CORPORACIÓN NACIONAL DEL COBRE DE CHILE

GERENCIA DE PROYECTOS

DIVISIÓN DSAL

ESTUDIO DE PRE-FACTIBILIDAD

VALIDACION DE CAPACIDAD DEPOSITO DE RELAVES FILTRADOS PLANTA TRATAMIENTO ESCORIA FUNDICION POTRERILLOS

CONTRATO N° : 4501537761

INFORME

ANALISIS DE ESTABILIDAD DINAMICO

REV N°	FECHA	EMITIDO PARA	POR	REVISADO POR	APROBADO POR	APROBADO POR
0	13/02/2017	Para Uso	F. Alvarado	E. García	J. Riquelme	G. Rojas
B	21/10/2016	Revisión Cliente	F. Alvarado	E. García	J. Riquelme	G. Rojas
A	18/10/2016	Revisión Interna	F. Alvarado	E. García	J. Riquelme	
			HATCH			CODELCO

HATCH™

N° DE PROYECTO: H349239

H349239-P126-229-230-0006

REV. 0

Se prohíbe su reproducción, y exhibición, sin el consentimiento de CODELCO CHILE
El documento, una vez impreso, se considera copia NO CONTROLADA y puede estar obsoleto
Copyrights © 2014 CODELCO-CHILE. Todos los Derechos Reservados

Tabla de Contenidos

1. Introducción 4

2. Alcances 5

3. Referencias 5

4. Ubicación del Proyecto 5

5. Consideraciones Generales 7

6. Modelo Constitutivo para el Análisis 7

7. Geometría del Modelo 8

8. Propiedades Geotécnicas de la Condición Actual 8

9. Riesgo Sísmico 11

10. Método de Análisis 13

11. Resultados de la Modelación 13

12. Comentarios y Conclusiones 27

Anexo A 28

Lista de Figuras

Figura 4-1 Ubicación geográfica Potrerillos 6
Figura 7-1: Configuración General del modelo 8
Figura 8-1. Calibración a Cysoil, q-ε1 10
Figura 8-2. Calibración a Cysoil, q-p 10
Figura 8-3. Calibración a Cysoil, ε1- εv 11
Figura 9-1: Registro de Aceleraciones Corregido 12
Figura 9-2: Espectro de Amplitud de Fourier 12
Figura 11-1: Desplazamiento Vertical (m) – Etapa 0 14
Figura 11-2: Desplazamiento Vertical (m) – Etapa 1 14
Figura 11-3: Desplazamiento Vertical (m) – Etapa 2 15
Figura 11-4: Desplazamiento Vertical (m) – Etapa 3 15
Figura 11-5: Desplazamiento Vertical (m) – Etapa 4 16
Figura 11-6: Desplazamiento Vertical (m) – Etapa 5 16
Figura 11-7: Desplazamiento Vertical (m) – Etapa 6 17
Figura 11-8: Desplazamiento Vertical (m) – Etapa 7 17
Figura 11-9: Esfuerzo Inicial X (KPa) 18
Figura 11-10: Esfuerzo Inicial Y (KPa) 18
Figura 11-11: Desplazamiento Horizontal (m) 19
Figura 11-12: Desplazamiento Vertical (m) 19
Figura 11-13: Deformacion Maxima al Corte 20
Figura 11-14: Puntos de Monitoreo 20
Figura 11-15: Aceleración Horizontal (m/s^2) – P1 21
Figura 11-16: Aceleración Horizontal (m/s^2) – P2 21
Figura 11-17: Aceleración Horizontal (m/s^2) – P3 22
Figura 11-18: Aceleración Horizontal (m/s^2) – P4 22
Figura 11-19: Desplazamiento Relativo Horizontal (m) – P1 23
Figura 11-20: Desplazamiento Relativo Horizontal (m) – P2 23
Figura 11-21: Desplazamiento Relativo Horizontal (m) – P3 24
Figura 11-22: Desplazamiento Relativo Horizontal (m) – P4 24

Se prohíbe su reproducción, y exhibición, sin el consentimiento de CODELCO CHILE
El documento, una vez impreso, se considera copia NO CONTROLADA y puede estar obsoleto
Copyrights © 2014 CODELCO-CHILE. Todos los Derechos Reservados

Figura 11-23: Desplazamiento Relativo Vertical (m) – P1 25
Figura 11-24: Desplazamiento Relativo Vertical (m) – P2 25
Figura 11-25: Desplazamiento Relativo Vertical (m) – P3 26
Figura 11-26: Desplazamiento Relativo Vertical (m) – P4 26

Lista de Tablas

Tabla 8-1: Parámetros de Calibración 9
Tabla 8-2: Parámetros de Resistencia para el Análisis 11
Tabla 11-1: Resumen de Resultados. 27

Se prohíbe su reproducción, y exhibición, sin el consentimiento de CODELCO CHILE
El documento, una vez impreso, se considera copia NO CONTROLADA y puede estar obsoleto
Copyrights © 2014 CODELCO-CHILE. Todos los Derechos Reservados

1. Introducción

Actualmente, División Salvador (DSAL), opera un depósito de relaves filtradosprovenientes de la Planta de Tratamientos de Escoria de Potrerillos, la que tiene una producción nominal de relaves de1.288 tpd, para un horizonte primario de operación de 25 años, donde eltratamiento de escorias por flotación generará una importante cantidad derelaves equivalente a un total de 10 Mton de relaves secos, en ese período.Originalmente el proyecto Planta Flotación Escoria presentó una ingeniería deldiseño del depósito de relaves filtrados para 5 años, con 7 plataformas de 10 mcada una, con un talud de 2,5H:1V. El análisis de estabilidad con losparámetros presentados para los relaves eran conservadores y obtenidosprincipalmente de literatura, daba un factor de seguridad mayor a 1,2 para el casopseudo-estático y 1,5 estático, según el método Spencer.

Posteriormente con parámetros más conservadores y un factor de seguridad utilizado para depósitos de relaves típicos, se modelo un nuevo diseño, obteniendo un talud de 3,5H:1V, una pila compuesta por 7 plataformas y se redujo la capacidad y vida útil del depósito. Este diseño es el que se encuentra actualmente en operación, el cual tiene una vida útil de 2,6 años, considerando un nivel de producción nominal de relaves de 1.288 tpd., y un volumen de 610.000 m3 de relave filtrado compactado a una densidad seca aproximada de 2,0 t/m3.

Dado los avances en el crecimiento del depósito, el diseño de éste ha sufrido nuevamente variaciones con el objeto maximizar la capacidad por medio de una modificación de la geometría. Esta modificación de geometría considera dos aspectos importantes; optimización del área del depósito y aumento del talud de las plataformas de crecimiento, lo que es considerado en la presente ingeniería.

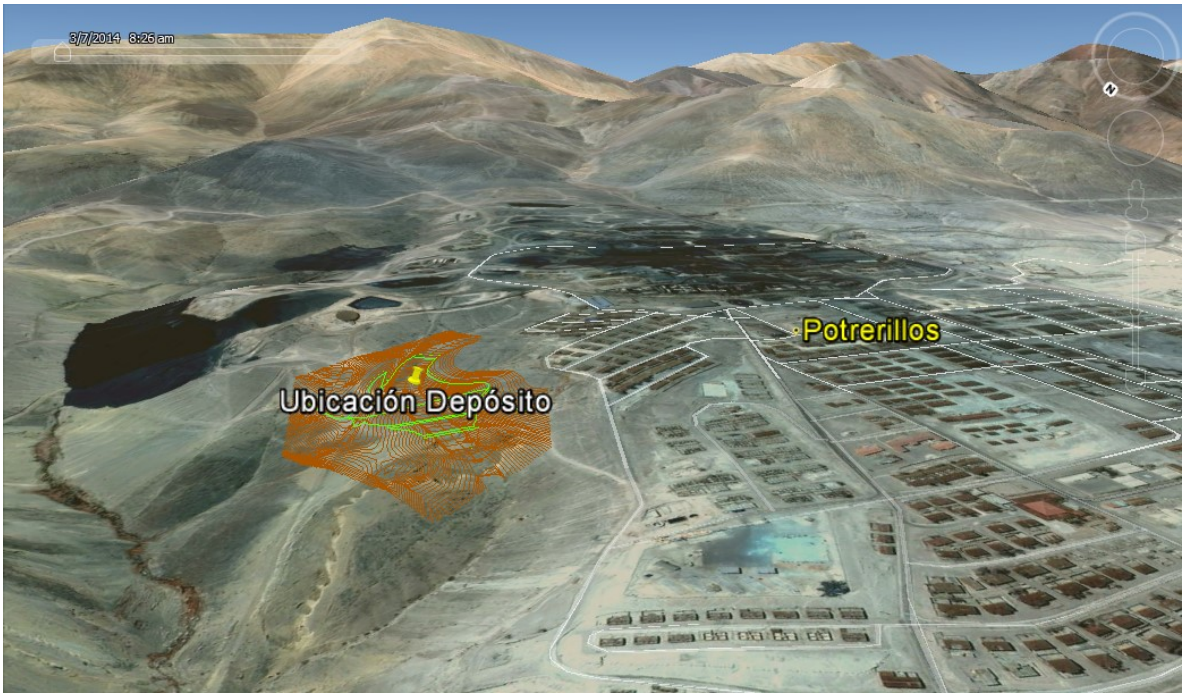

Figura 1-1: Ubicación Depósito de Relaves Filtrados

Se prohíbe su reproducción, y exhibición, sin el consentimiento de CODELCO CHILE
El documento, una vez impreso, se considera copia NO CONTROLADA y puede estar obsoleto
Copyrights © 2014 CODELCO-CHILE. Todos los Derechos Reservados

2. Alcances

El presente informe tiene por objeto determinar el comportamiento dinámico del Depósito de Relaves Filtrados de Escoria en el sector de Potrerillos. El análisis se realiza de acuerdo a los lineamientos expuestos en el decreto N°248 (Ref.1) del Servicio nacional de Geología y Minería (Sernageomín), concerniente a la Fase III del mismo.

3. Referencias

Ref.1. Decreto Supremo N°248, Reglamento para la aprobación de proyectos de diseño, construcción, operación y cierre de los depósitos de relaves. Ministerio de Minería, Abril del 2007...\DS248_.pdf

Ref.2. Estudio de Mecánica de Suelos, Prospecciones Ejecutadas y Resultados de Ensayes, Laboratorio Geocontrol Julio 2015..\Informe Geocontrol.pdf

Ref.3. Documento N° 3908-4000-GE-INF-0001_0, Informe Geotécnico Sector Depósito Relaves Filtrados, Arcadis, Febrero 2013...\3908-4000-GE-INF-0001_0.pdf

Ref.4. Documento N° 3908-4000-RE-CRD-0001_1, Criterios de Diseño y Bases de Cálculo, Arcadis, Febrero 2013..\3908-4000-RE-CRD-0001_1.pdf

Ref.5. Documento N° 3908-4000-RE-INF-0001_1, Informe Técnico Descripción del Proyecto Depósito Relaves Filtrados Sitio 1, Arcadis, Abril 2013..\3908-4000-RE-INF-0001_0.pdf

Ref.6. Documento N° 3908-400-GE-INF-0001_0, Informe de Exploración Geofísica, Arcadis, Febrero 2013...\Informe Caracterización Geofísica.pdf

Ref.7. ITASCA - 2011. FLAC2D: ConstitutiveModel. ITASCA ConsultingGroup Inc.

Ref.8. Plano N° 3908-4000-RE-PLA-0020_0, Esquema de Depositación Pila de Relaves Filtrados, Planta y Perfil, Arcadis, Febrero 2013..\3908-4000-RE-PLA-0020_0.pdf

Ref.9. Documento N° S15F220-C-P126-CI-INF-001, Informe de Mecánica de Suelos, HATCH, Diciembre 2015.

Ref.10. Documento N° S15F220-C-P126-CI-INF-008, Estudio de Riesgo Sísmico, HATCH, Julio 2015..\H349239-P126-220-230-0008.pdf

4. Ubicación del Proyecto

Potrerillos se encuentra ubicado a 65 km al Oriente de la ciudad Diego de Almagro y a 44 km al Sureste de El Salvador.

Se prohíbe su reproducción, y exhibición, sin el consentimiento de CODELCO CHILE
El documento, una vez impreso, se considera copia NO CONTROLADA y puede estar obsoleto
Copyrights © 2014 CODELCO-CHILE. Todos los Derechos Reservados

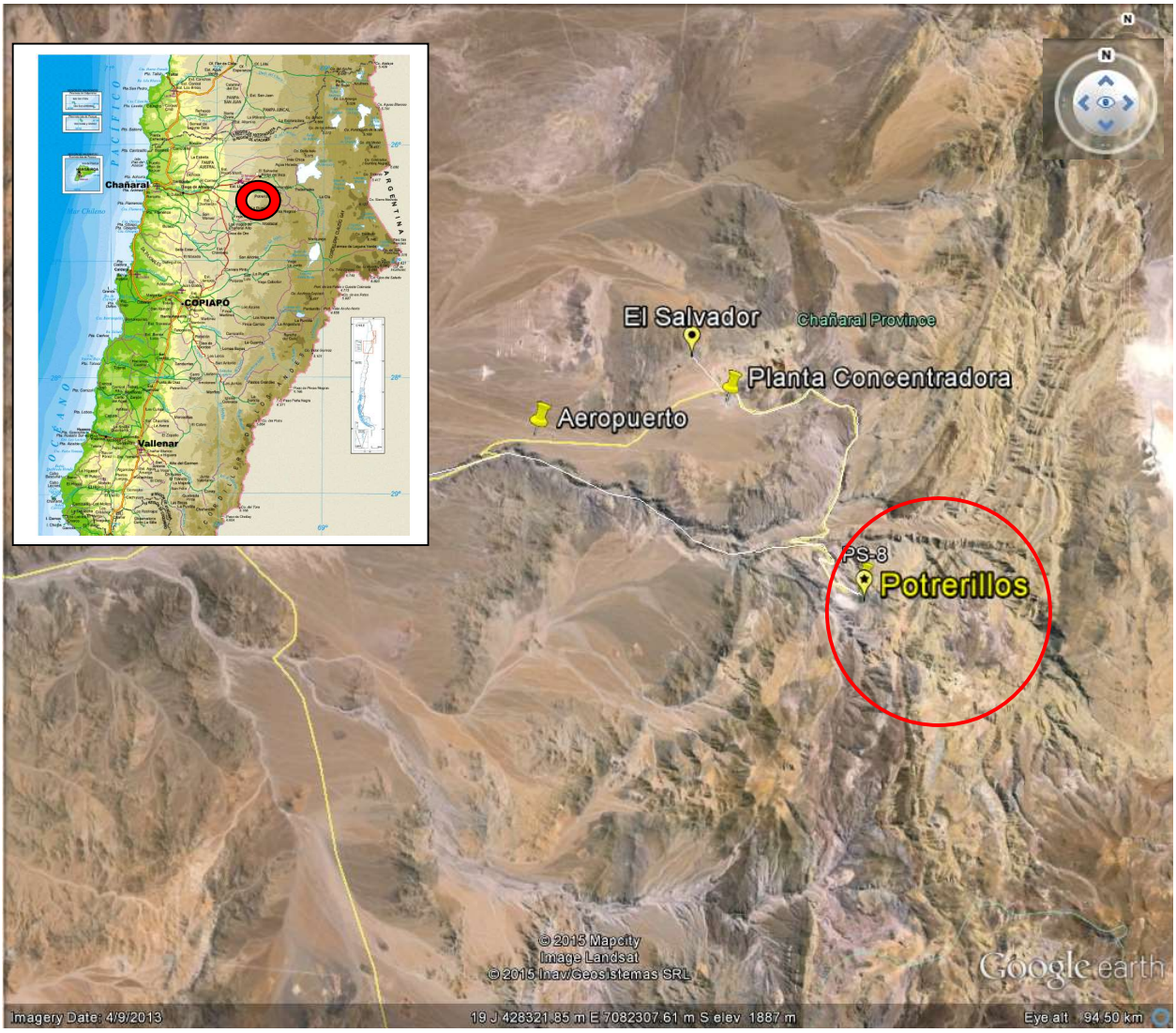

Figura 4-1 Ubicación geográfica Potrerillos

Se prohíbe su reproducción, y exhibición, sin el consentimiento de CODELCO CHILE
El documento, una vez impreso, se considera copia NO CONTROLADA y puede estar obsoleto
Copyrights © 2014 CODELCO-CHILE. Todos los Derechos Reservados

5. Consideraciones Generales

- Se realizó un análisis dinámico para determinar las deformaciones por sismo mediante el método de diferencias finitas.
- Dadas las características geométricas de la estructura se realizó un análisis bidimensional de deformaciones planas.
- Dadas las condiciones del sitio se consideró que los relaves no estaban saturados.
- El estudio se realizó para una sección representativa del depósito, para la situación final de proyecto.
- Se consideró el proceso constructivo del depósito.
- El depósito se diseño con un talud entre plataformas de 2.5:1.0 (H/V), una berma de 3m de ancho entre cada etapa de depositación y un total de 7 plataformas.
- Para efectos del modelo, se ha considerado que la roca basal se encuentra a aproximadamente20 m de profundidad, bajo el suelo de fundación.
- No se consideró el dren basal en el modelo pues este no tiene un efecto relevante en el resultado, y llevaba a aumentar la cantidad de elementos en el modelo numérico.
- El acelerograma utilizado para el análisis representa el nivel de evento extremo.

6. Modelo Constitutivo para el Análisis

Para este análisis, para representar los relaves de escoria filtrados, se utilizó el modelo constitutivo CapYield integrado en el programa Flac. El modelo constitutivo CapYield, también conocido como Cysoil, es un modelo no lineal con criterio de falla tipo Mohr Coulomb. Para dicho modelo la rigidez depende del estado tensional,se generan deformaciones plásticas ante cargas desviatorias y por compresión isotrópica, y considera trayectorias de carga descarga. En el modelo se establecen relaciones tipo hiperbólicas para el módulo de corte y el módulo volumétrico.

El modelo Cysoil permite representar el comportamiento no lineal del material, las deformaciones volumétricas con endurecimiento o deformaciones irreversibles en conjunto con la reducción de la rigidez al aumentar las cargas desviatorias. Dado que la teoría del modelo Cysoil incluye endurecimiento plástico, este modelo es superior al modelo hiperbólico de Duncan y Chang (1970), pues el comportamiento hiperbólico del modelo Cysoil se basa en un cambio en endurecimiento relacionado a la fricción similar al usado en el modelo UBCSand. La desventaja del modelo es que directamente no permite representar el esfuerzo desviatorio con peak como se presentan en ensayos triaxiales sobre arenas densas con bajo confinamiento.

