

Señor
Oscar Leal Sandoval
Fiscalizador Regional, Superintendencia del Medio Ambiente (SMA)
XI Región de Aysén.
Presente

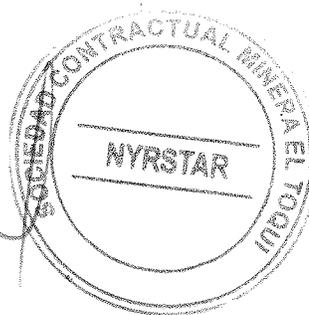
Alto Mañihuales, 03 de octubre de 2016
SMA-07/1016

Ref.: Respuesta a Resolución Exenta N°862, Ordena Medidas Provisionales.

Estimado señor,

En representación de Sociedad Contractual Minera El Toqui, tengo el agrado de saludarle y hacer llegar a usted, Informe con la actualización del Plan de Ingeniería para el Control de Polvo en el Tranque Confluencia, tal como lo detalla el Considerando Primero, inciso 3, de la Resolución Exenta N° 862, del 15 de septiembre de 2016, de la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA).

Sin otro particular, se despide atentamente,

Guillermo Olivares A.
Gerente General
Nyrstar El Toqui

GO/cjc

cc: Gerencia General Nyrstar El Toqui
Superintendencia de Medio Ambiente, Nyrstar El Toqui.

SOCIEDAD CONTRACTUAL
MINERA EL TOQUI
12 de Octubre 737
COYHAIQUE
XI REGION
CHILE

T+56 2 294 7690

info@nyrstar.com
www.nyrstar.com

R.U.T. 78.590.760-4



**PROYECTO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE MEDIDAS DE
CONTROL DE POLVO EN TRANQUE DE RELAVES
CONFLUENCIA**

SEPTIEMBRE 2016

I. INTRODUCCIÓN

En el marco de la Resolución N° 862, del 15 de septiembre de 2016, que Ordena Medidas Provisionales contra Sociedad Contractual Minera El Toqui, en el RESUELVO PRIMERO, Numeral 3, se establece “Presentar una actualización del plan de Ingeniería para el Control de Polvo en el TRC”. En el presente informe de actualización, se entregarán los antecedentes que están considerados para el cierre del Tranque de Relaves Confluencia indicando las etapas, hitos principales, medidas de control y costos asociados para cumplir con las medidas propuestas y con el plan de cierre del Tranque.

A continuación se desarrollará una descripción de las actividades a nivel de ingeniería conceptual tendientes a controlar el polvo desde el tranque que están directamente relacionadas con las actividades descritas en el plan de cierre del tranque Confluencia.

II. MEDIDAS DE CIERRE

Una de las principales medidas de cierre tendientes a eliminar el problema del polvo en suspensión, provocado principalmente por efecto del viento, es la impermeabilización de la cubeta del tranque de relaves. La problemática anteriormente descrita, se produce generalmente entre los meses de septiembre a marzo, cuando la humectación natural de la cubeta por efecto de las precipitaciones se va perdiendo paulatinamente por efecto de la radiación y el viento, exponiendo zonas de la cubeta libres de humedad, condición propicia para que el viento genere polvo de relaves en suspensión, que se desplaza fuera de área del tranque, en dirección noreste (dirección del viento predominante). Cabe señalar, que previo a la impermeabilización se deben sellar las torres que evacúan las aguas de precipitación que se acumulan en la superficie de la cubeta.

Una segunda medida, relacionada solo a mitigar la generación de polvo fugitivo de relaves, es la humectación forzada a de la cubeta del tranque, a través de un sistema de riego que proporcione humedad en las zonas de la cubeta carentes de ésta.

Cabe señalar que existen otras obras de cierre asociadas al tranque Confluencia, pero las que están directamente relacionadas con el control de polvo son las que a continuación se detallan.

A continuación se abordarán cada uno de los puntos establecidos en el Considerando Primero, punto 3.

(i) Descripción de las etapas y acciones requeridas para la impermeabilización del TRC.

a) Perfilamiento de la Cubeta del Tranque

Uno de los factores importantes en el plan de cierre de la obra es el perfilamiento de la cubeta para evitar la acumulación de aguas de escorrentía superficial y/o de precipitaciones directas sobre el depósito de relaves. De acuerdo a lo anterior, antes de iniciar la obra de impermeabilización, es necesario perfilar la cubeta en base al diseño de cierre que establece que la cubeta del tranque debe tener una conformación con pendiente hacia el estribo izquierdo

o sur del tranque, punto de ubicación del vertedero de evacuación. La nivelación de la cubeta se podrá realizar sin la necesidad de utilizar material adicional (ver punto 10.2 del anexo N°2).

El perfilamiento se deberá realizar con maquinarias y equipos sobre la cubeta. Estas actividades generarán dificultades adicionales, tales como acceso sobre el relave blando (riesgo de empantanamiento de equipos), manejo de relave saturado y generación de polvo al transitar maquinaria sobre relaves secos.

b) Impermeabilización de la Cubeta del Tranque

La capa de protección del Tranque de relaves estará constituida un material sintético como la Geomembrana Bituminosa tipo Coletanche o una geomembrana tipo HDPE cuya instalación es más riesgosa y complicada.

Cualquiera sea el material sintético a utilizar para impermeabilización, uno de los principales objetivos que cumplirá dicha obra será controlar definitivamente el problema de polvo en suspensión originado desde la cubeta del tranque, dando solución definitiva a una problemática ambiental propia de los tranques de relaves. Un segundo e importante objetivo a solucionar con la impermeabilización es que dejará de ingresar aguas de precipitación directa hacia el sistema tranque, es decir, se eliminará significativamente el aporte de aguas de contacto que infiltran desde la cubeta hacia la base del tranque y desde ahí hacia el subsuelo y napas existentes.

En mayo de 2015, se solicitó a AMEC FW que desarrollara un Estudio de Consolidación, que permite cuantificar el asentamiento de los relaves de la cubeta del tranque en condiciones de impermeabilización. De esta manera es posible calcular los metros cuadrados necesarios de material impermeabilizante para instalar en la superficie del tranque. En el anexo N°2, se presenta el estudio de consolidación (Ingeniería Básica para la Impermeabilización de la Cubeta del Tranque Confluencia).

Sin embargo, el inicio de las obras de perfilamiento y posterior impermeabilización están supeditadas a las condiciones climáticas que limitan el acceso a la cubeta, principalmente resguardando la seguridad de los trabajadores, operadores y equipos, debido a que los relaves existentes aún se encuentran en una condición de licuefacción producto de la humectación

natural por precipitación directa sobre ellos. Esta condición hace imposible transitar sobre los relaves y menos aún disponer maquinarias sobre éstos.

(ii) El tipo de material considerado para impermeabilizar el TRC, por ejemplo: geomembrana, material estéril, suelo inorgánico, cobertura vegetal, etc.

Tal como se mencionó en el punto anterior, la capa de protección o material de impermeabilización considerada para el Tranque de relaves estará constituida por un material sintético tipo Geomembrana Bituminosa o una geomembrana tipo HDPE.

(iii) Compatibilidad de la impermeabilización del TRC con el plan de cierre del TRC.

En el Plan de Cierre del Tranque Confluencia presentado al SERNAGEOMIN en el año 2007 y aprobado mediante Resolución N° 114 del 6 de febrero de 2008, establece en su punto 5.1 lo siguiente: “La capa de cubierta o cubierta de abandono comprende las obras de perfilado de relave, depositado mayoritariamente en forma de lamas, más las obras de cubierta propiamente tal, a base de materiales de empréstito y/o de tipo geocompósito”.

En efecto, la Geomembrana de tipo Bituminosa o el HDPE, corresponden a materiales de tipo geocompósito, que es el material seleccionado por SCMET para la impermeabilización del Tranque Confluencia. Ello debido a que por sus características permite un cierre más adecuado desde el punto de vista ambiental.

Sin embargo, debe señalarse que existe una diferencia entre lo aprobado por SERNAGEOMIN y lo establecido en la RCA N° 0331 del 5 de mayo de 2004, que aprueba el proyecto “Crecimiento del Tranque de Relaves Confluencia”. En esta RCA queda establecido en el numeral 1.9, lo siguiente: “Descripción de las partes, obras y/o acciones sección Etapa de Cierre y/o Abandono; la cobertura de la cubeta del tranque de relaves considera una capa de material de estéril de mina triturado de 45 cm de espesor, una capa de arcilla de 60 cm de espesor, una capa de arena de 30 cm de espesor y una capa de suelo vegetal de 15 cm espesor”. Es decir, la solución aprobada varios años antes por la autoridad ambiental no consideró materiales de tipo geocompósito, que evidentemente implican una mejora en la solución de cierre.

