CORPORACIÓN NACIONAL DEL COBRE DE CHILE

GERENCIA DE PROYECTOS

DIVISIÓN DSAL

ESTUDIO DE FACTIBILIDAD

INGENIERIA DE FACTIBILIDAD SEGUNDA ETAPA DEPOSITO DE RELAVES FILTRADOS PFE,DIVISION SALVADOR

CONTRATO N° : **4400175322**

INFORME

ESTUDIO DE ESTABILIDAD ESTATICA Y PSEUDOESTATICA DEPOSITO DE RELAVES FILTRADOS

S17F208-F-HATCH-P112-CI-INF-007

C	19/02/2018	Revisión Cliente	E. García	J. Riquelme	J. Riquelme	C. Bugueño
B	12/02/2018	Revisión Cliente	E. García	J. Riquelme	J. Riquelme	C. Bugueño
A	06/02/2018	Revisión Interna	E. García	J. Riquelme	J. Riquelme	
REV N°	FECHA	EMITIDO PARA	POR	REVISADO POR	APROBADO POR	APROBADO POR
			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 © 2016 CODELCO-CHILE. Todos los Derechos Reservados

Tabla de Contenidos

1. Introducción 4

2. Alcances 5

3. Referencias 5

4. Ubicación del Proyecto 6

5. Consideraciones Generales 6

6. Propiedades Geotécnicas de los Materiales 7

7. Napa Freática 15

8. Método de Análisis Fases según D.S. N°248 15

8.1 Fase I: Análisis Pseudo - Estáticos 16
8.2 Fase II: Análisis Simplificado de Presión de Poros 16
8.3 Fase III: Análisis Dinámico – Cálculo de Desplazamientos 17
8.4 Fase IV: Análisis para Condición de Cierre 17

9. Resultados Análisis de Estabilidad 18

Lista de Figuras

Figura 1.1: Ubicación Depósito de Relaves Filtrados 4
Figura 4.1: Ubicación Geográfica Zona de Proyecto 6
Figura 6-1. Ubicación de Calicatas Depósito en Operación Muestreo de Relaves 7
Figura 6-2. Ubicación de Calicatas y Perfiles Sísmicos Nuevo Depósito 8
Figura 6-3. Relación p-q 12
Figura 6-4. Relación Esfuerzo deformación 12
Figura 6-5. Relación de deformaciones 13
Figura 6-6. Circulo de Mohr estado último (Círculos para 0.5kg/cm2, 1.0kg/cm2 y 2.0 kg/cm2) 13
Figura 6-7. Perfil Sísmico longitudinal del Depósito 14
Figura 6-8. Perfil Sísmico transversal del Depósito 15

Lista de Tablas

Tabla 6-1. Resultado de Laboratorio Confinamiento 0.5 Kg/cm2 9
Tabla 6-2. Resultado de Laboratorio Confinamiento 1.0 Kg/cm2 9
Tabla 6-3. Resultado de Laboratorio Confinamiento 2.0 Kg/cm2 10
Tabla 6-4: Parámetros Geotécnicos de Relaves 14
Tabla 6-5: Parámetros de Diseño de los Materiales de Fundación 15
Tabla 9-1: Factores de Seguridad en función de ϕ y c 18
Tabla 9-2: Falla Global – Análisis Estático - ϕ = 36.6° 22
Tabla 9-3: Falla Global – Análisis Estático - ϕ = 38.21° 22
Tabla 9-4: Falla Global – Análisis Estático - ϕ = 43.0° 23
Tabla 9-5: Falla Global – Análisis Pseudo estático - ϕ = 36.6° 24
Tabla 9-6: Falla Global – Análisis Pseudo estático - ϕ = 38.21° 25
Tabla 9-7: Falla Global – Análisis Pseudo estático - ϕ = 43.0° 26
Tabla 9-8: Falla Global – Análisis Pseudo estático – Condición de Cierre - ϕ = 36.6° 27
Tabla 9-9: Falla Global – Análisis Pseudo estático – Condición de Cierre - ϕ = 38.21° 28

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 © 2016 CODELCO-CHILE. Todos los Derechos Reservados

Tabla 9-10: Falla Global – Análisis Pseudo estático – Condición de Cierre - ϕ = 43.0°..... 29
Tabla 9-11: Falla Local – Análisis Estático - ϕ = 36.6° 30
Tabla 9-12: Falla Local – Análisis Estático - ϕ = 38.21° 31
Tabla 9-13: Falla Local – Análisis Estático - ϕ = 43.0° 32
Tabla 9-14: Falla Local – Análisis Pseudo estático - ϕ = 36.6°..... 33
Tabla 9-15: Falla Local – Análisis Pseudo estático - ϕ = 38.21°..... 35
Tabla 9-16: Falla Local – Análisis Pseudo estático - ϕ = 43.0°..... 36
Tabla 9-17: Falla Local – Análisis Pseudo estático – Condición de Cierre - ϕ = 36.6° 36
Tabla 9-18: Falla Local – Análisis Pseudo estático – Condición de Cierre - ϕ = 38.21° 37
Tabla 9-19: Falla Local – Análisis Pseudo estático – Condición de Cierre - ϕ = 43.0° 38

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 © 2016 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 2023 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 la ingeniería de prefactibilidad del nuevo depósito de relaves.

La presente ingeniería corresponde al desarrollo de la Ingeniería Básica del nuevo depósito de relaves filtrados que permite la operación hasta el año 2023 solicitado por DSAL.



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 © 2016 CODELCO-CHILE. Todos los Derechos Reservados

2. Alcances

El presente informe tiene por objeto determinar la estabilidad del Nuevo Depósito de Relaves Filtrados de Escoria en el sector de Potrerillos. El análisis pseudo estático se realiza de acuerdo a los lineamientos expuestos en el Decreto Supremo N°248 del Servicio Nacional de Geología y Minería (Sernageomín).

Los análisis se realizan para las sección más desfavorable del depósito.

3. Referencias

Ref. 3-1 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.

Ref. 3-2 Documento N° S17F208-F-HATCH-P112-MD-CRT-002, Criterios de Diseño, HATCH, 2018

Ref. 3-3 Documento N° S17F208-F-HATCH-P112-CI-INF-004, Informe de Mecánica de Suelos, HATCH, 2018.

Ref. 3-4 Planos N° S17F208-F-HATCH-P112-CI-DWT-016 / S17F208-F-HATCH-P112-CI-DWT-017 / S17F208-F-HATCH-P112-CI-DWT-018 , Planos de Crecimiento Depósito de Relaves Filtrados, HATCH, 2018.

Ref. 3-5 Documento N° S17F208-F-HATCH-P112-CI-INF-005, Informe de Riesgo Sísmico, HATCH, 2018

Ref. 3-6 Documento N° S15F220-C-P126-CI-INF-003 , Análisis de Estabilidad Dinámico, HATCH, Etapa de Prefactibilidad.

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 © 2016 CODELCO-CHILE. Todos los Derechos Reservados

4. Ubicación del Proyecto

El depósito de relaves filtrados de escoria se proyecta dentro de las instalaciones de la Fundición Potrerillos, ésta se ubica en la Región de Atacama, zona norte de Chile a aproximadamente 3.000 m.s.n.m., en la Cordillera de Los Andes. El acceso es a través de la Ruta C-13 y está distante a unos 40 Km de la ciudad de El Salvador y a 60 km al oriente de Diego de Almagro.



Figura 4.1: Ubicación Geográfica Zona de Proyecto

5. Consideraciones Generales

Para que el análisis de equilibrio límite por el método de las dovelas pueda asimilarse con propiedad a un problema bidimensional de deformación plana, debe tenerse un ancho de depósito superior a cuatro veces la altura. En nuestro caso, la recomendación se cumple por lo que este tipo de análisis es adecuado, y esto hace que los resultados sean representativos del comportamiento real de la estructura.

El estudio se realizó para una sección representativa del depósito, para la situación final de proyecto.

El depósito proyectado presenta un talud entre plataformas de 2.5:1.0 (H/V) y una berma de 3m de ancho entre cada etapa de depositación.

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 © 2016 CODELCO-CHILE. Todos los Derechos Reservados

Para efectos del modelo, se ha considerado que la roca basal se encuentra a 45 m de profundidad aproximadamente, bajo el suelo de fundación según los perfiles geosísmicos realizados.

6. Propiedades Geotécnicas de los Materiales

Para el estudio de mecánica de suelos (Informe de Mecánica de Suelos S17F208-F-HATCH-P112-CI-INF-004) se realizaron ensayos triaxiales del relave en el actual Depósito de relaves filtrados, con el objetivo de definir los parámetros geotécnicos del relave filtrado, que corresponde al mismo a depositar en el Nuevo Depósito, y que servirán para aplicar en el análisis de estabilidad de taludes. Para realizar los ensayos se obtuvieron muestras representativas de cinco calicatas distribuidas en el área del depósito como se muestra en la siguiente figura:

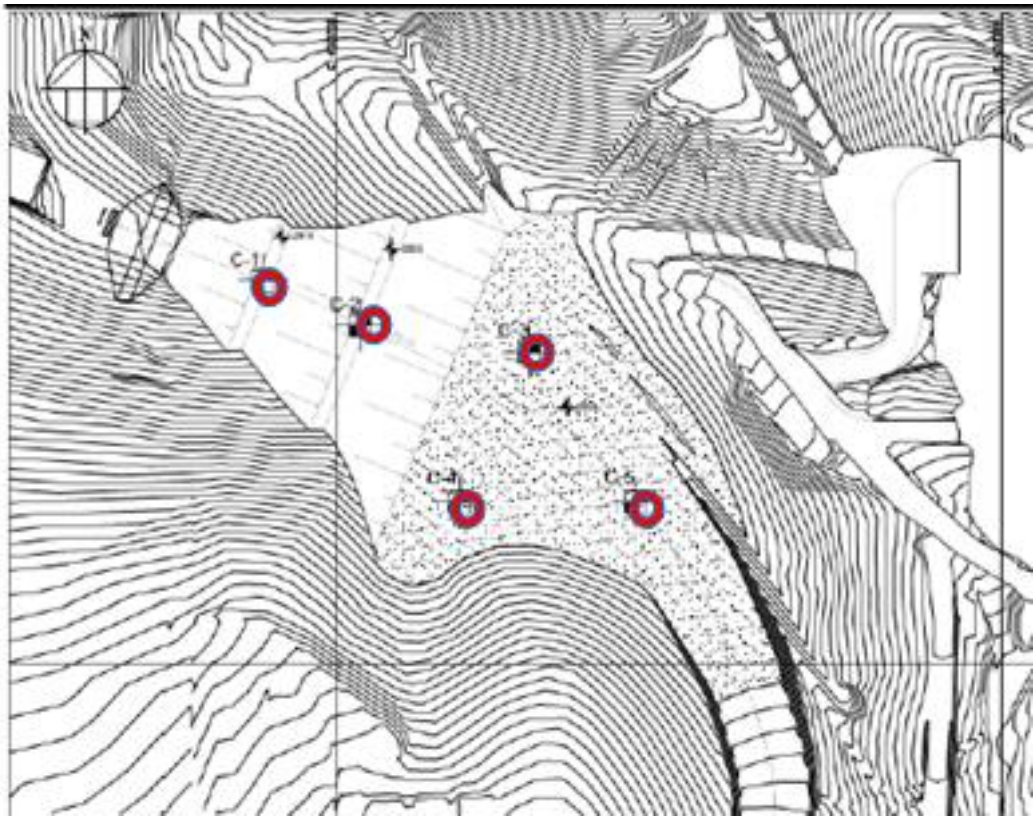


Figura 6-1. Ubicación de Calicatas Depósito en Operación Muestreo de Relaves

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 © 2016 CODELCO-CHILE. Todos los Derechos Reservados

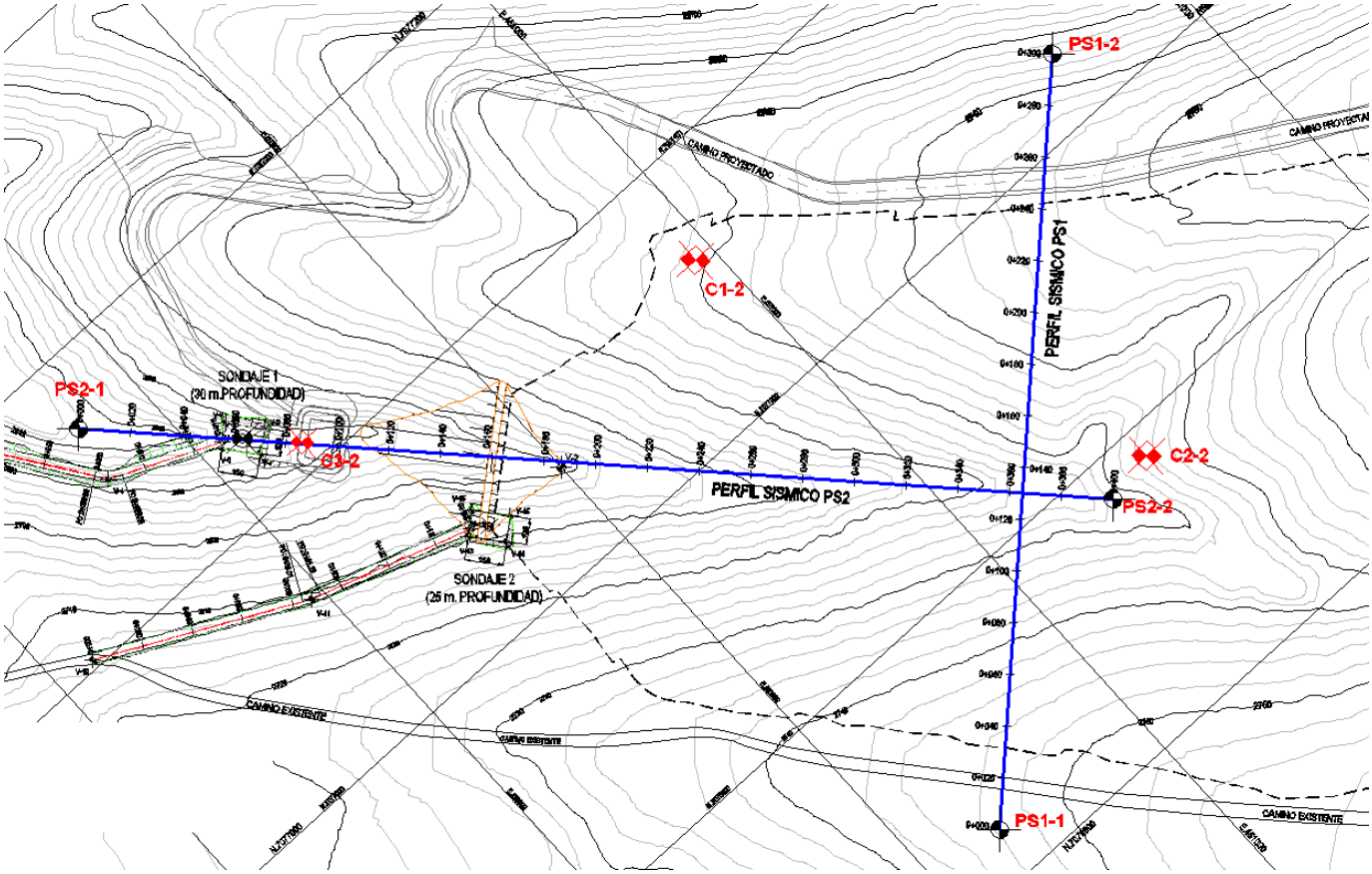


Figura 6-2. Ubicación de Calicatas y Perfiles Sísmicos Nuevo Depósito

Las calicatas realizadas en el Depósito Actual, utilizadas para caracterizar el relave y el material de protección de plataformas se complementaron con calicatas realizadas en el sitio del Depósito proyectado junto con perfiles sísmicos.

Para las muestras tomadas del Depósito actual se realizaron dos rondas de ensayos, en la primera ronda se ejecutaron ensayos triaxiales del tipo drenados y no drenados mientras que en la segunda ronda se ejecutaron sólo ensayos drenados.

Los resultados de los ensayos de la primera ronda fueron descartados debido a que estos arrojaban valores de baja confiabilidad.

Luego, se realizó la segunda ronda (denominado Correlativo de Obra 7) de ensayos triaxiales, donde el laboratorio definió los parámetros p y q que se presentan en las tablas 1 a 3 en base a las siguientes fórmulas:

$$q = \frac{\sigma 1 - \sigma 3}{2}$$

$$p' = \frac{\sigma 1 + \sigma 3}{2}$$

Los siguientes son los resultados obtenidos para los diferentes grados de confinamiento:

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 © 2016 CODELCO-CHILE. Todos los Derechos Reservados

Tabla 6-1. Resultado de Laboratorio Confinamiento 0.5 Kg/cm2

Def. Vol (%)	Def. Unit (%)	p' (kg/cm2)	q (kg/cm2)
0	0.00	0.5	0
0	0.05	0.55	0.05
0	0.10	0.58	0.08
0	0.15	0.6	0.1
0	0.21	0.62	0.12
0	0.26	0.65	0.15
0	0.31	0.67	0.17
-0.05	0.36	0.69	0.19
-0.05	0.41	0.73	0.23
-0.05	0.46	0.75	0.25
-0.05	0.51	0.78	0.28
-0.05	0.62	0.67	0.17
-0.05	0.72	0.7	0.2
-0.11	0.82	0.87	0.37
-0.11	0.93	1.02	0.52
-0.16	1.03	1.13	0.63
-0.16	1.24	1.42	0.92
-0.11	1.44	1.6	1.1
0.05	1.65	1.76	1.26
0.21	1.85	1.87	1.37
0.32	2.06	1.94	1.44
0.74	2.57	1.68	1.18
0.79	3.09	1.62	1.12
0.79	3.60	1.62	1.12
0.84	4.12	1.66	1.16
0.84	4.63	1.71	1.21
0.84	5.15	1.64	1.14
0.89	6.18	1.68	1.18
0.89	7.21	1.79	1.29
0.89	8.23	1.78	1.28
0.95	9.26	1.72	1.22
1	10.29	1.69	1.19
1	11.32	1.7	1.2
1	12.35	1.71	1.21
1.05	**13.38**	**1.69**	**1.19**

Tabla 6-2. Resultado de Laboratorio Confinamiento 1.0 Kg/cm2

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 © 2016 CODELCO-CHILE. Todos los Derechos Reservados

Def. Vol (%)	Def. Unit (%)	p' (kg/cm2)	q (kg/cm2)
0	0.00	1	0.00
0	0.05	1.2	0.20
-0.05	0.10	1.28	0.28
-0.05	0.15	1.4	0.40
-0.11	0.21	1.52	0.52
-0.11	0.26	1.61	0.61
-0.11	0.31	1.3	0.30
-0.11	0.36	1.34	0.34
-0.11	0.41	1.31	0.31
-0.11	0.46	1.32	0.32
-0.05	0.52	1.4	0.4
-0.11	0.62	1.65	0.65
-0.16	0.72	1.85	0.85
-0.16	0.83	2.06	1.06
-0.16	0.93	2.23	1.23
-0.16	1.03	2.43	1.43
-0.16	1.24	2.83	1.83
-0.05	1.55	3.33	2.33
0.00	1.65	3.43	2.43
0.11	1.86	3.52	2.52
0.27	2.07	3.57	2.57
0.54	2.58	3.28	2.28
0.54	3.10	3.05	2.05
0.54	3.62	3.03	2.03
0.54	4.13	3.07	2.07
0.6	4.70	3.14	2.14
0.6	5.17	3.18	2.18
0.65	6.20	3.31	2.31
0.71	7.23	3.17	2.17
0.71	8.26	3.06	2.06
0.71	9.30	3.12	2.12
0.76	10.33	3.1	2.1
0.76	11.36	2.98	1.98
0.76	12.40	3.05	2.05
0.76	13.43	3.04	2.04
0.76	**14.46**	**2.96**	**1.96**