Por la información existente, para representar la fundación inferior se utilizó un modelo lineal, y para representar la fundación superior y el dique se utilizó el modelo no lineal elasto-plástico Mohr Coulomb.

Se prohíbe su reproducción, y exhibición, sin el consentimiento de CODELCO CHILE
El documento, una vez impreso, se considera copia NO CONTROLADA y puede estar obsoleto
Copyrights © 2014 CODELCO-CHILE. Todos los Derechos Reservados

7. Geometría del Modelo

Para el análisis se consideraron los siguientes materiales:

- Fundación inferior
- Fundación Superior
- Relave
- Dique al pie de la estructura

El material de fundación se separó en fundación inferior y fundación superior según la velocidad de onda de corte. Mientras que, el material de relave filtrado se separó en función al proceso constructivo, y para cada etapa de recrecimiento se separó en función al confinamiento superior e inferior a 200KPa . Ver Figura 7-1.

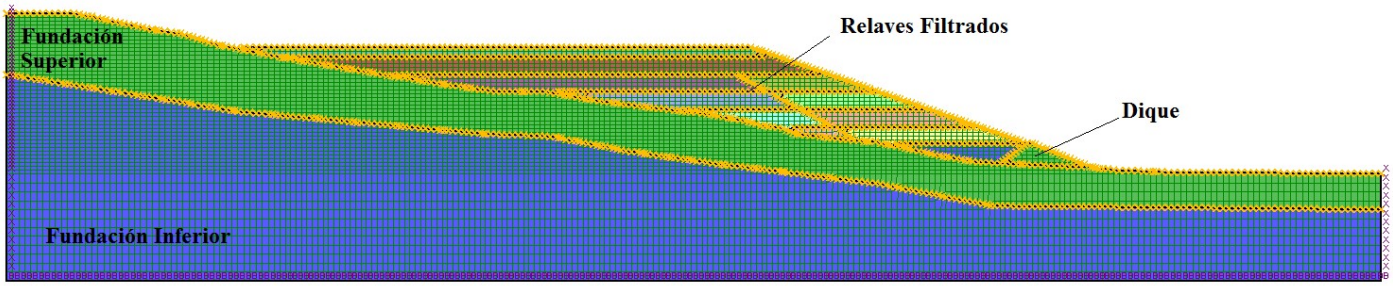

Figura 7-1: Configuración General del modelo

Para el modelo numérico se consideró que el talud era continuo, sin bermas.

8. Propiedades Geotécnicas de la Condición Actual

En base a la información existente se definieron los parámetros a utilizar en el presente análisis.

Para el modelo constitutivo Cysoil se consideran los siguientes parámetros:

- Módulo de corte de referencia (Gref): es el módulo de corte elástico tangente a una presión efectiva de referencia (pref) equivalente a la presión atmosférica.

$$G^e = G^e_{ref}\left(\frac{p'}{pref}\right)^m$$

- Módulo bulk de referencia (Kref): es el módulo bulk elástico tangente a una presión efectiva de referencia (pref) equivalente a la presión atmosférica. Tiene una relación con el módulo de corte elástico tangente.

$$\frac{K^e}{G^e} = \frac{2(1+\nu)}{3(1-2\nu)}$$

Se prohíbe su reproducción, y exhibición, sin el consentimiento de CODELCO CHILE
El documento, una vez impreso, se considera copia NO CONTROLADA y puede estar obsoleto
Copyrights © 2014 CODELCO-CHILE. Todos los Derechos Reservados

- Cohesión (Co): cohesión del material.
- Fricción ultima (Phiu): ángulo de fricción a gran deformación del material.
- Ratio de falla (Rf): es una constante del modelo.
- Dilatación ultima (Dilu): se utiliza para calcular la deformación volumétrica irrecuperable o plástica producto de la aplicación de una carga.
- Modulo de Poisson (v)
- Factor de calibración (Betta)

El modelo considera el efecto de carga descarga con una amplificación del módulo de deformación de 3 veces el valor estático. Adicionalmente se incluyó un amortiguamiento tipo Rayleigh de 4% alrededor de la frecuencia fundamental del sismo de 6Hz.

Más detalles sobre el modelo constitutivo Cysoil se pueden encontrar en el manual de Flac(Ref. 8).

Para los relaves se calibró el modelo constitutivo con los resultados de ensayos triaxialesdrenado que se presenta en el punto 7.3 del informe de mecánica de suelos (Ref.9), y que se ejecutaron en el laboratorio de Geocontrol (Ref.2) y que se presentan en las Figura 8-1, Figura 8-2 y Figura 8-3. Los parámetros de calibración se presentan en la Tabla 8-1.

Tabla 8-1: Parámetros de Calibración

Parámetro		Unidades	Valor	Fuente
Modulo de Poisson	nu	-	0.3	Asumido
ModuloBulk tangente de referencia	Kref	-	125000.0	Calibración a ensayo triaxial drenado
Modulo de corte tangente de referencia	Gref	-	57692.3	Calibración a ensayo triaxial drenado
Cohesión	Co	KPa	16.24	Ensayo triaxial drenado
Fricción ultima	Phiu	Grados	38.21	Ensayo triaxial drenado
Ratio de falla	Rf	-	0.9	Calibración a ensayo triaxial drenado
Dilatación ultima	Dilu	KPa	17 / 0.8 (>200KPa)	Calibración a ensayo triaxial drenado
Parámetro de calibración	Betta	-	0.35	Calibración a ensayo triaxial drenado

Se prohíbe su reproducción, y exhibición, sin el consentimiento de CODELCO CHILE
El documento, una vez impreso, se considera copia NO CONTROLADA y puede estar obsoleto
Copyrights © 2014 CODELCO-CHILE. Todos los Derechos Reservados

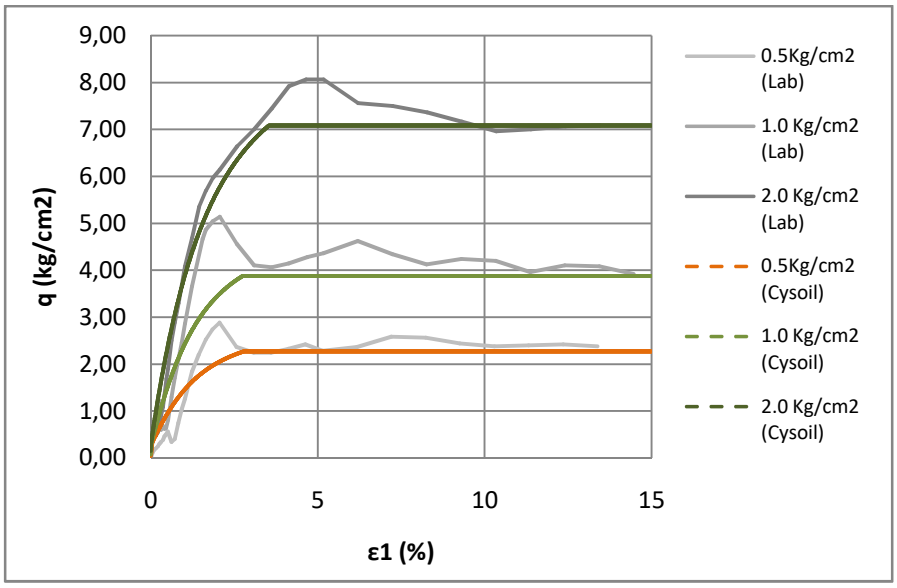

Figura 8-1. Calibración a Cysoil, q-ε1

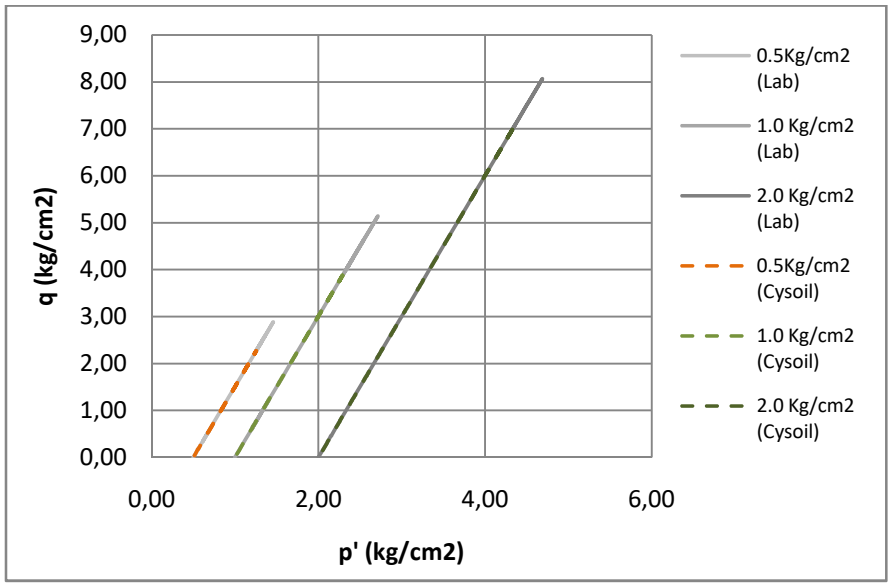

Figura 8-2. Calibración a Cysoil, q-p

Se prohíbe su reproducción, y exhibición, sin el consentimiento de CODELCO CHILE
El documento, una vez impreso, se considera copia NO CONTROLADA y puede estar obsoleto
Copyrights © 2014 CODELCO-CHILE. Todos los Derechos Reservados

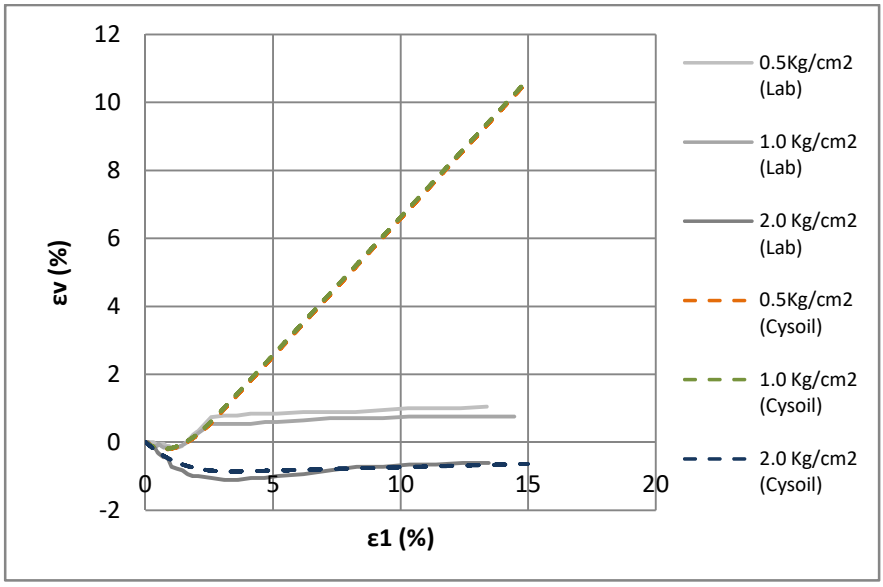

Figura 8-3. Calibración a Cysoil, ε1-εv

En la Tabla 8-2 se presenta el resumen de parámetros definidos para la fundación inferior, la fundación superior y el dique.

Tabla 8-2: Parámetros de Resistencia para el Análisis

Parámetro		Fundacion Inferior	Fundacion Superior	Muro de Pie
Velocidad de Onda de Corte	Vs (m/s)	1290.0[a]	665.0[a]	600.0[b]
Peso Específico	δ (KN/m3)	20.69[b]	20.69[b]	19.0[b]
Ángulo de Fricción	Φ (°)	35.0[b]	35.0[b]	33.0[b]
Cohesión	c (KPa)	9.8[b]	9.8[b]	10.0[b]
Módulo de Poisson	ν (-)	0.26[a]	0.25[a]	0.3[b]
Módulo de Corte	G (KPa)	3509707.3[c]	932684.5[c]	697247.7[c]
ModuloBulk	K (KPa)	5849512.2[c]	1554474.2[c]	1510703.3[c]

a. Informes: 3908-4000-GE-INF-0001-0 / 3908-4000-RE-MEC-0001-0, Arcadis 2013. (Ref.3, Ref.4, Ref.5 y Ref.6)

b. Asumido en base a proyectos anteriores

c. Calculado

9. Riesgo Sísmico

En base a las recomendaciones del estudio de peligro sísmico del proyecto (Ref.10) se utilizó el registro sísmico de Tocopilla 2007. En la Figura 9-1 se presenta el registro de aceleraciones corregido con un valor máximo de aceleración en roca de 0.37g.

Se prohíbe su reproducción, y exhibición, sin el consentimiento de CODELCO CHILE
El documento, una vez impreso, se considera copia NO CONTROLADA y puede estar obsoleto
Copyrights © 2014 CODELCO-CHILE. Todos los Derechos Reservados

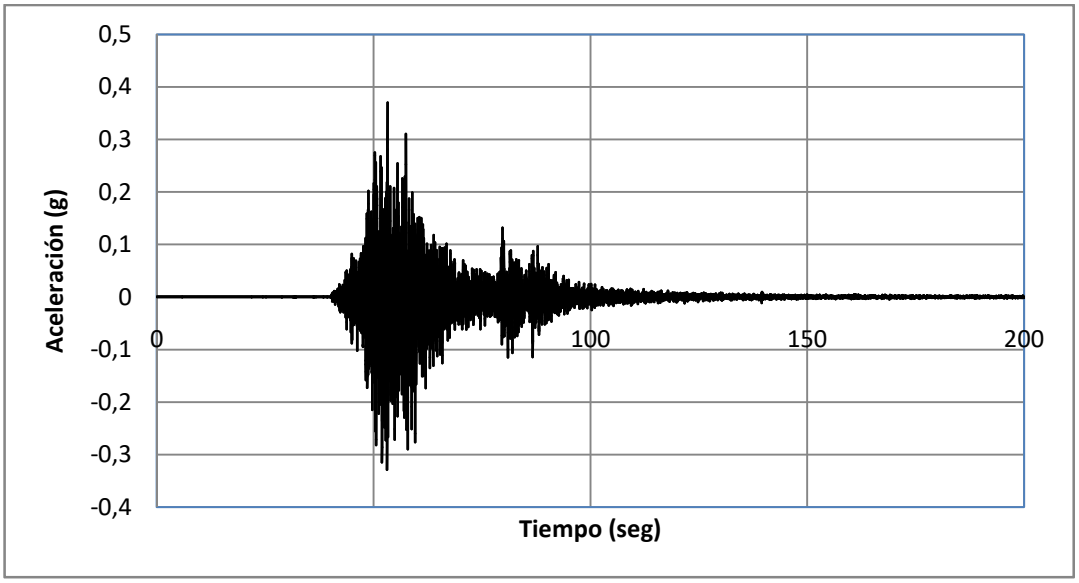

Figura 9-1: Registro de Aceleraciones Corregido

En base al estudio de peligro sísmico se definió una aceleración máxima en roca de 0.56g para el espectro de diseño. Finalmente el registro de aceleraciones del evento de Tocopilla se escaló a la aceleración recomendada y se utilizó como dato de ingreso del análisis dinámico. Luego, se obtuvo el registro de velocidades, se dividió entre 2 y se transformaron las velocidades en esfuerzos de acuerdo a lo sugerido por el manual de Flac (Ref.7), para luego ser ingresados en la base del modelo.

En la Figura 9-2 se presenta la amplitud de Fourier donde observa que la frecuencia mas importante se encuentra en 6 Hz.

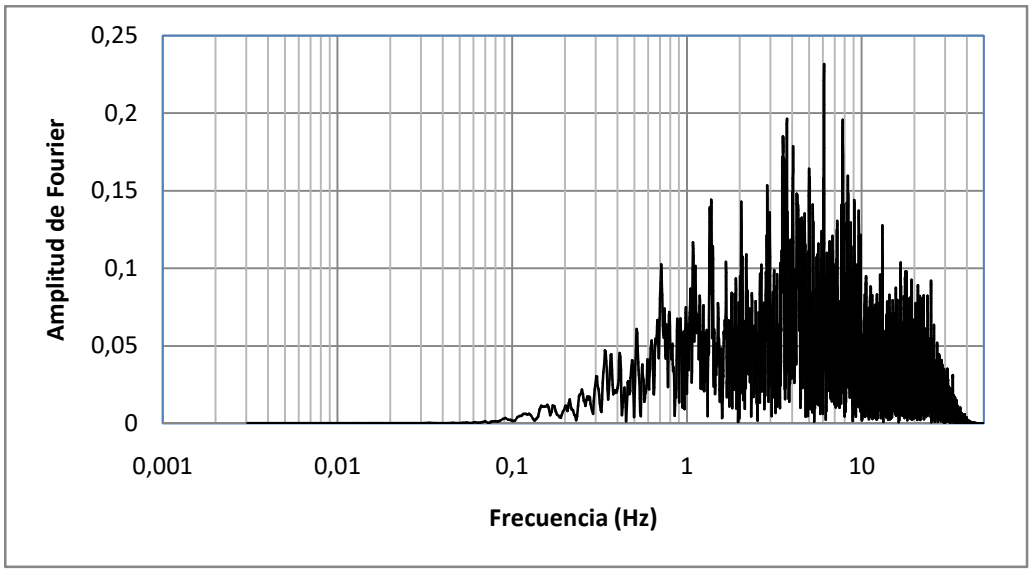

Figura 9-2: Espectro de Amplitud de Fourier

Se prohíbe su reproducción, y exhibición, sin el consentimiento de CODELCO CHILE
El documento, una vez impreso, se considera copia NO CONTROLADA y puede estar obsoleto
Copyrights © 2014 CODELCO-CHILE. Todos los Derechos Reservados

10. Método de Análisis

El análisis que se desarrolló en este trabajo se basó en el método de diferencias finitas bajo la plataforma de cálculo Flac 2D. La metodología seguida se presenta en los siguientes pasos:

- Se seleccionó el sismo de para análisis, en este caso el sismo máximo creíble.
- Se establecieron los parámetros a utilizar en el análisis dinámico.
- Se calibró el modelo constitutivo Cysoil con ensayos triaxiales drenados ejecutados a los relaves filtrados compactados.
- Se desarrolló la geometría de cálculo con una malla capaz de tomar las ondas de la solicitación sísmica, longitud de onda entre 10.
- Se consideró el proceso constructivo.
- Se realizó el cálculo de esfuerzos iniciales.
- Se aplicó la solicitación sísmica.
- Se calcularon los desplazamientos, aceleraciones y deformación máxima al corte.

