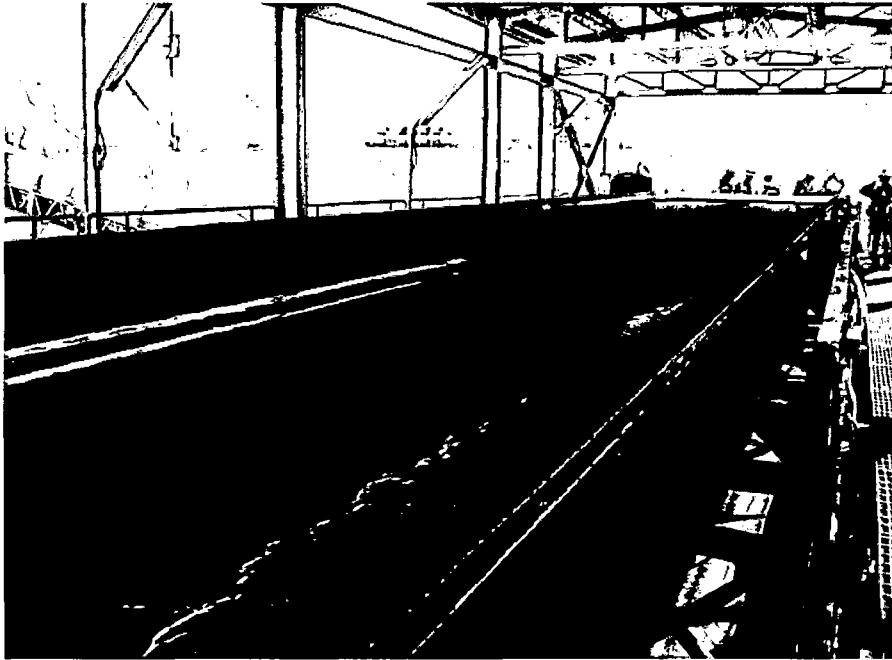


Figura 9: Sistema de filtros tipo banda para la obtención de relaves filtrados