Tabla 6-3. Resultado de Laboratorio Confinamiento 2.0 Kg/cm2

Def. Vol	Def.	p'	q

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 © 2016 CODELCO-CHILE. Todos los Derechos Reservados

	Unit		
(%)	(%)	(kg/cm2)	(kg/cm2)
0	0	2	0
0	0.05	2.17	0.17
0	0.1	2.22	0.22
-0.06	0.16	2.24	0.24
-0.11	0.21	2.27	0.27
-0.11	0.26	2.34	0.34
-0.17	0.31	2.45	0.45
-0.17	0.36	2.54	0.54
-0.22	0.41	2.67	0.67
-0.28	0.47	2.84	0.84
-0.33	0.52	2.95	0.95
-0.39	0.62	3.25	1.25
-0.44	0.72	3.44	1.44
-0.44	0.83	3.65	1.65
-0.55	0.93	3.84	1.84
-0.72	1.03	4.04	2.04
-0.78	1.24	4.34	2.34
-0.83	1.45	4.67	2.67
-0.94	1.66	4.85	2.85
-1	1.86	4.98	2.98
-1	2.07	5.07	3.07
-1.05	2.59	5.32	3.32
-1.11	3.1	5.5	3.5
-1.11	3.62	5.72	3.72
-1.05	4.14	5.96	3.96
-1.05	4.66	6.03	4.03
-1	5.17	6.03	4.03
-0.94	6.21	5.78	3.78
-0.83	7.24	5.75	3.75
-0.72	8.28	5.68	3.68
-0.72	9.31	5.58	3.58
-0.66	10.35	5.48	3.48
-0.66	11.38	5.5	3.5
-0.61	12.42	5.53	3.53
-0.61	**13.45**	**5.54**	**3.54**

De estos ensayos se obtienen los siguientes gráficos:

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 © 2016 CODELCO-CHILE. Todos los Derechos Reservados

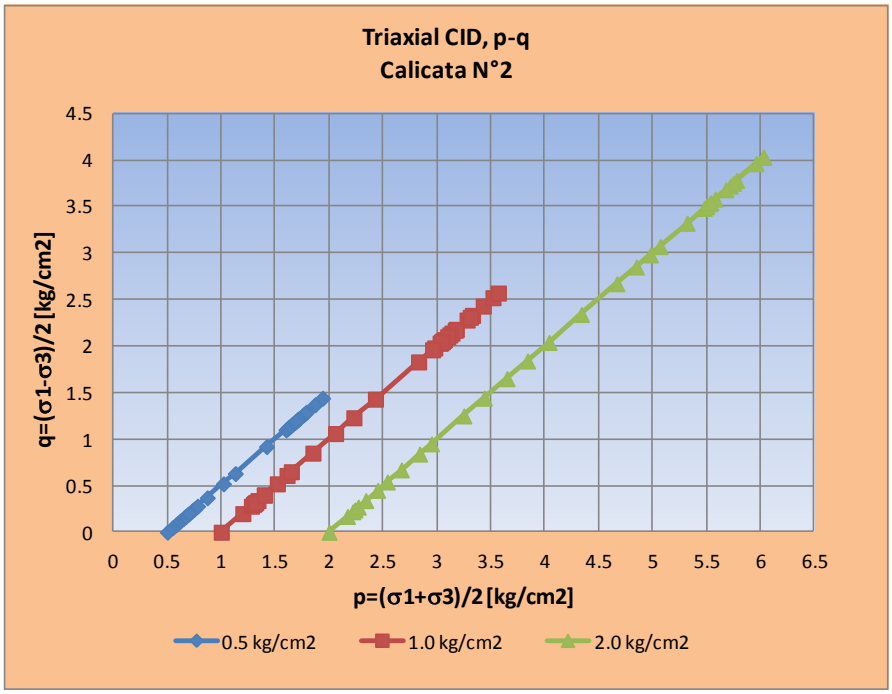


Figura 6-3. Relación p-q

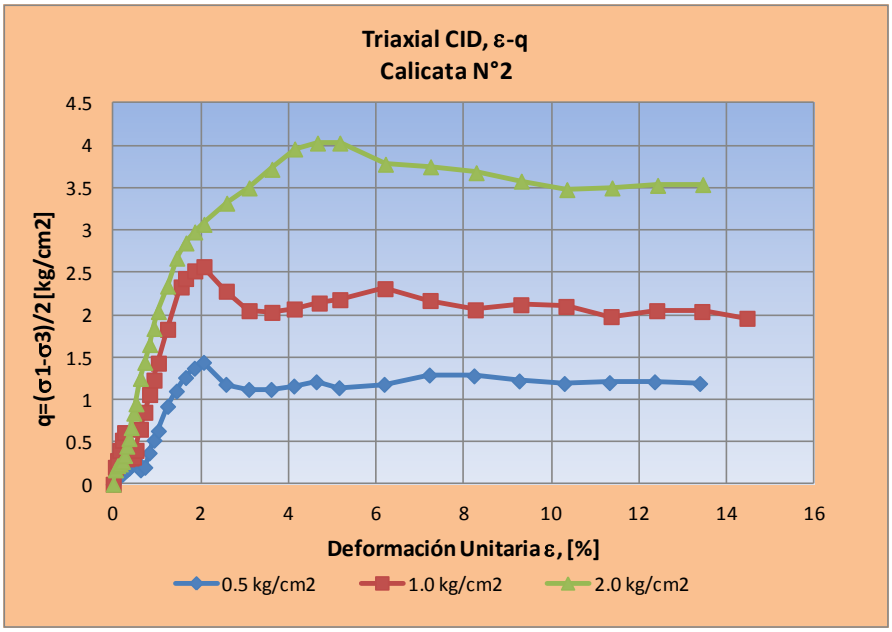


Figura 6-4. Relación Esfuerzo deformación

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 © 2016 CODELCO-CHILE. Todos los Derechos Reservados

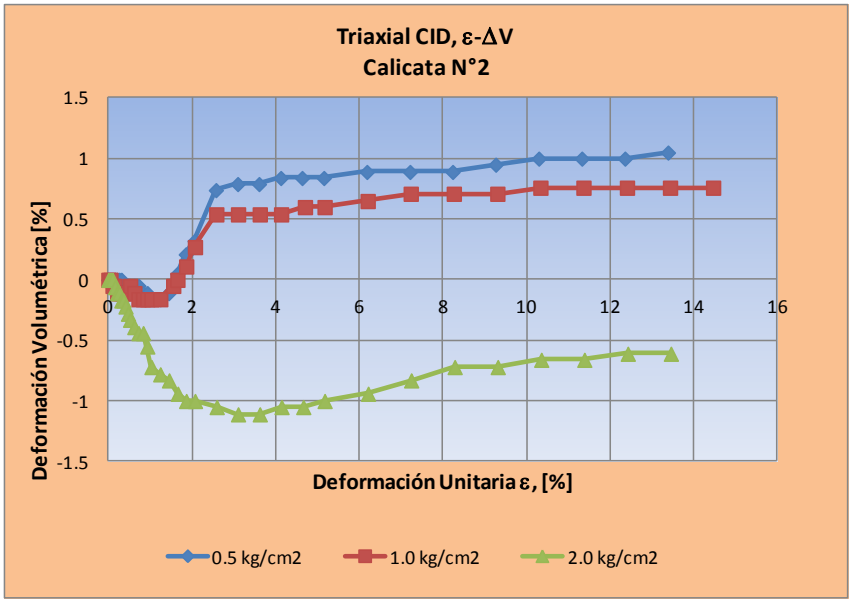


Figura 6-5. Relación de deformaciones

Para reinterpretar los resultados de ensayos triaxiales descritos en las tablas y figuras anteriores, y determinar el ángulo de fricción y cohesión, se tomó directamente el valor de sigma 1 ($\sigma 1$) y sigma 3 ($\sigma 3$) obtenidos con las formulas descritas anteriormente. Luego, se dibujaron los círculos de Mohr para cada ensayo y se obtuvieron tanto el ángulo de fricción y la cohesión, tal como se muestra en la siguiente figura:

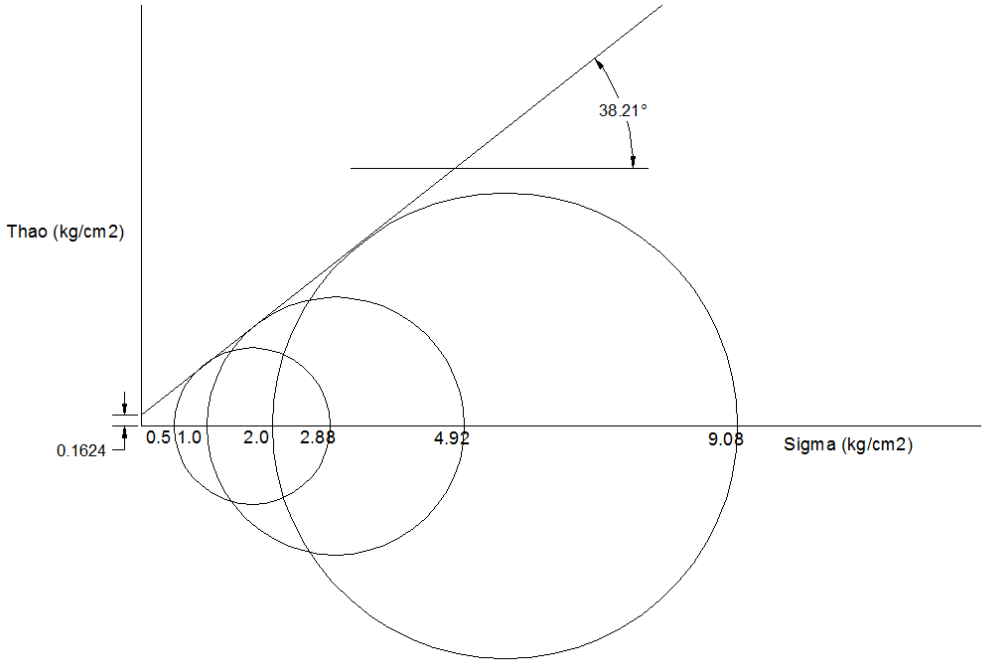


Figura 6-6. Circulo de Mohr estado último (Círculos para 0.5kg/cm2, 1.0kg/cm2 y 2.0 kg/cm2)

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 © 2016 CODELCO-CHILE. Todos los Derechos Reservados

Tal como se observa, el ángulo de fricción y cohesión resultantes son 38.21° y 0.1624kg/cm2, respectivamente. Estos resultados se basan en la reinterpretación de los ensayos triaxiales drenados que se muestran líneas arriba.

Se realiza un análisis de estabilidad considerando variaciones de los parámetros ϕ y c para los relaves filtrados. El análisis se realiza para la siguientes combinaciones.

Tabla 6-4: Parámetros Geotécnicos de Relaves

Ángulo de Fricción (ϕ)	Cohesión [kg/cm2)
36.6	0
	0.162
	0.5
38.21	0
	0.162
	0.5
43.0	0
	0.162
	0.5

Para caracterizar el suelo de fundación se realizaron calicatas y perfiles sísmicos, éstos últimos arrojaron los siguientes niveles y velocidades de onda:

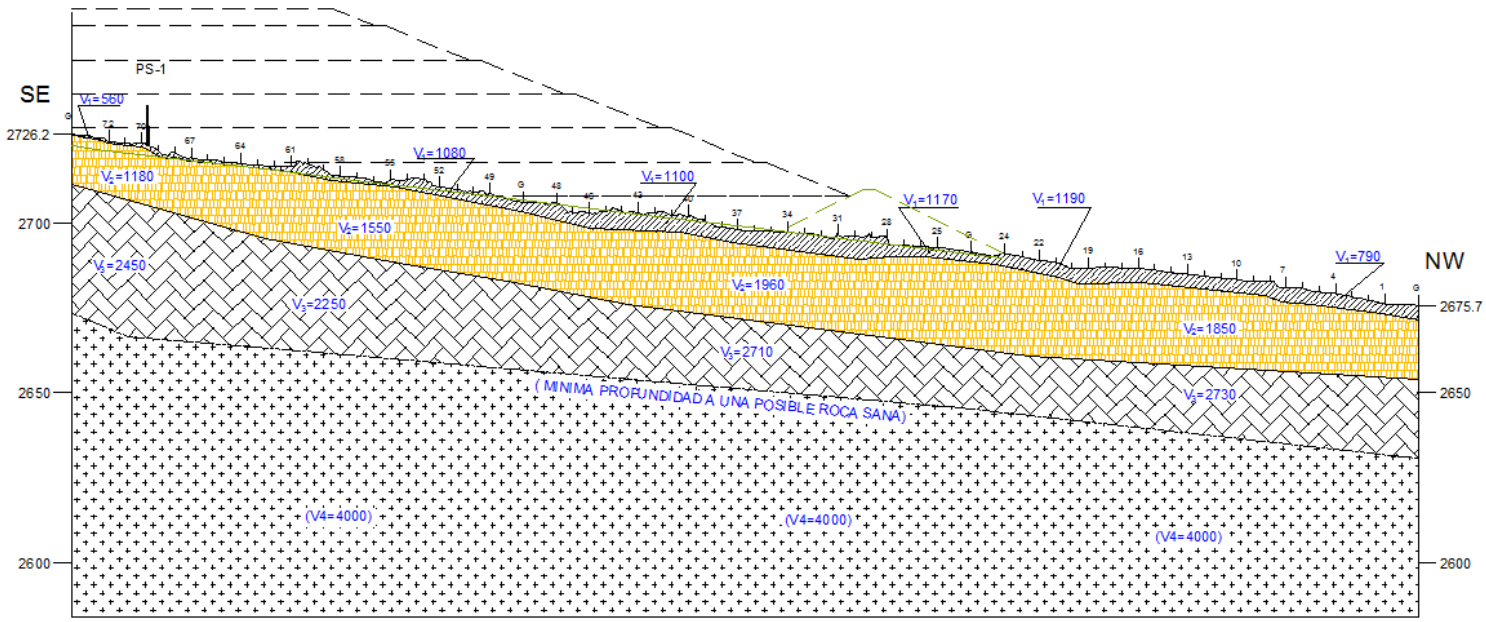


Figura 6-7. Perfil Sísmico longitudinal del Depósito

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 © 2016 CODELCO-CHILE. Todos los Derechos Reservados

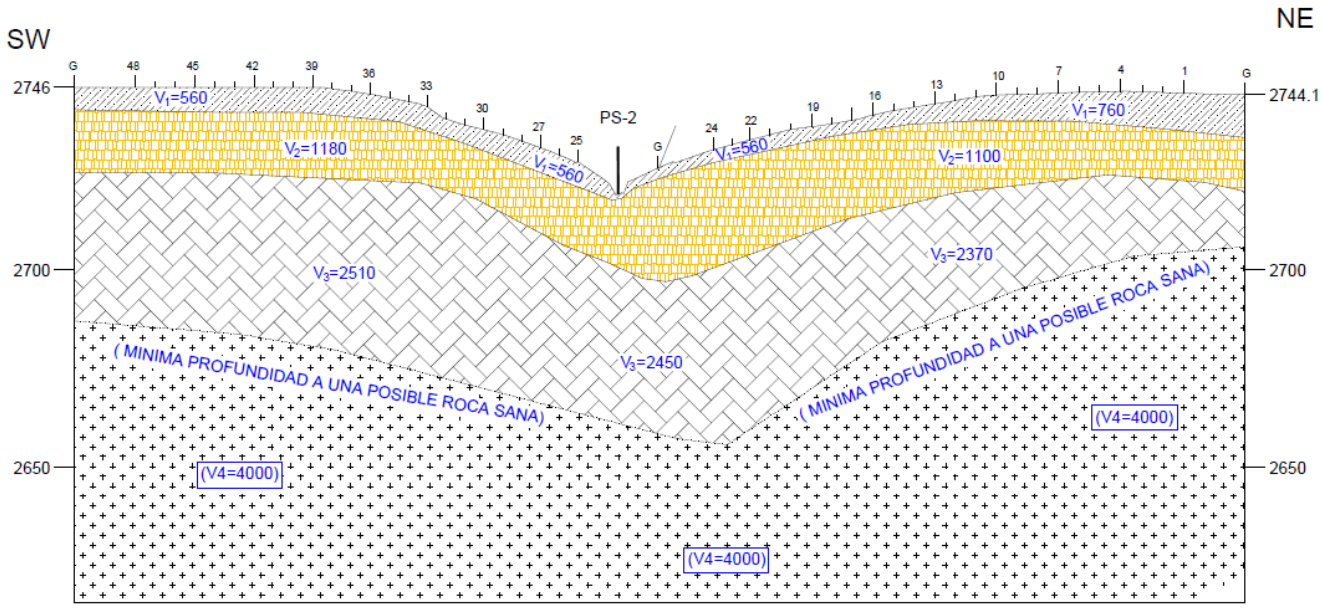


Figura 6-8. Perfil Sísmico transversal del Depósito

La siguiente tabla muestra los valores de los parámetros geotécnicos considerados para el material de fundación del Depósito:

Tabla 6-5: Parámetros de Diseño de los Materiales de Fundación

Material	Densidad	Ángulo de Fricción (ϕ)	Cohesión (c)
		Diseño	Diseño
	[KN/m3]	[°]	[Kpa]
Roca Sana			
Fundación Inferior	ROCA ALTERADA Y/O FRACTURADA		
Fundación Superior	20.69	35.0	9.81
Dren Basal	17.65	30.0	0.00

7. Napa Freática

El nivel de la napa freática se circunscribe a la zona del dren basal, considerando que por la geometría el agua descarga gravitacionalmente a la quebrada por lo que no se considerará su presencia en los relaves para la modelación del cálculo de estabilidad.

8. Método de Análisis Fases según D.S. N°248

La extensión y el grado de detalles requeridos para el análisis de comportamiento sísmico de un depósito de relaves, debe ser proporcional al tamaño del depósito, al riesgo que representa para las áreas adyacentes y al valor de los residuos depositados. En consecuencia, los análisis deben efectuarse en fases, usando métodos de menor a mayor complejidad, que de acuerdo al artículo 14º del Decreto Supremo Nº248 sobre la aprobación de proyectos de diseño, construcción, operación y

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 © 2016 CODELCO-CHILE. Todos los Derechos Reservados

cierre de los depósitos de relave, se definen en las siguientes cuatro Fases, de las cuales se analizan en el presente informe las fases correspondientes a análisis pseudo-estático (I, II y IV).

8.1 Fase I: Análisis Pseudo - Estáticos

La Fase I contempla la simulación de estabilidad estática (Análisis pseudo-estático). Este análisis se realiza mediante métodos de equilibrio límite, considerando superficies de falla potenciales y determinando los factores de seguridad asociados a cada una de dichas superficies de falla.