11. Resultados de la Modelación

Para el análisis dinámico el tamaño de la malla para cada material se definió a partir de las características del evento sísmico (intervalo de frecuencias que afectan a estructuras) y de las propiedades del mismo material.

El análisis dinámico contempla dos etapas; una etapa de condición inicial y otra etapa de análisis dinámico. Para la etapa de condición inicial se consideraron restricciones al movimiento en X e Y para la base y X el borde a la derecha y a la izquierda del modelo.

Para el análisis dinámico se cambió la condición de borde por borde libre y se aplico la solicitación en la base del modelo en forma de esfuerzos, tal como se sugiere en el manual de Flac (Ref.7). Además se incluyeron 4 puntos de monitoreo para registrar la respuesta de la estructura.

Los resultados se presentan en lasFigura 11-1 a Figura 11-26, y el resumen se presenta en la Tabla 11-1.

Se prohíbe su reproducción, y exhibición, sin el consentimiento de CODELCO CHILE
El documento, una vez impreso, se considera copia NO CONTROLADA y puede estar obsoleto
Copyrights © 2014 CODELCO-CHILE. Todos los Derechos Reservados

Proceso Constructivo

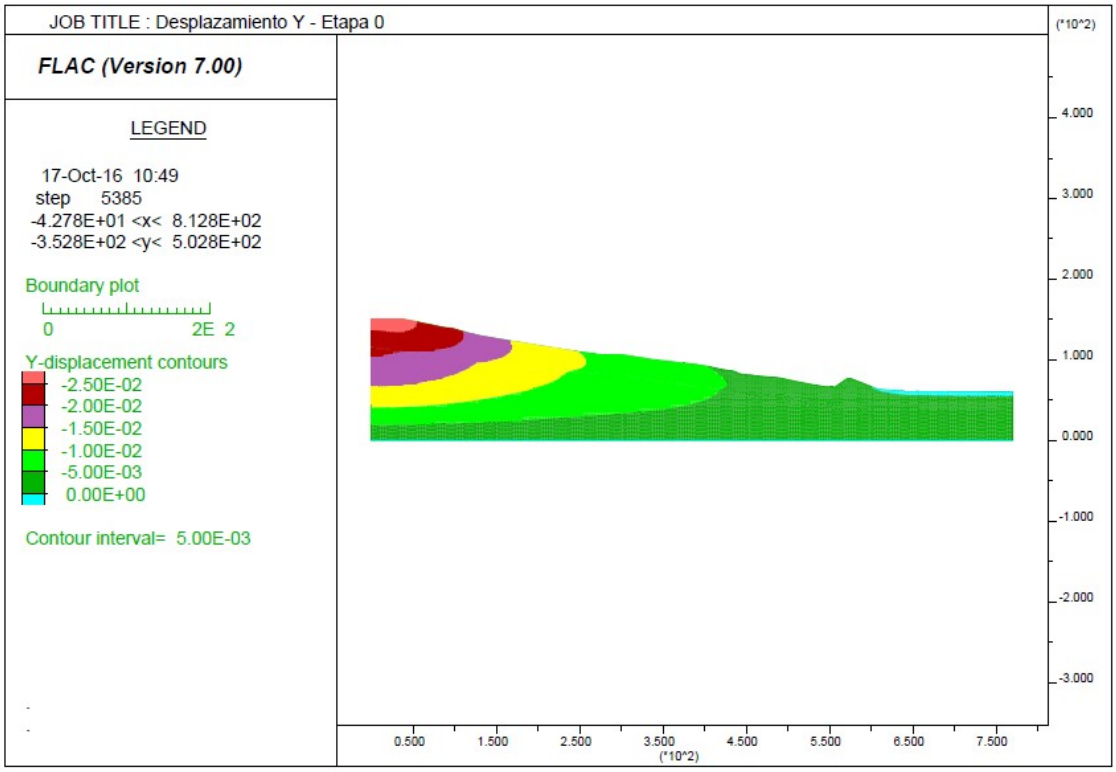

Figura 11-1:Desplazamiento Vertical (m) – Etapa 0

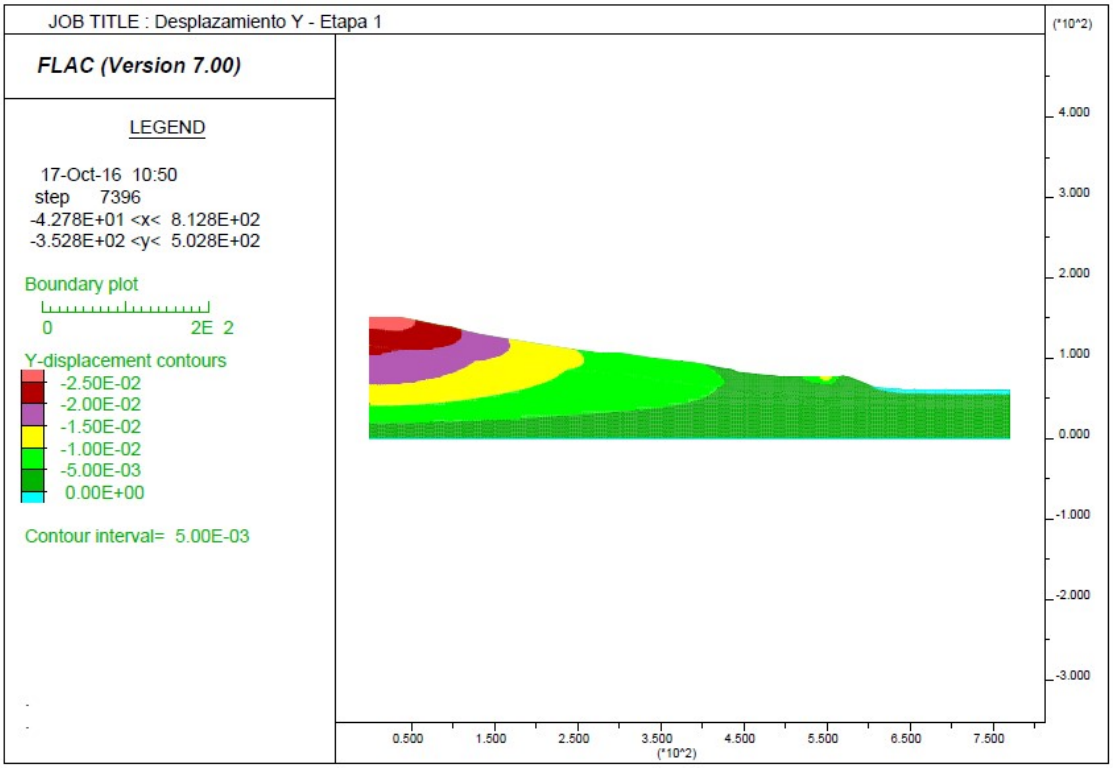

Figura 11-2: Desplazamiento Vertical (m) – Etapa 1

Se prohíbe su reproducción, y exhibición, sin el consentimiento de CODELCO CHILE
El documento, una vez impreso, se considera copia NO CONTROLADA y puede estar obsoleto
Copyrights © 2014 CODELCO-CHILE. Todos los Derechos Reservados

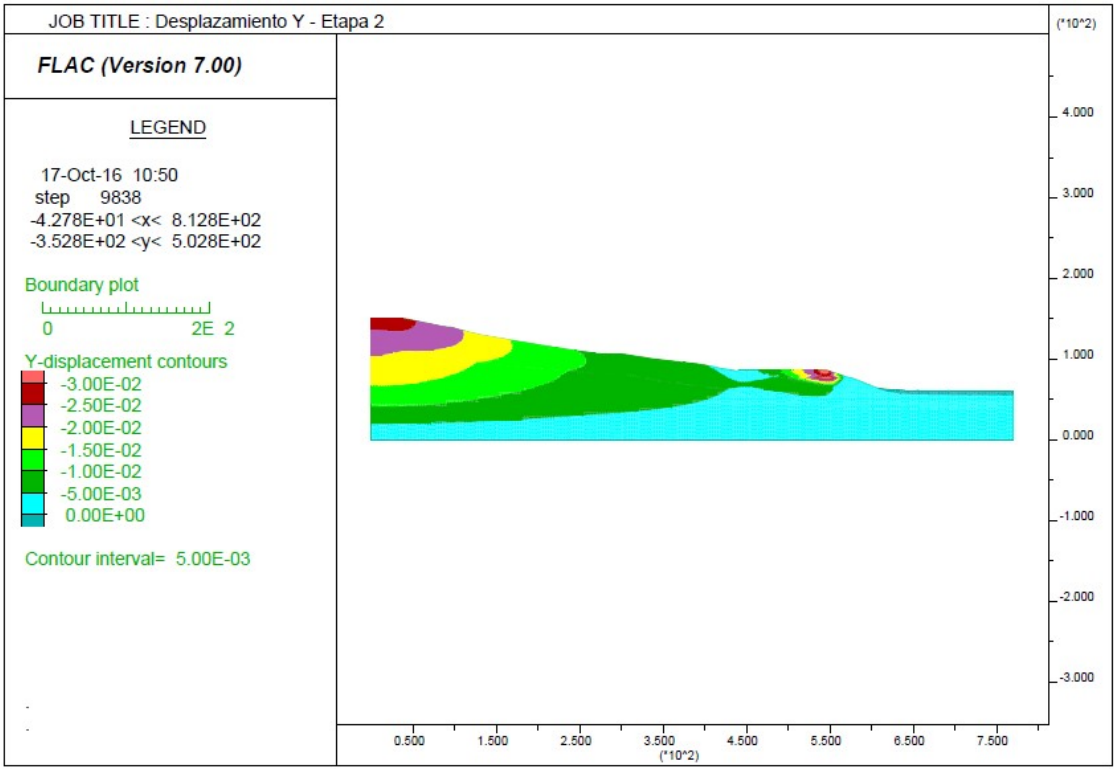

Figura 11-3: Desplazamiento Vertical (m) – Etapa 2

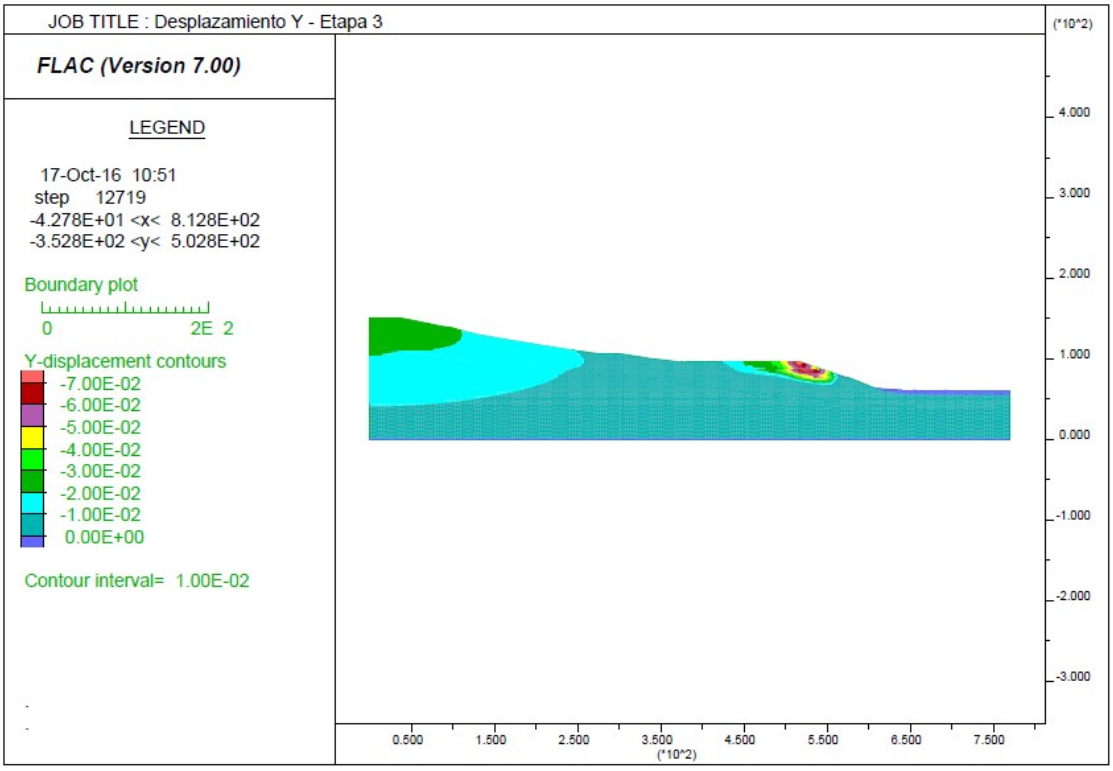

Figura 11-4: Desplazamiento Vertical (m) – Etapa 3

Se prohíbe su reproducción, y exhibición, sin el consentimiento de CODELCO CHILE
El documento, una vez impreso, se considera copia NO CONTROLADA y puede estar obsoleto
Copyrights © 2014 CODELCO-CHILE. Todos los Derechos Reservados

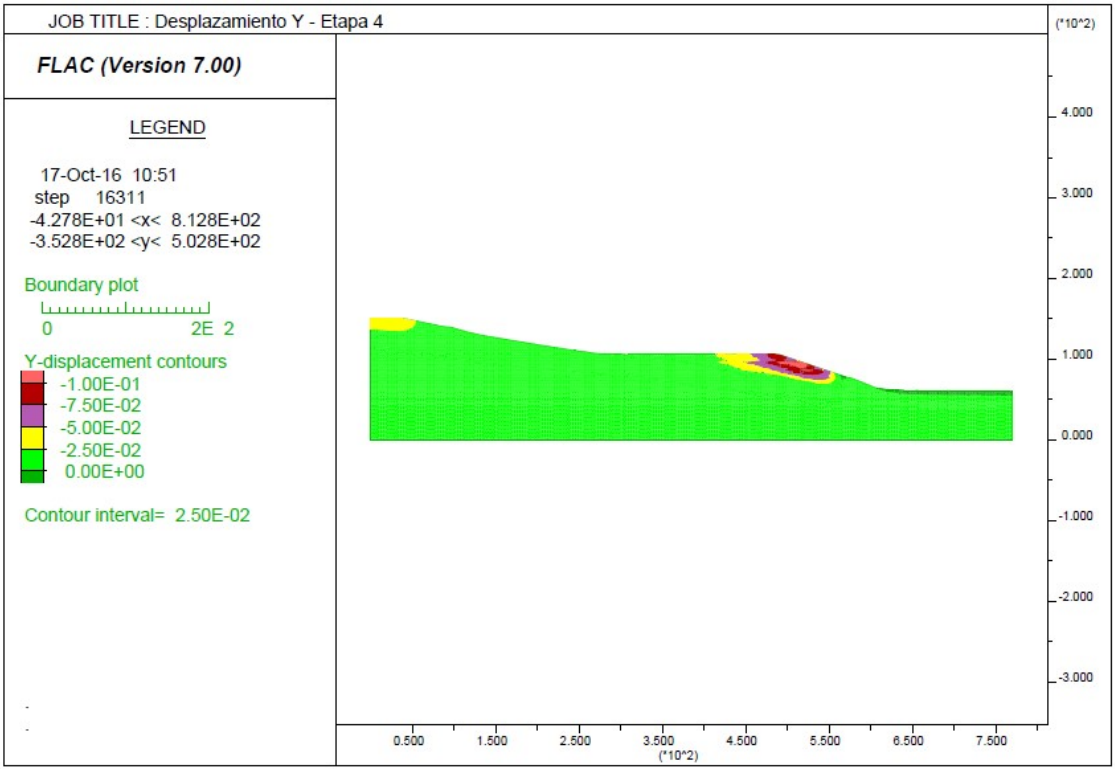

Figura 11-5: Desplazamiento Vertical (m) – Etapa 4

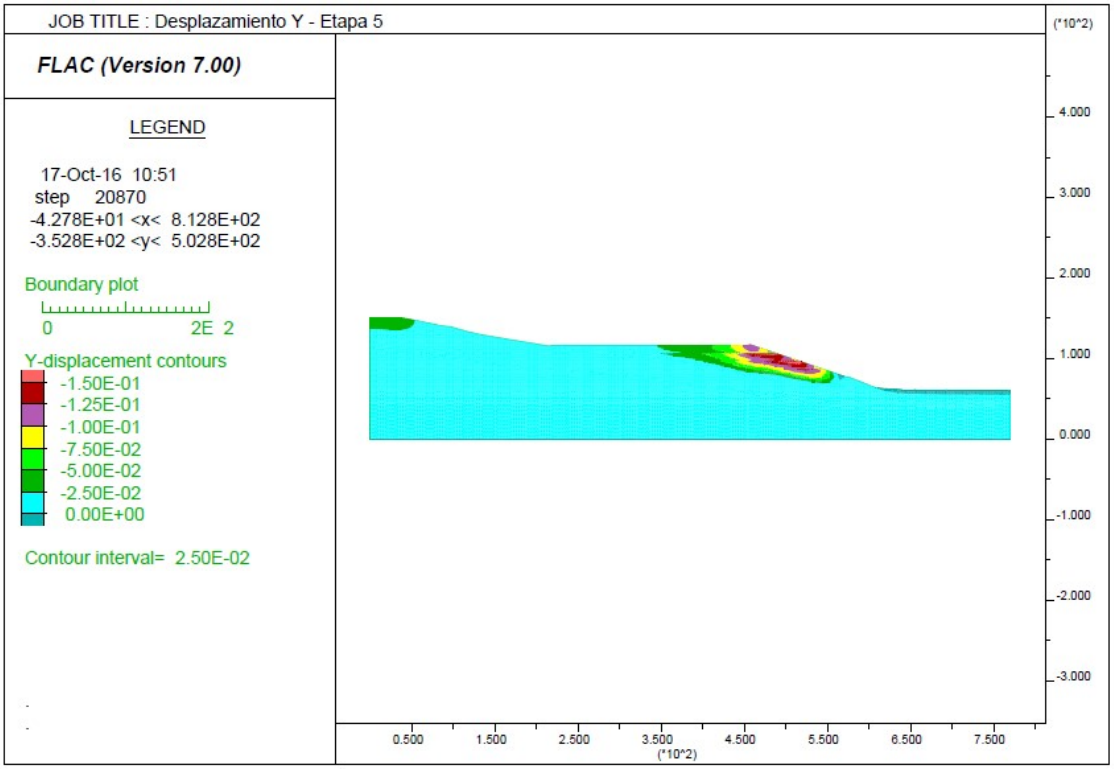

Figura 11-6: Desplazamiento Vertical (m) – Etapa 5

Se prohíbe su reproducción, y exhibición, sin el consentimiento de CODELCO CHILE
El documento, una vez impreso, se considera copia NO CONTROLADA y puede estar obsoleto
Copyrights © 2014 CODELCO-CHILE. Todos los Derechos Reservados