En síntesis, las medidas de cobertura establecidas en el año 2004, son claramente medidas menos efectivas que las descritas en el Plan de Cierre del año 2007 y que fueron aprobadas por la autoridad sectorial el año 2008.

De acuerdo al estado del arte, la medida de cierre que considera como cobertura el material triturado, más arcilla y arena, no es una medida efectiva como lo sería la impermeabilización mediante un material impermeable tipo geocompósito. Esta última es claramente una mejora tecnológica debido al aumento del grado de impermeabilización que otorga la geomembrana bituminosa por sobre un capa de arcilla y mineral triturado, mejorando los estándares ambientales y de seguridad en la fase de cierre del tranque.

En relación a lo anterior, debe indicarse que este cambio tecnológico fue sometido por SCMET a una consulta de pertinencia ante la dirección regional del Servicio de Evaluación Ambiental (SEA) con fecha 7 de junio de 2016 (“Crecimiento Tranque de Relaves Confluencia”). Sin embargo, dicho proceso fue suspendido por el SEA Regional, mediante Resolución Exenta N° 118 del 21 de junio de 2016, por encontrarse el proyecto bajo proceso sancionatorio descrito en Resolución Exenta N°5/Rol F-057-2015 del 12 de mayo de 2015, de la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA).

En este sentido, de ser factible, solicitamos a la Superintendencia que pueda oficiar al Servicio de Evaluación Ambiental, a fin de que proceda a dar curso a la pertinencia, puesto que la misma no afecta al proceso sancionatorio en curso y es necesaria para llevar a cabo las acciones de cierre requeridas por la autoridad.

(iv) Cómo se evitará acumulación de aguas lluvias en la superficie de la cubeta, una vez implementada la cobertura.

a) Vertedero de Evacuación

Para la evacuación de las aguas de escurrimiento superficial del Tranque de Relaves se contempla un vertedero de evacuación o seguridad ubicado en el estribo izquierdo del Tranque, el que será excavado en el contacto del terreno natural con el Muro de confinamiento. Las aguas

captadas por el vertedero serán descargadas de forma controlada fuera del área de la cubeta, por un canal de evacuación.

Esta obra tendrá dos etapas constructivas la primera tendrá por finalidad evacuar las aguas y llevarlas hasta la canaleta colectora existente en el borde del Muro de Pie del tranque, de manera de conducir las aguas hasta las piscinas de sedimentación existentes o piscinas 1, 2 y 3 del Tranque (figura N°1), desde donde se recirculan las aguas hacia la Planta de Procesos. Esta condición será considerada de esta manera hasta que el tranque deje de soltar aguas de relaves y el flujo pueda ser considerado como aguas no contactadas.

Figura N°1. Instalaciones de evacuación de aguas superficiales.



En la segunda etapa constructiva se considera evacuar las aguas hasta el Estero Porvenir de acuerdo al trazado mostrado en el Plano PL-13-06-021-1004 adjunto en el Anexo N° 1. En su trayecto el canal de conducción cruzara el camino público existente en la zona, por lo que se contempla el cruce mediante un badén de baja pendiente revestido en Mampostería en piedra. Cabe señalar que estas obras pueden en base a requerimientos de diseño ser modificadas, sin embargo, conceptualmente son las que se prevén como definitivas. En la figura N°2 se presenta el esquema del punto del vertedero de evacuación y canal de descarga o evacuación, que se puede apreciar con mayor detalle en el anexo N°1.

Figura N°2. Punto del vertedero y canal de evacuación.



Posterior a lo antes señalado, se consideran las siguientes fases.

b) Sellado de Torres de Evacuación y Tubería de Fondo

Las torres de evacuación son instalaciones que se encuentran en el interior de la cubeta del tranque y que se conectan con la tubería de fondo. Estas torres permiten evacuar las aguas que se acumulan por efecto de las precipitaciones y de la exudación del agua contenida en los relaves cuando el tranque se encontraba en operación, desde la superficie de la cubeta hasta la Tubería de Fondo. Actualmente las torres que se encuentran operativas son la Torre 4 y la Torre Auxiliar (cercana al estribo izquierdo). La tubería de fondo es un tubo de hormigón que se encuentra en la base del tranque y su función es captar las aguas de las torres y conducir las hacia el exterior.

Una vez selladas todas las Torres y deje de operar la Torre auxiliar se deberá efectuar el sellado de la tubería de fondo, lo cual se efectuará en base a un tapón de hormigón y piedras de manera de generar una pared resistente de al menos de 1m de largo al interior de la tubería de hormigón.

c) Cierre de Piscinas

El cierre de las piscinas de sedimentación está programado para el final del Plan de Cierre, y será efectuado una vez que el agua que llegue hasta ellas no presente contaminantes por sobre los límites establecidos en las normas de emisión vigentes.

Para ello se efectuará un monitoreo periódico de la calidad de las aguas una vez efectuado el abandono de la obra.

(v) Costos de implementación de la impermeabilización de la cubeta.

Los costos de las actividades de cierre presentadas anteriormente y que se presentarán a continuación, son estimaciones aproximadas de los valores de ejecución de las obras. La mayoría de los valores presentados se encuentran con cotizaciones a proveedores ya realizadas (Ítems I y II), otras aún no son requeridas y por lo tanto se estimarán.

Tabla N°1. Estimación de costos de actividades de cierre.

ITEM	ACTIVIDAD	COSTO CL Pesos	COSTO U\$ Dólar
I	Perfilamiento de la Cubeta del Tranque	CL Pesos	U\$ Dólar
1.1	<i>Movimiento de terreno y perfilado</i>	\$ 75.000.000	USD 120.968
II	Impermeabilización de la Cubeta del Tranque	CL Pesos	U\$ Dólar
2.1	<i>Costo Geomembrana Impermeable</i>	\$ 622.600.000	USD 1.004.194
2.2	<i>Instalación</i>	\$ 132.880.000	USD 214.323
2.3	<i>Transporte Geomembrana</i>	\$ 16.500.000	USD 26.613
2.4	<i>Gastos generales y utilidades</i>	\$ 33.492.800	USD 54.021
III	Vertedero y Canal de Evacuación	CL Pesos	U\$ Dólar
3.1	<i>Construcción Vertedero</i>	\$ 3.200.000	USD 5.161
3.2	<i>Construcción Canal de Evacuación</i>	\$ 62.000.000	USD 100.000
IV	Sellado de Torres de Evacuación y Tubería de Fondo	CL Pesos	U\$ Dólar
4.1	<i>Sellado de torres de evacuación</i>	\$ 2.400.000	USD 3.871
4.2	<i>Sellado tubería de fondo</i>	\$ 5.200.000	USD 8.387
V	Cierre de Piscinas	CL Pesos	U\$ Dólar
5.1	<i>Desmantelamiento y cierre piscinas 1,2 y 3</i>	\$ 9.600.000	USD 15.484
5.2	<i>Desmantelamiento y cierre piscina Roja</i>	\$ 3.200.000	USD 5.161
5.3	<i>Desmantelamiento de instalaciones</i>	\$ 7.540.000	USD 12.161
	TOTAL:	\$ 953.272.800	USD 1.537.537

- (vi) Cronograma de implementación del plan de ingeniería para el control de polvo en el TRC, con indicación precisa de la fecha en que se podría dar inicio a las obras y fecha de término.**

Sociedad Contractual Minera El Toqui, comprometió la impermeabilización de la cubeta con material tipo geomembrana, tanto a las autoridades de Gobierno como a nuestras comunidades vecinas, entendiendo que esta medida es la que satisface completamente los requerimientos de control definitivo de polvo en suspensión.

Sin perjuicio de ello, a fin de poder hacer entrega de un cronograma, se requiere en primer término que el Servicio de Evaluación Ambiental resuelva la consulta de pertinencia presentada con fecha 7 de junio de 2016.

Una vez definido se puede presentar un cronograma de las obras, sin perjuicio de lo cual, el plazo estimado para completar las obras es de aproximadamente 12 meses desde su inicio

La siguiente Carta Gantt entrega los tiempos de ejecución de las obras de cierre señaladas.

