

## MPX CHILE

### PLAN MANEJO DE DEPÓSITO DE CENIZAS PLANTA MPX ENERGÍA

Memoria de cálculo N° 3406-GEN-MEM-DOC-002-2

## DISEÑO DEL DEPÓSITO DE CENIZAS

**ARCADIS Geotécnica**

Eliodoro Yañez 1893  
Providencia, Santiago

APROB. CLIENTE: \_\_\_\_\_  
FECHA: \_\_\_\_\_

REV.	FECHA	POR	REV.	APROB.	DESCRIPCION
A	30/07/08	PFW	GAO	CC	Coordinación Interna
B					Revisión y Aprobación CLIENTE
0	28/08/08	PFW	GAO	CC	Aprobado CLIENTE
1	15/09/08	PFW	GAO	CC	Aprobado CLIENTE
2	20/11/08	PFW	PD	CCA	Aprobado CLIENTE

## PLAN MANEJO DE DEPÓSITO DE CENIZAS PLANTA MPX ENERGÍA

### DISEÑO DEL DEPÓSITO DE CENIZAS

#### CONTENIDO

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVO.....</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>ALCANCE .....</b>	<b>3</b>
<b>4</b>	<b>UBICACIÓN .....</b>	<b>3</b>
<b>5</b>	<b>MEMORIA DESCRIPTIVA .....</b>	<b>5</b>
<b>6</b>	<b>PRODUCCIÓN DE CENIZAS.....</b>	<b>7</b>
<b>7</b>	<b>ESTUDIO ALTERNATIVAS .....</b>	<b>8</b>
	7.1 ALTERNATIVA 1.....	8
	7.2 ALTERNATIVA 2.....	8
	7.3 DISCUSIÓN DE LAS ALTERNATIVAS .....	8
<b>8</b>	<b>DISEÑO DEL DEPÓSITO .....</b>	<b>10</b>
	8.1 SANEAMIENTO HIDRÁULICO.....	11
	8.2 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD .....	14
	8.3 OPERACIÓN Y CIERRE DEL DEPÓSITO.....	19
<b>9</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>25</b>

## 1 INTRODUCCIÓN

La empresa MPX Energía tiene considerada la instalación de una central termoeléctrica en Punta de Cachos, al sur de Caldera en la III Región. El proyecto consiste en la instalación de seis unidades de 350 MW de generación a carbón.

El proceso de combustión del carbón para la generación de electricidad genera un subproducto, que son las cenizas. Este subproducto genera la necesidad de crear un acopio de cenizas en algún lugar cercano a la Central Termoeléctrica. El sitio para el acopio de cenizas se encuentra definido por MPX Energía, al sur de la Central.

## 2 OBJETIVO

El objetivo del presente informe es diseñar el depósito de cenizas, evaluando técnica y económicamente las alternativas de diseño.

## 3 ALCANCE

Este informe detalla el diseño del depósito de cenizas, que contempla desde el análisis de alternativas hasta su diseño definitivo, realizando un análisis técnico y económico de las alternativas estudiadas. Además, se incorpora un análisis de estabilidad geotécnica, saneamiento hidráulico y el diseño del depósito durante la operación y el cierre de la central termoeléctrica.

## 4 UBICACIÓN

La futura Central de MPX Energía se ubica en la tercera Región de Atacama, en la comuna de Copiapó, en un sector denominado Punta Cachos. Punta Cachos es un sector costero, donde se emplazarán las seis unidades de la Central termoeléctrica de MPX.

El lugar propuesto por el cliente para emplazar depósito de cenizas posee una superficie de aproximadamente 75 há (1.500 m de ancho por 5.000 m de largo). Dicho sector se ubica al sur oriente de la central, a una distancia lineal aproximada de 8,5 km de ésta, en una zona de topografía rodeada por quebradas sin mayores diferencias de altura.

El proyecto Termoeléctrico se ubica entre dos ríos de importancia en la región, el río Copiapó y el río Huasco, específicamente en el sector costero del desierto de Atacama.

La Figura 4.1 muestra la ubicación regional y la Figura 4.2 la ubicación específica de la Central y del Depósito de Cenizas.



Figura 4.1 Ubicación Proyecto

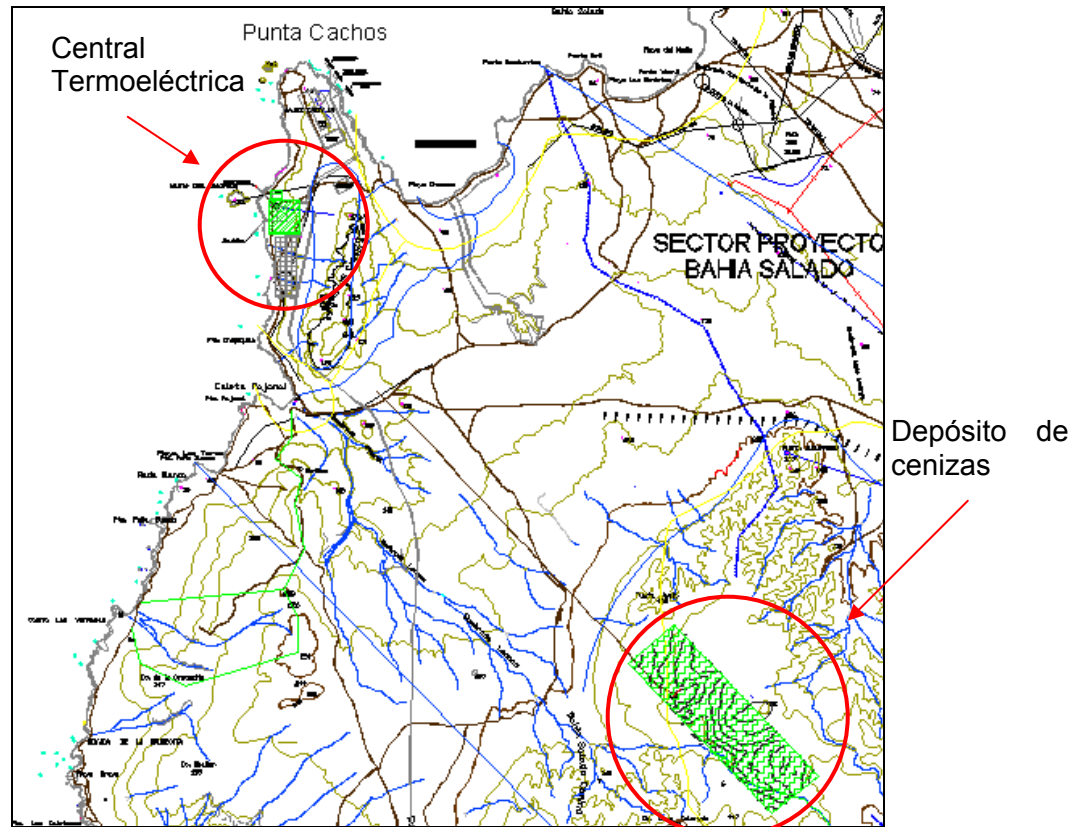


Figura 4.2 Ubicación Central Termoeléctrica y Depósito de Cenizas

## 5 MEMORIA DESCRIPTIVA

La empresa MPX Energía tiene considerada la instalación de una Central Termoeléctrica en el sector Punta Cachos, al sur de la ciudad de Caldera en la Tercera Región de Atacama. Esta Central consta de seis unidades de 350 MW de generación a carbón. El proceso de generación energética a partir de esta materia prima genera cenizas, y por lo tanto la necesidad de construir un depósito especialmente diseñado para ello.