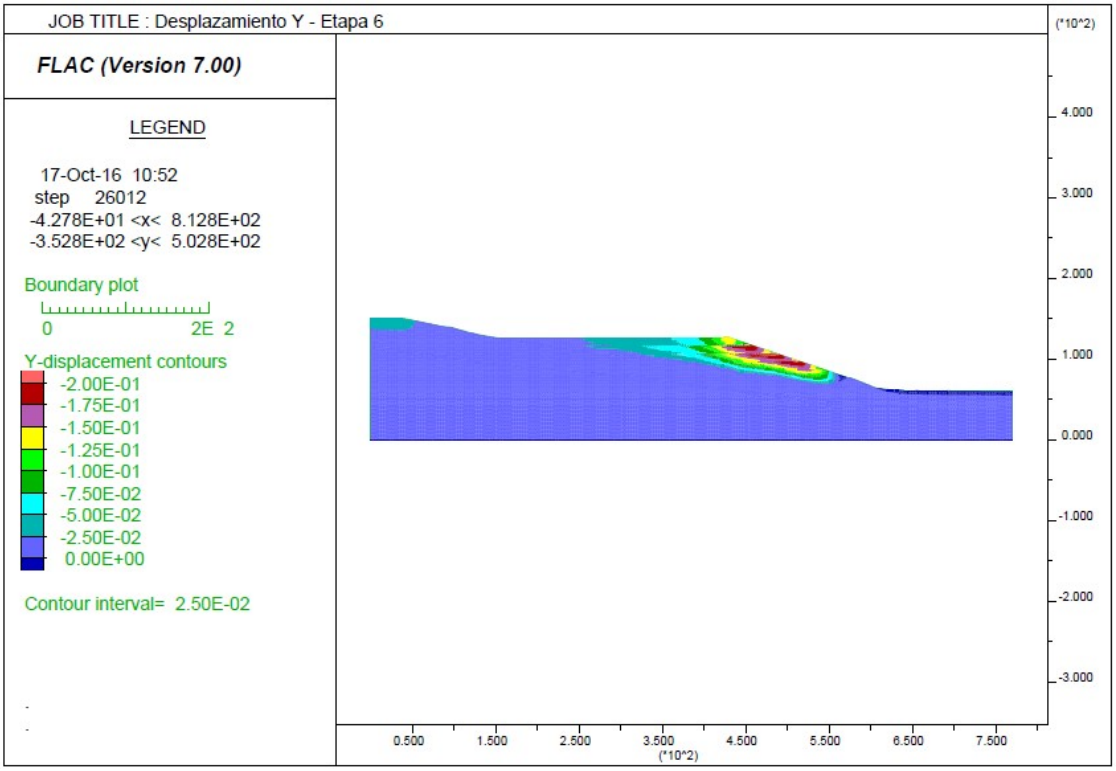

Figura 11-7: Desplazamiento Vertical (m) – Etapa 6

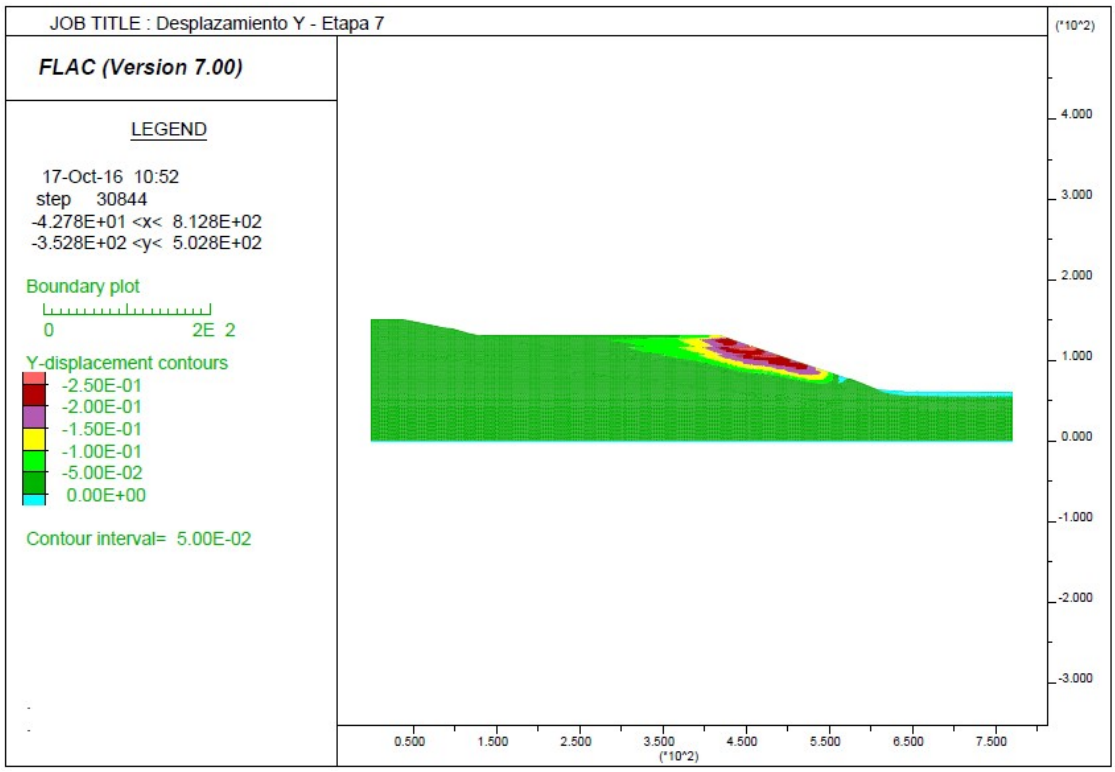

Figura 11-8: Desplazamiento Vertical (m) – Etapa 7

Se prohíbe su reproducción, y exhibición, sin el consentimiento de CODELCO CHILE
El documento, una vez impreso, se considera copia NO CONTROLADA y puede estar obsoleto
Copyrights © 2014 CODELCO-CHILE. Todos los Derechos Reservados

Condición Inicial

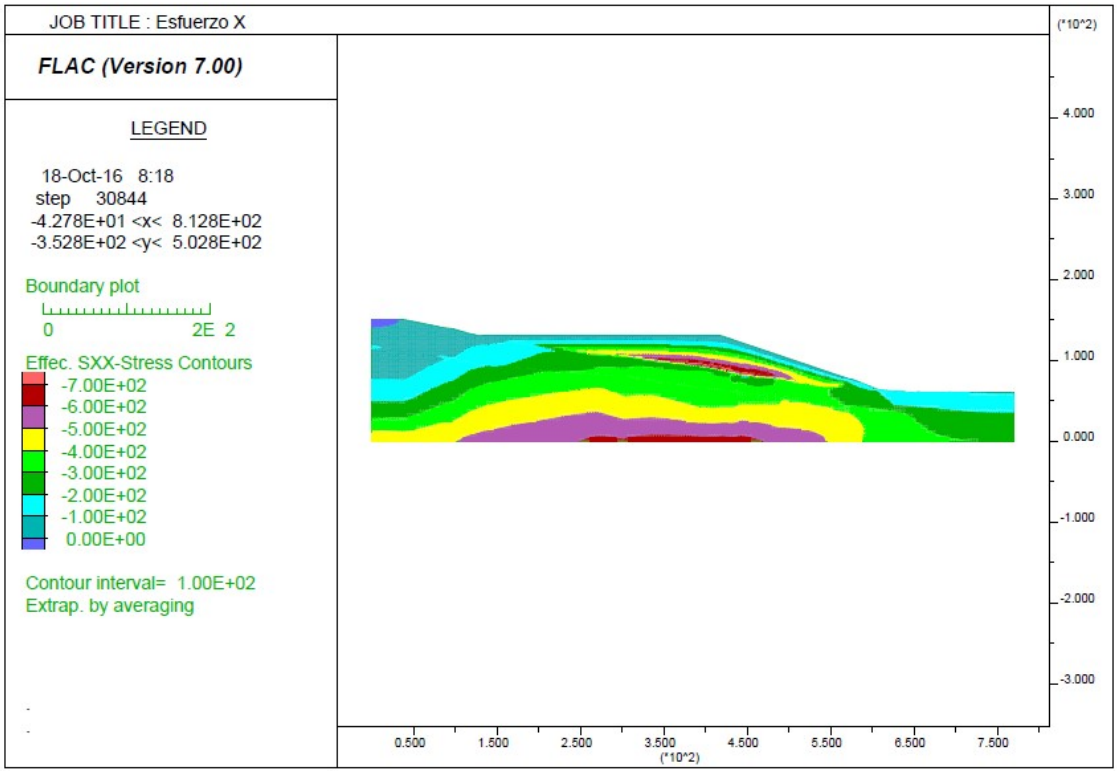

Figura 11-9: Esfuerzo Inicial X (KPa)

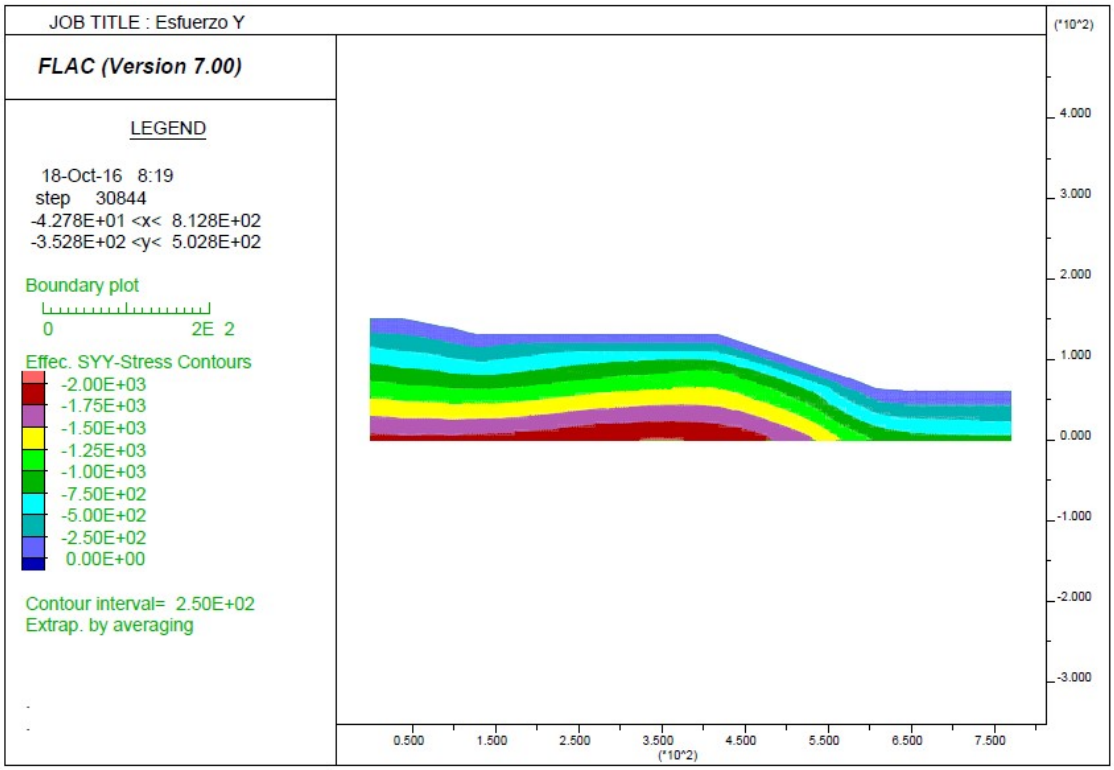

Figura 11-10: Esfuerzo Inicial Y (KPa)

Se prohíbe su reproducción, y exhibición, sin el consentimiento de CODELCO CHILE
El documento, una vez impreso, se considera copia NO CONTROLADA y puede estar obsoleto
Copyrights © 2014 CODELCO-CHILE. Todos los Derechos Reservados

Contorno de Desplazamientos

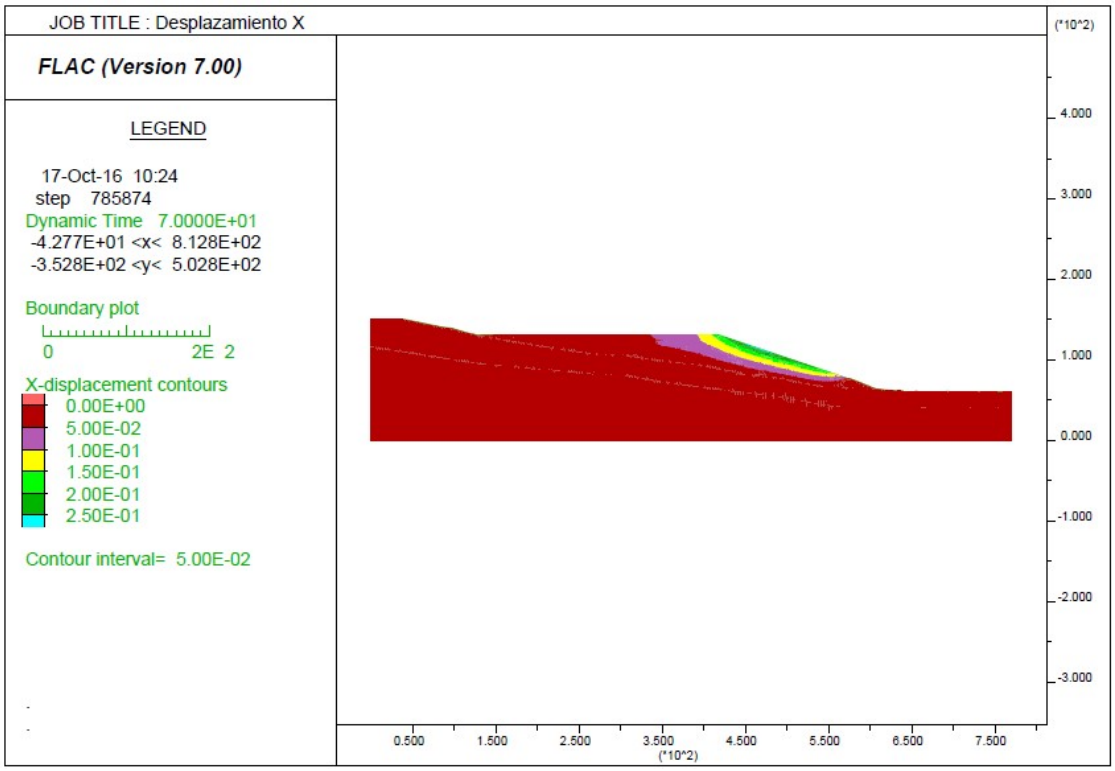

Figura 11-11: Desplazamiento Horizontal (m)

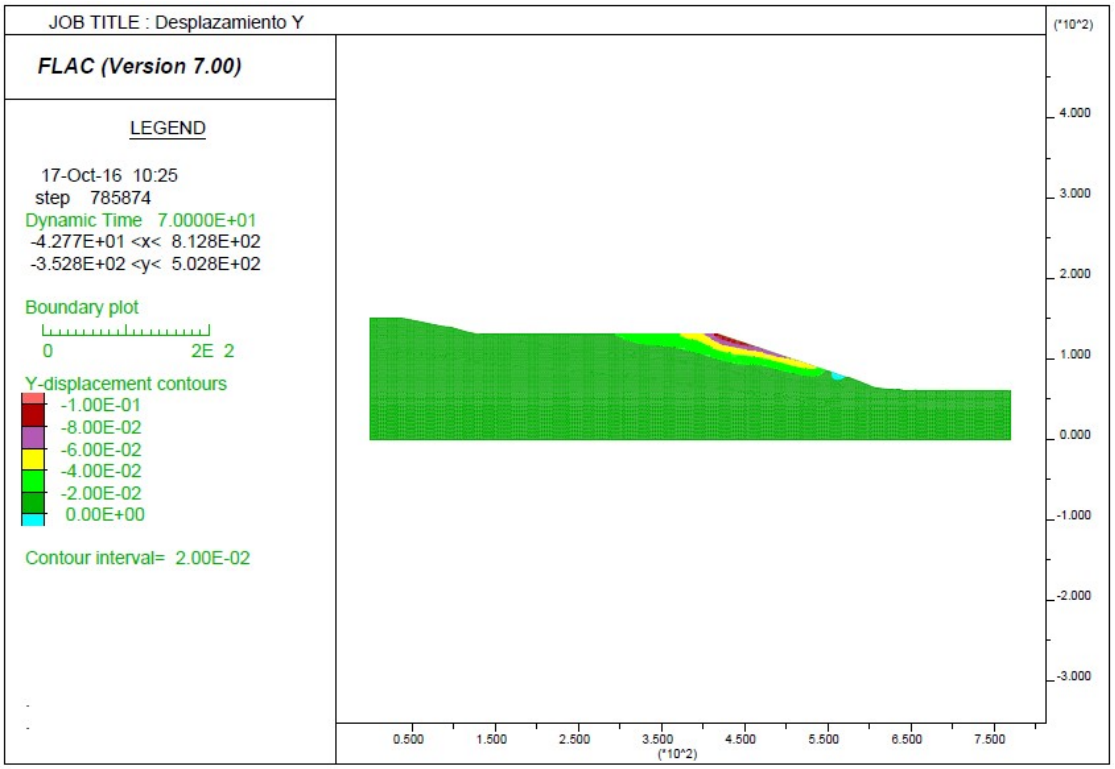

Figura 11-12: Desplazamiento Vertical (m)

Se prohíbe su reproducción, y exhibición, sin el consentimiento de CODELCO CHILE
El documento, una vez impreso, se considera copia NO CONTROLADA y puede estar obsoleto
Copyrights © 2014 CODELCO-CHILE. Todos los Derechos Reservados