Para determinar las cuñas de falla y los factores de seguridad respectivos de cada sección, se utilizará el programa SLOPE/W, que emplea como forma de análisis el método Morgenstein and Price. Se determina el factor de seguridad que corresponde a una falla generalizada, vale decir, la falla que afecta la integridad estructural del depósito. Con este criterio, se considerarán superficies de falla circulares. En este tipo de análisis, las cargas sísmicas se incorporan a través de coeficientes sísmicos horizontal que representen un sismo operacional, en este estudio en particular dichas cargas sísmicas provendrán del análisis de riesgo sísmico y serán asociadas a un sismo de gran magnitud conocido como Terremoto de Operación (OBE)

El Informe de Riesgo Sísmico (Ref. **3-5**) considera los siguientes valores para los coeficientes sísmicos.

Coeficientes Sísmicos para Terremoto Operacional (OBE)

$$k_h = 0.13$$

$$k_v = \frac{2}{3} k_v = 0.08$$

Luego de realizar el análisis de estabilidad para la respuesta ante solicitaciones de operación, los resultados obtenidos tienen la siguiente interpretación:

- Si el factor de seguridad, FS, resulta ser menor que 1.2, se debe rediseñar el talud;
- Si 1.2 < FS < 1.6, se debe efectuar un análisis más detallado en la Fase II;
- Si FS > 1.6, fin del análisis o se puede optimizar el talud

8.2 Fase II: Análisis Simplificado de Presión de Poros

Esta etapa es similar a la Fase I, con la salvedad que se debe determinar en forma simplificada la presión de poros en los suelos bajo la napa freática luego de la acción de un sismo (Situación Post-Sismo).

Sin embargo no existe evidencia de relave saturado en el depósito debido una serie de características del sitio como son las obras construidas para evitar el ingreso de aguas al depósito además de las que se proyectan en la presente ingeniería, a saber:

- Canales de contorno,
- Dren basal de gran capacidad de porteo,
- Saneamiento de la plataforma mediante pendiente mínima de 1%
- Cunetas y canaletas colectoras que descargan a piscina captadora de filtraciones
- Bajo contenido de humedad con el cual el relave es depositado, muy cercano a la humedad óptima (10%)
- Alta permeabilidad del relave filtrado

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 © 2016 CODELCO-CHILE. Todos los Derechos Reservados

- Monitoreo continuo del nivel de agua dentro del dren mediante piezómetros

Por estas razones, el depósito de relaves filtrados no estará afecto a licuefacción.

8.3 Fase III: Análisis Dinámico – Cálculo de Desplazamientos

El análisis dinámico correspondiente a la Fase III se presenta en el documento S17F208-F-HATCH-P112-CI-INF-008 (Ref. **3-6**).

8.4 Fase IV: Análisis para Condición de Cierre

Esta fase está orientada a evaluar la condición de cierre de la obra, incluyendo eventos solicitantes máximos y a los efectos de envejecimiento aplicado a la resistencia de corte de los materiales del depósito. Existe numerosa evidencia sobre el comportamiento en el tiempo de los suelos que forman diversos depósitos de relaves. Al respecto, investigaciones han demostrado que la resistencia cíclica de las arenas de relave aumenta con el paso del tiempo, asimismo las lamas contenidas al interior de un depósito incrementan la fricción entre ellas producto de la consolidación por efecto de cambios en el nivel freático aguas arriba de la obra. En el caso particular del depósito de relaves filtrados se supondrá, conservadoramente para este análisis, que las propiedades de los suelos son similares a las actuales.

Es importante señalar que los análisis pseudo-estáticos frecuentemente tienden a ser conservadores, porque la fuerza sísmica horizontal aplicada a la superficie de falla se considera como permanente y actuando en una sola dirección, cuando en realidad la carga dinámica debida a un sismo es transiente por naturaleza y sólo actúa por un corto período de tiempo. Los análisis considerarán las siguientes solicitaciones correspondientes al terremoto máximo creíble, obtenidas del Informe de Riesgo Sísmico (Ref. **3-5**)

Coeficientes Sísmicos para Terremoto Máximo Creíble (MCE)

$$k_h = 0.20 \qquad k_v = \frac{2}{3} k_v = 0.13$$

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 © 2016 CODELCO-CHILE. Todos los Derechos Reservados

9. Resultados Análisis de Estabilidad

Como se mencionó anteriormente se realiza el análisis de estabilidad del depósito considerando las propiedades antes mencionadas, obteniéndose los siguientes resultados, a través del software GeoStudio 2012 v8.14.1.

Tabla 9-1: Factores de Seguridad en función de ϕ y c

		Factores de Seguridad					
		Análisis Global			Análisis Local		
ϕ [°]	Cohesión [kg/cm2)	Análisis Estático	Análisis Pseudo Estático	Análisis Condición de Cierre	Análisis Estático	Análisis Pseudo Estático	Análisis Condición de Cierre
36.6	0	2.1	1.4	1.2	2.2	1.5	1.4
	0.162	2.1	1.5	1.3	2.9	2.1	1.8
	0.5	2.4	1.7	1.4	4.0	2.9	2.4
38.21	0	2.1	1.5	1.3	2.4	1.7	1.4
	0.162	2.2	1.6	1.4	3.1	2.2	1.9
	0.5	2.4	1.7	1.5	4.2	3.0	2.5
43	0	2.4	1.7	1.4	2.8	2.0	1.7
	0.162	2.5	1.7	1.5	3.5	2.5	2.2
	0.5	2.7	1.9	1.6	4.7	3.3	2.8

Los siguientes corresponden a los gráficos obtenidos para los diferentes análisis de estabilidad:

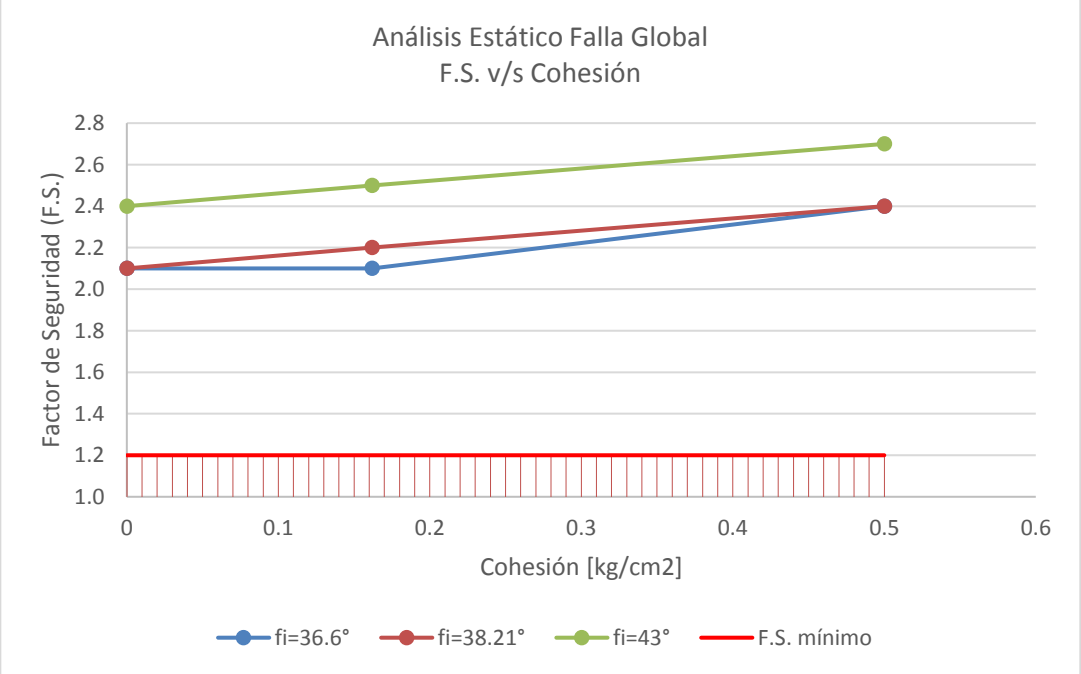


Gráfico 9-1: F.S v/s Cohesión – Análisis Estático – Falla Global

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 © 2016 CODELCO-CHILE. Todos los Derechos Reservados

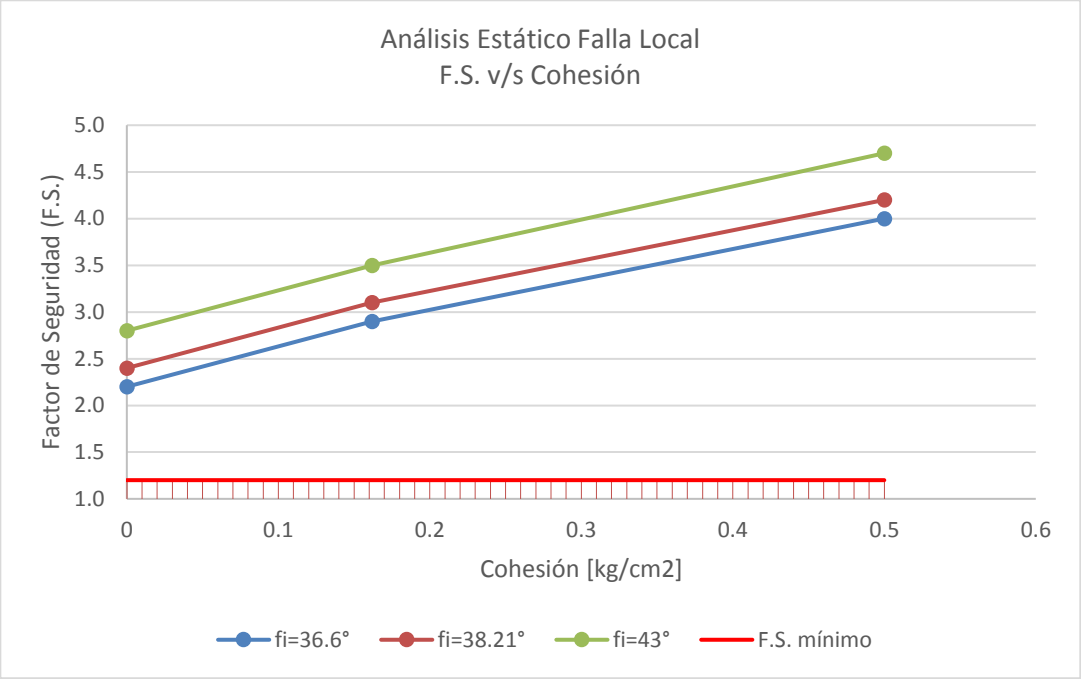


Gráfico 9-2: F.S v/s Cohesión – Análisis Estático – Falla Local

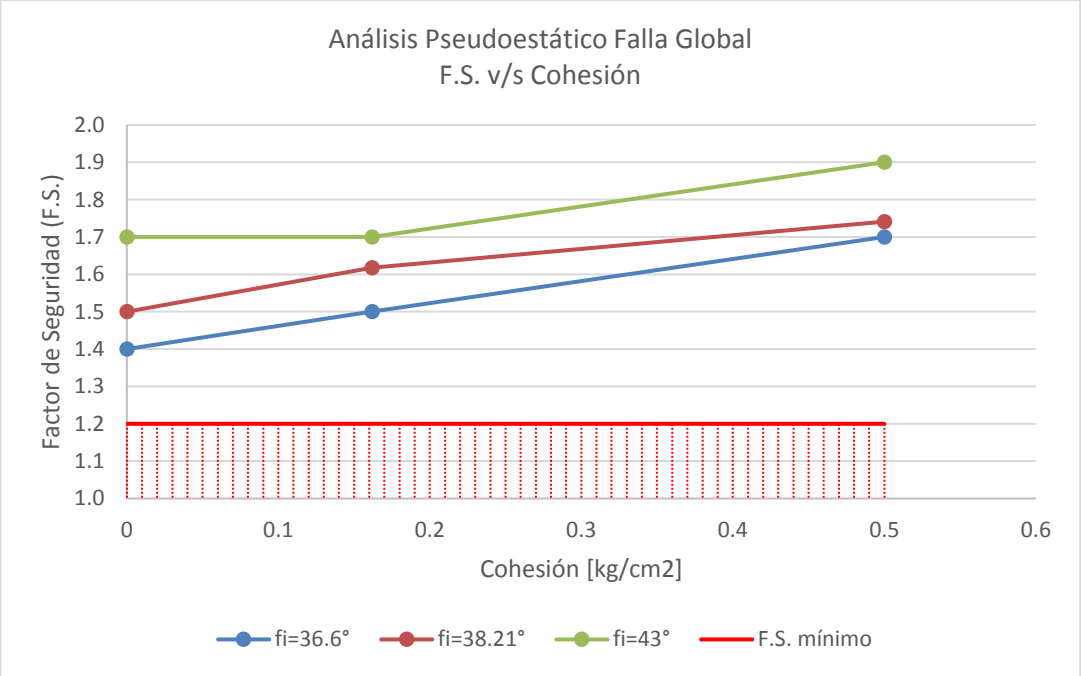


Gráfico 9-3: F.S v/s Cohesión – Análisis Pseudo estático – Falla Global

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 © 2016 CODELCO-CHILE. Todos los Derechos Reservados

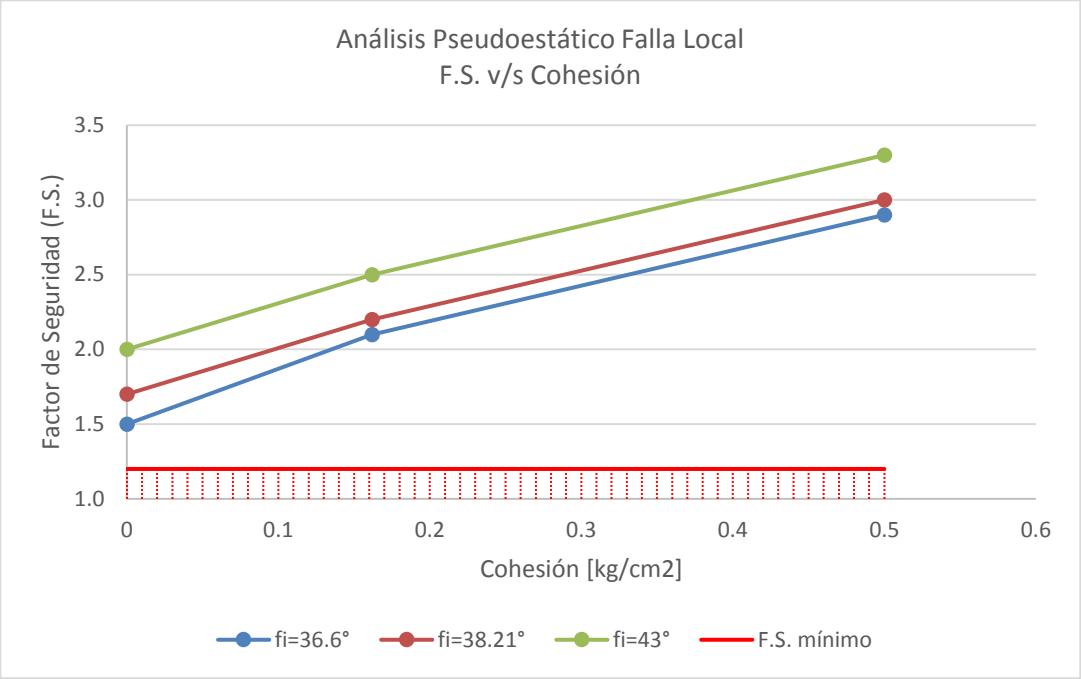


Gráfico 9-4: F.S v/s Cohesión – Análisis Pseudo estático – Falla Local

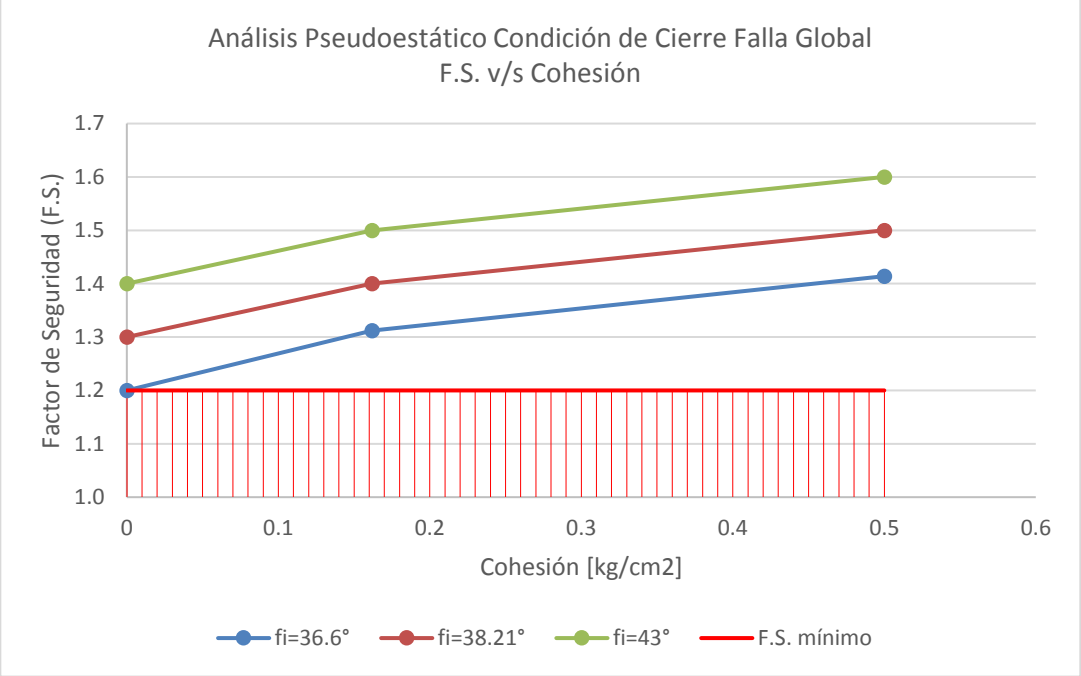


Gráfico 9-5: F.S v/s Cohesión – Análisis Condición de Cierre – Falla Global

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 © 2016 CODELCO-CHILE. Todos los Derechos Reservados

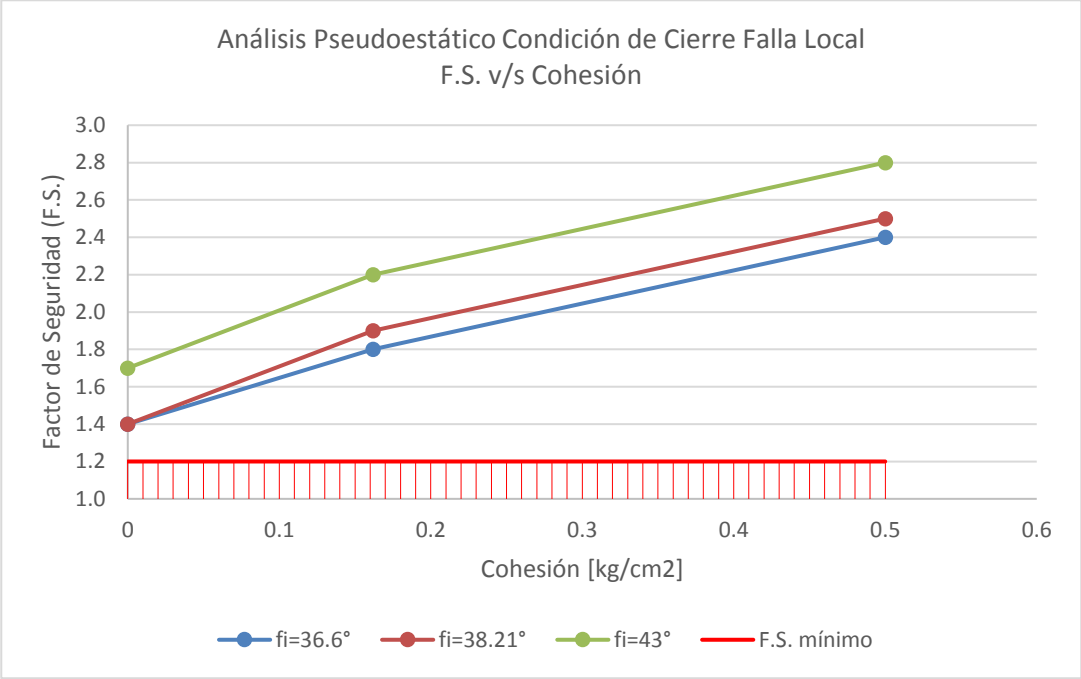


Gráfico 9-6: F.S v/s Cohesión – Análisis Condición de Cierre – Falla Local

Se observa que para todas las combinaciones de ángulo de fricción (ϕ) y cohesión (c) analizadas, los factores de seguridad son mayores a 1.20 por lo que se cumple con lo requerido por el D.S 248.