Se estima que para un carbón con una composición típica con un máximo de 1% de azufre, el contenido de cenizas (porcentaje peso) debería estar en torno al 15%, es decir, 0,15 kg de cenizas/kg de carbón quemado en la caldera. Por lo tanto para un consumo a plena carga de 120 t/h de carbón (para generación de 350 MW) se podría esperar una producción de cenizas de 18 t/h.

La ceniza producto de la combustión de carbón, se divide en un 20% de ceniza de fondo y un 80% de ceniza volante. Estos productos se manejan y almacenan en silos diferentes, debido principalmente a su diferente granulometría. Entre las características físicas de las cenizas, se destaca una fina granulometría. Aproximadamente el 80% tiene un tamaño inferior a 74 micrones, lo que se traduce una vez compactada, en una permeabilidad del orden de  $10^{-5}$  cm/seg, valor propio de limos y/o arcillas meteorizadas. Lo anterior equivale a decir que la infiltración de las cenizas es muy baja y por lo tanto de un drenaje muy escaso. La escoria, o ceniza de fondo (que se acumula al fondo de la caldera) tiene en cambio características de arena – gravilla, llegando a 2 y 3 cm de tamaño máximo que puede reducirse por trituración. Se debe tener en cuenta que ambos materiales se manejarán mezclados y que el porcentaje de cenizas es muy superior al de la escoria, por lo que predominarán masivamente las características de las cenizas.

Es importante considerar que el material debe colocarse (en el depósito) con una humedad cercana al 25%. Esta humedad corresponde a la humedad óptima que debe ser verificada posteriormente con ensayos de laboratorio (La exigencia técnica que deberá observarse será que la humedad de compactación de los materiales deberá estar comprendida entre  $\pm 2\%$  de la humedad óptima, determinada de acuerdo al método ASTM D1557).

La humedad será aportada por agua (industrial o agua de mar) a la salida del silo respectivo. Esta adición de agua cumple la finalidad de reducir las emisiones durante el manejo y compactación en el depósito.

El depósito se emplaza en un lugar previamente definido por el cliente, a una distancia aproximada de 8,5 km de la Central Termoeléctrica. Este depósito tiene forma de una plataforma rectangular de 1.750 m de largo y 715 m de ancho, y es capaz de almacenar un volumen de cenizas aproximado de 25 millones de  $m^3$ .

Dada la secuencia constructiva del depósito que prevé una puesta en servicio secuencial de las 6 unidades de generación termoeléctrica que contempla el proyecto Central Termoeléctrica Castilla (ver punto 8.3.1 de este informe), en la cual se **ha estimado que** la primera **unidad entrará en servicio el año 2012**, mientras que para la sexta y última unidad se prevé su entrada al sistema **alrededor del año 2016**, el diseño del depósito se ha realizado en concordancia con ello, poseyendo una capacidad de aproximadamente 25

millones de m<sup>3</sup>. Esta capacidad es holgada en relación a la necesidad de disposición final para ese lapso de tiempo, dado que la generación de cenizas entre el año 2012 y 2032 se ha estimado en unos 21 millones de m<sup>3</sup> en el escenario de mayor producción, es decir, que la última unidad (la número seis) sea puesta en servicio lo más pronto posible (año 2016). Así, el espíritu del diseño actual es permitir almacenar en forma ambientalmente segura y en la menor superficie posible, los primeros 20 años de producción de cenizas, al cabo de los cuales se planteará una ampliación del depósito, la que será diseñada según las necesidades de ingeniería, ambientales y legales que correspondan en esa instancia y teniendo a la vista los resultados prácticos de la operación del diseño utilizado en su primer ciclo temporal. Durante dicho primer ciclo, las cenizas generadas se transportarán hasta el depósito, almacenándolas en bancos de 4 m de altura, con taludes de 4:1 (H:V) y con banquetas de 4 m de ancho. Sobre la superficie de cada banco construido se dispondrá material de cobertura, en capas de 0,15 m de espesor en la operación y una vez concluido ella, se dispondrá una capa de 0,30 m de espesor como cobertura final de cierre, la que será de material férreo del sector.

De acuerdo con el mapa hidrogeológico de la zona y a prospecciones desarrolladas para MPX Energía, el suelo es permeable, con un estrato superficial de arena, bajo el cual existe roca fragmentada.

El saneamiento hidráulico del depósito se realizará con dos canales excavados roca in situ, de 0,50 m de ancho basal, con taludes de 2:1 (H:V) y de una altura variable. Estos canales sanean la cuenca aportante diseñada para un caudal asociado a un periodo de retorno de 100 años.

## 6 PRODUCCIÓN DE CENIZAS

Las cenizas que se producen como subproducto de la generación de energía de la Central Termoeléctrica se disponen en un depósito de cenizas. El sector de emplazamiento de este depósito se ubica al sur oriente de la central, aproximadamente a unos 8,5 km de distancia lineal de ésta.

De acuerdo con la información proporcionada por el cliente, las cenizas se comienzan a generar el año 2012 con el inicio de funcionamiento de la Central. Hasta el año 2032 se genera un volumen total de 21 millones de m<sup>3</sup>. El volumen anual de generación de cenizas a partir del año 2016 es de 1.102.500 m<sup>3</sup>.

En la Tabla 6.1 se muestra la generación de cenizas en los años de operación de la Central.

El volumen de cenizas se transporta hacia el depósito, que recibe las cenizas y las almacena en forma definitiva. La forma de construir el depósito se hará en celdas que se cubren con material de cobertura; esto se describe en el punto 8.3 Operación y Cierre del Depósito, de este informe.

**Tabla 6.1** Generación anual de cenizas

<b>Año</b>	<b>Volumen (m<sup>3</sup>)</b>
2012	91.875
2013	367.500
2014	643.125
2015	826.875
2016	1.102.500
2017	1.102.500
2018	1.102.500
2019	1.102.500
2020	1.102.500
2021	1.102.500
2022	1.102.500
2023	1.102.500
2024	1.102.500
2025	1.102.500
2026	1.102.500
2027	1.102.500
2028	1.102.500
2029	1.102.500
2030	1.102.500
2031	1.102.500
2032	1.102.500
<b>Total</b>	<b>20.671.875</b>

*Nota: Información proporcionada por MPX Energía*

En base a lo presentado en la Tabla 6.1 y suponiendo una generación de la central constante de energía y una producción constante de cenizas, se tiene un volumen de 91.875 m<sup>3</sup> de cenizas mensual entre los años 2016 y 2032.