Carta Gantt. Ejecución de las obras de cierre del Tranque de Relaves Confluencia.

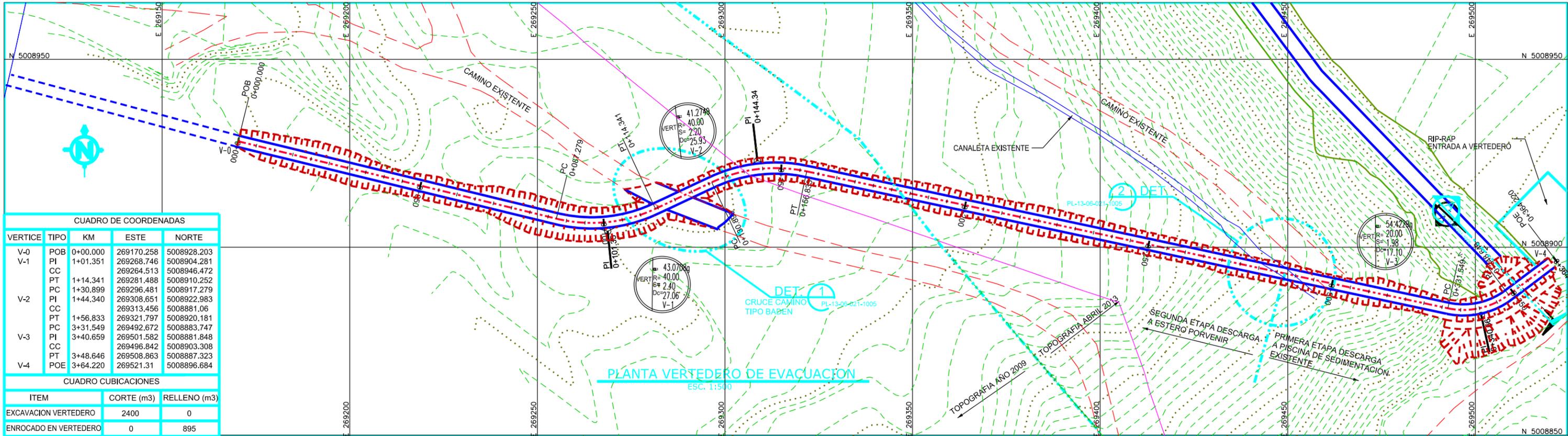
ITEM	ACTIVIDAD	Tiempo (días)	Mes																																																																																																																																															
			1												2												3												4												5												6												7												8												9												10												11												12											
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12																																				
I	Perfilamiento de la Cubeta del Tranque	45																																																																																																																																																
1.1	Movimiento de terreno y perfilado	45																																																																																																																																																
II	Impermeabilización de la Cubeta del Tranque	144																																																																																																																																																
2.1	Compra y transporte Geomembrana Impermeable	45																																																																																																																																																
2.2	Traslado Geomembrana al sitio	2																																																																																																																																																
2.3	Instalación	90																																																																																																																																																
2.4	Pruebas de calidad	7																																																																																																																																																
III	Vertedero y Canal de Evacuación	110																																																																																																																																																
3.1	Construcción Vertedero	35																																																																																																																																																
3.2	Construcción Canal de Evacuación	75																																																																																																																																																
IV	Sellado Torres de Evacuación y Tubería de Fondo	21																																																																																																																																																
4.1	Sellado de torres de evacuación	14																																																																																																																																																
4.2	Sellado tubería de fondo	7																																																																																																																																																
V	Cierre de Piscinas	60																																																																																																																																																
5.1	Desmantelamiento y cierre piscinas 1,2 y 3	25																																																																																																																																																
5.2	Desmantelamiento y cierre piscina Roja	7																																																																																																																																																
5.3	Desmantelamiento de instalaciones	10																																																																																																																																																
5.4	Perfilamiento del terreno	18																																																																																																																																																

Cabe señalar, que si bien los tiempos de ejecución de las obras detalladas en la Carta Gantt, están establecidos de forma continua, es decir, sin periodos de tiempo vacíos, la realidad de la ejecución de algunas obras y sus tiempos está fuertemente condicionada con la variable climática, lo que puede finalmente prolongar los plazos propuestos de construcción de las actividades presentadas y el inicio de las obras de perfilamiento y posterior impermeabilización están supeditadas a las condiciones existentes en la cubeta, principalmente, por la condición de licuefacción de los relaves producto de la humectación por precipitación directa sobre ellos, tornando riesgosa cualquier tipo de operación que se realice sobre la superficie del tranque.

III. PLAN DE HUMECTACIÓN

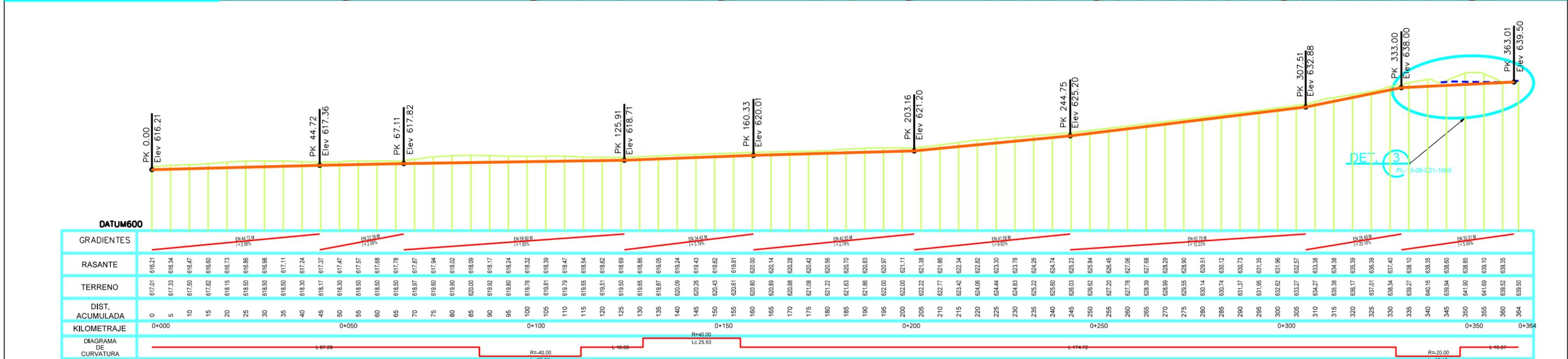
Si bien la humectación de la cubeta no es una obra de cierre, ésta es una actividad que es parte de las medidas a tomar para el control de polvo generado en la superficie de la cubeta del tranque por acción del viento antes del cierre definitivo de la obra. Para tales efectos, se considera la instalación de aspersores que ayuden a humectar la superficie del tranque, además del riego de la cubeta con una solución compuesta por agua y floculante, medida que dio muy buenos resultados durante el Plan de Humectación del periodo 2015-2016.

ANEXO N°1. PLANO PL-13-06-021-1004



CUADRO DE COORDENADAS				
VERTICE	TIPO	KM	ESTE	NORTE
V-0	POB	0+00.000	269170.258	5008928.203
V-1	PI	1+01.351	269268.746	5008904.281
	CC		269264.513	5008946.472
	PT	1+14.341	269281.488	5008910.252
	PC	1+30.899	269296.481	5008917.279
V-2	PI	1+44.340	269308.651	5008922.983
	CC		269313.456	5008881.06
	PT	1+56.833	269321.797	5008920.181
	PC	3+31.549	269492.672	5008883.747
V-3	PI	3+40.659	269501.582	5008881.848
	CC		269496.842	5008903.308
	PT	3+48.646	269508.863	5008887.323
V-4	POE	3+64.220	269521.31	5008896.684

CUADRO CUBICACIONES		
ITEM	CORTE (m3)	RELLENO (m3)
EXCAVACION VERTEDERO	2400	0
ENROCADO EN VERTEDERO	0	895



ANEXO N°2. INGENIERÍA BÁSICA PARA LA IMPERMEABILIZACIÓN DE LA CUBETA DEL DEPÓSITO CONFLUENCIA EN EL CIERRE (ESTUDIO DE CONSOLIDACIÓN)



MINERA NYRSTAR
PROYECTO N° E40136 – EL TOQUI
INGENIERÍA BÁSICA PARA LA IMPERMEABILIZACIÓN DE LA
CUBETA DEL DEPÓSITO CONFLUENCIA EN EL CIERRE