En las siguientes tablas se presentan las cuñas de falla tanto globales como locales obtenidas en el análisis por medio del software Slope/W de GeoStudio 2016.

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 © 2016 CODELCO-CHILE. Todos los Derechos Reservados

Tabla 9-2: Falla Global – Análisis Estático - ϕ = 36.6°

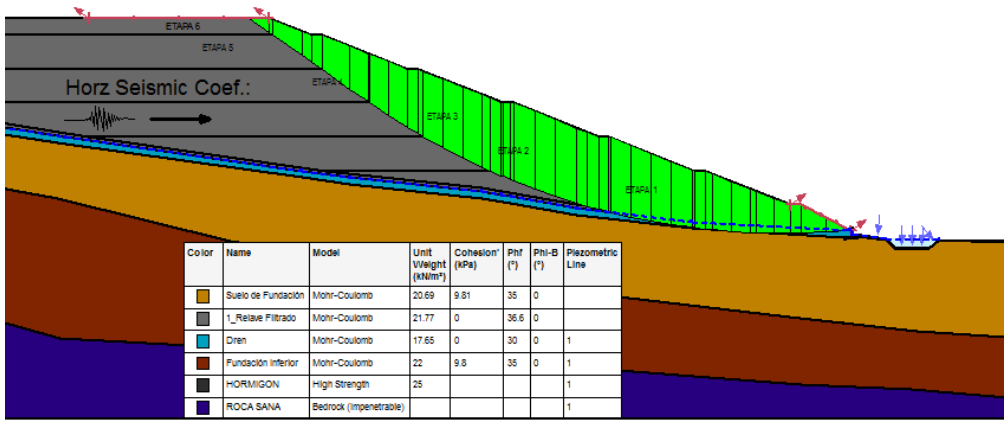
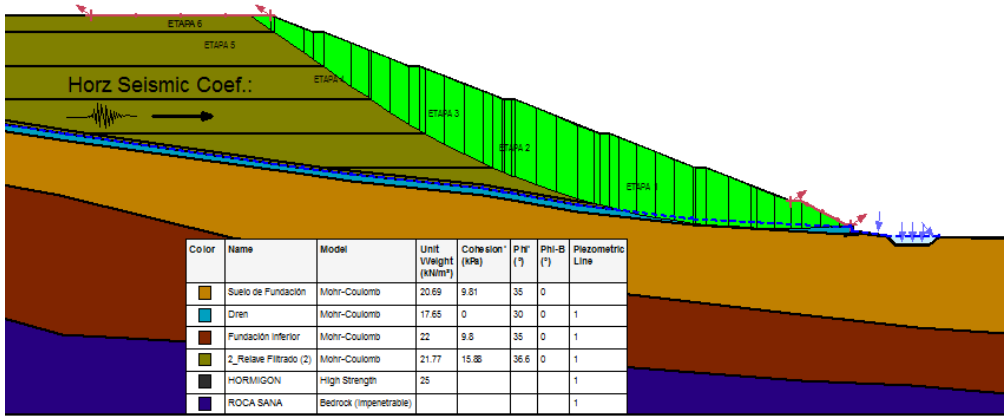
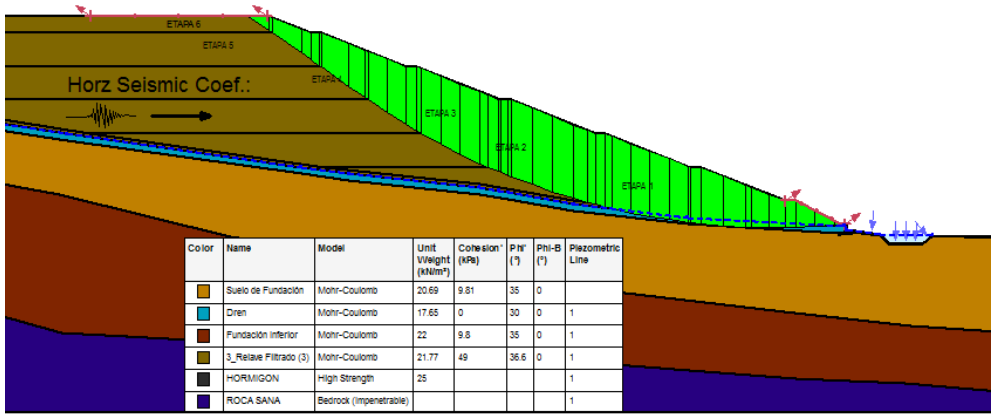
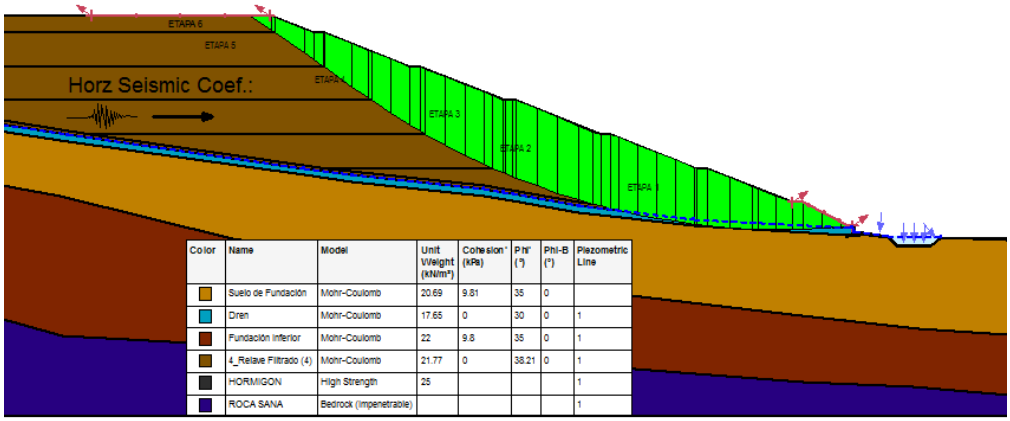
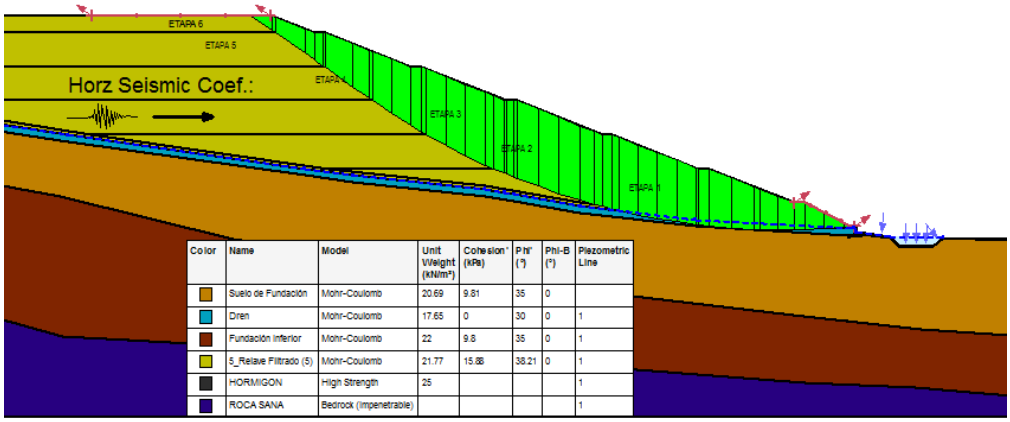
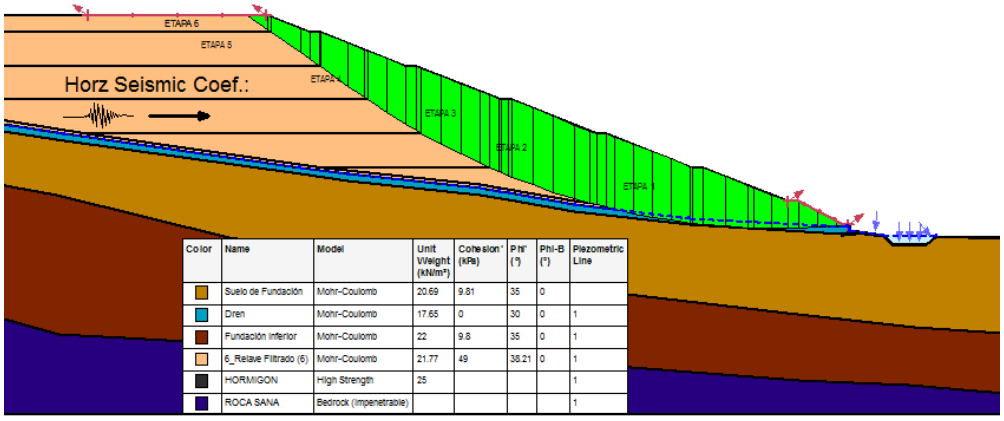
Análisis Estático (Global)	ϕ=36.6°
2.1 	**c = 0.00 kg/cm²**
2.1 	**c = 0.162 kg/cm²**
2.4 	**c = 0.5 kg/cm²**

Tabla 9-3: Falla Global – Análisis Estático - ϕ = 38.21°

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 © 2016 CODELCO-CHILE. Todos los Derechos Reservados

Análisis Estático (Global)	ϕ=38.21°
2.1 	**c = 0.00 kg/cm²**
2.2 	**c = 0.162 kg/cm²**
2.4 	**c = 0.5 kg/cm²**

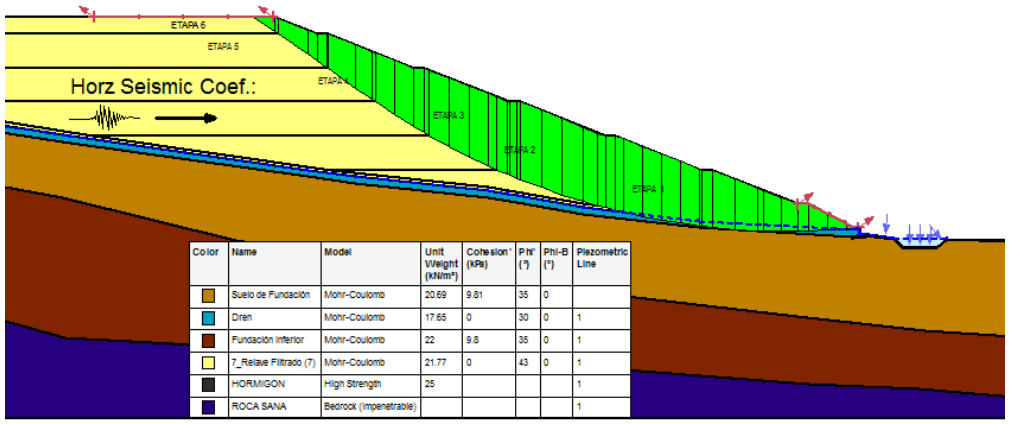
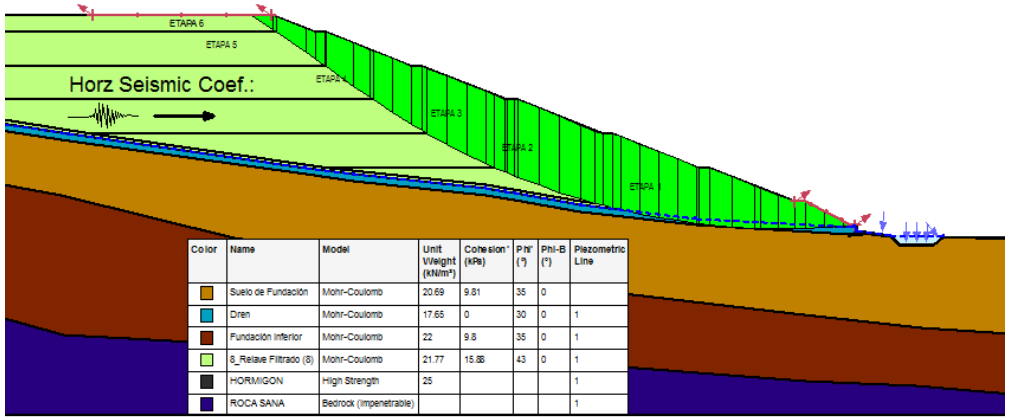
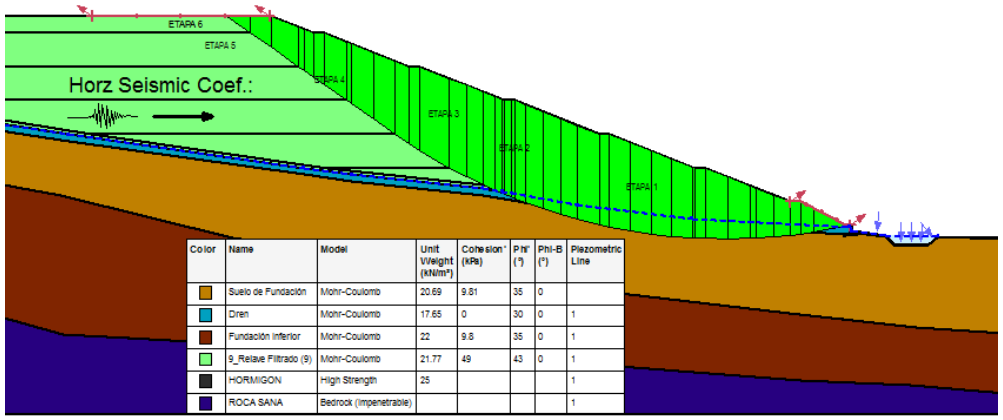
Color	Name	Model	Unit Weight (kN/m³)	Cohesion' (kPa)	Phi' (°)	Phi-B (°)	Piezometric Line
	Suelo de Fundación	Mohr-Coulomb	20.69	9.81	35	0	
	Dren	Mohr-Coulomb	17.65	0	30	0	1
	Fundación inferior	Mohr-Coulomb	22	9.8	35	0	1
	4_Relave Filtrado (4)	Mohr-Coulomb	21.77	0	38.21	0	1
	HORMIGON	High Strength	25				1
	ROCA SANA	Bedrock (impenetrable)					1

Color	Name	Model	Unit Weight (kN/m³)	Cohesion' (kPa)	Phi' (°)	Phi-B (°)	Piezometric Line
	Suelo de Fundación	Mohr-Coulomb	20.69	9.81	35	0	
	Dren	Mohr-Coulomb	17.65	0	30	0	1
	Fundación inferior	Mohr-Coulomb	22	9.8	35	0	1
	5_Relave Filtrado (5)	Mohr-Coulomb	21.77	15.88	38.21	0	1
	HORMIGON	High Strength	25				1
	ROCA SANA	Bedrock (impenetrable)					1

Color	Name	Model	Unit Weight (kN/m³)	Cohesion' (kPa)	Phi' (°)	Phi-B (°)	Piezometric Line
	Suelo de Fundación	Mohr-Coulomb	20.69	9.81	35	0	
	Dren	Mohr-Coulomb	17.65	0	30	0	1
	Fundación inferior	Mohr-Coulomb	22	9.8	35	0	1
	6_Relave Filtrado (6)	Mohr-Coulomb	21.77	49	38.21	0	1
	HORMIGON	High Strength	25				1
	ROCA SANA	Bedrock (impenetrable)					1

Tabla 9-4: Falla Global – Análisis Estático - ϕ = 43.0°

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 © 2016 CODELCO-CHILE. Todos los Derechos Reservados

Análisis Estático (Global)	ϕ=43.0°
2.4 	**c = 0.00 kg/cm²**
2.5 	**c = 0.162 kg/cm²**
2.7 	**c = 0.5 kg/cm²**

Color	Name	Model	Unit VWeight (kN/m³)	Cohesion' (kPa)	Phi' (°)	Phi-B (°)	Piezometric Line
	Suelo de Fundación	Mohr-Coulomb	20.69	9.81	35	0	
	Dren	Mohr-Coulomb	17.65	0	30	0	1
	Fundación inferior	Mohr-Coulomb	22	9.8	35	0	1
	7_Relave Filtrado (7)	Mohr-Coulomb	21.77	0	43	0	1
	HORMIGON	High Strength	25				1
	ROCA SANA	Bedrock (Impenetrable)					1

Color	Name	Model	Unit VWeight (kN/m³)	Cohesion' (kPa)	Phi' (°)	Phi-B (°)	Piezometric Line
	Suelo de Fundación	Mohr-Coulomb	20.69	9.81	35	0	
	Dren	Mohr-Coulomb	17.65	0	30	0	1
	Fundación inferior	Mohr-Coulomb	22	9.8	35	0	1
	8_Relave Filtrado (8)	Mohr-Coulomb	21.77	15.88	43	0	1
	HORMIGON	High Strength	25				1
	ROCA SANA	Bedrock (Impenetrable)					1

Color	Name	Model	Unit VWeight (kN/m³)	Cohesion' (kPa)	Phi' (°)	Phi-B (°)	Piezometric Line
	Suelo de Fundación	Mohr-Coulomb	20.69	9.81	35	0	
	Dren	Mohr-Coulomb	17.65	0	30	0	1
	Fundación inferior	Mohr-Coulomb	22	9.8	35	0	1
	9_Relave Filtrado (9)	Mohr-Coulomb	21.77	49	43	0	1
	HORMIGON	High Strength	25				1
	ROCA SANA	Bedrock (Impenetrable)					1

Tabla 9-5: Falla Global – Análisis Pseudo estático - ϕ = 36.6°

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 © 2016 CODELCO-CHILE. Todos los Derechos Reservados