## 7 ESTUDIO ALTERNATIVAS

Las alternativas a estudiar son dos. La primera alternativa corresponde a emplazar las cenizas en un terraplén o plataforma y la segunda alternativa consiste en disponerlas en un depósito de forma de un prisma triangular. A continuación se describe cada una de estas alternativas.

### 7.1 ALTERNATIVA 1

La alternativa 1 corresponde a emplazar las cenizas en forma de plataforma, con taludes de pendientes altas a ambos lados y banquetas.

La plataforma diseñada posee una superficie de 715 m de ancho por 1.750 m de largo, lo que entrega una superficie de 126 há. Posee taludes de 1:4 (V:H) y banquetas de 4 m de ancho cada 4 m de altura. En la Figura 7.1 se muestra la planta y un corte tipo de la alternativa plataforma.

El depósito posee orientación sur oriente nor poniente, con una pendiente longitudinal de un 2,1 %, que corresponde a la pendiente del terreno en el lugar de emplazamiento de la plataforma.

En el lado oriente, el depósito posee una altura cercana a los 0,5 m, mientras que en el lado poniente, ésta es cercana a los 38,5 m. Esto debido a que el depósito se emplaza siguiendo el relieve natural del terreno, sólo se escarpa el material superior de éste.

Esta alternativa genera un volumen de almacenamiento de aproximadamente 25 millones de m<sup>3</sup>.

### 7.2 ALTERNATIVA 2

La alternativa 2 corresponde a disponer las cenizas en forma de un prisma triangular, con un ancho superficial de 10 m, taludes con pendientes de 8% a ambos lados, sin banquetas.

En la Figura 7.2 se muestra la planta y un corte tipo de esta alternativa.

Al igual que la alternativa 1, el depósito posee una orientación sur oriente al nor poniente, con una pendiente longitudinal de un 2,1 %, la cual corresponde a la pendiente media del terreno en el lugar de emplazamiento de la plataforma.

Esta alternativa genera un volumen de almacenamiento aproximado de 22,5 millones de m<sup>3</sup>.

### 7.3 DISCUSIÓN DE LAS ALTERNATIVAS

La Tabla 7.1 muestra una comparación de las principales características de ambas disposiciones de depósitos de cenizas.



**Tabla 7.1** Comparación características alternativas 1 y 2

Item	Unidad	Alternativa 1	Alternativa 2
<b>Movimiento de Tierra</b>			
Escarpes	m <sup>3</sup>	497.743	608.154
<b>Relleno de cenizas</b>			
Volumen total cenizas	m <sup>3</sup>	24.658.190	22.481.079
Revestimiento cenizas	m <sup>3</sup>	499.257	607.893

Las dos alternativas presentadas son técnicamente factibles de realizar, ya que ambas logran almacenar el volumen requerido. Las diferencias entre ambas alternativas son varias, el depósito en forma de plataforma es capaz de almacenar un volumen mayor al del prisma triangular. Este último se ubica en una zona más protegida de los vientos del sector, pero su construcción posee una dificultad mayor a la de la plataforma, que por su forma se construye más fácilmente.

La plataforma se emplaza en el límite norte del sitio definido por el cliente para el depósito de cenizas. En consecuencia, desde el punto de vista de los costos, la plataforma entrega un menor tiempo de viaje para los camiones que la acopiarán y por lo tanto una disminución en el gasto de combustible.

Para ambos casos, conviene depositar las cenizas en el botadero desde el norte hacia el sur, ya que de esta manera la inversión inicial es menor y se aplaza parte de la inversión total del proyecto.

Es importante considerar, que la plataforma de cenizas dispuesta en terreno genera un impacto visual menor. Además, la superficie de la traza de la plataforma es menor que la del prisma triangular. En consecuencia, se decide diseñar la alternativa 1.

En la Figura 7.3 se muestra la alternativa a diseñar, referida al sitio preliminar definido por MPX Energía para su construcción. En esta figura es posible apreciar que las dimensiones de la plataforma son menores a las iniciales consideradas para su construcción.



**Figura 7.3** Emplazamiento plataforma relativo al sitio preliminar definido por MPX Energía

## 8 DISEÑO DEL DEPÓSITO

La alternativa considerada para el diseño definitivo del depósito de cenizas es aquella materializada en base a una plataforma rectangular de 1.750 m de largo y 715 m de ancho, la cual se emplaza sobre el relieve del terreno existente. Posee taludes de 4:1 (H:V) y banquetas de 4 m de ancho cada 4 m de altura. Por el lado sur poniente la altura del depósito es de 38,5 m aproximadamente, y en el lado nor oriente la altura es cercana a los 0,5 m.

Para el diseño definitivo se realizará el saneamiento de la cuenca, el análisis de estabilidad y se indicarán aspectos de la operación y cierre del depósito.

## 8.1 SANEAMIENTO HIDRÁULICO

### 8.1.1 Caudales de diseño

En la Tabla 8.1 se muestra los caudales de diseño adoptados para el saneamiento tanto de la cuenca aportante al depósito como de la plataforma de cenizas, considerando un período de retorno de 100 años. El detalle del cálculo de estos valores se encuentra en el documento 3406-GEN-MEM-DOC-001, denominado Estudio hidrológico e hidrogeológico.

**Tabla 8.1** Caudales de diseño para las cuencas aportantes al depósito, para un período de retorno de 100 años

Zona a sanear	Q diseño adoptado (l/s)
Cuenca aportante	221
Plataforma depósito de cenizas	254