INFORME FINAL
DEPÓSITO DE RELAVES CONFLUENCIA
N° E40136-1000-160-TR-0001

Preparado por

AMEC FOSTER WHEELER

Aprobado por

Jefe de Proyecto	Javier Martin	(JM)
Consultor Sénior	Sergio Barrera	(SB)
Gerente Área Geotecnia	Pablo Galdeano	(PG)
Cliente	Christian Jara	(CJ)

Rev.	Fecha	Detalles o Propósito de la Revisión	Preparado	Revisado	Aprobado
A	20/07/15	Coordinación Interna	ML	SB	JM
B	29/07/15	Revisión Cliente	ML	SB	JM
0	20/08/15	Para uso	ML	SB	JM/PG

Comentarios:

1.0	INTRODUCCION.....	3
2.0	ALCANCE	4
3.0	LIMITE DE BATERÍA	4
4.0	EXCLUSIONES	4
5.0	ANTECEDENTES/REFERENCIAS	5
6.0	ELECCIÓN DE LA COBERTURA	6
6.1	Geomembrana bituminosa	6
6.2	Geomembrana HDPE	6
7.0	CRITERIOS Y PARÁMETROS DE DISEÑO	6
8.0	METODOLOGÍA	7
8.1	Cálculo de asentamientos en el relave	7
8.2	Gráfica presión-relación de vacíos.....	8
8.3	Estimación de la sobrecarga	8
9.0	RESULTADOS	9
9.1	Cálculos	9
9.2	Valor de diseño	10
10.0	DISEÑO.....	10
10.1	Plan de nivelación	10
10.2	Volumen relleno y corte	11
10.3	Superficie Geomembrana	12
10.4	Superficie Geotextil.....	12
10.5	Top soil.....	12

1.0 INTRODUCCION

Nyrstar El Toqui, a través de su superintendente de Medio Ambiente el Sr. Christian Jara solicitó a AMEC FOSTER WHEELER (en adelante AMEC FW) la realización del estudio de ingeniería básica para la instalación de la impermeabilización en la cubeta del Depósito Confluencia como parte de sus obras de cierre. Adicionalmente se solicitó evaluar la variación de la superficie de la geomembrana ante un asentamiento por la consolidación del relave y el suelo de fundación. El depósito Confluencia se encuentra actualmente en etapa de cierre.

El estudio de la cobertura del depósito como parte de las obras de cierre tiene una importancia fundamental para cumplir los requerimientos de la autoridad en cuanto a evitar la contaminación de aguas naturales por infiltración en la cubeta de relaves. Además se busca controlar la posibilidad de remoción de relaves por efecto del viento o lluvias intensas.

2.0 ALCANCE

3.0 LIMITE DE BATERÍA

El límite de batería para este estudio es la cubeta de relaves del depósito Confluencia.

4.0 EXCLUSIONES

El presente estudio no incluye el diseño y/o elaboración de los siguientes aspectos:

- Cobertura de la geomembrana con suelo vegetal y tratamiento para vegetación o fitoestabilización.
- Estudio de selección de geomembranas
- Sistema de tratamientos o cobertura de los taludes del depósito
- Obras complementarias (vertederos, canales, refuerzos, etc.)
- Estudios básicos (geotécnicos, empréstitos, hidrológicos, hidrogeológicos, etc.)
- Estudios de estabilidad física, filtraciones, geoquímicos, erosión, etc.
- Estimación de costos.

5.0 ANTECEDENTES/REFERENCIAS

1. Documento “Informe de Ingeniería Básica Proyecto Obras de Cierre y Abandono tranque de Relaves Confluencia Sociedad Contractual Minera El Toqui”. E.C.Rowe-Cusonda Ltda. Agosto 2007.
2. Documento N°13-06-021”Informe de Diseño” Proyecto de Actualización Plan de Cierre Tranque Confluencia RVC SCMET. Junio 2014.
3. Documento E40105-1000-160-TR-0008 “Informe Técnico Caracterización Geotécnica de Relaves Depósito Doña Rosa”. AMEC Foster Wheeler, Enero 2015
4. Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, Braja M.Das.

6.0 ELECCIÓN DE LA COBERTURA

El material con que se cubrirá el depósito debe ser definido por NYRSTAR, siendo alternativas para ello las geomembranas bituminosas o de HDPE.

6.1 Geomembrana bituminosa

Este tipo de geomembrana permite su colocación directamente sobre el relave. La altura del material de relleno (top soil) sobre la geomembrana bituminosa se recomienda de un espesor de alrededor de 40 cm. Este espesor deberá ser verificado de acuerdo a las características granulométricas del suelo.

6.2 Geomembrana HDPE

Este tipo de geomembrana debe tener un espesor mínimo de 1,5 mm y debe ser colocado sobre una capa de geotextil para su protección. Por encima de la geomembrana de HDPE también debe colocarse otra capa de geotextil, quedando en una configuración de tres capas: geotextil-geomembrana-geotextil. El geotextil debe ser de por lo menos 400 gr/m². La altura del material de relleno (top soil) sobre la geomembrana HDPE se recomienda de por lo menos 60 cm. Este espesor deberá ser verificado de acuerdo a las características granulométricas del suelo.

7.0 CRITERIOS Y PARÁMETROS DE DISEÑO

Se considera que no hay más depositación de relaves en la cubeta, por lo que la topografía actual es la considerada para el cálculo de asentamientos. A continuación se presenta un resumen de los criterios y parámetros básicos utilizados.

Tabla 1: Criterios de Diseño

Descripción	Unidad	Valor	Fuente	Observaciones
Generales				
Gravedad Específica de los relaves (Gs)	-	3,12	Ref.3	
Densidad seca de depositación de los relaves	t/m ³	1,52	Ref.1	
Presión de consolidación	t/m ³	8,5	Ref.3	
Geomembrana	mm	1.5- 2.2	NYRSTAR	
Pendiente diseño geomembrana	%	1	AMEC	Experiencia consultor

8.0 METODOLOGÍA

8.1 Cálculo de asentamientos en el relave

Los asentamientos en el relave se calcularán usando la teoría de Terzaghi aplicada con valores obtenidos de estudios anteriores y ensayos hechos por AMEC Foster Wheeler a relaves del Depósito Doña Rosa.

Para el cálculo, se generó una malla del área de la cubeta cada 10 m. El asentamiento en cada punto de la malla se calculó considerando la profundidad de relave en ese punto, la cual se discretizó en capas de 1 m de espesor. Con ello, el asentamiento total viene dado por:

$$S = \sum_{k=0}^n \left[\frac{C_c H_i}{1 + e_0} l_c \left(\frac{\sigma_{v(i)} + \Delta\sigma_{(i)}}{\sigma_{v(i)}} \right) \right]$$

Donde:

S: Asentamiento total

C_c: Índice de compresión

H_i: espesor del sub-estrato *i*

e₀: relación de vacíos inicial en el volumen *V₀*

σ_{v(i)}: presión de sobrecarga efectiva promedio inicial para el sub-estrato *i*

Δσ_{v(i)}: incremento de la presión vertical para el sub-estrato *i*

Si el material está preconsolidado, el asentamiento se calculará:

Para el caso $\sigma_v + \Delta\sigma \leq \sigma_c$

$$S = \left[\frac{C_s H}{1 + e_0} l_c \left(\frac{\sigma_v + \Delta\sigma}{\sigma_c} \right) \right]$$

Para el caso $\sigma_v + \Delta\sigma > \sigma_c$

$$S = \left[\frac{C_s H}{1 + e_0} \ln \left(\frac{\sigma_c}{\sigma_v} \right) + \frac{C_c H}{1 + e_0} \ln \left(\frac{\sigma_v + \Delta\sigma}{\sigma_c} \right) \right]$$

Donde:

σ_c : Presión de consolidación

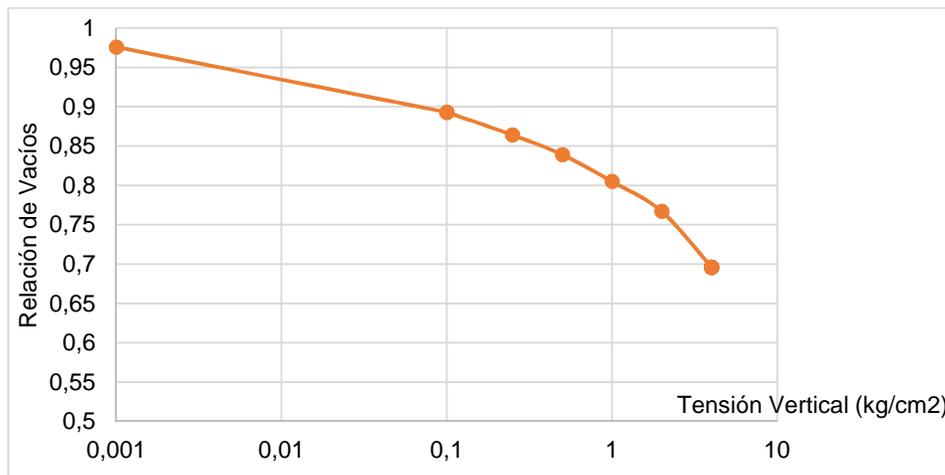
C_s : Índice de expansión

8.2 Gráfica presión-relación de vacíos

La gráfica de presión-relación de vacíos se obtuvo del informe N° E40105-1000-160-TR-0008 (Ref. 3) Caracterización Geotécnica de Relaves Depósito Doña Rosa de AMEC FW, bajo el supuesto de que los relaves del Depósito Confluencia tendrán comportamiento similar a los depositados en Doña Rosa.