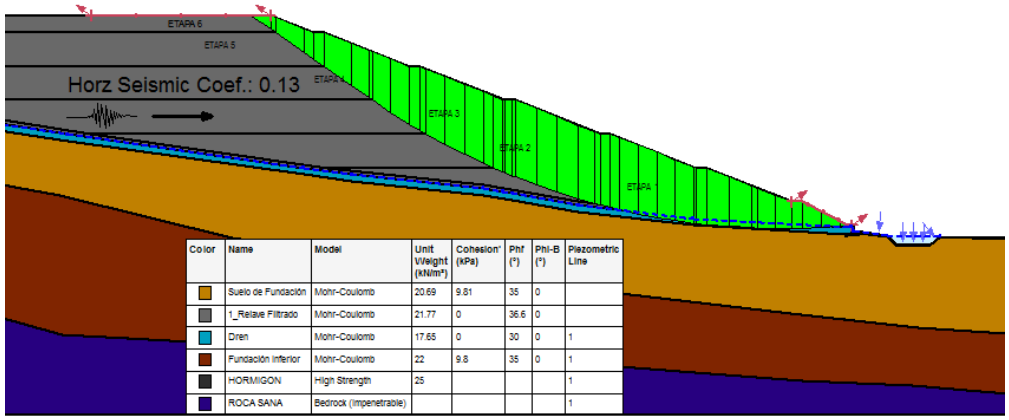
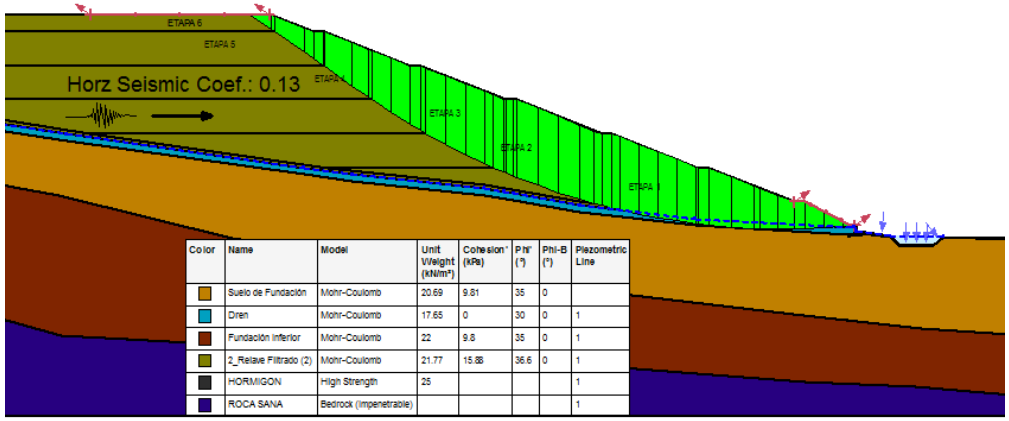
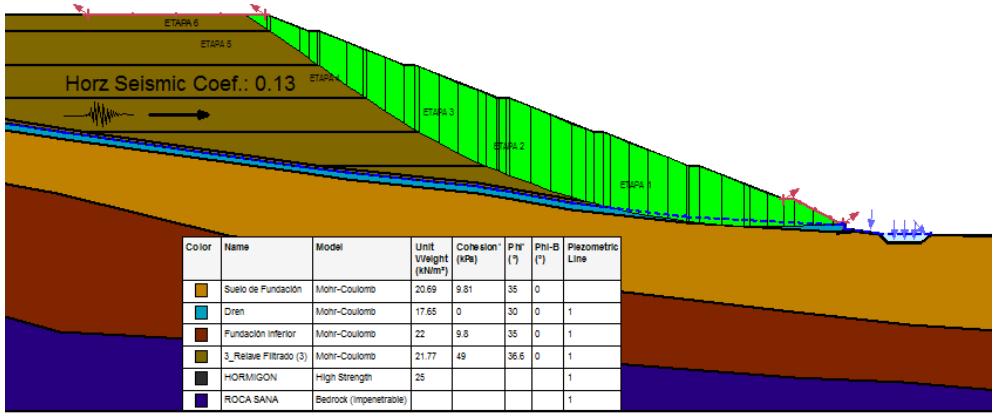
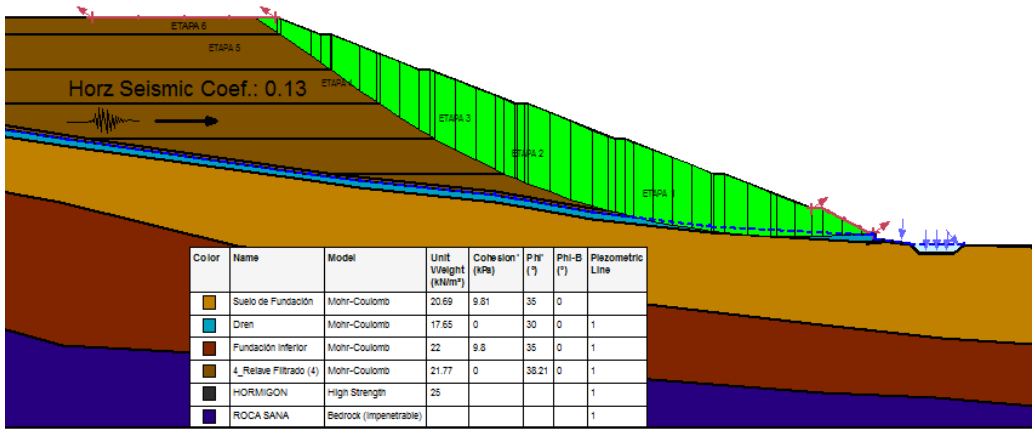
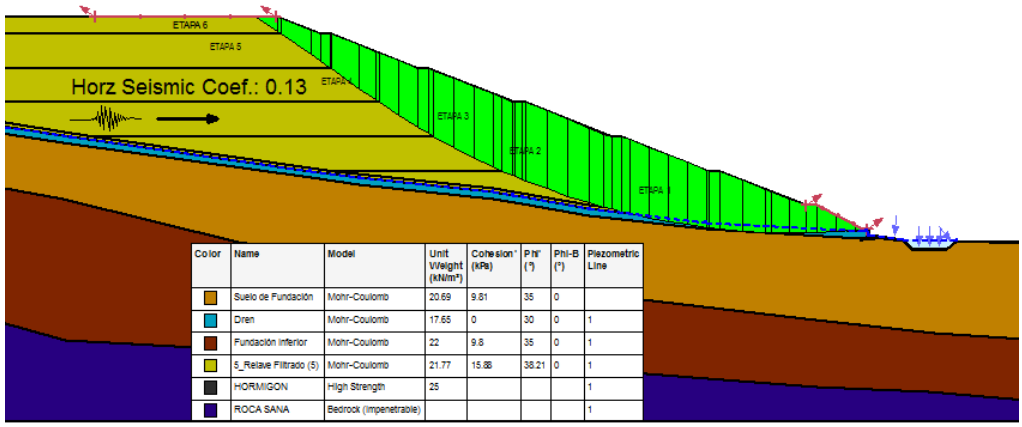
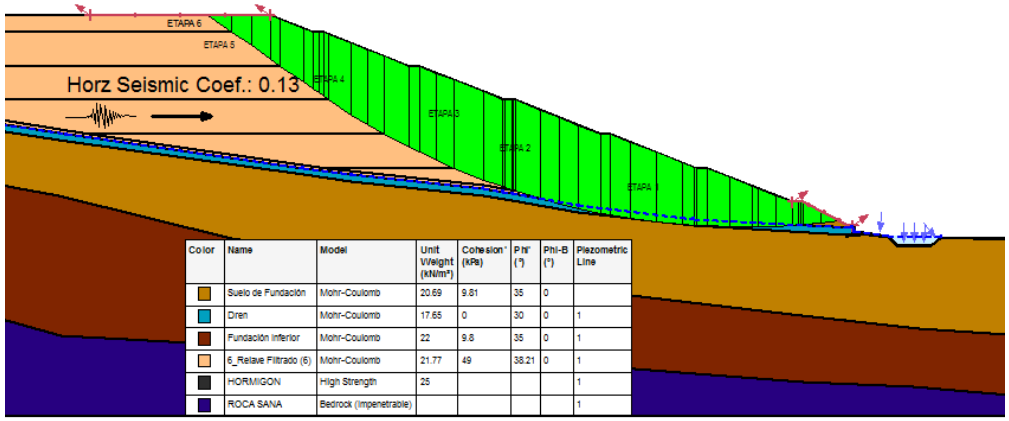
Análisis Pseudo estático (Global)	ϕ=36.6°
1.4 	**c = 0.00 kg/cm²**
1.5 	**c = 0.162 kg/cm²**
1.7 	**c = 0.5 kg/cm²**

Tabla 9-6: Falla Global – Análisis Pseudo estático - ϕ = 38.21°

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 © 2016 CODELCO-CHILE. Todos los Derechos Reservados

Análisis Pseudo estático (Global)	ϕ=38.21°
1.5 	**c = 0.00 kg/cm²**
1.6 	**c = 0.162 kg/cm²**
1.7 	**c = 0.5 kg/cm²**

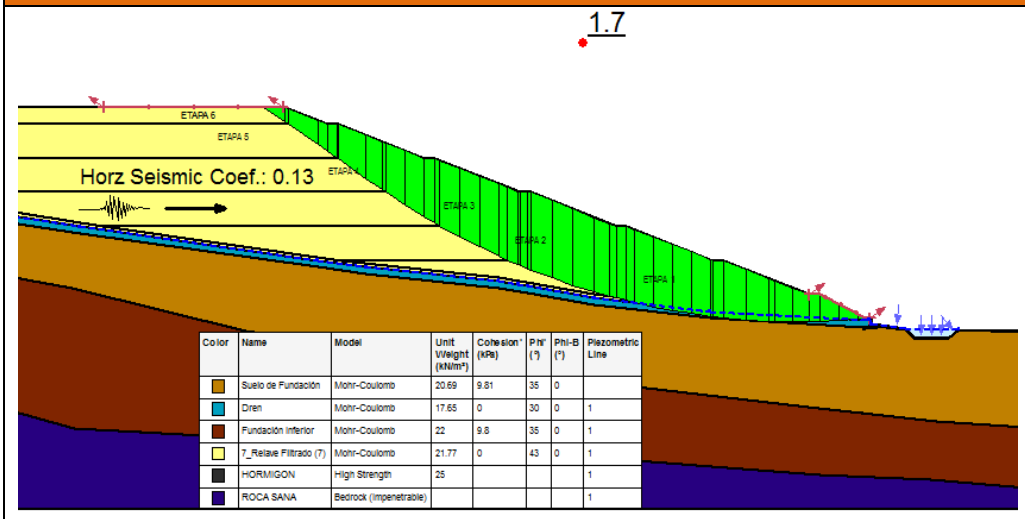
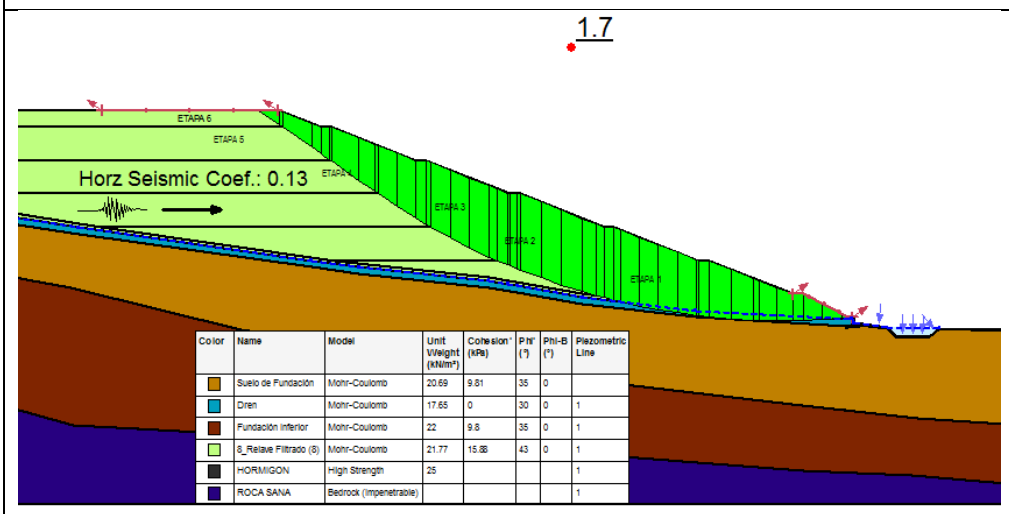
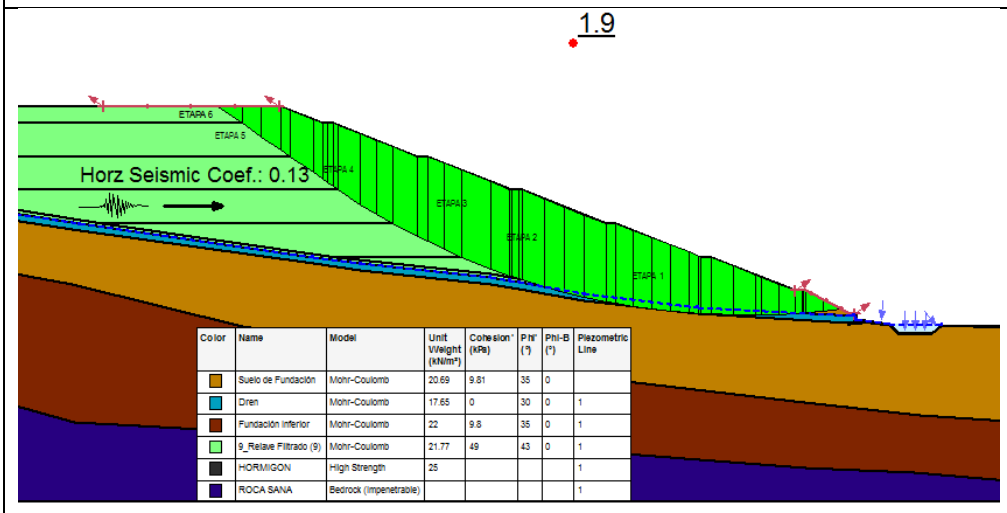
Color	Name	Model	Unit VWeight (kN/m³)	Cohesion' (kPa)	Phi' (°)	Phi-B (°)	Piezometric Line
	Suelo de Fundación	Mohr-Coulomb	20.69	9.81	35	0	
	Dren	Mohr-Coulomb	17.65	0	30	0	1
	Fundación Inferior	Mohr-Coulomb	22	9.8	35	0	1
	4_Relave Filtrado (4)	Mohr-Coulomb	21.77	0	38.21	0	1
	HORMIGON	High Strength	25				1
	ROCA SANA	Bedrock (Impenetrable)					1

Color	Name	Model	Unit VWeight (kN/m³)	Cohesion' (kPa)	Phi' (°)	Phi-B (°)	Piezometric Line
	Suelo de Fundación	Mohr-Coulomb	20.69	9.81	35	0	
	Dren	Mohr-Coulomb	17.65	0	30	0	1
	Fundación Inferior	Mohr-Coulomb	22	9.8	35	0	1
	5_Relave Filtrado (5)	Mohr-Coulomb	21.77	15.66	38.21	0	1
	HORMIGON	High Strength	25				1
	ROCA SANA	Bedrock (Impenetrable)					1

Color	Name	Model	Unit VWeight (kN/m³)	Cohesion' (kPa)	Phi' (°)	Phi-B (°)	Piezometric Line
	Suelo de Fundación	Mohr-Coulomb	20.69	9.81	35	0	
	Dren	Mohr-Coulomb	17.65	0	30	0	1
	Fundación Inferior	Mohr-Coulomb	22	9.8	35	0	1
	6_Relave Filtrado (6)	Mohr-Coulomb	21.77	49	38.21	0	1
	HORMIGON	High Strength	25				1
	ROCA SANA	Bedrock (Impenetrable)					1

Tabla 9-7: Falla Global – Análisis Pseudo estático - ϕ = 43.0°

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 © 2016 CODELCO-CHILE. Todos los Derechos Reservados

Análisis Pseudo estático (Global)	ϕ=43.0°
	c = 0.00 kg/cm²
	c = 0.162 kg/cm²
	c = 0.5 kg/cm²

Color	Name	Model	Unit Weight (kN/m³)	Cohesion' (kPa)	Phi' (°)	Phi-B (°)	Piezometric Line
	Suelo de Fundación	Mohr-Coulomb	20.69	9.81	35	0	
	Dren	Mohr-Coulomb	17.65	0	30	0	1
	Fundación Inferior	Mohr-Coulomb	22	9.8	35	0	1
	7_Relave Filtrado (7)	Mohr-Coulomb	21.77	0	43	0	1
	HORMIGON	High Strength	25				1
	ROCA SANA	Bedrock (impenetrable)					1

Color	Name	Model	Unit Weight (kN/m³)	Cohesion' (kPa)	Phi' (°)	Phi-B (°)	Piezometric Line
	Suelo de Fundación	Mohr-Coulomb	20.69	9.81	35	0	
	Dren	Mohr-Coulomb	17.65	0	30	0	1
	Fundación Inferior	Mohr-Coulomb	22	9.8	35	0	1
	8_Relave Filtrado (8)	Mohr-Coulomb	21.77	15.88	43	0	1
	HORMIGON	High Strength	25				1
	ROCA SANA	Bedrock (impenetrable)					1

Color	Name	Model	Unit Weight (kN/m³)	Cohesion' (kPa)	Phi' (°)	Phi-B (°)	Piezometric Line
	Suelo de Fundación	Mohr-Coulomb	20.69	9.81	35	0	
	Dren	Mohr-Coulomb	17.65	0	30	0	1
	Fundación Inferior	Mohr-Coulomb	22	9.8	35	0	1
	9_Relave Filtrado (9)	Mohr-Coulomb	21.77	49	43	0	1
	HORMIGON	High Strength	25				1
	ROCA SANA	Bedrock (impenetrable)					1

Tabla 9-8: Falla Global – Análisis Pseudo estático – Condición de Cierre - ϕ = 36.6°

Análisis Pseudo Estático – Condición de Cierre (Global)	ϕ=36.6°

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 © 2016 CODELCO-CHILE. Todos los Derechos Reservados