Deformación Máxima al Corte

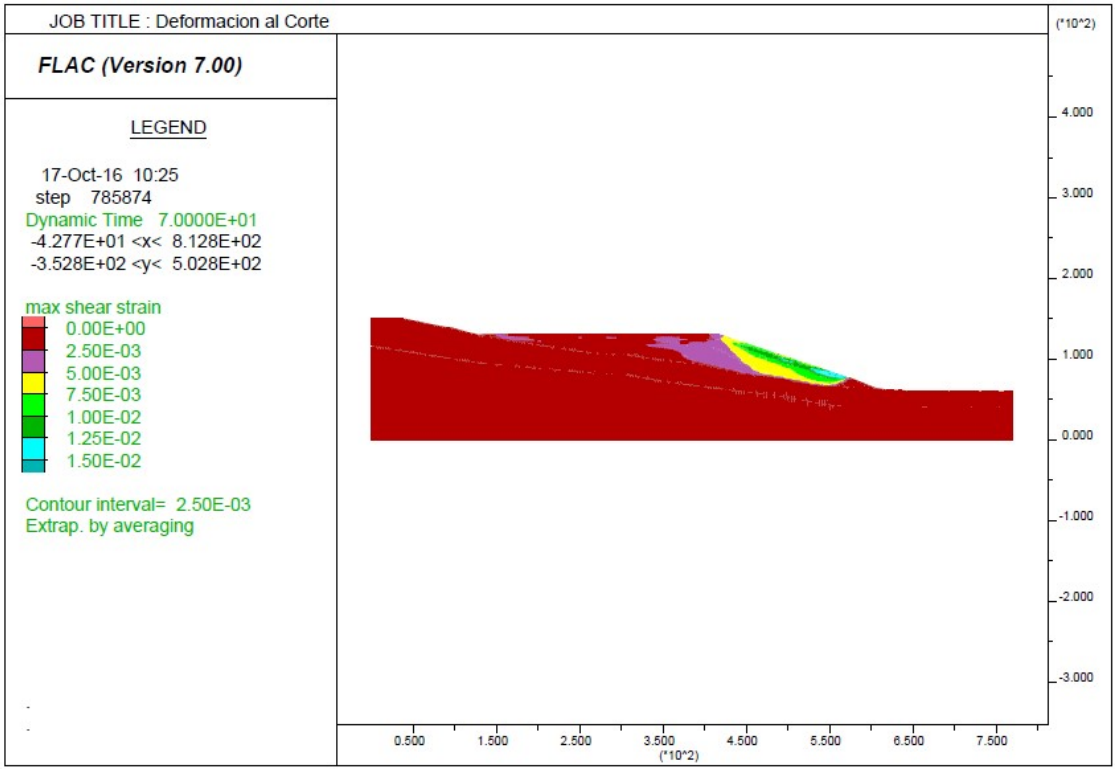

Figura 11-13: DeformacionMaxima al Corte

Puntos de Monitoreo

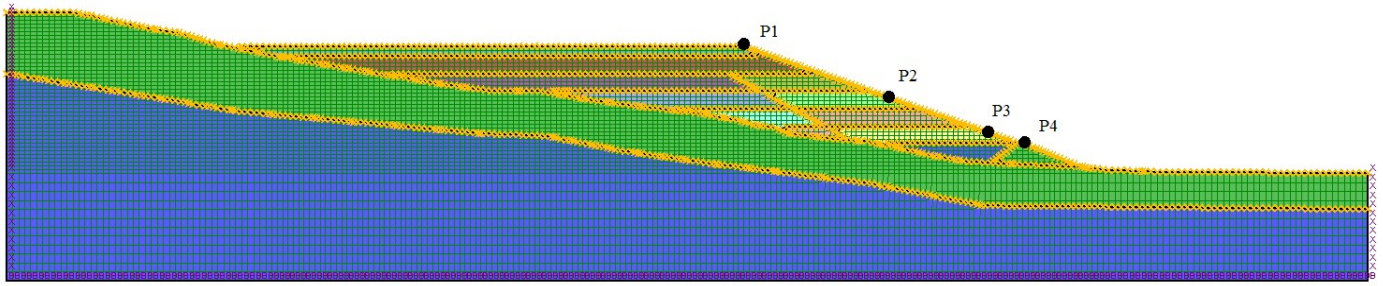

Figura 11-14: Puntos de Monitoreo

Se prohíbe su reproducción, y exhibición, sin el consentimiento de CODELCO CHILE
El documento, una vez impreso, se considera copia NO CONTROLADA y puede estar obsoleto
Copyrights © 2014 CODELCO-CHILE. Todos los Derechos Reservados

Aceleraciones

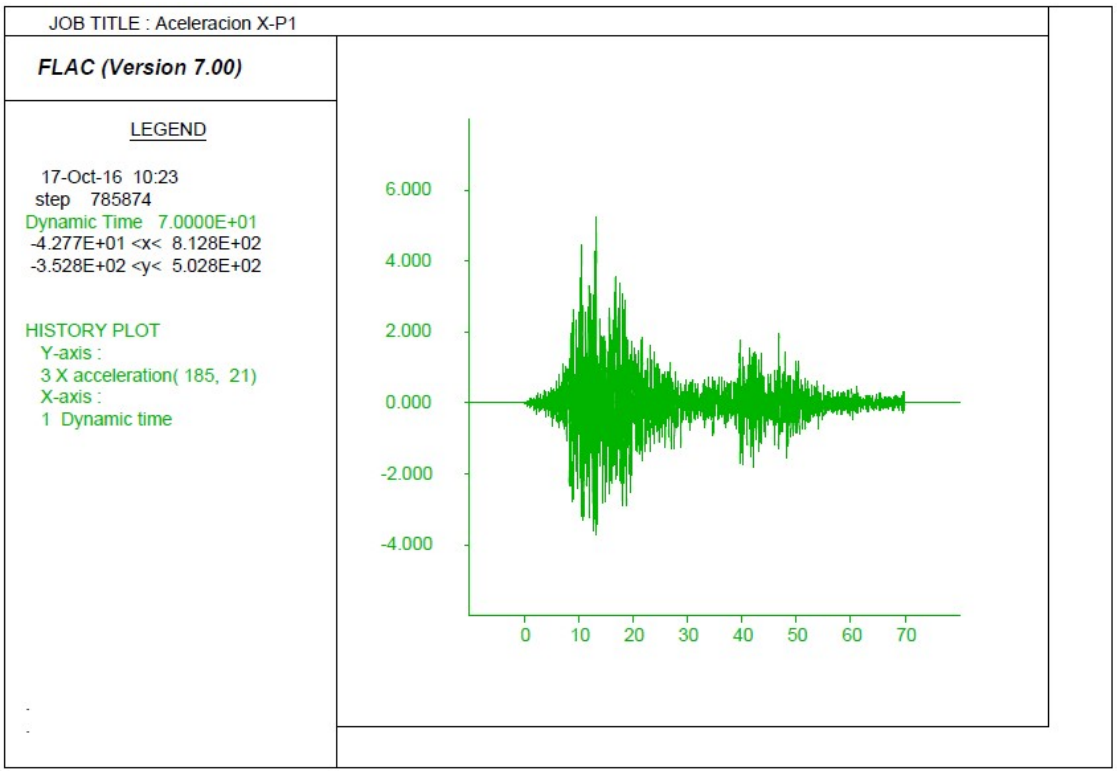

Figura 11-15: Aceleración Horizontal (m/s^2) – P1

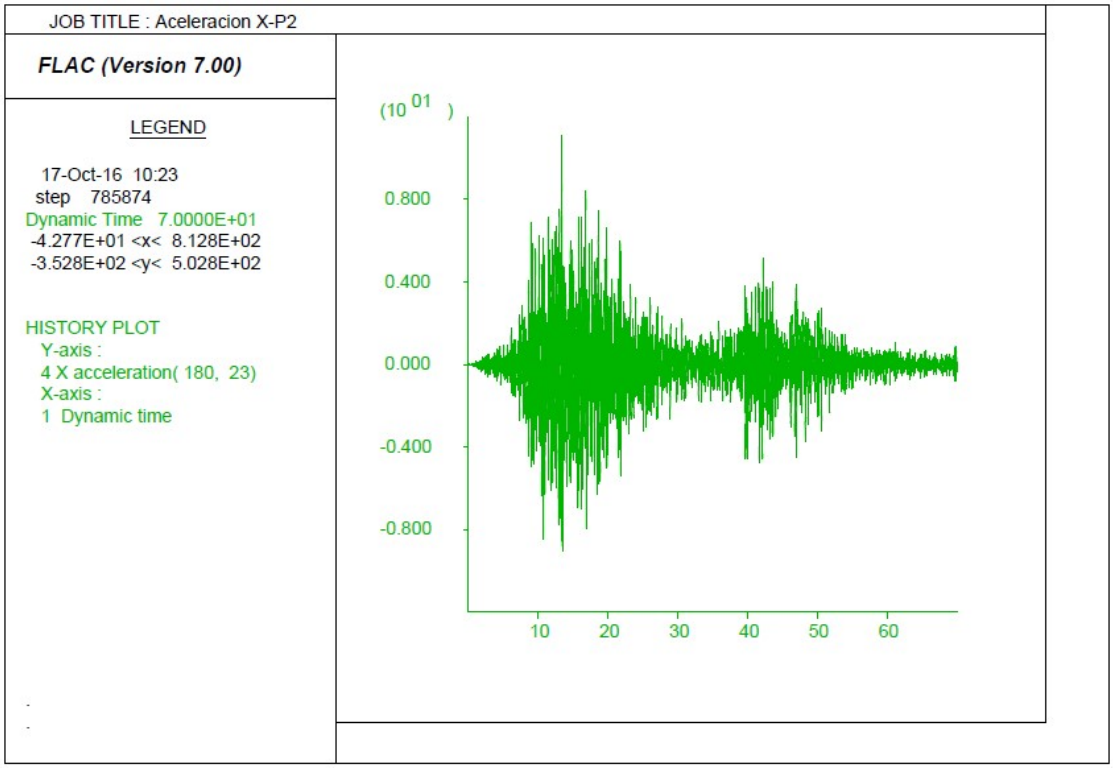

Figura 11-16: Aceleración Horizontal (m/s^2) – P2

Se prohíbe su reproducción, y exhibición, sin el consentimiento de CODELCO CHILE
El documento, una vez impreso, se considera copia NO CONTROLADA y puede estar obsoleto
Copyrights © 2014 CODELCO-CHILE. Todos los Derechos Reservados

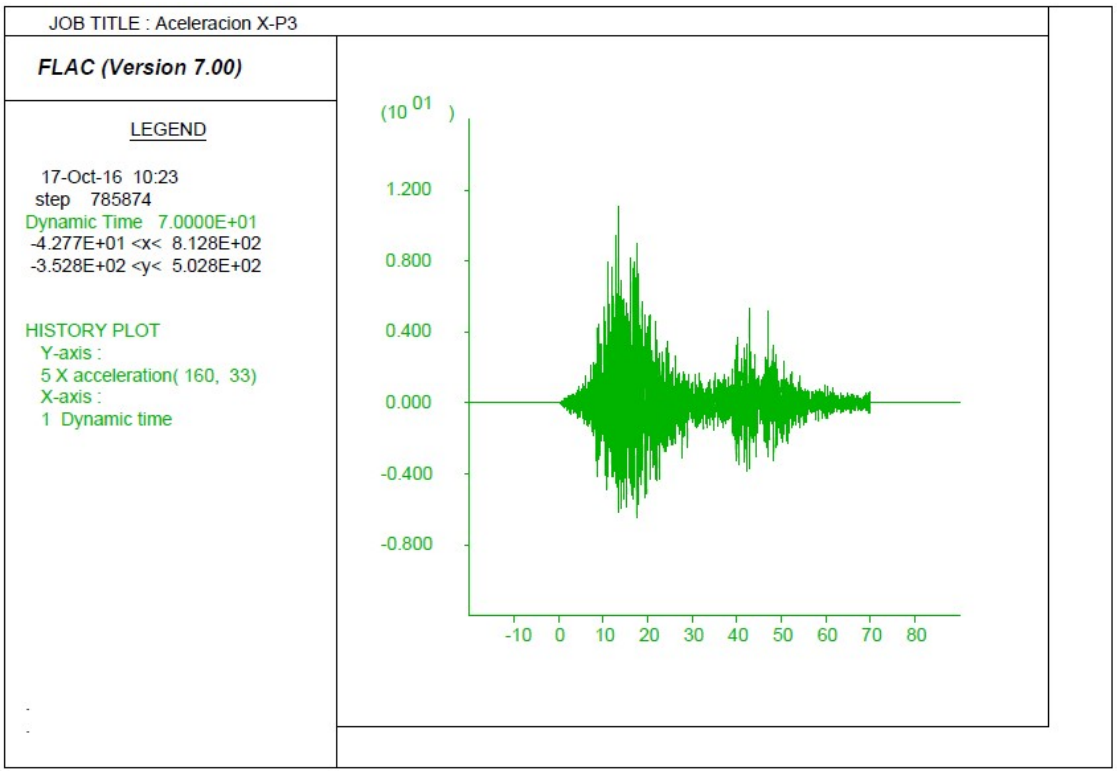

Figura 11-17: Aceleración Horizontal (m/s^2) – P3

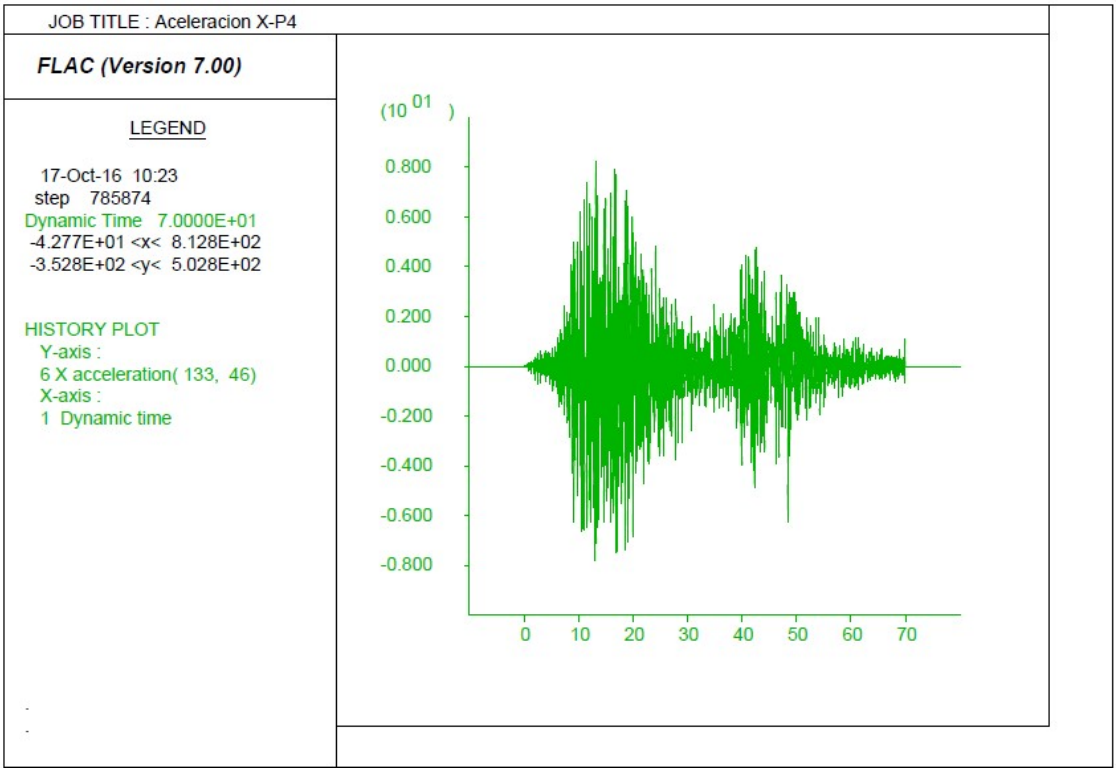

Figura 11-18: Aceleración Horizontal (m/s^2) – P4

Se prohíbe su reproducción, y exhibición, sin el consentimiento de CODELCO CHILE
El documento, una vez impreso, se considera copia NO CONTROLADA y puede estar obsoleto
Copyrights © 2014 CODELCO-CHILE. Todos los Derechos Reservados