La gráfica es la que se muestra en el Gráfico 1

Gráfico 1. Curva presión efectiva-relación de vacíos



8.3 Estimación de la sobrecarga

Se consideró como sobrecarga un material de relleno de densidad 2 ton/m³ con espesor de 1 metro. Para el caso en estudio el relleno necesario es menor, por lo que el espesor de 1 metro es un valor conservador.

9.0 RESULTADOS

9.1 Cálculos

Los resultados para los asentamientos en el relave se presentan en la Tabla 2 . Se calcularon para espesores de relave entre 0 y 25 m de profundidad.

Tabla 2. Asentamientos por consolidación calculados para el relave a distintas profundidades

Profundidad (m)	P efectiva (kg/cm ²)	e	Δp (kg/cm ²)	P+ Δp (kg/cm ²)	Cc	Asentamiento i (m)	Asentamiento total i (m)
0,5	0,049	0,9059	0,2	0,249	0,236	0,044	0,044
1,5	0,146	0,8784	0,2	0,346	0,236	0,047	0,091
2,5	0,244	0,8589	0,2	0,444	0,236	0,033	0,124
3,5	0,342	0,8461	0,2	0,542	0,236	0,026	0,150
4,5	0,439	0,8364	0,2	0,639	0,236	0,021	0,171
5,5	0,537	0,8288	0,2	0,737	0,236	0,018	0,189
6,5	0,634	0,8224	0,2	0,834	0,236	0,015	0,204
7,5	0,732	0,8169	0,2	0,932	0,236	0,014	0,218
8,5	0,830	0,8121	0,2	1,030	0,236	0,012	0,230
9,5	0,927	0,8079	0,2	1,127	0,236	0,011	0,241
10,5	1,025	0,8037	0,2	1,225	0,236	0,010	0,251
11,5	1,122	0,7986	0,2	1,322	0,236	0,009	0,261
12,5	1,220	0,7941	0,2	1,420	0,236	0,009	0,269
13,5	1,318	0,7898	0,2	1,518	0,236	0,008	0,277
14,5	1,415	0,7859	0,2	1,615	0,236	0,008	0,285
15,5	1,513	0,7822	0,2	1,713	0,236	0,007	0,292
16,5	1,610	0,7788	0,2	1,810	0,236	0,007	0,299
17,5	1,708	0,7756	0,2	1,908	0,236	0,006	0,305
18,5	1,806	0,7725	0,2	2,006	0,236	0,006	0,311
19,5	1,903	0,7696	0,2	2,103	0,236	0,006	0,317
20,5	2,001	0,7673	0,2	2,201	0,236	0,006	0,322
21,5	2,098	0,7624	0,2	2,298	0,236	0,005	0,328
22,5	2,196	0,7578	0,2	2,396	0,236	0,005	0,333
23,5	2,294	0,7533	0,2	2,494	0,236	0,005	0,338
24,5	2,391	0,7491	0,2	2,591	0,236	0,005	0,342

9.2 Valor de diseño

De acuerdo a los cálculos, la deformación máxima alcanzada en el estrato de mayor profundidad es de 34 centímetros. Por experiencia del consultor, se escoge como valor de diseño la deformación calculada incrementada por un factor de seguridad.

$$FS = 2$$

$$S_i = FS * \delta_i$$

Donde:

FS: factor de seguridad

S_i : Asentamiento de diseño para estrato *i*

δ_i : Asentamiento calculado para estrato *i*

10.0 DISEÑO

10.1 Plan de nivelación

Se generó una grilla para representar la superficie de la cubeta del Depósito Confluencia, usando una separación de 10 metros por 10 metros. Esto generó un total cercano a 1800 puntos.

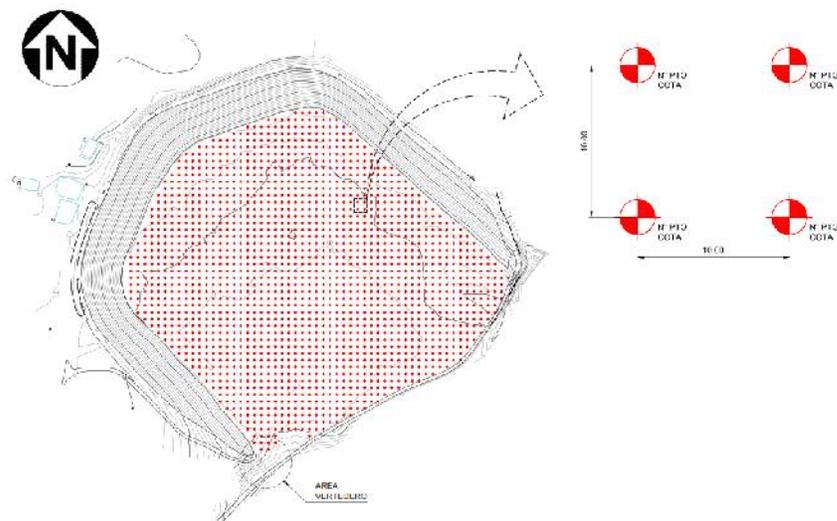


Figura 1. Grilla utilizada para discretizar la cubeta del depósito de relaves

Los asentamientos de diseño presentados en la sección 8.5, se aplicaron a la grilla para así obtener la posición final asentada del relave. El plan de nivelación se deduce al aplicar un relleno de altura igual a su asentamiento en cada punto, para así lograr que la cubeta se deforme de acuerdo a la pendiente de escurrimiento de diseño.

10.2 Volumen relleno y corte

Los volúmenes de corte y relleno se presentan en la Tabla 3 y Tabla 4. De acuerdo a esto, el neto sobrante son 1000 m³, siendo posible la nivelación de la cubeta sin la necesidad de utilizar material adicional.

Tabla 3. Cuadro de cubicaciones caso geomembrana bituminosa

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD
1	Remanejo de relaves		
1.1	Excavación de relaves	m ³	40.000
1.2	Relleno relaves	m ³	39.000
2	Cobertura de relaves		
2.1	Excavación zanja de anclaje	m ³	400
2.2	Relleno zanja de anclaje	m ³	400
2.3	Geomembrana bituminosa	m ²	180.000
2.4	Top soil (e = 0,4 m)	m ³	71.200

Tabla 4. Cuadro de cubicaciones caso geomembrana HDPE

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD
1	Remanejo de relaves		
1.1	Excavación de relaves	m ³	40.000
1.2	Relleno relaves	m ³	39.000
2	Cobertura de relaves		
2.1	Excavación zanja de anclaje	m ³	400
2.2	Relleno zanja de anclaje	m ³	400
2.3	Geomembrana HDPE	m ²	180.000
2.4	Geotextil	m ²	360.000
2.4	Top soil (e = 0,6 cm)	m ³	107.000