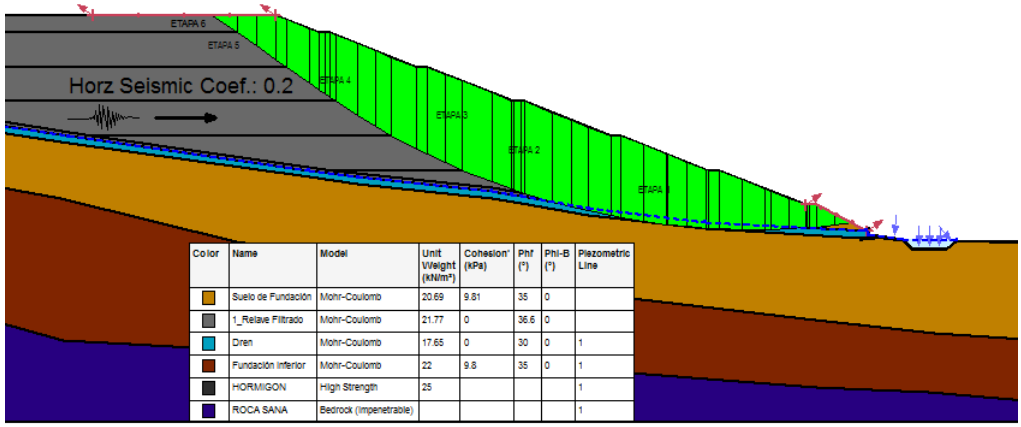
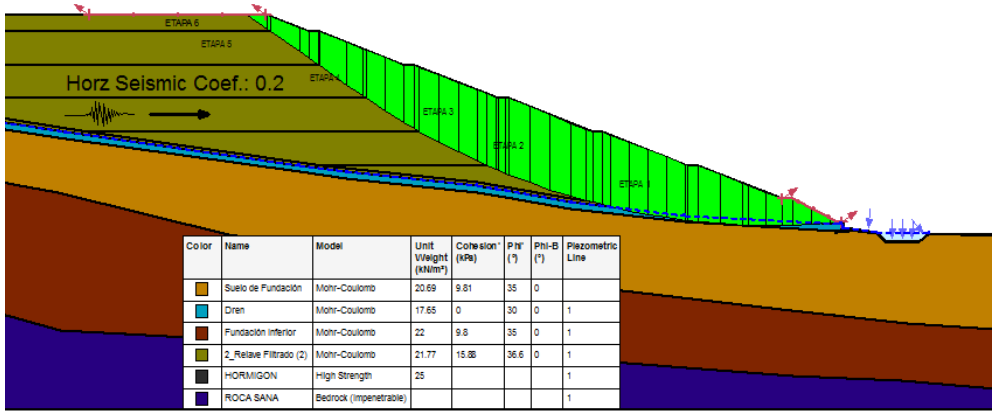
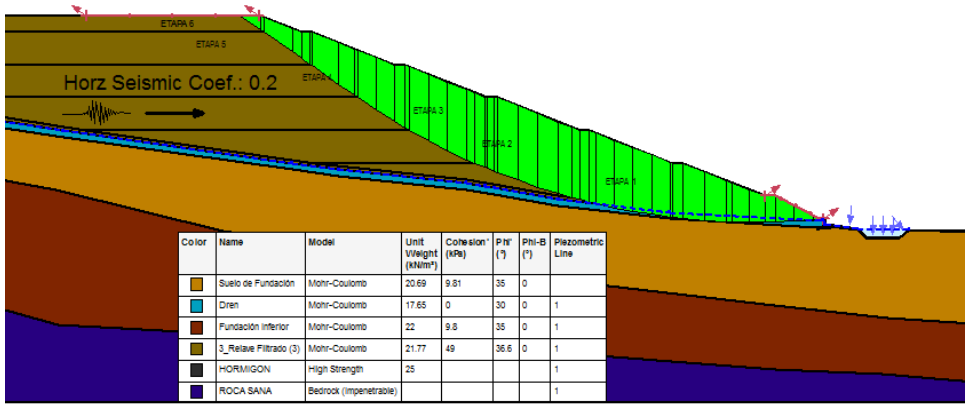
Análisis Pseudo Estático – Condición de Cierre (Global)	ϕ=36.6°
1.2 	**c = 0.00 kg/cm²**
1.3 	**c = 0.162 kg/cm²**
1.4 	**c = 0.5 kg/cm²**

Tabla 9-9: Falla Global – Análisis Pseudo estático – Condición de Cierre - ϕ = 38.21°

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 © 2016 CODELCO-CHILE. Todos los Derechos Reservados

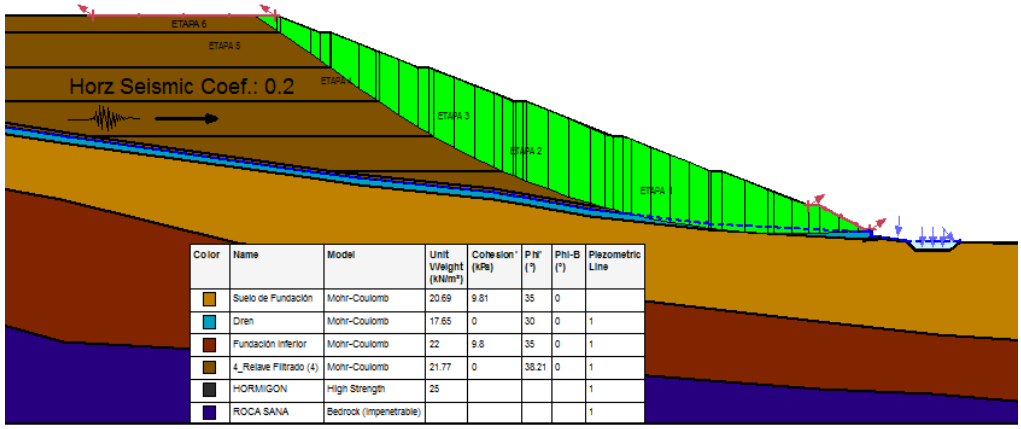
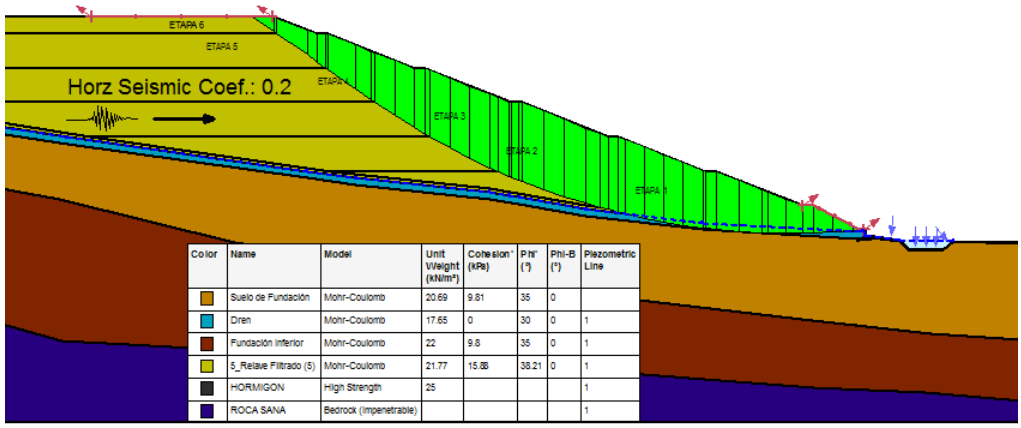
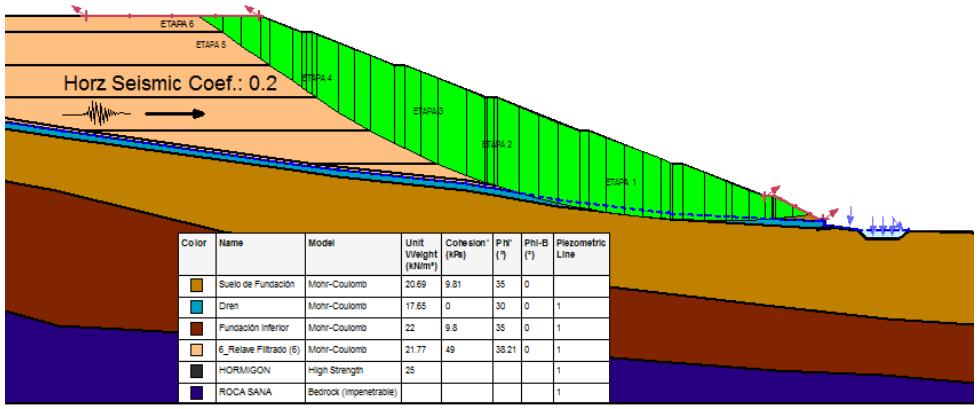
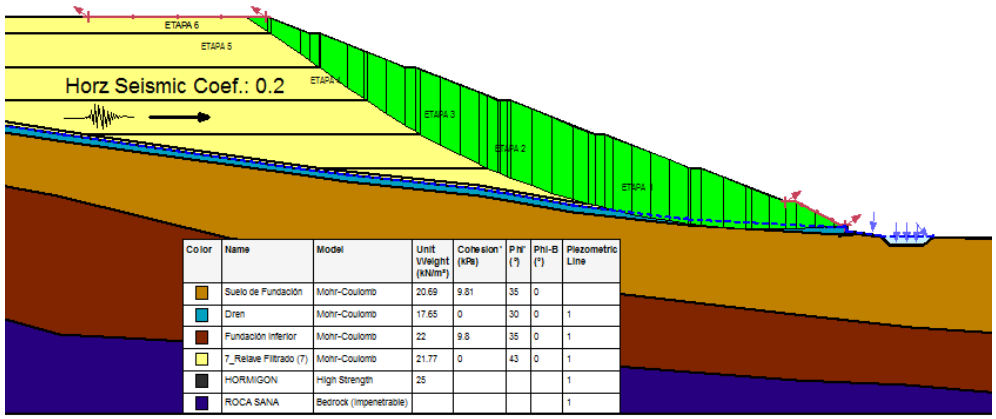
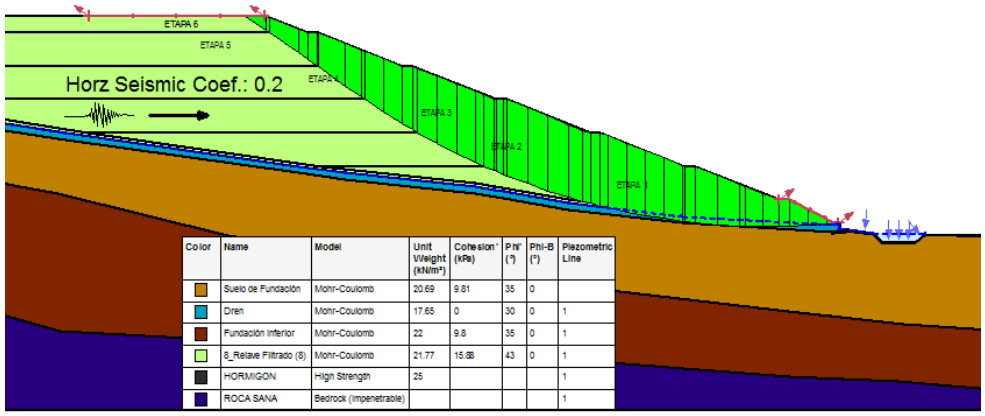
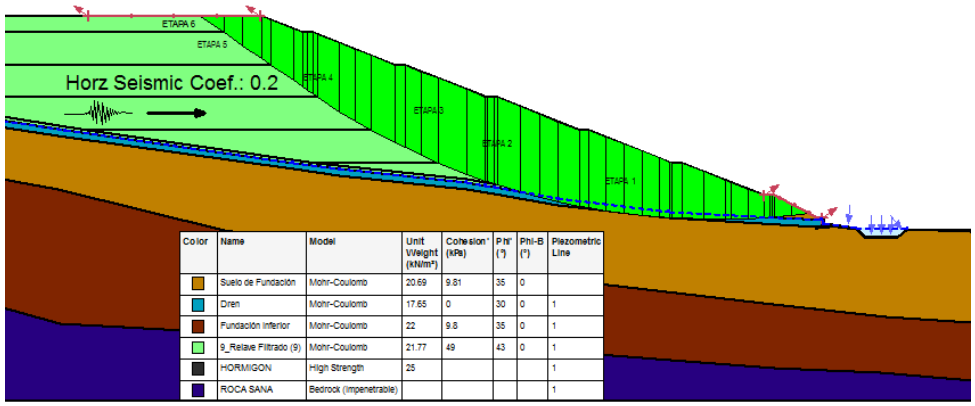
Análisis Pseudo Estático – Condición de Cierre (Global)	ϕ=38.21°
1.3 	**c = 0.00 kg/cm²**
1.3 	**c = 0.162 kg/cm²**
1.5 	**c = 0.5 kg/cm²**

Tabla 9-10: Falla Global – Análisis Pseudo estático – Condición de Cierre - ϕ = 43.0°

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 © 2016 CODELCO-CHILE. Todos los Derechos Reservados

Análisis Pseudo Estático – Condición de Cierre (Global)	ϕ=43.0°
1.4 	**c = 0.00 kg/cm²**
1.5 	**c = 0.162 kg/cm²**
1.6 	**c = 0.5 kg/cm²**

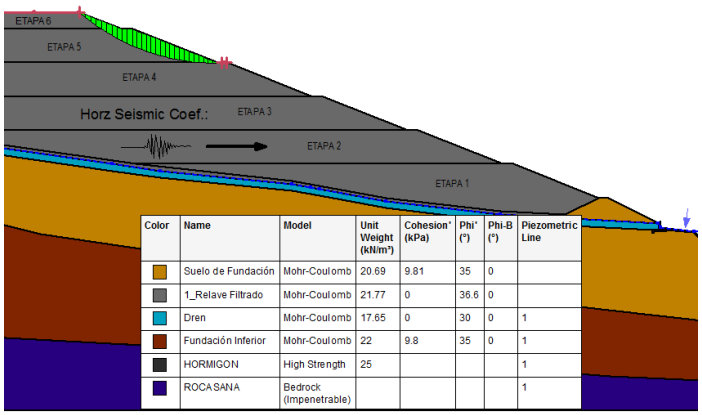
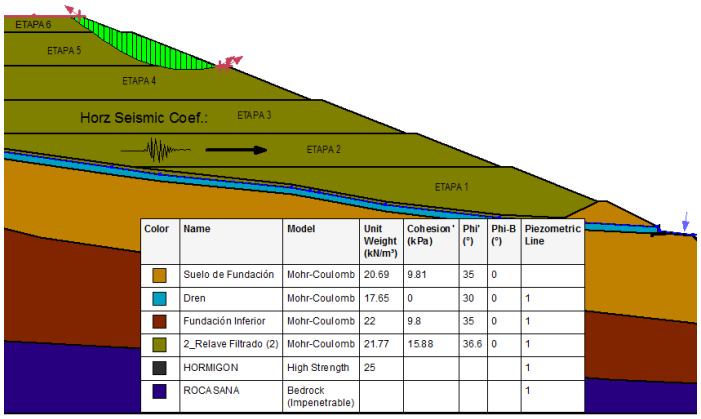
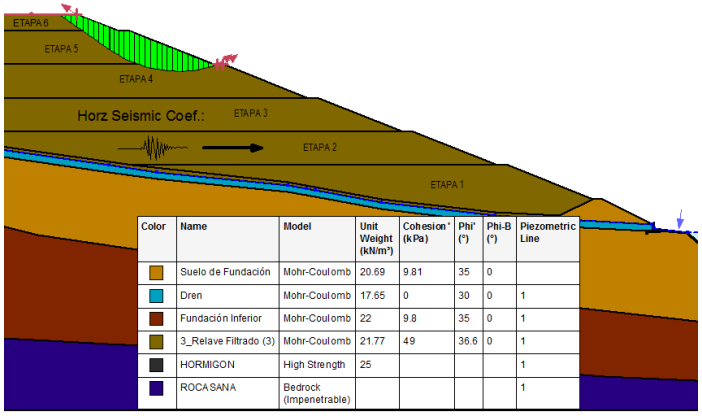
Color	Name	Model	Unit Weight (kN/m³)	Cohesion' (kPa)	Phi' (°)	Phi-B (°)	Piezometric Line
	Suelo de Fundación	Mohr-Coulomb	20.69	9.81	35	0	
	Dren	Mohr-Coulomb	17.65	0	30	0	1
	Fundación inferior	Mohr-Coulomb	22	9.8	35	0	1
	7_Relave Filtrado (7)	Mohr-Coulomb	21.77	0	43	0	1
	HORMIGON	High Strength	25				1
	ROCA SANA	Bedrock (Impenetrable)					1

Color	Name	Model	Unit Weight (kN/m³)	Cohesion' (kPa)	Phi' (°)	Phi-B (°)	Piezometric Line
	Suelo de Fundación	Mohr-Coulomb	20.69	9.81	35	0	
	Dren	Mohr-Coulomb	17.65	0	30	0	1
	Fundación inferior	Mohr-Coulomb	22	9.8	35	0	1
	8_Relave Filtrado (8)	Mohr-Coulomb	21.77	15.88	43	0	1
	HORMIGON	High Strength	25				1
	ROCA SANA	Bedrock (Impenetrable)					1

Color	Name	Model	Unit Weight (kN/m³)	Cohesion' (kPa)	Phi' (°)	Phi-B (°)	Piezometric Line
	Suelo de Fundación	Mohr-Coulomb	20.69	9.81	35	0	
	Dren	Mohr-Coulomb	17.65	0	30	0	1
	Fundación inferior	Mohr-Coulomb	22	9.8	35	0	1
	9_Relave Filtrado (9)	Mohr-Coulomb	21.77	49	43	0	1
	HORMIGON	High Strength	25				1
	ROCA SANA	Bedrock (Impenetrable)					1

Tabla 9-11: Falla Local – Análisis Estático - ϕ = 36.6°

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 © 2016 CODELCO-CHILE. Todos los Derechos Reservados

Análisis Estático (Local)	ϕ=36.6°
2.2 	c = 0.00 kg/cm²
2.9 	c = 0.162 kg/cm²
4.0 	c = 0.5 kg/cm²

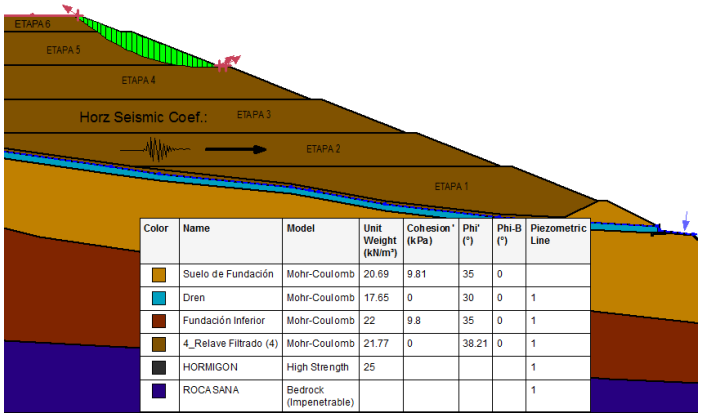
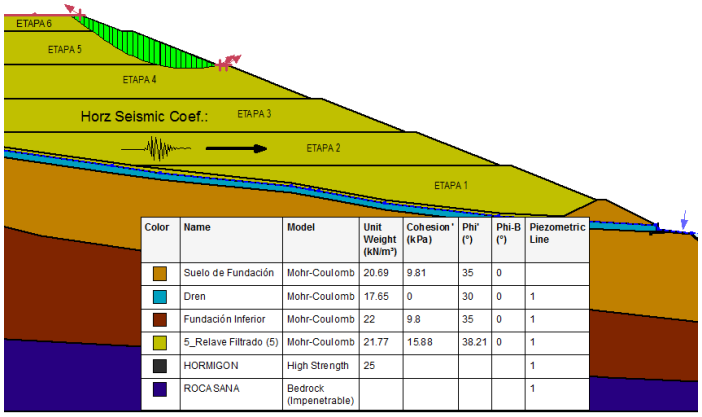
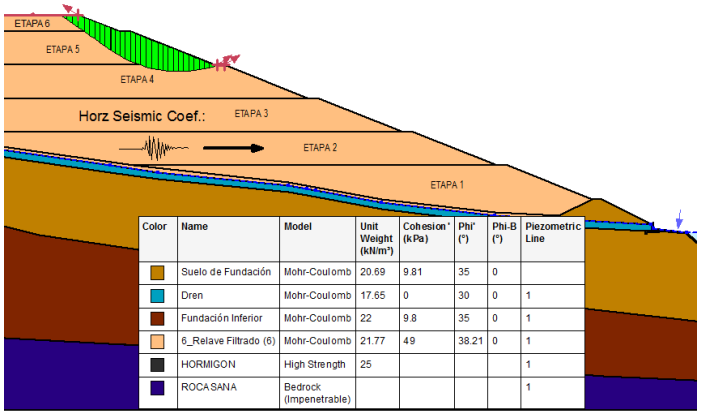
Color	Name	Model	Unit Weight (kN/m³)	Cohesion' (kPa)	Phi' (°)	Phi-B (°)	Piezometric Line
	Suelo de Fundación	Mohr-Coulomb	20.69	9.81	35	0	
	1_Relave Filtrado	Mohr-Coulomb	21.77	0	36.6	0	
	Dren	Mohr-Coulomb	17.65	0	30	0	1
	Fundación Inferior	Mohr-Coulomb	22	9.8	35	0	1
	HORMIGON	High Strength	25				1
	ROCA SANA	Bedrock (Impenetrable)					1