Desplazamiento Relativo en Puntos de Monitoreo

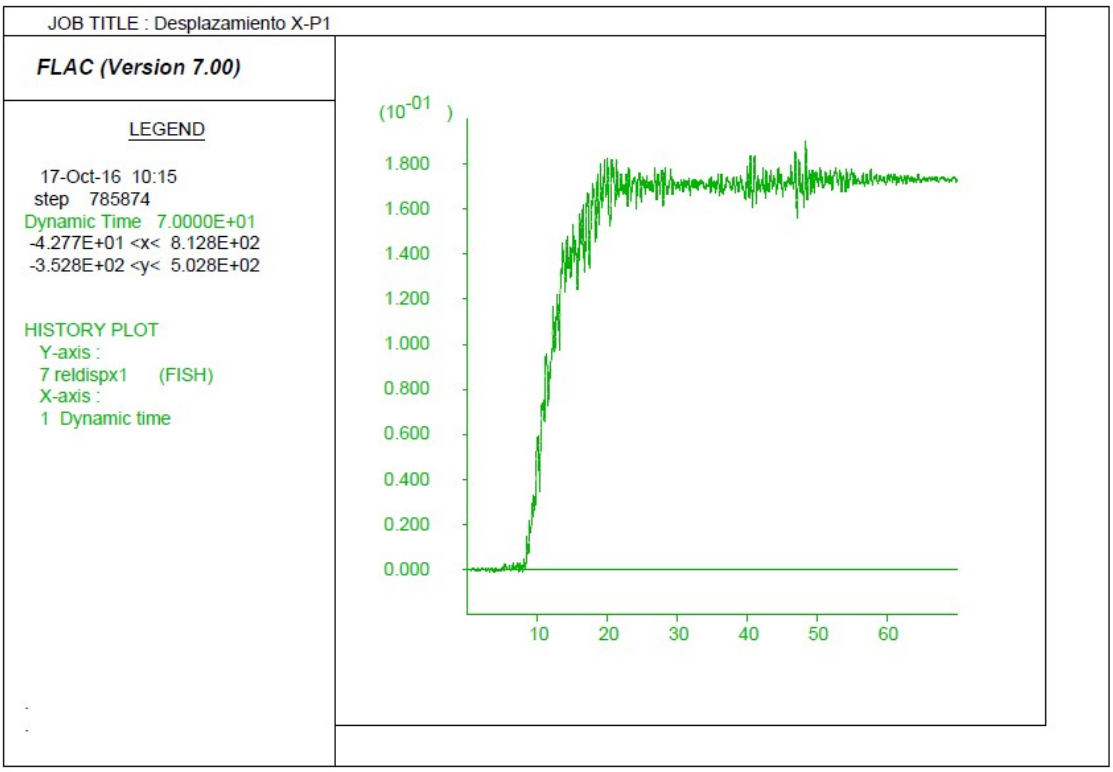

Figura 11-19: Desplazamiento Relativo Horizontal (m) – P1

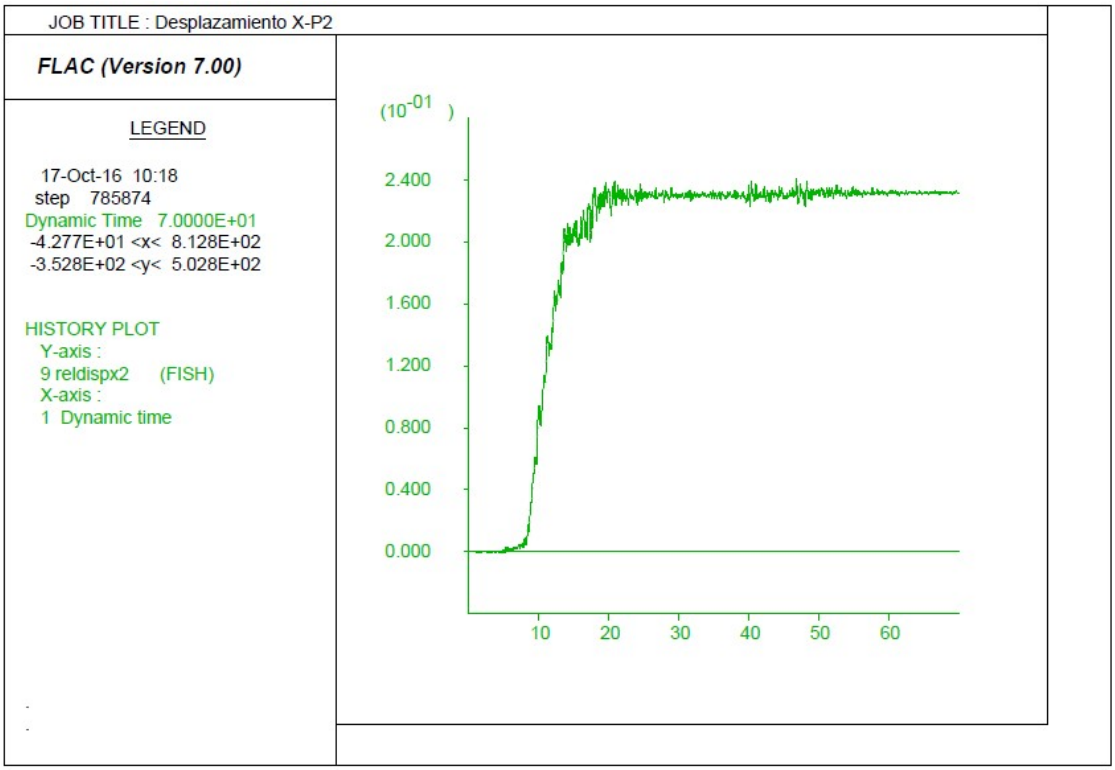

Figura 11-20: Desplazamiento Relativo Horizontal (m) – P2

Se prohíbe su reproducción, y exhibición, sin el consentimiento de CODELCO CHILE
El documento, una vez impreso, se considera copia NO CONTROLADA y puede estar obsoleto
Copyrights © 2014 CODELCO-CHILE. Todos los Derechos Reservados

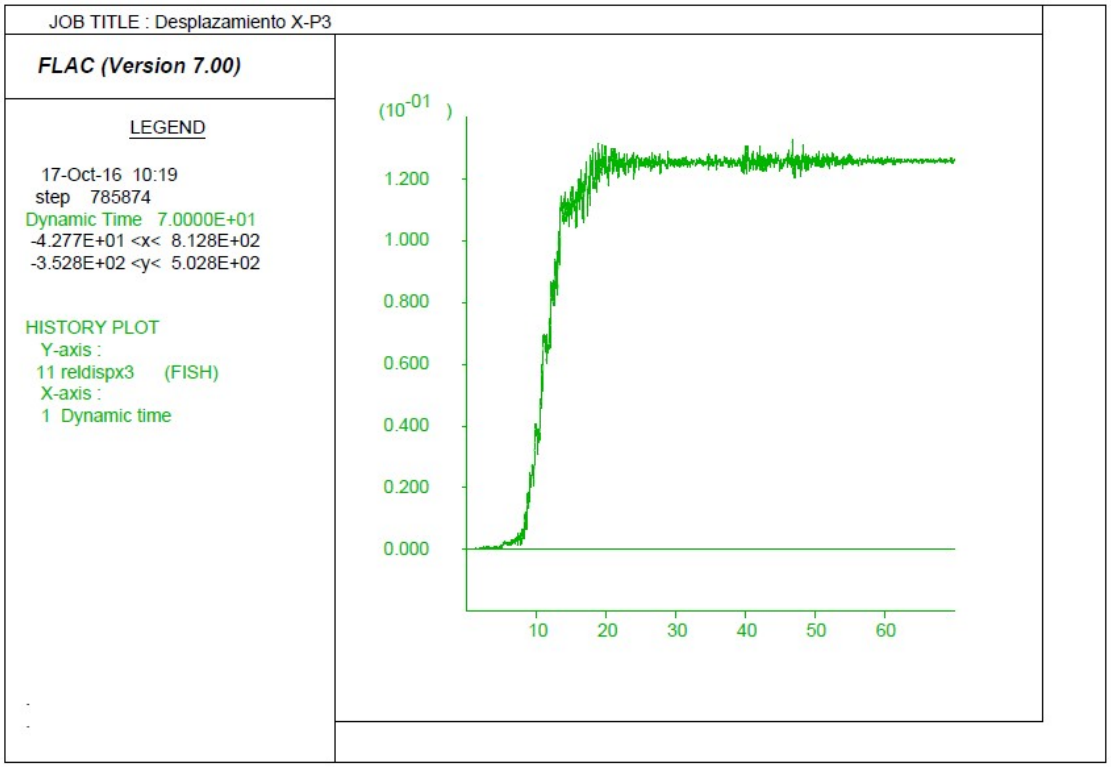

Figura 11-21: Desplazamiento Relativo Horizontal (m) – P3

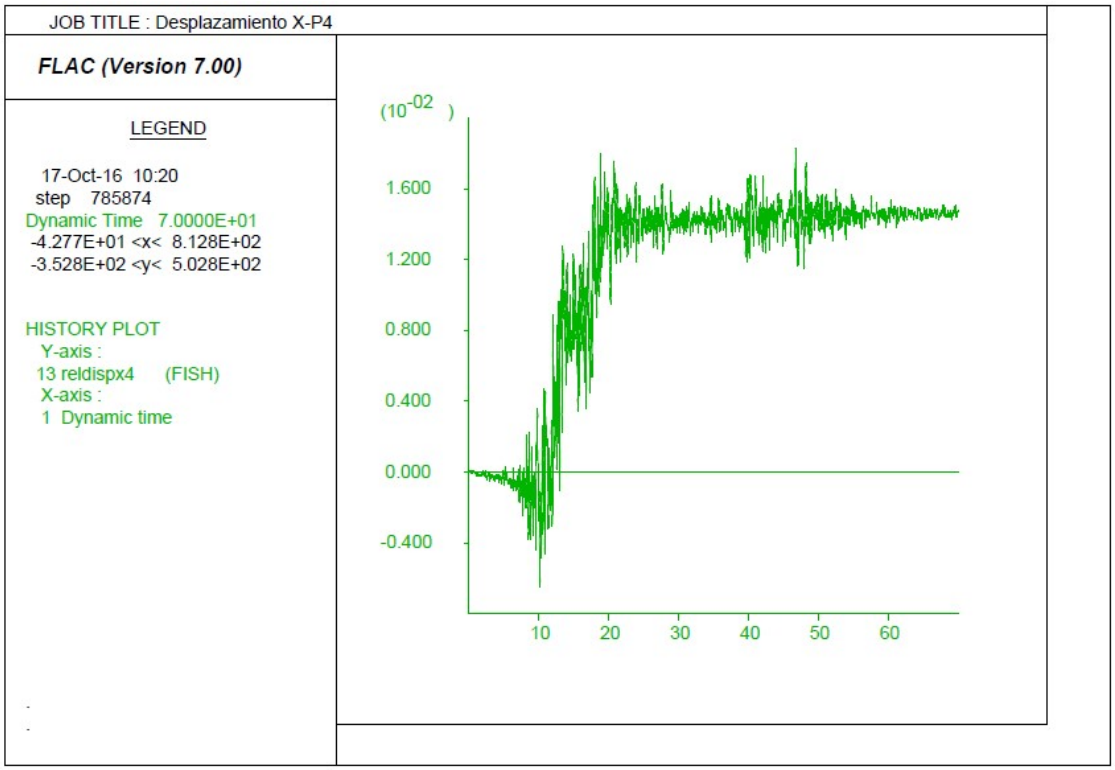

Figura 11-22: Desplazamiento Relativo Horizontal (m) – P4

Se prohíbe su reproducción, y exhibición, sin el consentimiento de CODELCO CHILE
El documento, una vez impreso, se considera copia NO CONTROLADA y puede estar obsoleto
Copyrights © 2014 CODELCO-CHILE. Todos los Derechos Reservados

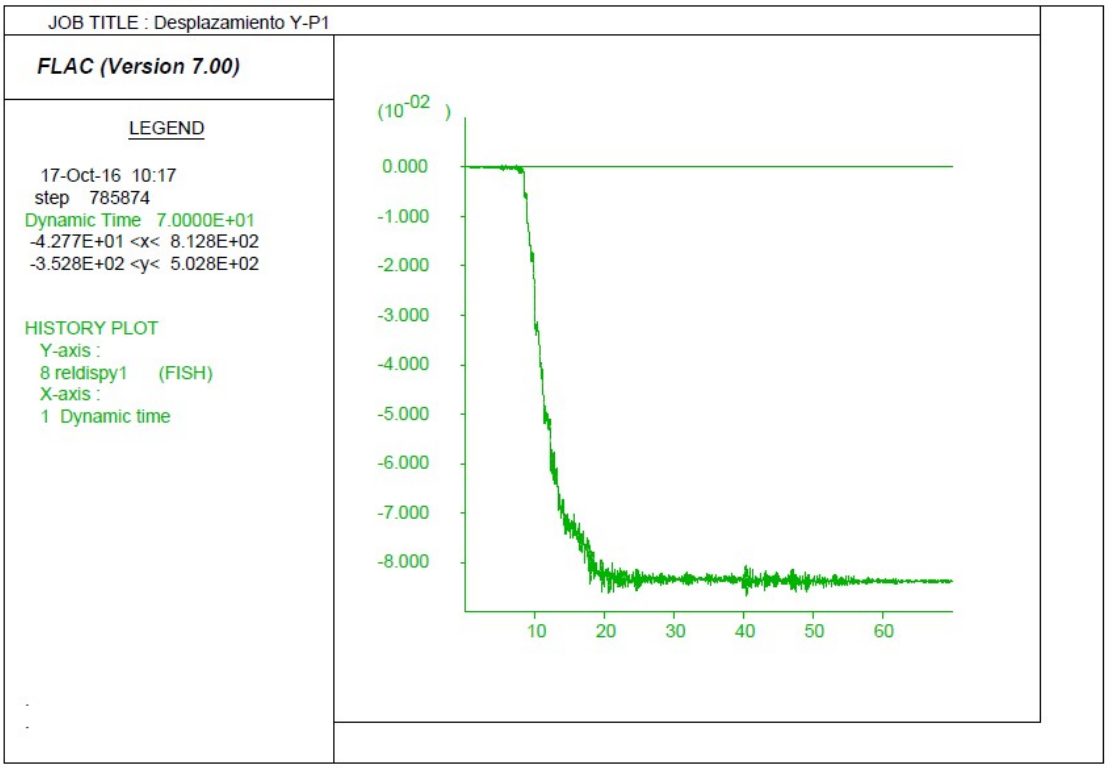

Figura 11-23: Desplazamiento Relativo Vertical(m) – P1

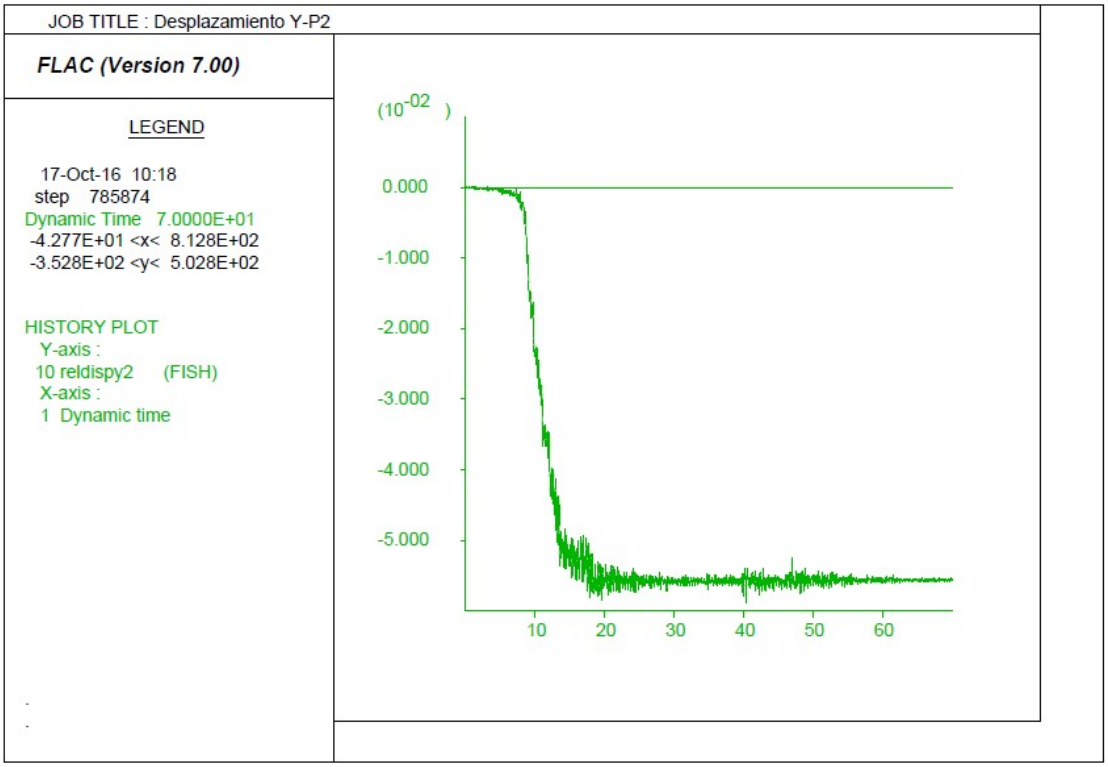

Figura 11-24: Desplazamiento Relativo Vertical (m) – P2

Se prohíbe su reproducción, y exhibición, sin el consentimiento de CODELCO CHILE
El documento, una vez impreso, se considera copia NO CONTROLADA y puede estar obsoleto
Copyrights © 2014 CODELCO-CHILE. Todos los Derechos Reservados

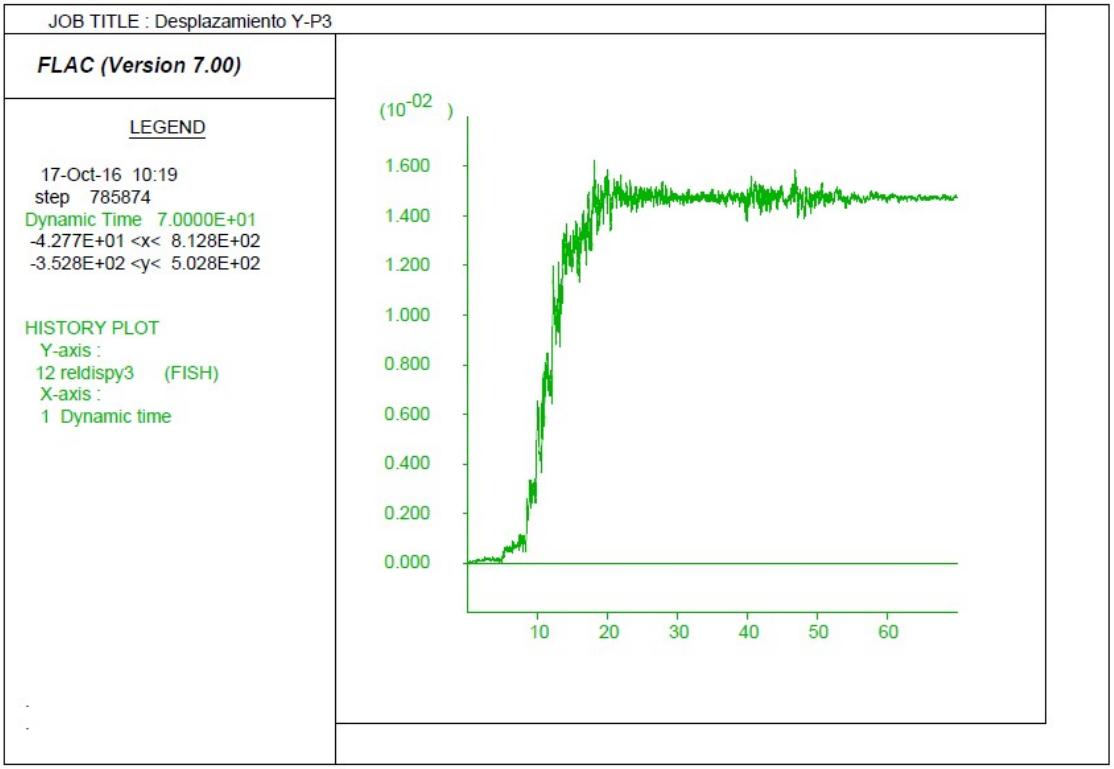

Figura 11-25: Desplazamiento Relativo Vertical (m) – P3

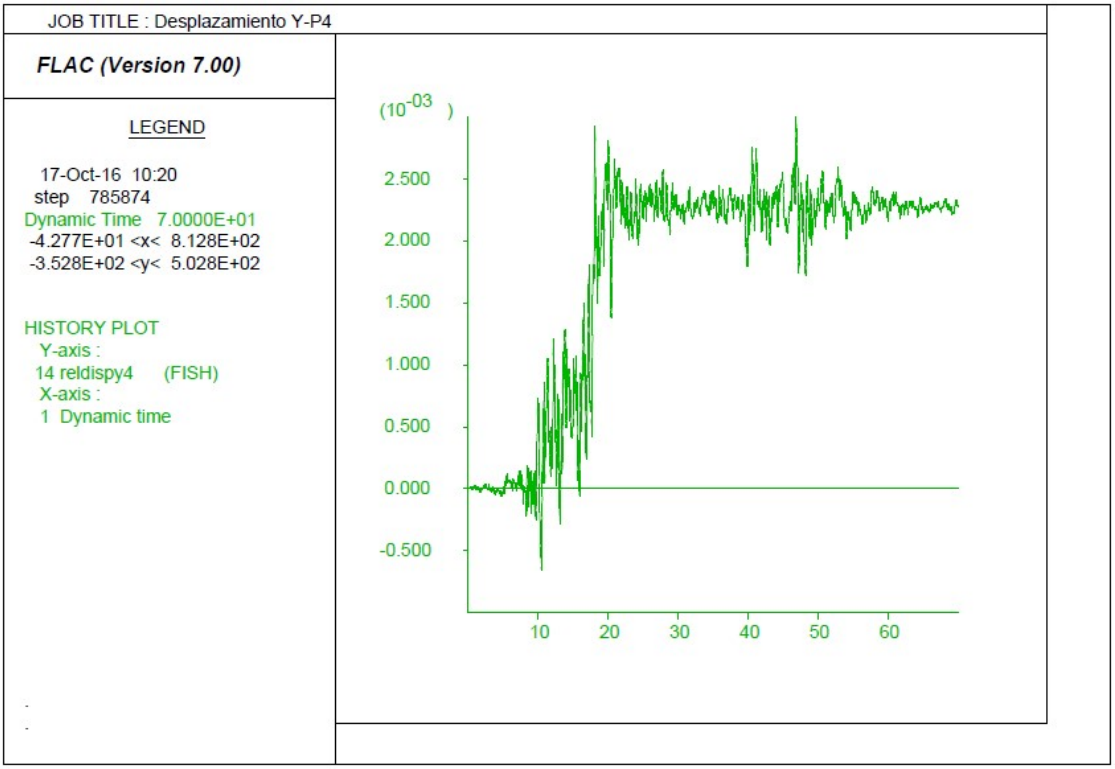

Figura 11-26: Desplazamiento Relativo Vertical (m) – P4

Se prohíbe su reproducción, y exhibición, sin el consentimiento de CODELCO CHILE
El documento, una vez impreso, se considera copia NO CONTROLADA y puede estar obsoleto
Copyrights © 2014 CODELCO-CHILE. Todos los Derechos Reservados