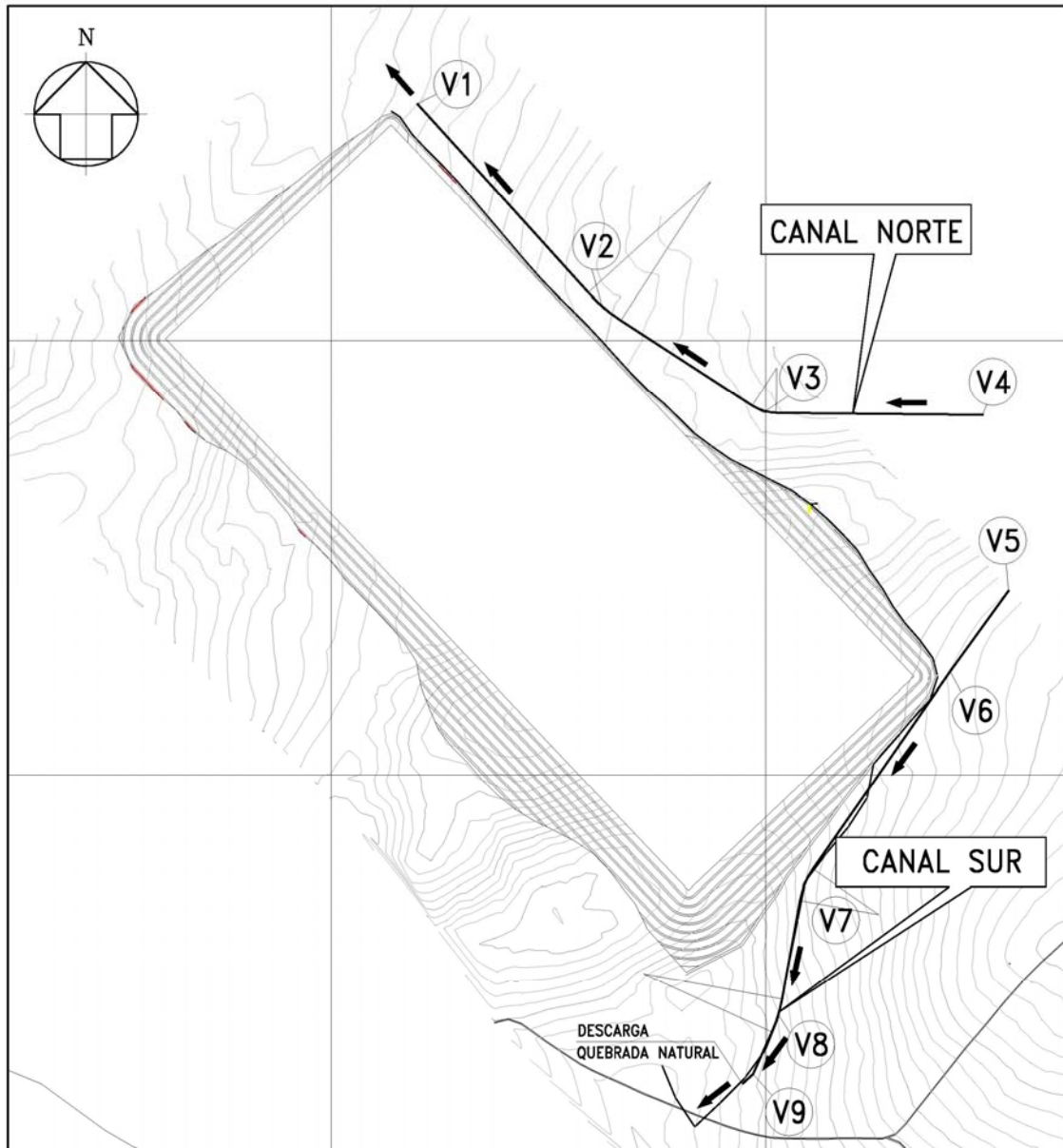
### 8.1.2 Definición del trazado

La cuenca aportante al depósito posee una superficie de 0,61 km<sup>2</sup>, menor a la cuenca propia del sector, ya que la ubicación de la plataforma interfiere con el escurrimiento natural de las aguas y genera la necesidad de encauzarlas. Estas aguas escurren en sentido sur oriente a nor poniente, hasta que se encuentran con la plataforma. La conducción de esta agua se realizará a través de canales, los cuales se emplazarán en los costados sur oriente y nor oriente de la plataforma.

Se diseñaron dos canales, denominados canal norte y sur. El trazado de estos canales los divide la quebrada que se encuentra en el lado oriente del depósito, la cual interfiere con el drenaje hacia el lado norte. Se define el canal sur paralelo al talud sur oriente del depósito, 5 m alejado de éste. Hacia aguas arriba del vértice oriente de la plataforma (V1), el canal se aleja de la plataforma, con una pendiente de 0,5%; hacia aguas debajo de este vértice, el canal portea las aguas paralelo a la traza del depósito.

El canal norte comienza en la quebrada al poniente de la plataforma, y portea las aguas que caen al norte de esta quebrada y las conduce hacia aguas abajo. Para este canal se definió un caudal de diseño de 50 l/s. Este caudal se obtiene de dividir el caudal de diseño de la cuenca aportante afluente a la plataforma en las cuencas aportantes a los canales norte y sur.

En la Figura 8.1 se muestra un esquema con el trazado de los canales norte y sur. En los planos 3406-CMQ-MDT-PLA-010 y 3406-CMQ-MDT-PLA-011 se muestra el detalle de los trazados en planta de los canales sur y norte, respectivamente.



**Figura 8.1** Trazado canales sur y norte

La plataforma de depósito de cenizas posee una pendiente longitudinal de 2,12 % en sentido sur oriente a nor poniente, la cual corresponde aproximadamente a la pendiente del terreno en este sector. Esta pendiente genera un flujo de las aguas que caen sobre la plataforma, drenándolas por sobre ésta hacia el lado nor poniente.

## 8.1.3 Diseño de los canales

Los canales de drenaje de las aguas afluentes al depósito de cenizas son excavados en tierra y/o roca, y no poseen revestimiento. El diseño de los canales se realiza mediante el software H-Canales, el cual es una herramienta que permite calcular, entre otras cosas, alturas normales de escurrimiento.

El canal sur que debe portear un caudal de 171 l/s. Se divide en cuatro sectores de diferentes pendientes longitudinales, divididos por los vértices 5 (V5) a 9 (V9). Posee un ancho basal de 0,5 m y taludes 2:1 (H:V).

En el plano 3406-CMQ-MDT-PLA-010 se muestra la vista en planta y el perfil longitudinal de este canal, indicando los vértices. El diseño de cada uno de los sectores entre vértices se detalla en el Anexo 1.

En la Tabla 8.2 se muestran las características de cada tramo del canal, para un caudal de diseño de 171 l/s.

**Tabla 8.2** Resumen características Canal Sur

Canal Sur	Ancho basal (m)	Pendiente (%)	Altura aguas (m)	Revancha (m)	Altura total (m)	Altura diseño (m)	Taludes (H:V)
Sector 1	0,5	1,0	0,32	0,15	0,47	0,50	1:3
Sector 2	0,5	1,8	0,27	0,15	0,42	0,50	1:3
Sector 3	0,5	2,5	0,24	0,15	0,39	0,50	1:3
Sector 4	0,5	2,0	0,26	0,15	0,41	0,50	1:3
Sector 5	0,5	2,5	0,24	0,15	0,39	0,50	1:3
Sector 6	0,5	1,95	0,26	0,15	0,41	0,50	1:3

En caso de que todo el caudal (la suma de los caudales de los canales norte y sur, Q=221 l/s) deba evacuarse por el canal sur, éste es capaz de hacerlo. Esta verificación se muestra en la Tabla 8.3.

**Tabla 8.3** Verificación canal sur con Q=221 l/s

Canal Sur	Ancho basal (m)	Pendiente (%)	Taludes (H:V)	Altura aguas (m)	Altura diseño (m)
Sector 1	0,5	1,0	1:3	0,38	0,50
Sector 2	0,5	1,8	1:3	0,32	0,50
Sector 3	0,5	2,5	1:3	0,29	0,50
Sector 4	0,5	2,0	1:3	0,31	0,50
Sector 5	0,5	2,5	1:3	0,29	0,50
Sector 6	0,5	1,95	1:3	0,31	0,50

El canal norte que debe portear un caudal de 50 l/s. Se divide en tres sectores de diferentes pendientes longitudinales, divididos por los vértices 4 (V4) a 1 (V1). Posee un ancho basal de 0,5 m y taludes 1:3 (H:V). En la Tabla 8.4 se muestran las características de cada tramo del canal. En el plano 3406-CMQ-MDT-PLA-011 se muestra la vista en planta y el perfil longitudinal de este canal, indicando los vértices. El diseño de cada uno de los sectores entre vértices se detalla en el Anexo 2.