Color	Name	Model	Unit Weight (kN/m³)	Cohesion' (kPa)	Phi' (°)	Phi-B (°)	Piezometric Line
	Suelo de Fundación	Mohr-Coulomb	20.69	9.81	35	0	
	Dren	Mohr-Coulomb	17.65	0	30	0	1
	Fundación Inferior	Mohr-Coulomb	22	9.8	35	0	1
	2_Relave Filtrado (2)	Mohr-Coulomb	21.77	15.88	36.6	0	1
	HORMIGON	High Strength	25				1
	ROCA SANA	Bedrock (Impenetrable)					1

Color	Name	Model	Unit Weight (kN/m³)	Cohesion' (kPa)	Phi' (°)	Phi-B (°)	Piezometric Line
	Suelo de Fundación	Mohr-Coulomb	20.69	9.81	35	0	
	Dren	Mohr-Coulomb	17.65	0	30	0	1
	Fundación Inferior	Mohr-Coulomb	22	9.8	35	0	1
	3_Relave Filtrado (3)	Mohr-Coulomb	21.77	49	36.6	0	1
	HORMIGON	High Strength	25				1
	ROCA SANA	Bedrock (Impenetrable)					1

Tabla 9-12: Falla Local – Análisis Estático - ϕ = 38.21°

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 © 2016 CODELCO-CHILE. Todos los Derechos Reservados

Análisis Estático (Local)	ϕ=38.21°
2.4 	c = 0.00 kg/cm²
3.1 	c = 0.162 kg/cm²
4.2 	c = 0.5 kg/cm²

Color	Name	Model	Unit Weight (kN/m³)	Cohesion' (kPa)	Phi' (°)	Phi-B (°)	Piezometric Line
	Suelo de Fundación	Mohr-Coulomb	20.69	9.81	35	0	
	Dren	Mohr-Coulomb	17.65	0	30	0	1
	Fundación Inferior	Mohr-Coulomb	22	9.8	35	0	1
	4_Relave Filtrado (4)	Mohr-Coulomb	21.77	0	38.21	0	1
	HORMIGON	High Strength	25				1
	ROCA SANA	Bedrock (Impenetrable)					1

Color	Name	Model	Unit Weight (kN/m³)	Cohesion' (kPa)	Phi' (°)	Phi-B (°)	Piezometric Line
	Suelo de Fundación	Mohr-Coulomb	20.69	9.81	35	0	
	Dren	Mohr-Coulomb	17.65	0	30	0	1
	Fundación Inferior	Mohr-Coulomb	22	9.8	35	0	1
	5_Relave Filtrado (5)	Mohr-Coulomb	21.77	15.88	38.21	0	1
	HORMIGON	High Strength	25				1
	ROCA SANA	Bedrock (Impenetrable)					1

Color	Name	Model	Unit Weight (kN/m³)	Cohesion' (kPa)	Phi' (°)	Phi-B (°)	Piezometric Line
	Suelo de Fundación	Mohr-Coulomb	20.69	9.81	35	0	
	Dren	Mohr-Coulomb	17.65	0	30	0	1
	Fundación Inferior	Mohr-Coulomb	22	9.8	35	0	1
	6_Relave Filtrado (6)	Mohr-Coulomb	21.77	49	38.21	0	1
	HORMIGON	High Strength	25				1
	ROCA SANA	Bedrock (Impenetrable)					1

Tabla 9-13: Falla Local – Análisis Estático - ϕ = 43.0°

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 © 2016 CODELCO-CHILE. Todos los Derechos Reservados

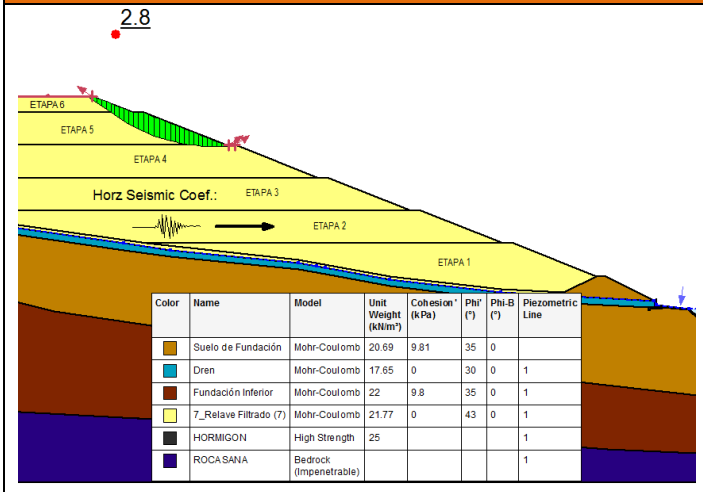
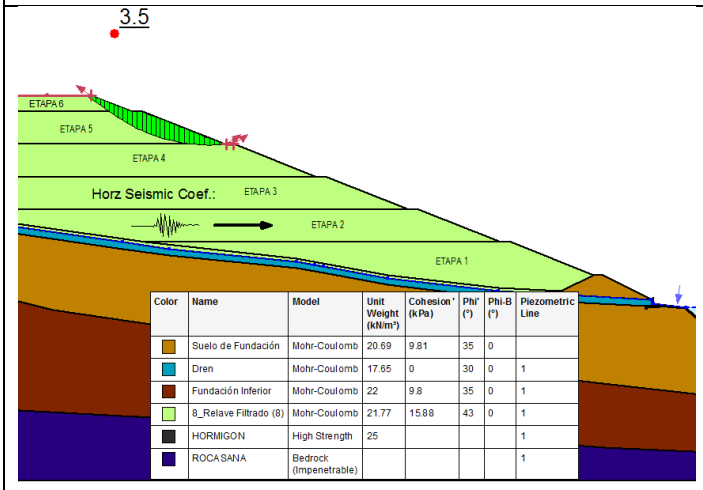
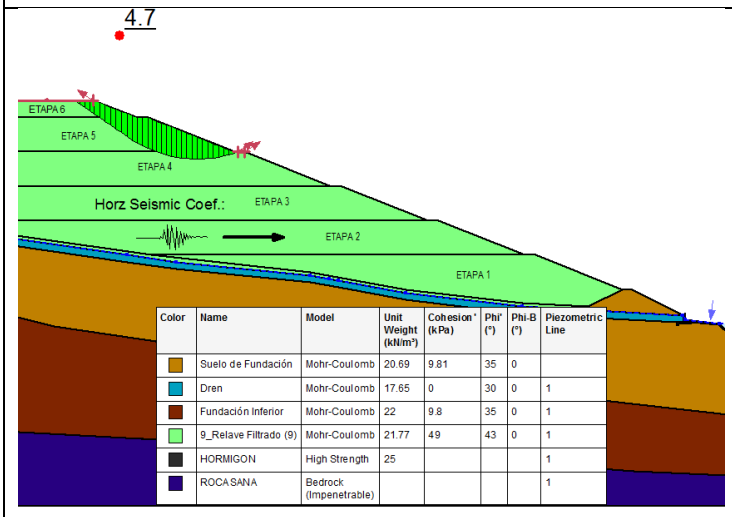
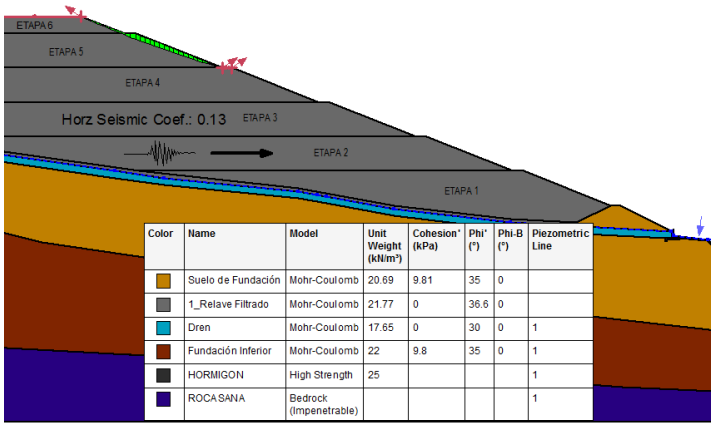
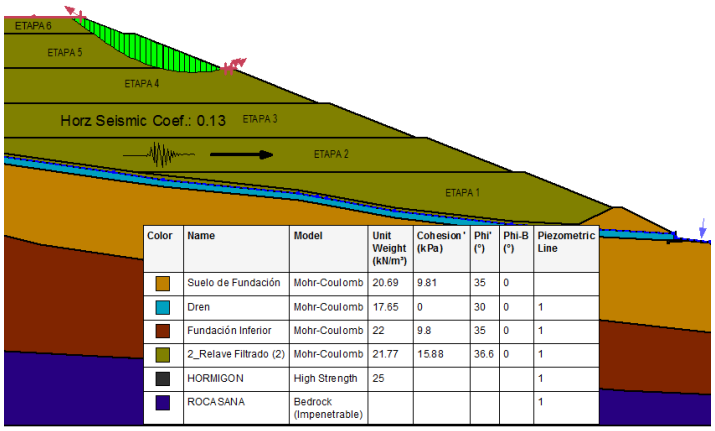
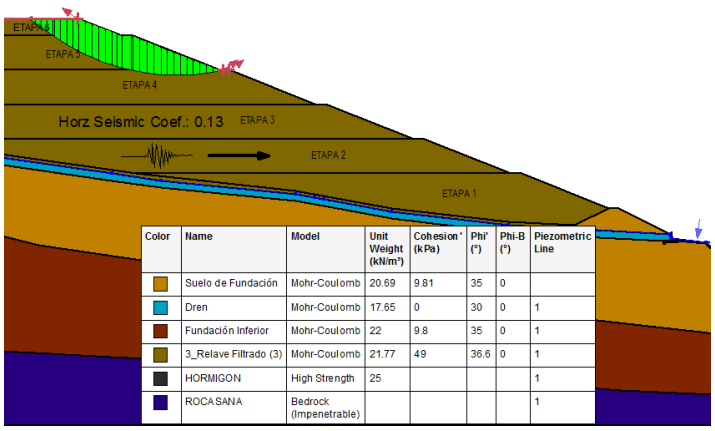
Análisis Estático (Local)	ϕ=43.0°
	**c = 0.00 kg/cm²**
	**c = 0.162 kg/cm²**
	**c = 0.5 kg/cm²**

Tabla 9-14: Falla Local – Análisis Pseudo estático - ϕ = 36.6°

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 © 2016 CODELCO-CHILE. Todos los Derechos Reservados

Análisis Pseudo estático (Local)	ϕ=36.6°
1.5 	**c = 0.00 kg/cm²**
2.1 	**c = 0.162 kg/cm²**
2.9 	**c = 0.5 kg/cm²**

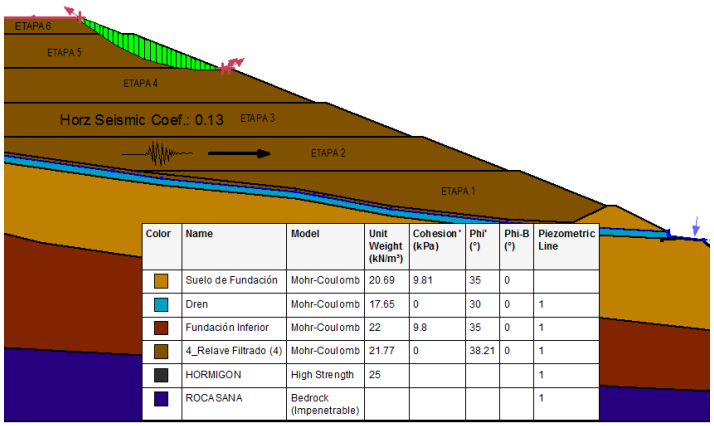
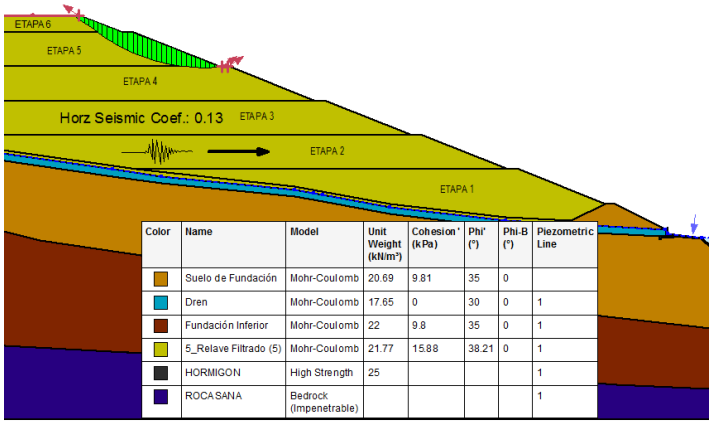
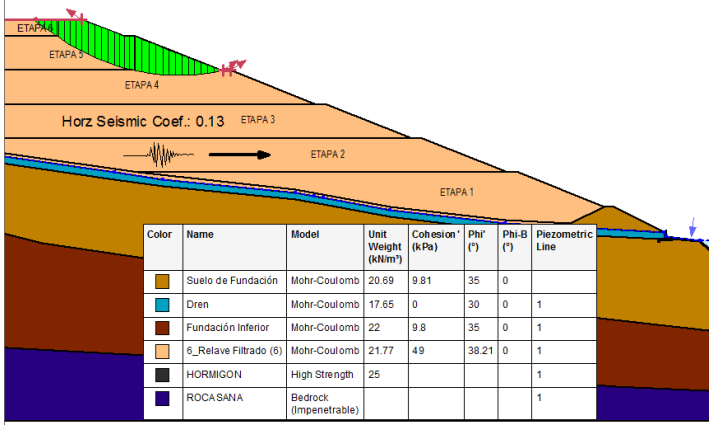
Color	Name	Model	Unit Weight (kN/m³)	Cohesion' (kPa)	Phi' (°)	Phi-B (°)	Piezometric Line
	Suelo de Fundación	Mohr-Coulomb	20.69	9.81	35	0	
	1_Relave Filtrado	Mohr-Coulomb	21.77	0	36.6	0	
	Dren	Mohr-Coulomb	17.65	0	30	0	1
	Fundación Inferior	Mohr-Coulomb	22	9.8	35	0	1
	HORMIGON	High Strength	25				1
	ROCA SANA	Bedrock (Impenetrable)					1

Color	Name	Model	Unit Weight (kN/m³)	Cohesion' (kPa)	Phi' (°)	Phi-B (°)	Piezometric Line
	Suelo de Fundación	Mohr-Coulomb	20.69	9.81	35	0	
	Dren	Mohr-Coulomb	17.65	0	30	0	1
	Fundación Inferior	Mohr-Coulomb	22	9.8	35	0	1
	2_Relave Filtrado (2)	Mohr-Coulomb	21.77	15.88	36.6	0	1
	HORMIGON	High Strength	25				1
	ROCA SANA	Bedrock (Impenetrable)					1

Color	Name	Model	Unit Weight (kN/m³)	Cohesion' (kPa)	Phi' (°)	Phi-B (°)	Piezometric Line
	Suelo de Fundación	Mohr-Coulomb	20.69	9.81	35	0	
	Dren	Mohr-Coulomb	17.65	0	30	0	1
	Fundación Inferior	Mohr-Coulomb	22	9.8	35	0	1
	3_Relave Filtrado (3)	Mohr-Coulomb	21.77	49	36.6	0	1
	HORMIGON	High Strength	25				1
	ROCA SANA	Bedrock (Impenetrable)					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 © 2016 CODELCO-CHILE. Todos los Derechos Reservados

Tabla 9-15: Falla Local – Análisis Pseudo estático - ϕ = 38.21°

Análisis Pseudo estático (Local)	ϕ=38.21°
1.7 	**c = 0.00 kg/cm²**
2.2 	**c = 0.162 kg/cm²**
3.0 	**c = 0.5 kg/cm²**

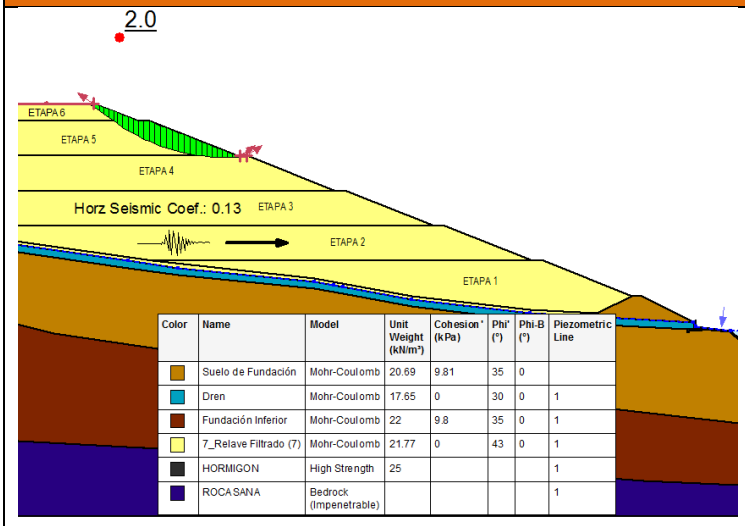
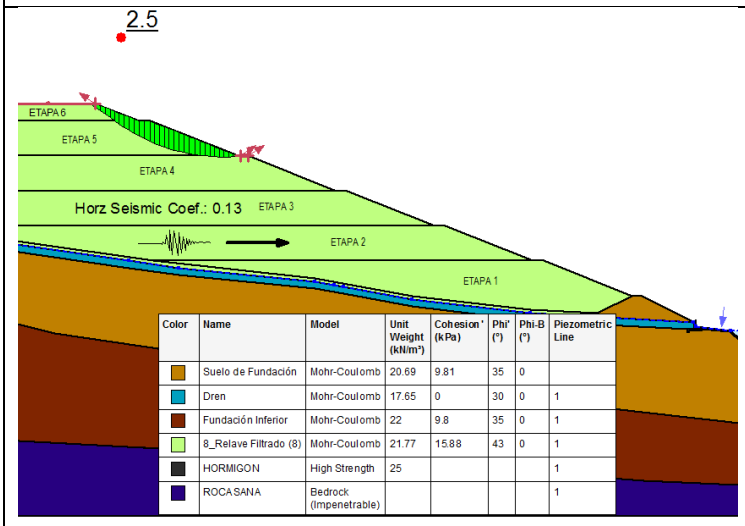
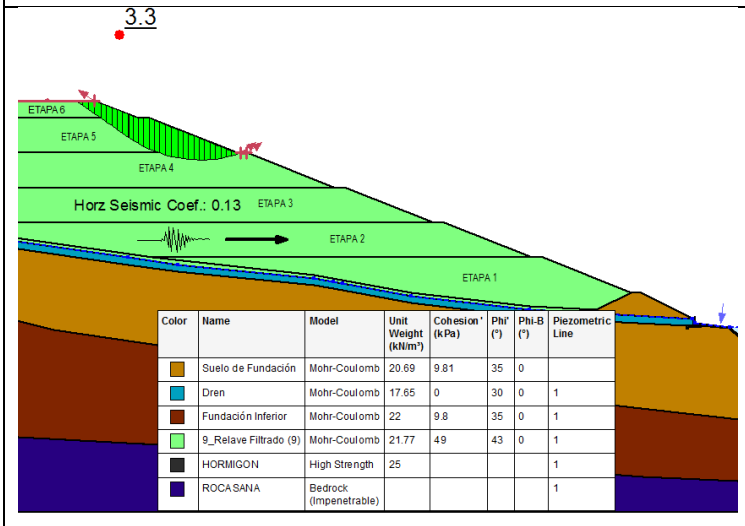
Color	Name	Model	Unit Weight (kN/m³)	Cohesion ' (kPa)	Phi' (°)	Phi-B (°)	Piezometric Line
	Suelo de Fundación	Mohr-Coulomb	20.69	9.81	35	0	
	Dren	Mohr-Coulomb	17.65	0	30	0	1
	Fundación Inferior	Mohr-Coulomb	22	9.8	35	0	1
	4_Relave Filtrado (4)	Mohr-Coulomb	21.77	0	38.21	0	1
	HORMIGON	High Strength	25				1
	ROCA SANA	Bedrock (Impenetrable)					1