En la siguiente tabla se presenta el resumen de resultados obtenidos:

Tabla 11-1: Resumen de Resultados.

Punto	Ubicación	Aceleración Máxima Relativa (g)	Desplazamiento Relativo X (cm)	Desplazamiento Relativo Y (cm)
1	Zona Alta del Depósito	0.56	17.0	8.30
2	Zona Media del Depósito	1.12	23.0	5.50
3	Zona Baja del Depósito	1.10	12.5	1.30
4	Coronamiento Dique	0.82	14.0	0.23

12. Comentarios y Conclusiones

- Se desarrolló un análisis dinámico mediante el programa Flac 2D para representar el comportamiento sísmico de un deposito de relaves filtrados.
- Para los relaves filtrados compactados se utilizó el modelo constitutivo Cysoil calibrado con ensayos triaxiales drenados.
- Para la fundación inferior se utilizó un modelo lineal y para el material fundación superior y dique al pie del depósito se utilizó el modelo bilineal Mohr Coulomb.
- Para el análisis no se consideró el dren basal, pues incluir este por su espesor, generaba el aumento de elementos en el modelo numérico.
- Los desplazamientos relativos máximos se presentan de manera superficial en la zona del talud aguas abajo del depósito, siendo 25 cm en dirección horizontal en la zona media del talud, y 10 cm en dirección vertical en la zona alta del depósito . Los desplazamientos relativos no fueron de gran magnitud.
- La aceleración máxima fue de 1.12 g y se presentó en la zona media del talud aguas abajo del depósito.
- En base al resultado de aceleración y desplazamientos se puede considerar que la estructura es rígida.
- La deformación unitaria máxima al corte fue de 1.5% y se presentó en la zona baja del talud, aguas abajo del depósito y de manera superficial.En base al resultado obtenido se considera que; la estructura al ser sometida al sismo máximo creíble presentaría deformaciones unitarias en el rango de medianas a grandes deformaciones unitarias en la zona superficial del talud, donde posiblemente se presenten grietas de menor tamaño. Se deberán tomar acciones post sismo para perfilar el talud del depósito y mantener la pendiente de diseño, en caso aparezcan gritas por deformación o si cambia el talud de diseño.
- En base a los resultados encontrados se concluye que, la estructura de relaves filtrados compactados no se verá comprometida en su estabilidad bajo la solicitación del sismo máximo creíble y que los desplazamientos no seriande gran magnitud.

Se prohíbe su reproducción, y exhibición, sin el consentimiento de CODELCO CHILE
El documento, una vez impreso, se considera copia NO CONTROLADA y puede estar obsoleto
Copyrights © 2014 CODELCO-CHILE. Todos los Derechos Reservados

Anexo A

Informe de Mecánica de Suelos



Adobe Acrobat
Document

Se prohíbe su reproducción, y exhibición, sin el consentimiento de CODELCO CHILE
El documento, una vez impreso, se considera copia NO CONTROLADA y puede estar obsoleto
Copyrights © 2014 CODELCO-CHILE. Todos los Derechos Reservados

CORPORACIÓN NACIONAL DEL COBRE DE CHILE

GERENCIA DE PROYECTOS

DIVISIÓN DSAL

ESTUDIO DE PRE-FACTIBILIDAD

VALIDACION DE CAPACIDAD DEPOSITO DE RELAVES FILTRADOS PLANTA TRATAMIENTO ESCORIA FUNDICION POTRERILLOS

CONTRATO N° : 4501537761

INFORME

INFORME DE MECÁNICA DE SUELOS SITIO 10

REV N°	FECHA	EMITIDO PARA	POR	REVISADO POR	APROBADO POR	APROBADO POR
0	13/02/2017	Para Uso	F. Alvarado	E. Garcia	J. Riquelme	G. Rojas
C	06/12/2016	Revisión Cliente	F. Alvarado	E. Garcia	J. Riquelme	G. Rojas
B	22/11/2016	Revisión Cliente	F. Alvarado	E. Garcia	J. Riquelme	G. Rojas
			HATCH			CODELCO

Se prohíbe su reproducción, y exhibición, sin el consentimiento de CODELCO CHILE
El documento, una vez impreso, se considera copia NO CONTROLADA y puede estar obsoleto
Copyrights © 2015 CODELCO-CHILE. Todos los Derechos Reservados

Tabla de Contenidos

1. Introducción 3

2. Alcances 4

3. Antecedentes 4

4. Inspecciones de Campo Sitio 10 4

4.1 Ejecución de Calicatas Sitio N°10 4

5. Caracterización Geotécnica de Materiales 7

5.1 Materiales de Fundación 7
5.2 Dren Basal y Muro al Pie del Depósito 9
5.3 Relaves Filtrados 9
5.3.1 Clasificación Muestras de Calicatas 10
5.3.2 Densidades Máximas y Permeabilidad 10
5.3.3 Parámetros de Resistencia en función a Ensayos Triaxiales 11

6. Conclusiones y Recomendaciones 12

Listado de Figuras

Figura 1-1: Ubicación Sitio N°10 3
Figura 4-1: Ubicación de Calicatas Sitio N°10 5
Figura 4-2: Foto Calicata 1 6
Figura 4-3: Foto Calicata 2 6
Figura 4-4: Foto Calicata 3 6
Figura 5-1: Ubicación Perfil Sísmico PS-8 *(Geodatos 2012)* 7
Figura 5-2: Velocidades de propagación de ondas PS-8 7
Figura 5-3: Esquema de Interpretación Perfil Sísmico 8
Figura 5-4: Ubicación Calicatas de Referencia 10
Figura 5-5: Proyección Circulo de Mohr – Triaxial CID Calicata 2 11

Listado de Tablas

Tabla 4-1: Coordenadas de Calicatas 4
Tabla 5-1: Velocidad de onda Corte Materiales de Fundación 8
Tabla 5-2: Características materiales prospectados 10
Tabla 5-3: Densidades y permeabilidades 10
Tabla 5-4: Esfuerzos Principales Finales de Ensayo Triaxial Drenado 11
Tabla 6-1: Parámetros Geotécnicos de Diseño 12

Se prohíbe su reproducción, y exhibición, sin el consentimiento de CODELCO CHILE
El documento, una vez impreso, se considera copia NO CONTROLADA y puede estar obsoleto
Copyrights © 2015 CODELCO-CHILE. Todos los Derechos Reservados

1. Introducción

La capacidad del Depósito de Relaves Filtrados, de la Planta de Tratamiento de Escorias de Potrerillos, actualmente en operación tiene una vida útil hasta el año 2018, sin embargo se proyecta que la vida útil de la fundición generará escoria para el proceso hasta fines del año 2022 por que lo se hace necesario definir la ubicación de un nuevo depósito de relaves filtrados de escoria, que cumpla con los estándares técnicos y medio ambientales exigidos por la Autoridad y con la capacidad de almacenamiento requerida.

Hatch desarrolló un estudio de alternativas de ubicación de sitios, en el cual concluyó que el sitio más recomendable para continuar con los estudios corresponde al sitio denominado como N° 10.

El depósito consta de una serie de plataformas de 10 m de altura máxima, que serán compactadas mecánicamente y presentarán taludes de 2.5H:1.0V, se considera un canal de contorno, la construcción de un dren basal con descarga a una piscina de acumulación de infiltraciones y el cierre por etapas de las plataformas mediante la incorporación de una capa de material granular compactado para evitar la erosión del depósito.

A continuación se muestra la ubicación del Sitio N°10.



Figura 1-1: Ubicación Sitio N°10

Se prohíbe su reproducción, y exhibición, sin el consentimiento de CODELCO CHILE
El documento, una vez impreso, se considera copia NO CONTROLADA y puede estar obsoleto
Copyrights © 2015 CODELCO-CHILE. Todos los Derechos Reservados

2. Alcances

El presente documento corresponde al Informe de Mecánica de Suelos correspondiente al sector donde se proyecta el Sitio N°10 para la depositación de relaves filtrados de escoria. Se describen las calicatas de inspección de campo realizados en la zona del sitio 10, además se presentan los resultados de las caracterizaciones geotécnicas tanto de los materiales de fundación como del relave filtrado de escoria, basados en estudios previos realizados para un sector aledaño, distante 1,0 km aproximadamente, donde se emplaza el depósito correspondiente al Sitio N°1, que se encuentra actualmente en operación. En el informe de la Ref. (2) se presentan los análisis de laboratorio y estudios geotécnicos realizados anteriormente por Hatch y que servirán de base para el presente documento correspondiente a la etapa de prefactibilidad del proyecto.

3. Antecedentes

Ref. (1) Goodman, R. (1980). Introduction to rock mechanics. New York, USA: Jhon Wiley and Sons, pp (170-253).

Ref. (2) Informe N° S15F220-C-P126-CI-INF-001. Mecánica de Suelos. HATCH, Febrero 2016.

Ref. (3) Wong, K. S., and Duncan, J. M. (1974). Hyperbolic Stress–Strain Parameters for Nonlinear Finite Element Analyses of Stresses and Movements in soil Masses, Geotechnical Engineering Report TE 74-3 to the National Science Foundation, Office of Research Services, University of California, Berkeley, CA.

Ref. (4) Estudio Sísmica Refracción y REMI Proyecto EPCM Planta de Tratamiento de Escoria, Informe desarrollado por Geodatos, Mayo 2012.

4. Inspecciones de Campo Sitio 10

4.1 Ejecución de Calicatas Sitio N°10

Se ejecutaron 3 calicatas en la zona, las cuales se presentan en la Figura 4-1. Dichas calicatas se ejecutaron hasta 5m de profundidad y mediante retroexcavadoras.

Tabla 4-1: Coordenadas de Calicatas

UBICACIÓN		Calicata C-1	Calicata C-2	Calicata C-3
COORDENADAS UTM DATUM WGS84 HUSO 19	N	7.076.759	7.076.828	7.076.865
	E	451.221	451.255	451.140

Se prohíbe su reproducción, y exhibición, sin el consentimiento de CODELCO CHILE
El documento, una vez impreso, se considera copia NO CONTROLADA y puede estar obsoleto
Copyrights © 2015 CODELCO-CHILE. Todos los Derechos Reservados

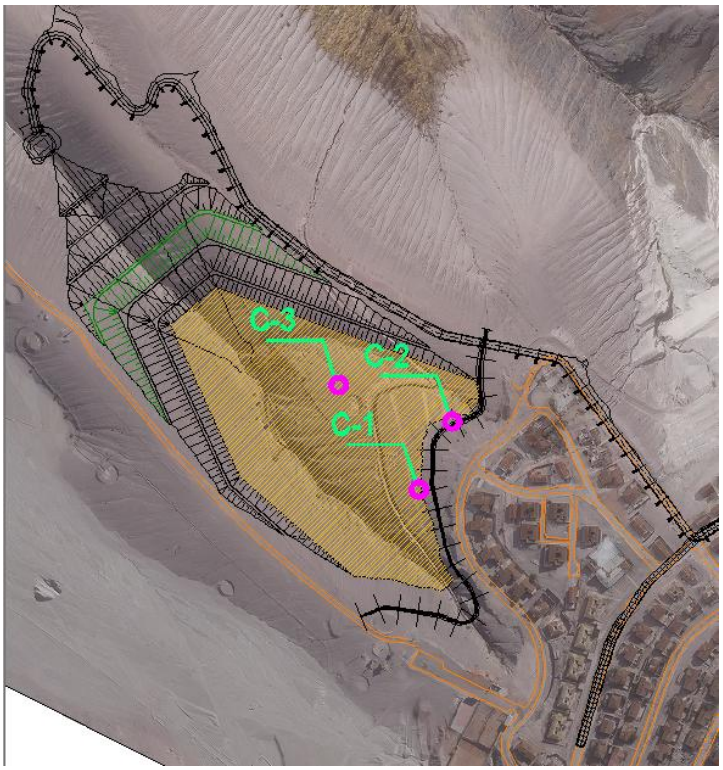

Figura 4-1: Ubicación de Calicatas Sitio N°10

- Se determinó que los materiales de las calicatas eran muy similares entre ellos y que correspondían a la Grava de Atacama.
- No se encontró nivel freático pero sí una leve humedad. No se consideró en esta ocasión la toma de muestras para análisis de laboratorio lo cual correspondería a una acción futura.
- El material extraído de las zanjas fue clasificado como arena limosa con gravas duras, frescas, no alteradas. Se estimó que el material tenía una permeabilidad baja a media, con un índice de plasticidad bajo. Su consistencia era alta y no se apreciaron derrumbes en sus paredes.
- No se apreciaron horizontes dentro de los 5m explorados y no hubo evidencias de variaciones identificándose al material como homogéneo.
- El material es consistente con una cementación aparente alta, lo que permite desarrollar taludes empinados.
- En una zona cercana, en la antigua cancha de tenis del sector que se encuentra a unos 300m de la calicata C1, existe un túnel excavado en este material de unos 50m de longitud que transporta aguas de una canal. Dicho túnel se mantiene estable sin soportes y corresponde a una obra de varias decenas de años.
- En la Figura 4-2, Figura 4-3 y Figura 4-4 se muestran las fotos de las calicatas.

Se prohíbe su reproducción, y exhibición, sin el consentimiento de CODELCO CHILE
El documento, una vez impreso, se considera copia NO CONTROLADA y puede estar obsoleto
Copyrights © 2015 CODELCO-CHILE. Todos los Derechos Reservados



Figura 4-2: Foto Calicata 1



Figura 4-3: Foto Calicata 2



Figura 4-4: Foto Calicata 3

Se prohíbe su reproducción, y exhibición, sin el consentimiento de CODELCO CHILE
El documento, una vez impreso, se considera copia NO CONTROLADA y puede estar obsoleto
Copyrights © 2015 CODELCO-CHILE. Todos los Derechos Reservados

5. Caracterización Geotécnica de Materiales

5.1 Materiales de Fundación

En base a la inspección de campo realizada, descrita en el punto anterior, se reconoce que las características de suelo de fundación para el sitio 10 son similares a las encontradas en el Sitio N°1 actualmente en operación, por lo que para esta etapa de ingeniería de prefactibilidad Hatch considerará que las características geotécnicas del suelo de fundación del Sitio N°10 serán similares a las encontradas en el Sitio N°1.

Un estudio geofísico realizado por Geodatos el año 2012 (Ref. (4))consideró la ejecución de 8 perfiles REMI de los cuales el perfil PS-8 es aquel que se encuentra más próximo al sector de estudio del Sitio N°10 , aproximadamente 900 metros. En esta etapa de la ingeniería se consideraron válidos los resultados obtenidos y aplicables en lo que corresponda al sitio 10.

En la siguiente figura se muestra la ubicación en planta de este perfil sísmico:

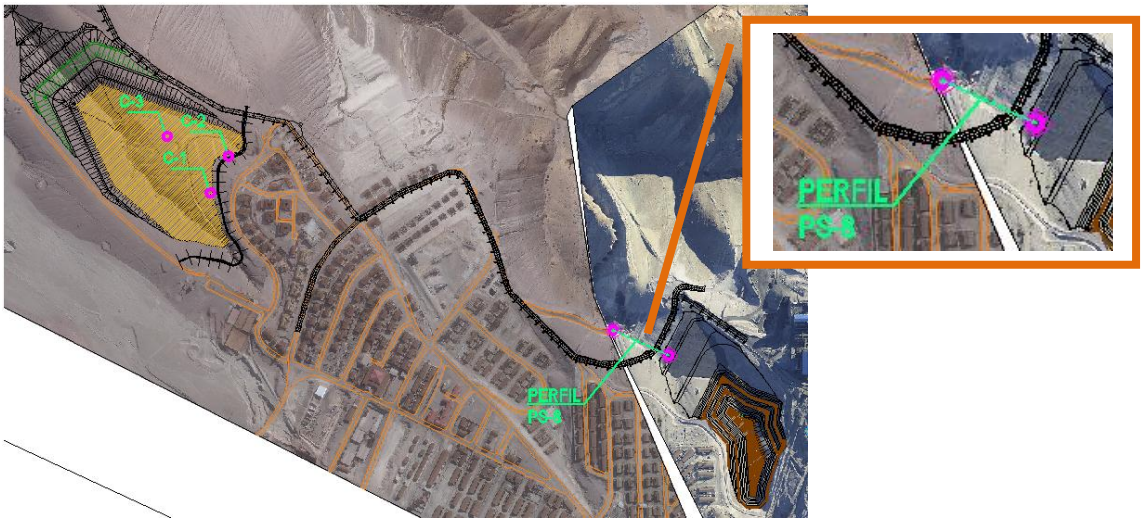

Figura 5-1: Ubicación Perfil Sísmico PS-8 *(Geodatos 2012)*

El método de refracción sísmica permitió caracterizar la estructura del subsuelo mediante la distribución de velocidades a lo largo de los perfiles medidos.