10.3 Superficie Geomembrana

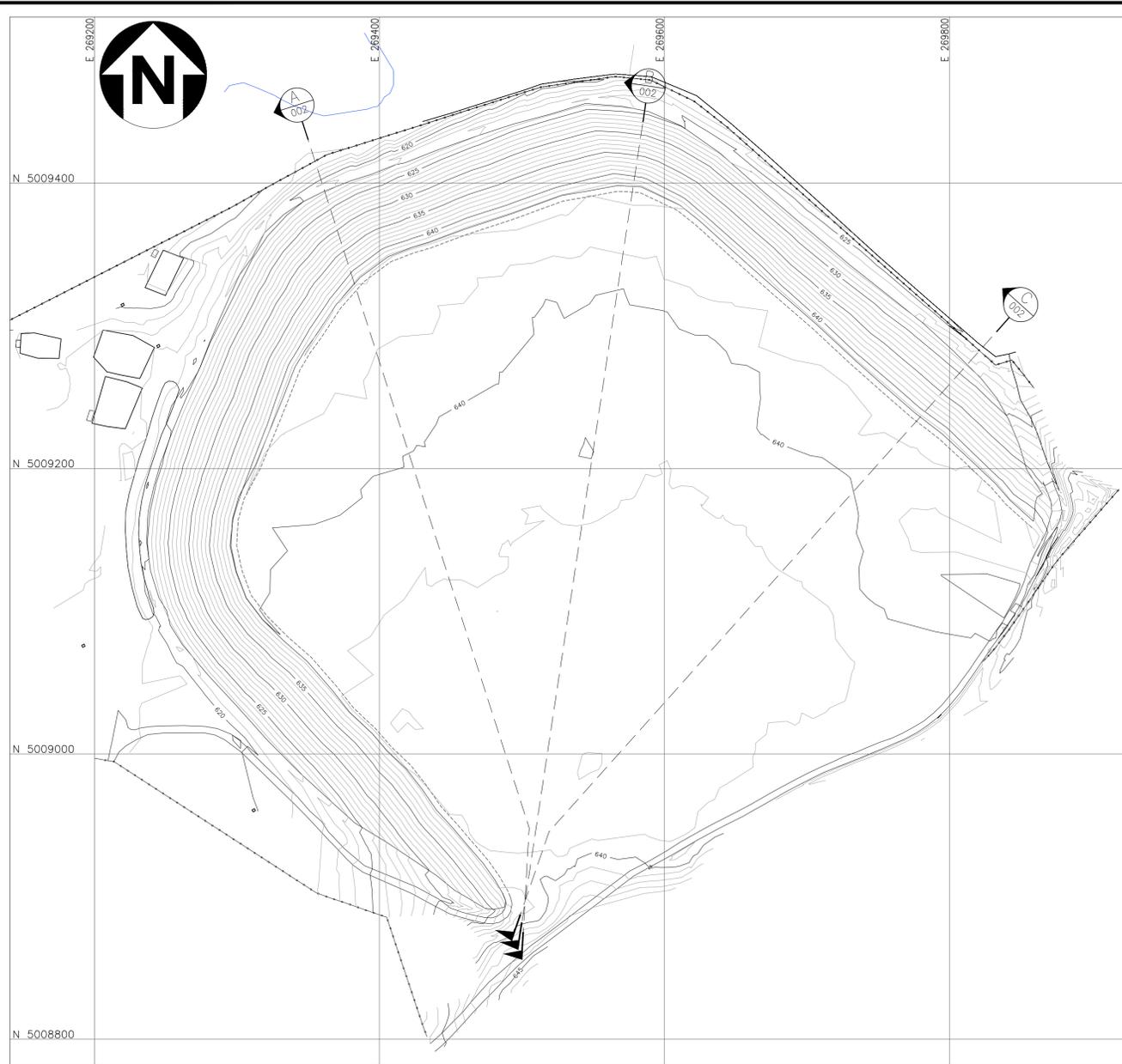
La superficie estimada de geomembrana es de 180.000 m², a la que se recomienda aumentar en un 5% por efecto de despuntes y colocación en terreno, lo que resulta en un total de 189.000 m².

10.4 Superficie Geotextil

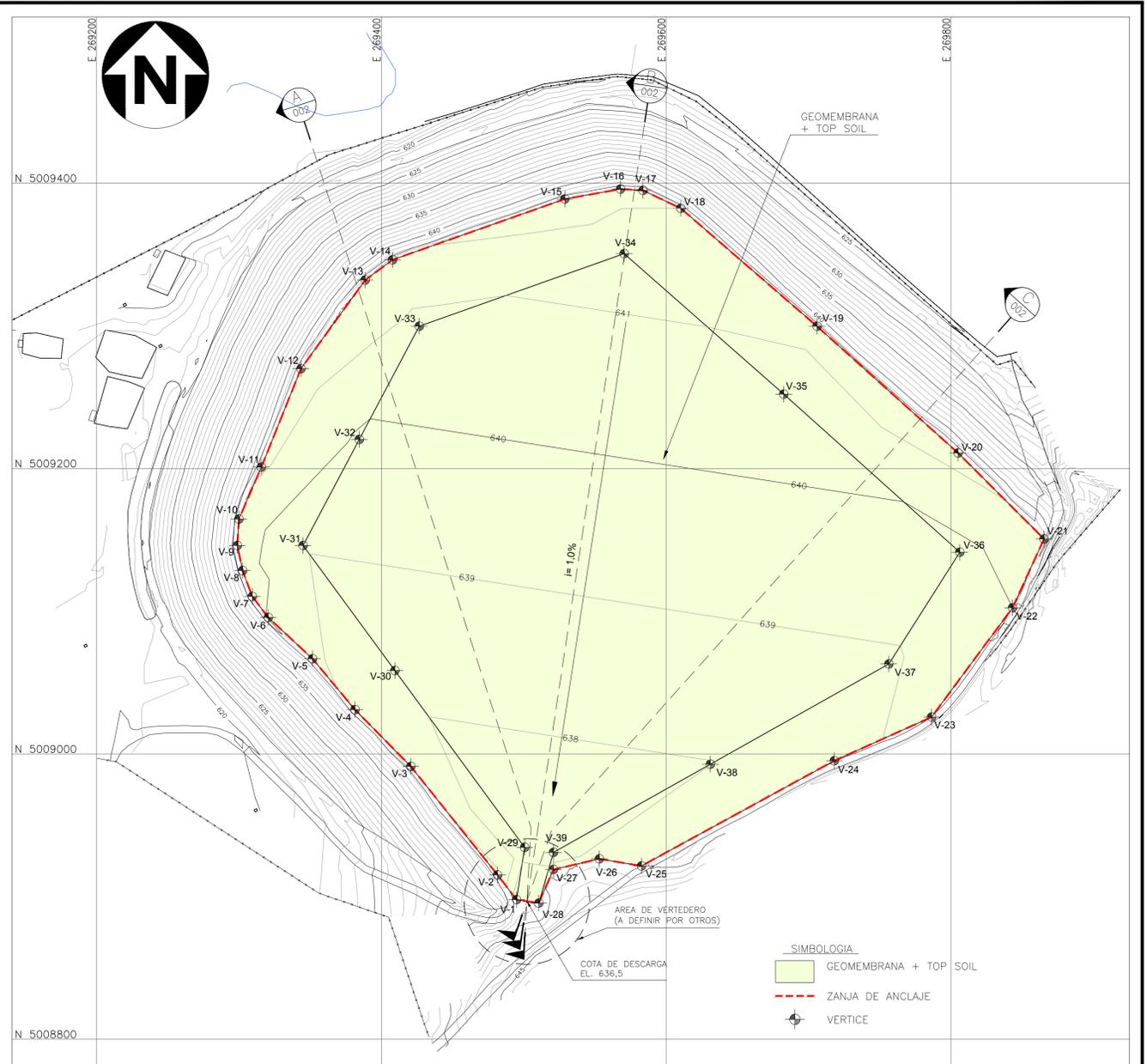
En el caso de usarse una geomembrana de HDPE, se requiere el uso de dos capas de geotextil para protegerla; una colocada por debajo y la otra por encima de la geomembrana.

10.5 Top soil

Se recomienda cubrir la geomembrana con una cubierta vegetal. En el caso de una geomembrana bituminosa, se requiere un espesor de 40 cm de top soil, significando un volumen de 71.200 m³; y en el caso de una geomembrana de HDPE, se recomienda un espesor de 60 cm, que implica un volumen de 107.000 m³. Este top soil puede corresponder a un suelo franco compuesto por un tercio de arena, un tercio de limo y un tercio de arcilla.