Color	Name	Model	Unit Weight (kN/m³)	Cohesion ' (kPa)	Phi' (°)	Phi-B (°)	Piezometric Line
	Suelo de Fundación	Mohr-Coulomb	20.69	9.81	35	0	
	Dren	Mohr-Coulomb	17.65	0	30	0	1
	Fundación Inferior	Mohr-Coulomb	22	9.8	35	0	1
	5_Relave Filtrado (5)	Mohr-Coulomb	21.77	15.88	38.21	0	1
	HORMIGON	High Strength	25				1
	ROCA SANA	Bedrock (Impenetrable)					1

Color	Name	Model	Unit Weight (kN/m³)	Cohesion ' (kPa)	Phi' (°)	Phi-B (°)	Piezometric Line
	Suelo de Fundación	Mohr-Coulomb	20.69	9.81	35	0	
	Dren	Mohr-Coulomb	17.65	0	30	0	1
	Fundación Inferior	Mohr-Coulomb	22	9.8	35	0	1
	6_Relave Filtrado (6)	Mohr-Coulomb	21.77	49	38.21	0	1
	HORMIGON	High Strength	25				1
	ROCA SANA	Bedrock (Impenetrable)					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 © 2016 CODELCO-CHILE. Todos los Derechos Reservados

Tabla 9-16: Falla Local – Análisis Pseudo estático - ϕ = 43.0°

Análisis Pseudo estático (Local)	ϕ=43.0°
	**c = 0.00 kg/cm²**
	**c = 0.162 kg/cm²**
	**c = 0.5 kg/cm²**

Color	Name	Model	Unit Weight (kN/m³)	Cohesion' (kPa)	Phi' (°)	Phi-B (°)	Piezometric Line
	Suelo de Fundación	Mohr-Coulomb	20.69	9.81	35	0	
	Dren	Mohr-Coulomb	17.65	0	30	0	1
	Fundación Inferior	Mohr-Coulomb	22	9.8	35	0	1
	7_Relave Filtrado (7)	Mohr-Coulomb	21.77	0	43	0	1
	HORMIGON	High Strength	25				1
	ROCASANA	Bedrock (Impenetrable)					1

Color	Name	Model	Unit Weight (kN/m³)	Cohesion' (kPa)	Phi' (°)	Phi-B (°)	Piezometric Line
	Suelo de Fundación	Mohr-Coulomb	20.69	9.81	35	0	
	Dren	Mohr-Coulomb	17.65	0	30	0	1
	Fundación Inferior	Mohr-Coulomb	22	9.8	35	0	1
	8_Relave Filtrado (8)	Mohr-Coulomb	21.77	15.88	43	0	1
	HORMIGON	High Strength	25				1
	ROCASANA	Bedrock (Impenetrable)					1

Color	Name	Model	Unit Weight (kN/m³)	Cohesion' (kPa)	Phi' (°)	Phi-B (°)	Piezometric Line
	Suelo de Fundación	Mohr-Coulomb	20.69	9.81	35	0	
	Dren	Mohr-Coulomb	17.65	0	30	0	1
	Fundación Inferior	Mohr-Coulomb	22	9.8	35	0	1
	9_Relave Filtrado (9)	Mohr-Coulomb	21.77	49	43	0	1
	HORMIGON	High Strength	25				1
	ROCASANA	Bedrock (Impenetrable)					1

Tabla 9-17: Falla Local – Análisis Pseudo estático – Condición de Cierre - ϕ = 36.6°

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 © 2016 CODELCO-CHILE. Todos los Derechos Reservados

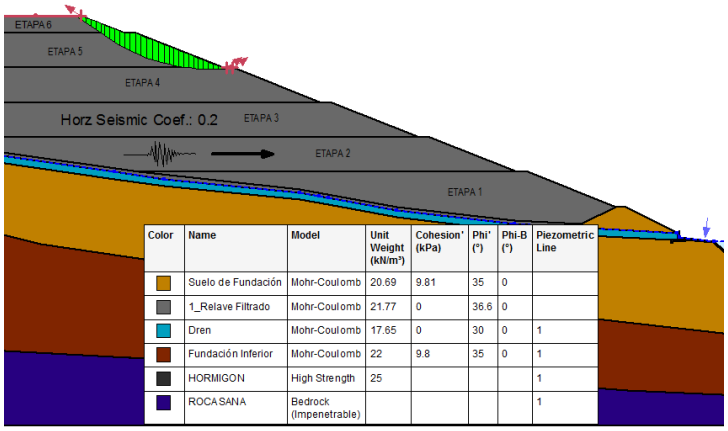
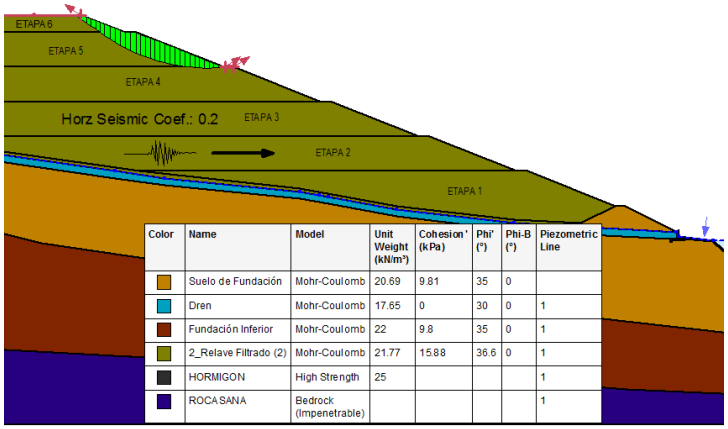
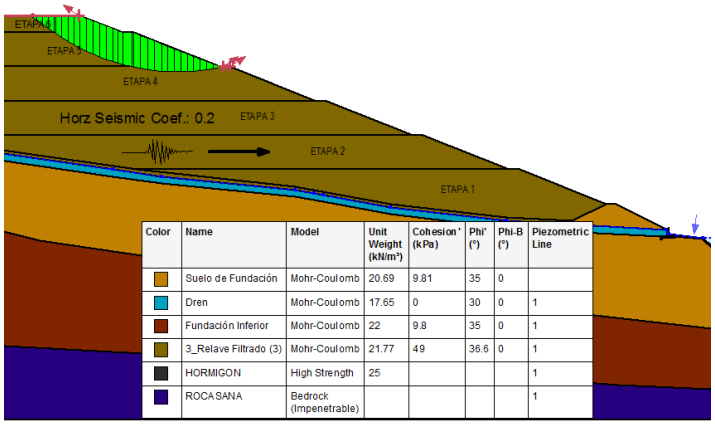
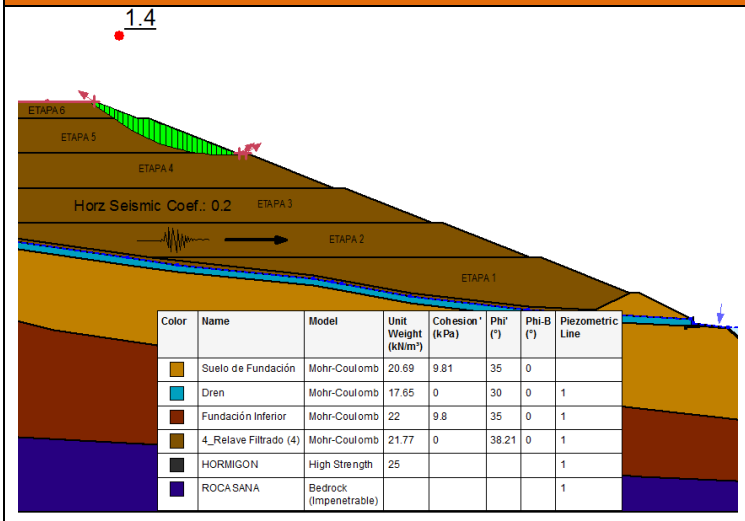
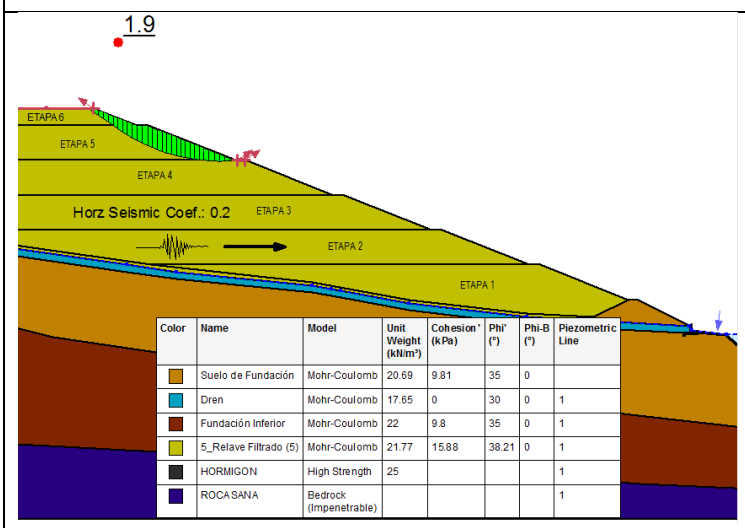
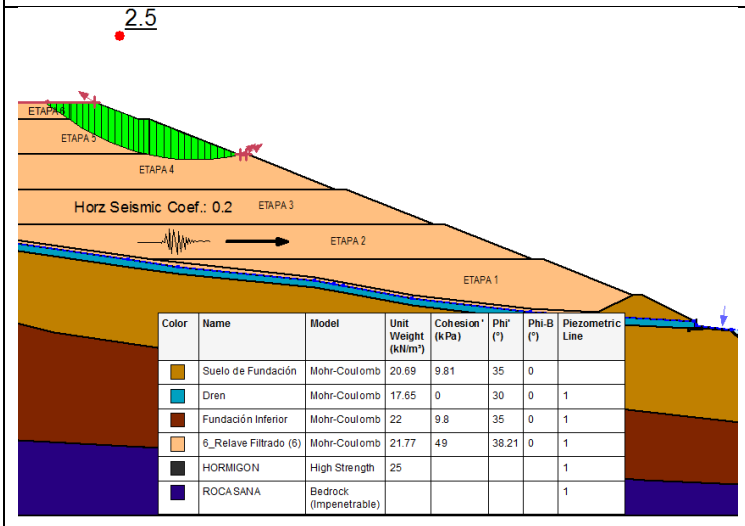
Análisis Condición de Cierre (Local)	ϕ=36.6°
1.4 	**c = 0.00 kg/cm²**
1.8 	**c = 0.162 kg/cm²**
2.4 	**c = 0.5 kg/cm²**

Tabla 9-18: Falla Local – Análisis Pseudo estático – Condición de Cierre - ϕ = 38.21°

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 © 2016 CODELCO-CHILE. Todos los Derechos Reservados

Análisis Condición de Cierre (Local)	ϕ=38.21°
	**c = 0.00 kg/cm²**
	**c = 0.162 kg/cm²**
	**c = 0.5 kg/cm²**

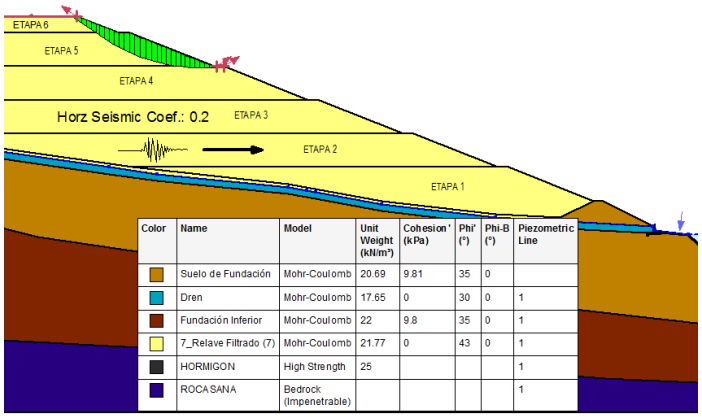
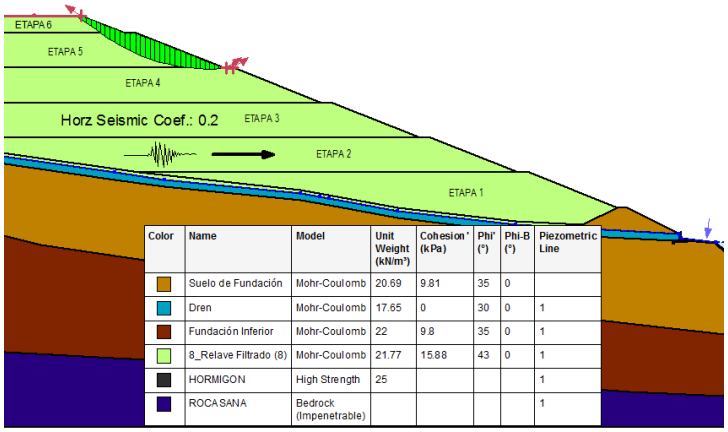
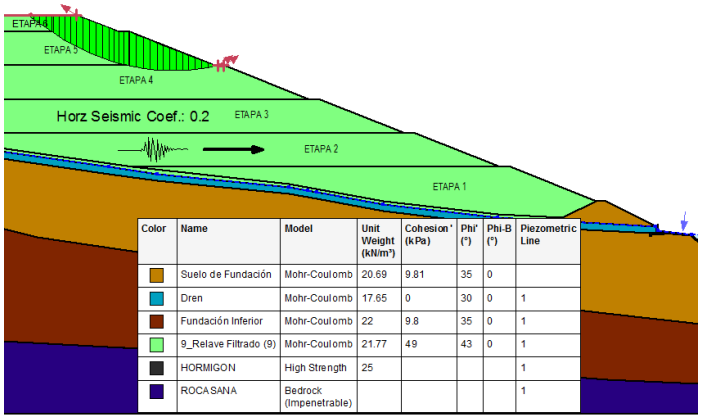
Color	Name	Model	Unit Weight (kN/m³)	Cohesion' (kPa)	Phi' (°)	Phi-B (°)	Piezometric Line
	Suelo de Fundación	Mohr-Coulomb	20.69	9.81	35	0	
	Dren	Mohr-Coulomb	17.65	0	30	0	1
	Fundación Inferior	Mohr-Coulomb	22	9.8	35	0	1
	4_Relave Filtrado (4)	Mohr-Coulomb	21.77	0	38.21	0	1
	HORMIGON	High Strength	25				1
	ROCA SANA	Bedrock (Impenetrable)					1

Color	Name	Model	Unit Weight (kN/m³)	Cohesion' (kPa)	Phi' (°)	Phi-B (°)	Piezometric Line
	Suelo de Fundación	Mohr-Coulomb	20.69	9.81	35	0	
	Dren	Mohr-Coulomb	17.65	0	30	0	1
	Fundación Inferior	Mohr-Coulomb	22	9.8	35	0	1
	5_Relave Filtrado (5)	Mohr-Coulomb	21.77	15.88	38.21	0	1
	HORMIGON	High Strength	25				1
	ROCA SANA	Bedrock (Impenetrable)					1

Color	Name	Model	Unit Weight (kN/m³)	Cohesion' (kPa)	Phi' (°)	Phi-B (°)	Piezometric Line
	Suelo de Fundación	Mohr-Coulomb	20.69	9.81	35	0	
	Dren	Mohr-Coulomb	17.65	0	30	0	1
	Fundación Inferior	Mohr-Coulomb	22	9.8	35	0	1
	6_Relave Filtrado (6)	Mohr-Coulomb	21.77	49	38.21	0	1
	HORMIGON	High Strength	25				1
	ROCA SANA	Bedrock (Impenetrable)					1

Tabla 9-19: Falla Local – Análisis Pseudo estático – Condición de Cierre - ϕ = 43.0°

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 © 2016 CODELCO-CHILE. Todos los Derechos Reservados

Análisis Condición de Cierre (Local)	ϕ=43.0°
1.7 	**c = 0.00 kg/cm²**
2.2 	**c = 0.162 kg/cm²**
2.8 	**c = 0.5 kg/cm²**

Color	Name	Model	Unit Weight (kN/m³)	Cohesion ' (kPa)	Phi' (°)	Phi-B (°)	Piezometric Line
	Suelo de Fundación	Mohr-Coulomb	20.69	9.81	35	0	
	Dren	Mohr-Coulomb	17.65	0	30	0	1
	Fundación Inferior	Mohr-Coulomb	22	9.8	35	0	1
	7_Relave Filtrado (7)	Mohr-Coulomb	21.77	0	43	0	1
	HORMIGON	High Strength	25				1
	ROCA SANA	Bedrock (Impenetrable)					1

Color	Name	Model	Unit Weight (kN/m³)	Cohesion ' (kPa)	Phi' (°)	Phi-B (°)	Piezometric Line
	Suelo de Fundación	Mohr-Coulomb	20.69	9.81	35	0	
	Dren	Mohr-Coulomb	17.65	0	30	0	1
	Fundación Inferior	Mohr-Coulomb	22	9.8	35	0	1
	8_Relave Filtrado (8)	Mohr-Coulomb	21.77	15.88	43	0	1
	HORMIGON	High Strength	25				1
	ROCA SANA	Bedrock (Impenetrable)					1

Color	Name	Model	Unit Weight (kN/m³)	Cohesion ' (kPa)	Phi' (°)	Phi-B (°)	Piezometric Line
	Suelo de Fundación	Mohr-Coulomb	20.69	9.81	35	0	
	Dren	Mohr-Coulomb	17.65	0	30	0	1
	Fundación Inferior	Mohr-Coulomb	22	9.8	35	0	1
	9_Relave Filtrado (9)	Mohr-Coulomb	21.77	49	43	0	1
	HORMIGON	High Strength	25				1
	ROCA SANA	Bedrock (Impenetrable)					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 © 2016 CODELCO-CHILE. Todos los Derechos Reservados