Las estructuras encontradas en el perfil sísmico PS-8 presentan las siguientes velocidades de propagación de ondas:

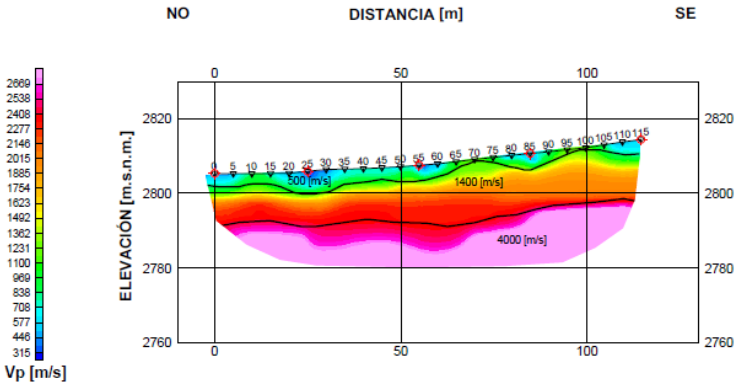

Figura 5-2: Velocidades de propagación de ondas PS-8

Se prohíbe su reproducción, y exhibición, sin el consentimiento de CODELCO CHILE
El documento, una vez impreso, se considera copia NO CONTROLADA y puede estar obsoleto
Copyrights © 2015 CODELCO-CHILE. Todos los Derechos Reservados

Las interpretaciones realizadas se presentan en la figura PS-8:

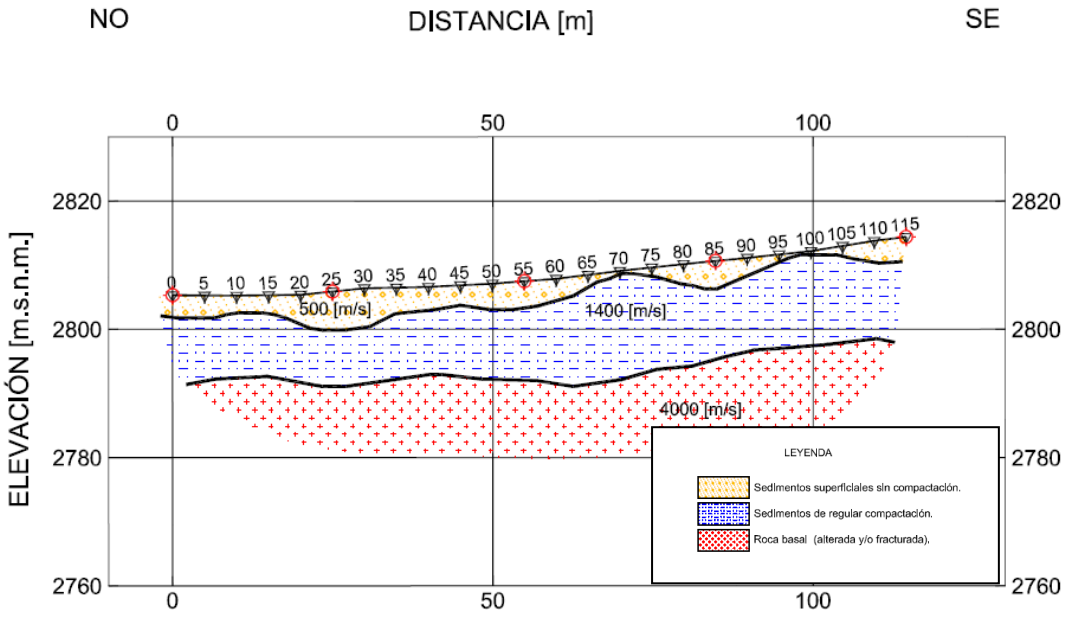

Figura 5-3: Esquema de Interpretación Perfil Sísmico

- Velocidad de 500 - 700 [m/s], corresponde a sedimentos superficiales sin compactación.
- Velocidad de 1000 – 1400 [m/s], corresponde a sedimentos de regular compactación.
- Velocidad de 1800 - 4000 [m/s]. Esta unidad se subdivide en velocidades Vp comprendidas entre 1800 - 2400 [m/s], lo que se puede correlacionar con sedimentos compactos y/o roca muy alterada/fracturada. Para aquellos perfiles en que se observan velocidades mayores a 3000 [m/s], dicho estrato se correlaciona con roca basal (alterada y/o fracturada).

En la Tabla 5-1, las velocidades de onda de corte en función a los materiales de fundación de la zona, y en la
Figura 5-3 se presenta un esquema con la distribución en profundidad de los materiales y las velocidad de onda de compresión asociadas, en base al mismo estudio.

Tabla 5-1: Velocidad de onda Corte Materiales de Fundación

Tipo de Suelo	Espesor (m)	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Modulo de Poisson
Unidad 1	3.5	346	600	0.25
Unidad 2	20	665	1150	0.25
Unidad 3	>20	1290	2250	0.26

Se sabe que las gravas mal gradadas pueden tener ángulos de fricción entre 36° y 42° en promedio (Ref. (3)), dependiendo de la densidad relativa, donde a mayor densidad relativa mayor ángulo de fricción. Por otro lado, el ángulo de fricción de algunas rocas varía de acuerdo al nivel de alteración y puede alcanzar valores tan altos como 51° (Ref. (1)). En

Se prohíbe su reproducción, y exhibición, sin el consentimiento de CODELCO CHILE
El documento, una vez impreso, se considera copia NO CONTROLADA y puede estar obsoleto
Copyrights © 2015 CODELCO-CHILE. Todos los Derechos Reservados

cuanto al peso especifico de rocas con poco nivel de alteración, los valores pueden alcanzar en promedio 26KN/m3.

Para caracterizar las propiedades geotécnicas de los materiales de fundación se consideró la experiencia en proyectos anteriores y literatura especializada.

Para la unidad 2 se determinó una velocidad de onda de corte de 665 m/s, por lo que se considera que este material tiene alta densidad relativa. De manera conservadora se asumió un valor de 35° de ángulo de fricción y una cohesión de 9.8KPa, y en base a experiencias anteriores se asumió un peso específico de 20.69KN/m3.

Para la unidad 3 se encontró una velocidad de onda de corte de 1290m/s, por lo que se puede considerar esa unidad como roca intacta o con bajo nivel de alteración. De manera conservadora se asumió un ángulo e fricción de 35° y una cohesión de 9.8KPa. En cuanto al peso especifico se consideró el mismo valor del material de la unidad 2 y un peso específico de 20.69 KN/m3.

5.2 Dren Basal y Muro al Pie del Depósito

El sistema de drenaje del depósito de relaves se compone de 2 elementos; el dren basal y el muro al pie del depósito.

El dren basal está conformado por un geotextil no tejido, material Drenante compuesto por grava limpia, un material de transición y un material de filtro para evitar la colmatación de partículas más finas. Mientras el muro al pie del depósito está conformado por material de empréstito compactado al 95% del Proctor Modificado.

Se consideró que por el proceso constructivo el muro tendría propiedades de resistencia mayores al dren basal. En base a las características granulométricas del muro, las características del dren basal y en base a proyectos anteriores realizados por Hatch, se asumió un ángulo de fricción de 30° y una cohesión de 10KPa para el dren basal, y un ángulo de fricción de 33° y una cohesión de 10KPa para el muro.

Se asumió que el material podría alcanzar los 600m/s de velocidad de onda de corte. También se asumió, en base a experiencias anteriores, que el peso especifico estará en el orden de 17.7 KN/m3 para el dren basal y 19 KN/m3 para el muro al pie del depósito. Se considerará además que los materiales tendrán un módulo de Poisson de 0.3.

5.3 Relaves Filtrados

Principalmente las condiciones del sitio son secas y el material se mantendrá con una humedad por debajo de la humedad de saturación. Además, el material será compactado al 95% del Proctor Estándar.

En esta etapa de ingeniería de prefactibilidad, los estudios previos realizados en los relaves compactados del Sitio N°1, actualmente en operación, servirán como referencia para definir los parámetros geotécnicos del relave filtrado de escoria depositado y compactado en el Sitio N°10.

La siguiente figura muestra la ubicación de las calicatas realizadas para el análisis geotécnico del relave:

Se prohíbe su reproducción, y exhibición, sin el consentimiento de CODELCO CHILE
El documento, una vez impreso, se considera copia NO CONTROLADA y puede estar obsoleto
Copyrights © 2015 CODELCO-CHILE. Todos los Derechos Reservados

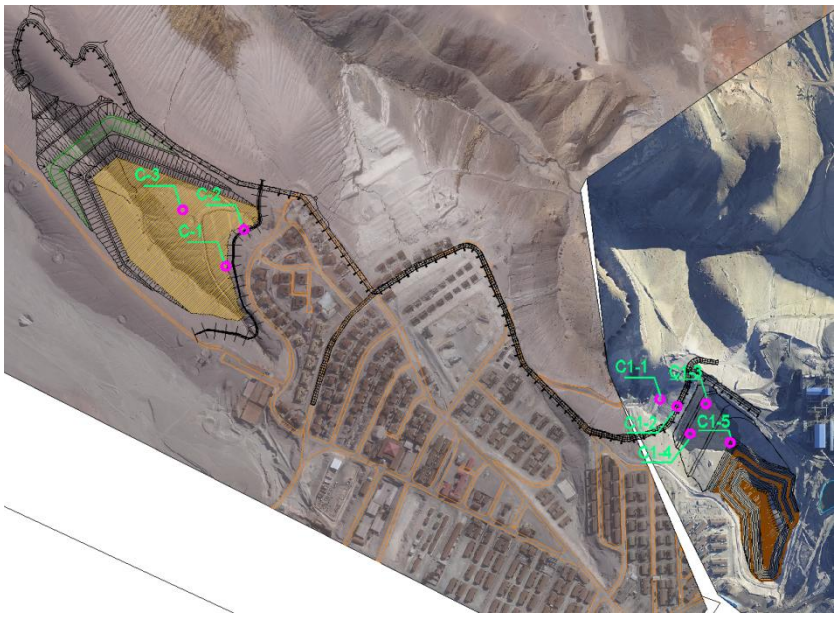

Figura 5-4: Ubicación Calicatas de Referencia

5.3.1 Clasificación Muestras de Calicatas

En la Tabla **5-2** se presentan las características principales determinadas para las muestras tomadas de las calicatas (Ref. (2)):

Tabla 5-2: Características materiales prospectados

Calicata	Prof (m)	Sobretamaño (%)	Tamaño Máximo (mm)	% Que Pasa		LL	IP	USCS
				N°4	N°200			
C1-1	0,50 - 4,00	-	N° 4	100	90	-	NP	ML
C1-2	0,50 - 4,00	-	N° 4	100	86	-	NP	ML
C1-3	0,00 - 4,00	-	N° 4	100	85	-	NP	ML
C1-4	0,00 - 4,00	-	N° 4	100	85	-	NP	ML
C1-5	0,00 - 4,00	-	N° 4	100	90	-	NP	ML

5.3.2 Densidades Máximas y Permeabilidad

En la Tabla **5-3** se presentan los resultados de densidad, humedad natural seca, y Proctor Estándar obtenidas para las muestras (Ref. (2)):

Tabla 5-3: Densidades y % de Humedad

Calicata	Prof (m)	$\gamma_{d\text{-}Nat}$ (gr/cm^3)	Humedad Nat (%)	$\gamma_{d\text{-}Máx}$ (gr/cm^3)	Humedad Optima (%)	% Proctor
C1-1	0,50 - 4,00	2,109	6,5	2,301	10,6	91,7%
C1-2	0,50 - 4,00	2,225	7,4	2,283	10,8	97,5%
C1-3	0,00 - 4,00	2,272	7,8	2,337	10,4	97,2%
C1-4	0,00 - 4,00	2,268	6,5	2,322	11,0	97,7%
C1-5	0,00 - 4,00	2,252	8,0	2,341	10,7	96,2%

El coeficiente de permeabilidad se estima en 1x10^{-5} cm/s.

Se prohíbe su reproducción, y exhibición, sin el consentimiento de CODELCO CHILE
El documento, una vez impreso, se considera copia NO CONTROLADA y puede estar obsoleto
Copyrights © 2015 CODELCO-CHILE. Todos los Derechos Reservados

5.3.3 Parámetros de Resistencia en función a Ensayos Triaxiales

De los análisis realizados se considerarán aquellos correspondientes a los ensayos de muestras drenadas obtenidas de la calicata 2.

Para determinar los parámetros de resistencia primero se definió la condición de falla en términos de resistencia:

- Para una condición estática se espera que las deformaciones unitarias sean menores, dado que el material no estará saturado y será compactado. En este caso sería más adecuado considerar un parámetro de resistencia peak.
- Para la condición pseudo estática es posible utilizar un porcentaje de la resistencia peak o la resistencia residual, dependiendo de la caracterización del material.
- Para un análisis sísmico después del terremoto es recomendable utilizar la resistencia residual del relave.

En base a la información existente y al tipo de material que conforma el depósito, para realizar los análisis de estabilidad estático y pseudo estático, se recomienda utilizar los parámetros de resistencia residual.

Para determinar la resistencia residual se recurrió a la teoría del circulo de Mohr. La definición de p' y q dados por el laboratorio (Geocontrol) fueron:

$$p' = \frac{\sigma_1' + \sigma_3'}{2} \quad (1)$$

$$q = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \quad (2)$$

En la Tabla 5-4 se presentan los esfuerzos principales finales del ensayo triaxial drenado y en la Figura 5-5 se presentan los círculos de Mohr para dicho ensayo.

Tabla 5-4: Esfuerzos Principales Finales de Ensayo Triaxial Drenado

Ensayo	Corte	σ_1' (kg/cm^2)	σ_3' (kg/cm^2)
CID Calicata 2	Corte 1	2.88	0.5
	Corte 2	4.92	1.0
	Corte 3	9.08	2.0

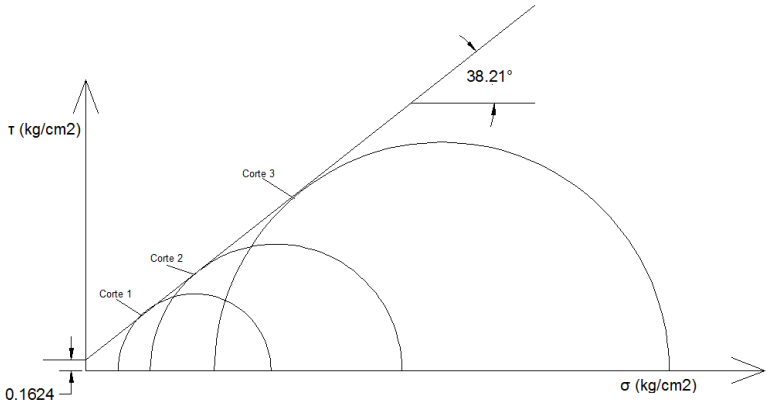

Figura 5-5: Proyección Circulo de Mohr – Triaxial CID Calicata 2

Se prohíbe su reproducción, y exhibición, sin el consentimiento de CODELCO CHILE
El documento, una vez impreso, se considera copia NO CONTROLADA y puede estar obsoleto
Copyrights © 2015 CODELCO-CHILE. Todos los Derechos Reservados

Finalmente se definieron parámetros de resistencia residual de 38.21° de ángulo de fricción y 0.16kg/cm2 de cohesión.

En base a los resultados obtenidos se considera un peso específico del material de 21.77KN/m^3.

6. Conclusiones y Recomendaciones

- En base a los trabajos de campo para el sitio 10 se determinó que los materiales de fundación eran similares a los que se encontraron en el existente deposito de relaves filtrados de Potrerillos.
- Los materiales que conforman el depósito de relaves serán, materiales de fundación, dren basal, muro al pie del depósito y relaves.
- En este informe se describieron los hallazgos encontrados en campo y laboratorio tanto de materiales de fundación como de relaves filtrados del trabajo anterior realizado por Hatch.
- Como antecedente se sabe que el relave en campo es compactado al 95% del Proctor Estándar, que los materiales dispuestos tienen humedad menor a la humedad de saturación y que no hay presencia de nivel freático en el mismo depósito de relaves.
- La definición de los relaves es de suelo fino compuesto por limo con algo de arenas.
- La caracterización de los parámetros de resistencia se basó en revisión de literatura especializada, estudios anteriores para sitios cercanos al actual proyecto y trabajo de campo en la misma zona.
- En base a la información revisada se determinaron los siguientes parámetros de resistencia para los materiales que conformarían el depósito de relves de la zona sitio 10.

Tabla 6-1: Parámetros Geotécnicos de Diseño

Material	Φ (deg)	γ_m (t/m^3)	c (KPa)	Vs (m/s)	v (-)
Fundación Roca	35.0	20.69	9.8	1290	0.26
Fundación Suelo	35.0	20.69	9.8	665	0.25
Relaves Filtrados	38.21	21.77	15.88	-	0.3
Dren Basal	30.0	17.7	0.0	600	0.3
Muro	33.0	19.0	10.0	600	0.3

Se consideró para los relaves resistencia residual y, para el resto de materiales, valores de resistencia típicos de materiales similares utilizados en estudios anteriores para el mismo relave en estudio.

Se prohíbe su reproducción, y exhibición, sin el consentimiento de CODELCO CHILE
El documento, una vez impreso, se considera copia NO CONTROLADA y puede estar obsoleto
Copyrights © 2015 CODELCO-CHILE. Todos los Derechos Reservados