**Tabla 8.4** Resumen características Canal Norte

Canal Norte	Ancho basal (m)	Altura aguas (m)	Revancha (m)	Altura total (m)	Altura diseño (m)	Taludes (H:V)
Sector 1	0,5	0,12	0,15	0,27	0,50	1:3
Sector 2	0,5	0,12	0,15	0,27	0,50	1:3
Sector 3	0,5	0,15	0,15	0,30	0,50	1:3
Sector 4	0,5	0,11	0,15	0,26	0,50	1:3
Sector 5	0,5	0,11	0,15	0,26	0,50	1:3
Sector 6	0,5	0,11	0,15	0,26	0,50	1:3
Sector 7	0,5	0,11	0,15	0,26	0,50	1:3
Sector 8	0,5	0,11	0,15	0,26	0,50	1:3
Sector 9	0,5	0,11	0,15	0,26	0,50	1:3

## 8.2 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

E lo que sigue se presenta el análisis de la estabilidad de los taludes para el depósito de cenizas de MPX, ubicado en la tercera región al Sur de Caldera, al interior de Punta Cachos.

Para el desarrollo del presente análisis se contó con la siguiente información:

- Levantamiento Topográfico, aportado por MPX Energía
- Informe de Sondajes, elaborado por Petrus
- Planos del proyecto con la geometría del depósito

### 8.2.1 Descripción del Terreno.

El terreno donde se funda el depósito de cenizas se desarrolla con pendiente promedio del 2,1 % longitudinal y del 5% en forma transversal, con un desnivel de 38 m entre la parte más alta y la más baja. Presenta en su superficie una capa de un espesor de entre 15 a 20 cm de arena fina y roca descompuesta, según lo que se indica en el *informe de sondajes que forman parte del Anexo 3 del presente informe (pendiente)*. Bajo este estrato existe roca descompuesta.

## 8.2.2 Mecánica de Suelos.

Los sondajes realizados por Petrus el presente año informan que en el sector de acopio de cenizas existe arena cementada, de alta compacidad. El detalle del informe de Petrus se denomina Mecánica de Suelos – Central Termoeléctrica Hacienda Castilla, III Región, código 2921-ING-639/2008.

## 8.2.3 Análisis de Estabilidad.

El depósito se diseñó con un talud de relleno de 4:1 (H:V), en bancos de 4 m de altura con bermas de 4 m de ancho, obteniéndose un talud medio final de 5:1(H:V).

La estabilidad estática y sísmica de los depósitos, se evaluó para una sección en la parte más desfavorable, analizándose diversos mecanismos de falla, considerando las propiedades del suelo de fundación y cenizas indicadas en la Tabla 8.5, y una aceleración sísmica de 0,25g.

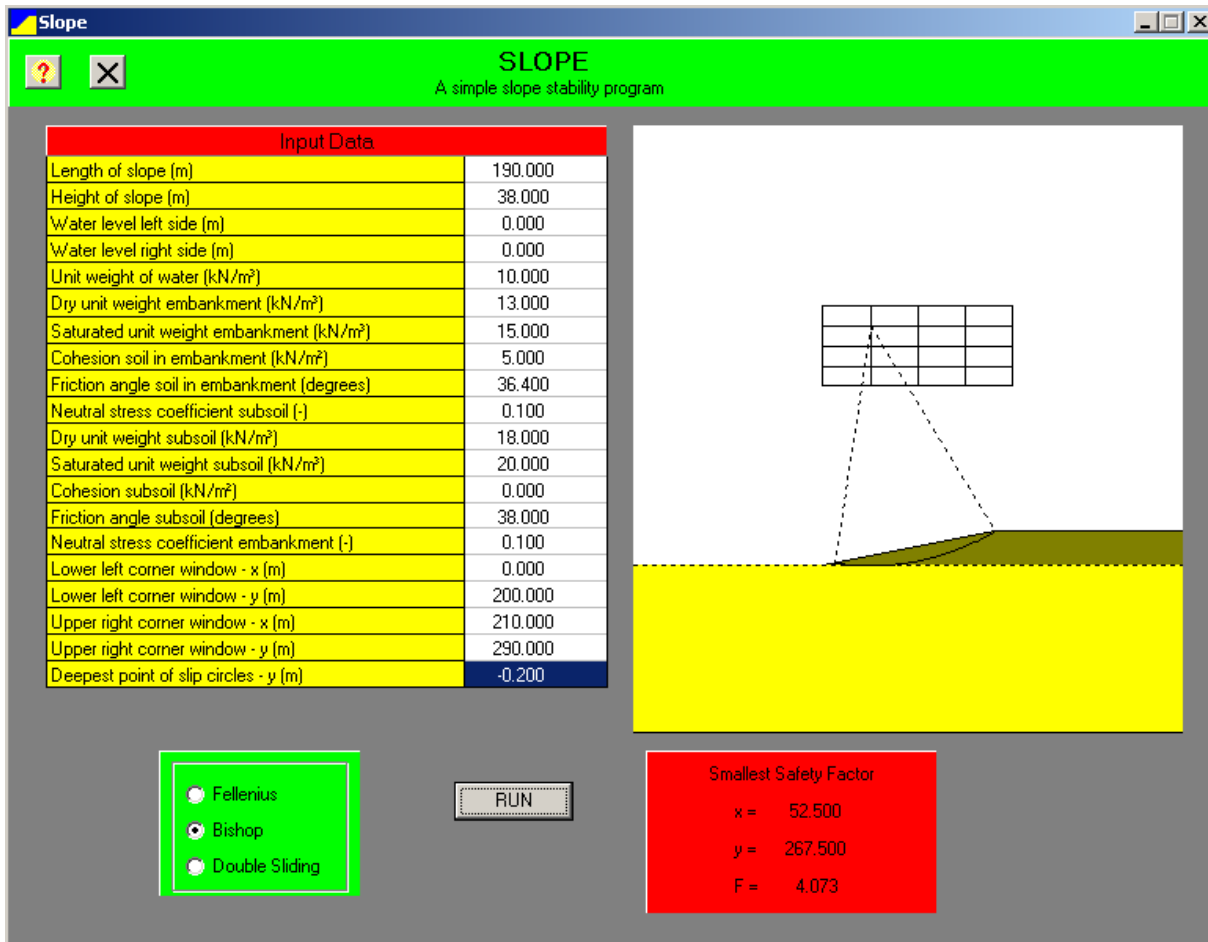
**Tabla 8.5** Características de las cenizas

Descripción	Cenizas de carbón
Densidad húmeda	1,5 T/m <sup>3</sup>
Densidad seca	1,3 T/m <sup>3</sup>
Angulo fricción interna	36,4 °
Cohesión	0,5/0,2 T/m <sup>2</sup>

Los datos mostrados en la Tabla 8.5 son sólo referenciales y provienen de la experiencia del consultor; para obtener resultados más certeros se deberán realizar ensayos de laboratorio in situ durante periodo de operación de la Central. De esta forma es posible obtener las propiedades de las cenizas producidas por la Central.