PLANTA DEPOSITO CONFLUENCIA ACTUAL (JUNIO 2015)
Esc. 1:2000



PLANTA DEPOSITO CONFLUENCIA AL CIERRE
Esc. 1:2000

VERTICE	COORDENADAS		COTA
	NORTE	ESTE	
V-1	5.008.897,83	269.494,93	636,50
V-2	5.008.915,16	269.481,61	639,22
V-3	5.008.991,22	269.420,69	638,87
V-4	5.009.031,01	269.381,47	638,90
V-5	5.009.066,65	269.351,68	639,13
V-6	5.009.095,60	269.320,60	639,92
V-7	5.009.110,34	269.309,35	640,48
V-8	5.009.128,47	269.302,53	640,36
V-9	5.009.146,04	269.298,87	640,57
V-10	5.009.164,58	269.299,99	640,66
V-11	5.009.200,95	269.315,74	641,13
V-12	5.009.269,97	269.343,55	641,47

VERTICE	COORDENADAS		COTA
	NORTE	ESTE	
V-13	5.009.332,06	269.388,63	642,07
V-14	5.009.346,28	269.407,83	641,85
V-15	5.009.388,88	269.528,81	642,50
V-16	5.009.395,90	269.567,96	642,25
V-17	5.009.394,93	269.583,72	642,23
V-18	5.009.382,37	269.610,24	642,00
V-19	5.009.299,68	269.705,95	641,20
V-20	5.009.210,87	269.804,98	641,30
V-21	5.009.150,62	269.865,33	640,75
V-22	5.009.102,41	269.843,21	640,00
V-23	5.009.025,79	269.786,34	639,44
V-24	5.008.995,24	269.718,05	638,56

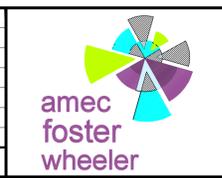
VERTICE	COORDENADAS		COTA
	NORTE	ESTE	
V-25	5.008.921,44	269.582,67	638,55
V-26	5.008.926,39	269.553,08	638,55
V-27	5.008.918,96	269.520,87	638,54
V-28	5.008.895,40	269.510,54	636,50
V-29	5.008.934,49	269.500,62	637,20
V-30	5.009.058,41	269.409,48	638,28
V-31	5.009.146,02	269.345,05	639,05
V-32	5.009.220,42	269.384,53	639,85
V-33	5.009.299,74	269.426,60	640,69
V-34	5.009.350,57	269.570,49	641,42
V-35	5.009.252,15	269.682,57	640,62
V-36	5.009.141,34	269.806,17	639,71

VERTICE	COORDENADAS		COTA
	NORTE	ESTE	
V-37	5.009.063,06	269.756,37	638,86
V-38	5.008.992,77	269.631,05	637,97
V-39	5.008.930,97	269.520,86	637,19

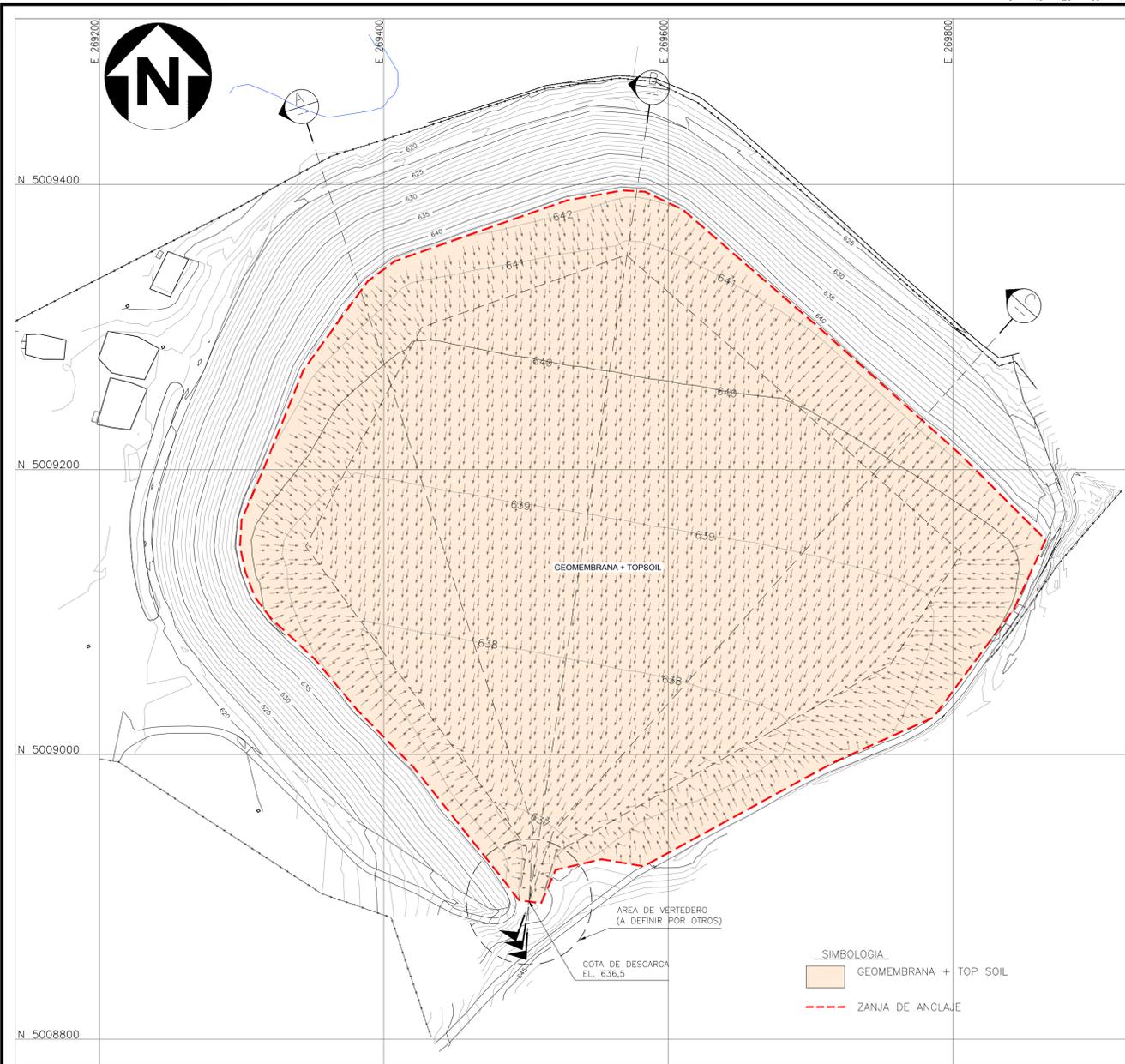
- NOTAS
- DIMENSIONES Y ELEVACIONES EN METRO (m).
 - TOPOGRAFIA SUMINISTRADA POR NYRSTAR.
 - DEFINICION DE VERTEDERO DE ABANDONO POR OTROS.

REV.	REVISION / DESCRIPCION	FECHA	DIBUJO	DISENO	CHEQUEO	ING. PROY.	JEFE PROY.	N°	N° DE PLANO	PLANOS DE REFERENCIA
0	APTO PARA USO	20.08.15	JCD	ML	SB	ML	JM	7		
B	EMITIDO PARA APROBACION DEL CLIENTE	29.07.15	JCD	ML	SB	ML	JM	6		
A	EMITIDO PARA COORDINACION INTERNA	22.07.15	JCD	ML	SB	ML	JM	5		
								4		
								3		
								2		
								1	E40136-000-DWG-002	PLANTA, SECCIONES Y DETALLE

JEFE DE PROYECTO		J. MARTIN
ING. DE PROYECTO		M. LOPEZ
CHEQUEO		S. BARRERA
DISEÑO		M. LOPEZ
DIBUJO		J.C. DELGADO

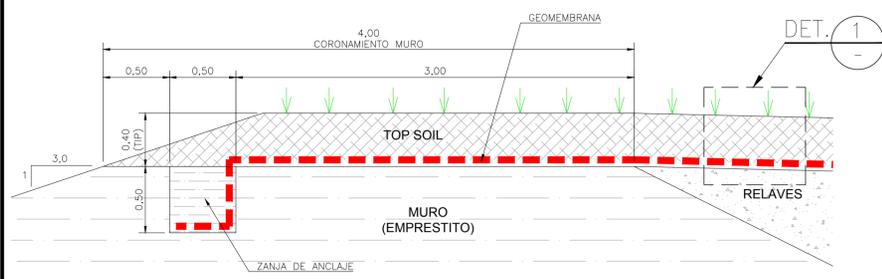


APROBACION - CLIENTE		AMEC FOSTER WHEELER INTERNATIONAL INGENIERIA Y CONSTRUCCION LTDA.	
		MINERA NYRSTAR - PROYECTO EL TOQUI	
		INGENIERIA BASICA PARA LA IMPERMEABILIZACION DE LA CUBETA DEL DEPOSITO CONFLUENCIA EN EL CIERRE	
		PLANTA GENERAL	
PROYECTO N°	ESCALA INDICADA	PLANO N°	REV.
E40136		E40136-000-DWG-001	0