El análisis de estabilidad estático se realizó mediante el software SLOPE, mientras que el sísmico se realizó mediante el método de Bishop. Se exige un Factor de Seguridad de 1,5 estático y 1,2 sísmico para asegurar la estabilidad del depósito.

El software entrega un factor de seguridad estático de 4. En la Figura 8.2 se muestran los resultados entregados por el programa.



**Figura 8.2 Resultados SLOPE**

El análisis sísmico se realiza para una aceleración sísmica de 0,25g. Esta aceleración sísmica es conservadora y corresponde a la zona 3 de la norma Nch 433.

El análisis entrega un factor de seguridad sísmico de 3,96. En la Tabla 8.6 se muestra el detalle del cálculo.



Tabla 8.6 Análisis sísmico

A. Dovela	Angulo H	Sección	Presión de poros	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
Corregido	(rad)	(m <sup>2</sup> )	(t/m <sup>2</sup> )	(t)	(t <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	(rad)	(rad)	(rad)	(t/m)	(t)	(t)
10,6	0,52	20,71	0,00	41,41	0,00	0,87	0,49	0,97	212,07	245,5	29,5
10,9	0,47	60,71	0,00	121,43	0,00	0,89	0,45	0,98	217,35	314,1	82,2
11,1	0,43	96,37	0,00	192,74	0,00	0,91	0,41	0,99	222,17	373,9	123,5
11,3	0,38	126,99	0,00	253,97	0,00	0,93	0,37	1,00	226,53	424,5	153,2
11,5	0,33	151,96	0,00	303,92	0,00	0,94	0,33	1,01	230,42	465,6	171,5
11,7	0,29	170,78	0,00	341,55	0,00	0,96	0,28	1,01	233,83	496,7	179,1
11,8	0,24	183,00	0,00	366,00	0,00	0,97	0,24	1,02	236,75	517,5	176,9
12,0	0,20	188,30	0,00	376,61	0,00	0,98	0,20	1,02	239,18	527,7	166,3
12,1	0,15	186,44	0,00	372,88	0,00	0,99	0,15	1,02	241,12	527,1	148,6
12,1	0,11	177,27	0,00	354,55	0,00	0,99	0,11	1,02	242,55	515,3	125,8
12,2	0,06	160,77	0,00	321,54	0,00	1,00	0,06	1,01	243,48	492,1	99,8
12,2	0,02	136,98	0,00	273,97	0,00	1,00	0,02	1,00	243,90	457,2	72,7
12,2	-0,01	107,27	0,00	214,54	0,00	1,00	-0,01	1,00	243,90	412,0	50,4
12,2	-0,03	74,12	0,00	148,23	0,00	1,00	-0,03	0,99	243,81	360,3	32,5
12,2	-0,08	28,42	0,00	56,83	0,00	1,00	-0,08	0,98	243,22	288,4	9,8
<b>175,9</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<b>6417,7</b>	<b>1621,7</b>

RAZON Fr/Fs = 3,957

Donde:

- ( 1 ) = Peso de la Dovela
- ( 2 ) = Presión de poros x L
- ( 3 ) = Coseno (Angulo H)
- ( 4 ) = Seno (Angulo H)
- ( 5 ) = ( 1 + Tan (Angulo H) x Tan (Angulo fricción) / F.S.) x (3)
- ( 6 ) = Cohesión x Ancho
- ( 7 ) = Fuerzas resistentes

( 8 ) = Fuerzas solicitantes:  $(1) \times (4) + (1) \times (3) \times \text{Coeficiente sismico}$

## 8.3 OPERACIÓN Y CIERRE DEL DEPÓSITO

### 8.3.1 Secuencia constructiva del Depósito

Las cenizas se dispondrán en sentido nor poniente a sur oriente, relleno el terreno natural en capas horizontales de 4 m de alto, de una superficie variable en cada capa o banco.

Las cenizas que se generan como subproducto de la generación energética de la Central son del orden de 92.000 m<sup>3</sup> mensuales (ver Tabla 6.1). Al momento de ser transportada al depósito, se humedece hasta que tenga una humedad de por lo menos un 12%, con lo cual, debido a la fuerza capilar del agua, se evita que se provoque dispersión de éstas por acción del viento. Por otra parte, al llegar al depósito, la ceniza se esparce y se compacta con un rodillo para que se endurezca, evitando de esta manera que la ceniza depositada quede expuesta a la erosión del viento y se levante polvo. La superficie expuesta al viento no podrá ser mayor a 4.000 m<sup>2</sup>.

El material será transportado en camiones tolva, los cuales pesan entre 1,2 y 1,5 t/m<sup>3</sup> cargados con cenizas. Antes de ser transportado, el material se humidificará agregándosele agua de mar en un 25% de su peso, con el objeto de simplificar el trabajo de terreno y no tener que transportar agua especialmente en camiones aljibe para agregarla en terreno.

Este proceso de humidificación se realizará en terrenos de la Central, donde se mezclará adecuadamente el material seco con el agua en las proporciones indicadas y luego se cargará en los camiones que llevará el material húmedo al vertedero para su colocación.

Se deberá verificar visualmente la humedad en el momento de colocarse los rellenos. En los casos en que la humedad no cumpla con la uniformidad esperada y se aprecien sectores más secos, el Contratista deberá efectuar el riego necesario de manera de producir humedades uniformes antes de la colocación. Para ello hará uso del agua de mar almacenada en el estanque de 40 m<sup>3</sup> que se tendrá en terreno, destinado principalmente al lavado de camiones (En este estudio había que circular por una autopista pública, Zona de Ventana – Puchuncaví).

Los residuos se descargan en el borde de la celda en operación y luego se empujan hacia el interior de la celda y dentro de ésta. Esto se hace por medio de maquinaria (bulldozer), que distribuye las cenizas en las capas horizontales y las aleja del área de descarga, en conjunto con un rodillo vibratorio, que las compacta.

La colocación de las cenizas en el depósito se realiza en capas de 0,15 m a 0,20 m, y se compactan con dos pasadas (un ciclo) de rodillo vibratorio de 10 T peso estático. El material debe colocarse con una humedad cercana al 25% (humedad óptima que debe ser verificada posteriormente con ensayos de laboratorio. La exigencia técnica que deberá observarse será que la humedad de compactación de los materiales deberá estar comprendida entre  $\pm 2\%$  de la humedad óptima, determinada de acuerdo al método ASTM D1557).

La construcción de las celdas de 4000 m<sup>2</sup> será secuencial. El llenado del depósito se hará rellenando desde los puntos más bajos a los más altos, y en sentido nor poniente a sur oriente, tal como ya se mencionó. Una vez construida la capa (n-1) en su totalidad, se procederá a construir la capa n. Dentro de la capa n, se construye en primer lugar la capa k, y luego la capa (k+1). En la Figura 8.3 se muestra esta secuencia.

La razón de esta secuencia constructiva se debe a que no se deben mantener las cenizas desprovistas de cobertura en una superficie mayor a la indicada, de manera que la acción del viento no genere que éstas se muevan y alteren el sitio natural.

De acuerdo a la información proporcionada por MPX Energía, se proyecta la operación por año del depósito de cenizas de la Central Termoeléctrica de acuerdo a lo que sigue:

- Año 2012

En julio el año 2012 se inicia la operación de la Unidad 1 de la Central Termoeléctrica. El volumen de cenizas que se genera durante este año es de 91.875 m<sup>3</sup>. Para este año la operación del depósito se realizará en un turno de 8 horas, con 4 camiones tolva de 28 m<sup>3</sup> de capacidad, 1 bulldozer, 1 rodillo vibratorio y 2 camiones aljibe de 20 m<sup>3</sup> de capacidad. El volumen diario a transportar este año es de 510 m<sup>3</sup>, aproximadamente. Con esta programación diaria, el volumen que se transporta es de 560 m<sup>3</sup>. A continuación se muestra el detalle de la operación:

- 1 turno de trabajo de 8 h → 8 horas de trabajo / día
- 1 camión tarda 1,5 horas en dar una vuelta
- En 8 horas de trabajo/día,  $8/1,5 = 5,33 \approx 5$  vueltas/día
- 4 camiones de 28 m<sup>3</sup> trasladan 112 m<sup>3</sup>/vuelta
- En 1 día de trabajo se trasladan  $112*5=560$  m<sup>3</sup>/día.

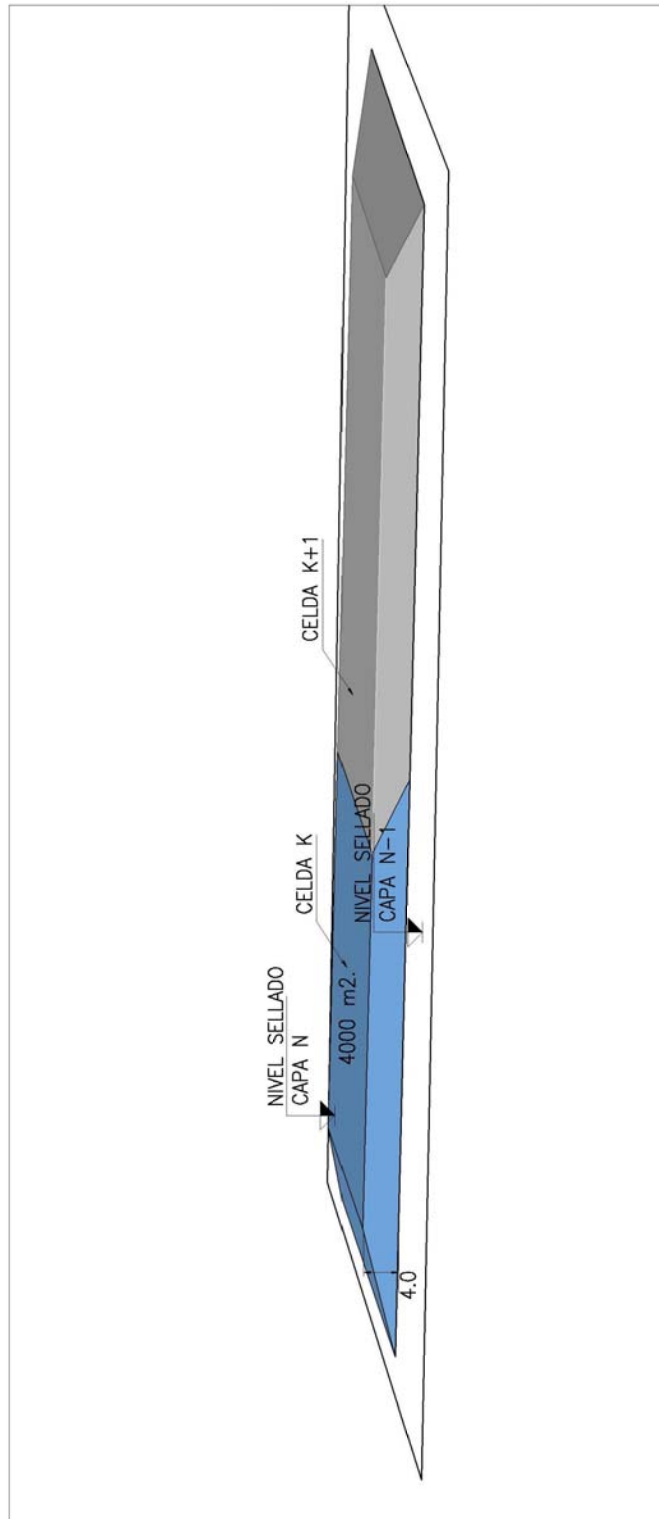
El personal necesario para la operación del depósito es de:

- 4 conductores de camiones
- 1 operador bulldozer
- 1 operador rodillo
- 1 colero (carchequer)
- 2 conductores de camiones aljibe

En total durante el año 2012 trabajarán en el depósito 9 personas. Para ello se requiere de 1 contenedor y un baño.

- Año 2013

En enero el año 2013 se inicia la operación de la Unidad 2 de la Central, con lo cual estarán operando las unidades 1 y 2 de la Central Termoeléctrica. El volumen de cenizas que se genera durante este año es de 367.500 m<sup>3</sup>. Para este año la operación del depósito se realizará en un turno de 8 horas, con 8 camiones tolva de 28 m<sup>3</sup> de capacidad, 1 bulldozer, 1 rodillo vibratorio y 2 camiones aljibe de 20 m<sup>3</sup> de capacidad. El volumen diario a transportar este año es de 1.021 m<sup>3</sup>, aproximadamente. Con la programación diaria presentada, el volumen que se transporta es de 1.120 m<sup>3</sup>. A continuación se muestra el detalle de la operación:



**Figura 8.3** Secuencia constructiva depósito de cenizas

- 1 turno de trabajo de 8 h → 8 horas de trabajo / día
- 1 camión tarda 1,5 horas en dar una vuelta
- En 8 horas de trabajo/día,  $8/1,5 = 5,33 \approx 5$  vueltas/día
- 8 camiones de 28 m<sup>3</sup> trasladan 224 m<sup>3</sup>/vuelta
- En 1 día de trabajo se trasladan  $224*5=1.120$  m<sup>3</sup>/día.