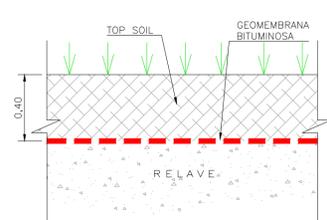
PLANTA DEPOSITO CONFLUENCIA PROYECCION COBERTURA DEFORMADA (VER NOTA 4)

Esc. 1:2000

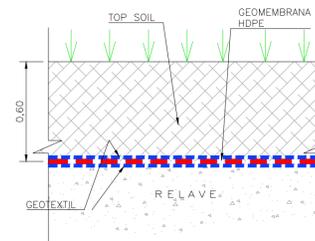


SECCION TIPO ANCLAJE GEOMEMBRANA

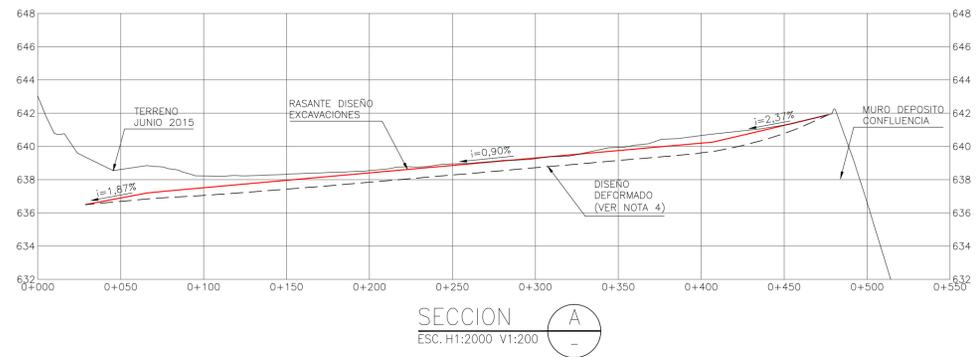
Esc. 1:25



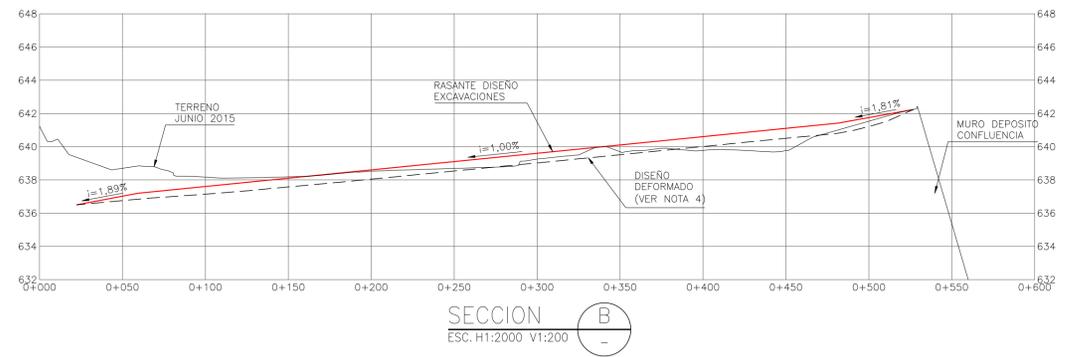
DETALLE 1
Caso Geomembrana Bituminosa
Esc. 1:20



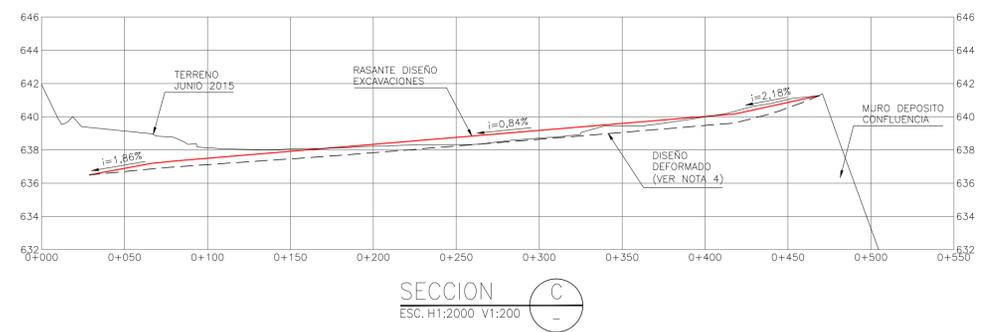
DETALLE 1
Caso Geomembrana HDPE
Esc. 1:20



SECCION A
Esc. H1:2000 V1:200



SECCION B
Esc. H1:2000 V1:200



SECCION C
Esc. H1:2000 V1:200

CUADRO DE CUBICACIONES CASO GEOMEMBRANA BITUMINOSA			
ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD
1.0	REMANEJO DE RELAVES		
1.1	EXCAVACION DE RELAVES	m3	40.000
1.2	RELLENO RELAVES	m3	39.000
2.0	COBERTURA DE RELAVES		
2.1	EXCAVACION ZANJA DE ANCLAJE	m3	400
2.2	RELLENO ZANJA DE ANCLAJE	m3	400
2.3	GEOMEMBRANA BITUMINOSA	m2	180.000
2.4	TOP SOIL	m3	71.200

CUADRO DE CUBICACIONES CASO GEOMEMBRANA HDPE			
ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD
1.0	REMANEJO DE RELAVES		
1.1	EXCAVACION DE RELAVES	m3	40.000
1.2	RELLENO RELAVES	m3	39.000
2.0	COBERTURA DE RELAVES		
2.1	EXCAVACION ZANJA DE ANCLAJE	m3	400
2.2	RELLENO ZANJA DE ANCLAJE	m3	400
2.3	GEOMEMBRANA HDPE 1,5 mm	m2	180.000
2.4	GEOTEXTIL 400 gr/m2	m2	360.000
2.5	TOP SOIL	m3	107.000

NOTAS

- DIMENSIONES Y ELEVACIONES EN METRO (m).
- TOPOGRAFIA SUMINISTRADA POR NYRSTAR.
- DEFINICION DE VERTEDERO DE ABANDONO POR OTROS.
- CORRESPONDE A LA DEFORMACION ESPERADA PRODUCTO DE LOS ASENTAMIENTOS POR CONSOLIDACION DEL RELAVE.
- LAS CUBICACIONES SON NETAS, NO CONSIDERA DESPUNTES, RECORTES NI EMPALMES.

REV.	REVISION / DESCRIPCION	FECHA	DIBUJO	DISEÑO	CHEQUEO	ING. PROY.	JEFE PROY.	N°	N° DE PLANO	PLANOS DE REFERENCIA	APROBACION - INGENIERIA
0	APTO PARA USO	20.08.15	JCD	ML	SB	ML	JM	7			
B	EMITIDO PARA APROBACION DEL CLIENTE	29.07.15	JCD	ML	SB	ML	JM	6			
A	EMITIDO PARA COORDINACION INTERNA	22.07.15	JCD	ML	SB	ML	JM	5			
								4			
								3			
								2			
								1	E40136-000-DWG-001	PLANTA GENERAL	

JEFE DE PROYECTO	J. MARTIN
ING. DE PROYECTO	M. LOPEZ
CHEQUEO	S. BARRERA
DISEÑO	M. LOPEZ
DIBUJO	J.C. DELGADO



APROBACION - CLIENTE		AMEC FOSTER WHEELER INTERNATIONAL INGENIERIA Y CONSTRUCCION LTDA.	
PLANO N° - SUB-CONTRATISTA		MINERA NYRSTAR - PROYECTO EL TOQUI	
PROYECTO N° E40136		INGENIERIA BASICA PARA LA IMPERMEABILIZACION DE LA CUBETA DEL DEPOSITO CONFLUENCIA EN EL CIERRE PLANTA, SECCIONES Y DETALLE	
ESCALA INDICADA	PLANO N° E40136-000-DWG-002	REV. 0	