El personal necesario para la operación del depósito es de:

- 8 conductores de camiones
- 1 operador bulldozer
- 1 operador rodillo
- 1 colero (carchequer)
- 2 conductores de camiones aljibe

En total durante el año 2013 trabajarán en el depósito 13 personas. Para ello se requiere de 1 contenedor y dos baños.

- Año 2014

En enero el año 2014 se inicia la operación de la Unidad 3 de la Central, y en julio de este mismo año iniciará la Unidad 4. Con ello al fin de este año estarán operando las unidades 1, 2, 3 y 4 de la Central Termoeléctrica. El volumen de cenizas que se genera durante este año es de 643.125 m<sup>3</sup>. Para este año la operación del depósito se realizará en dos turnos de 6 horas, con 8 camiones tolva de 28 m<sup>3</sup> de capacidad, 4 bulldozer, 2 rodillo vibratorio y 3 camiones aljibe de 20 m<sup>3</sup> de capacidad. El volumen diario a transportar este año es de 1.786 m<sup>3</sup>, aproximadamente. Con la programación diaria presentada, el volumen que se transporta es de 1.792 m<sup>3</sup>. A continuación se muestra el detalle de la operación:

- 2 turnos de trabajo de 6 h → 12 horas de trabajo / día
- 1 camión tarda 1,5 horas en dar una vuelta
- En 12 horas de trabajo/día,  $12/1,5 = 8$  vueltas/día
- 8 camiones de 28 m<sup>3</sup> trasladan 224 m<sup>3</sup>/vuelta
- En 1 día de trabajo se trasladan  $224*8=1.792$  m<sup>3</sup>/día.

El personal necesario para la operación del depósito es de:

- 8 conductores de camiones
- 4 operador bulldozer
- 2 operador rodillo
- 1 colero (carchequer)
- 3 conductores de camiones aljibe

En total durante el año 2014 trabajarán en el depósito 18 personas. Para ello se requiere de 1 contenedor y dos baños.

- Año 2015

En julio el año 2015 se inicia la operación de la Unidad 5 de la Central, con lo cual estarán operando las unidades 1, 2, 3, 4 y 5 de la Central Termoeléctrica. El volumen de cenizas que se genera durante este año es de 826.875 m<sup>3</sup>. Para este año la operación del depósito se realizará en dos turnos de 6 horas, con 10 camiones tolva de 28 m<sup>3</sup> de capacidad, 4 bulldozer, 2 rodillo vibratorio y 3 camiones aljibe de 20 m<sup>3</sup> de capacidad. El volumen diario a transportar este año es de 2.297 m<sup>3</sup>, aproximadamente. Con la programación diaria presentada, el volumen que se transporta es de 2.240 m<sup>3</sup>. A continuación se muestra el detalle de la operación:

- 2 turnos de trabajo de 6 h → 12 horas de trabajo / día
- 1 camión tarda 1,5 horas en dar una vuelta
- En 12 horas de trabajo/día,  $12/1,5 = 8$  vueltas/día
- 10 camiones de 28 m<sup>3</sup> trasladan 280 m<sup>3</sup>/vuelta
- En 1 día de trabajo se trasladan  $280*8=2.240$  m<sup>3</sup>/día.

El personal necesario para la operación del depósito es de:

- 10 conductores de camiones
- 4 operador bulldozer
- 2 operador rodillo
- 1 colero (carchequer)
- 3 conductores de camiones aljibe

En total durante el año 2015 trabajarán en el depósito 20 personas por turno. Para ello se requiere de 1 contenedor y dos baños.

- Años 2016 - 2032

En enero del año 2016 se inicia la operación de la Unidad 6 de la Central, con lo cual estarán operando todas las unidades de la Central Termoeléctrica. El volumen de cenizas que se genera durante este año y hasta el año 2032 es de 1.102.500 m<sup>3</sup>. Para este año la operación del depósito se realizará en dos turnos de 6 horas, con 14 camiones tolva de 28 m<sup>3</sup> de capacidad, 8 bulldozer, 4 rodillo vibratorio y 6 camiones aljibe de 20 m<sup>3</sup> de capacidad. El volumen diario a transportar este año es de 3.062 m<sup>3</sup>, aproximadamente. Con la programación diaria presentada, el volumen que se transporta es de 3.136 m<sup>3</sup>. A continuación se muestra el detalle de la operación:

- 2 turnos de trabajo de 6 h → 12 horas de trabajo / día
- 1 camión tarda 1,5 horas en dar una vuelta
- En 12 horas de trabajo/día,  $12/1,5 = 8$  vueltas/día
- 14 camiones de 28 m<sup>3</sup> trasladan 392 m<sup>3</sup>/vuelta
- En 1 día de trabajo se trasladan  $392*8=3.136$  m<sup>3</sup>/día.

El personal necesario para la operación del depósito es de:

- 14 conductores de camiones
- 8 operador bulldozer
- 4 operador rodillo
- 1 colero (carchequer)
- 6 conductores de camiones aljibe

En total durante el año 2016 y hasta el año 2032 trabajarán en el depósito 33 personas por turno. Para ello se requiere de 1 contenedor y tres baños.

### 8.3.2 Mantenimiento de los canales

De acuerdo a la información obtenida de la visita a terreno, en el lugar de emplazamiento de los canales de drenaje corresponde a arena cementada de alta compacidad cubierta con escasa vegetación. Como los canales son excavados en el terreno, debe evitarse que el estrato superior de arena ingrese al canal. Como la zona de emplazamiento del depósito de cenizas de la Central es costera, posee vientos que generan que resuspensión de las arenas, incorporándolas en los canales.

Para evitar que las arenas interfieran con el escurrimiento de las aguas afluentes a la plataforma se debe realizar mantenimiento de limpieza a estos canales, de manera de sacar el volumen de arena que ingrese a éstos.

### 8.3.3 Protección de las cenizas durante el periodo de operación

La colocación de las capas de cenizas se realizará abarcando una superficie máxima de 4000 m<sup>2</sup>, de manera de trabajar en un área reducida, la cual permita colocar cobertura en caso de lluvias o vientos fuertes.

La colocación de las cenizas se realiza desde el nor poniente hacia el sur oriente, es decir, rellenando primero la parte baja del depósito y luego ir rellenando hacia la parte de mayor cota.

De acuerdo a la información entregada por MPX Energía respecto de los volúmenes de producción de las cenizas, la superficie de llenado de las celdas se construye aproximadamente en 5 días, con una superficie expuesta menor a 4.000 m<sup>2</sup>. A continuación se presenta este cálculo.

- Volumen anual: 1.102.500 m<sup>3</sup>
- Volumen mensual: 91.875 m<sup>3</sup>
- Volumen diario: 3062,5 m<sup>3</sup> (considerando 30 días)
- Volumen de una celda: 4 \* 60 \* 60 = 14.400 m<sup>3</sup>
- Cantidad de días en construir una celda: 14.400/ 3062,5 = 4,7 días ≈ 5 días

Es decir, cada 5 días o una vez alcanzadas las cotas finales de disposición en cada banco, se procederá a la colocación de cobertura de operación de 0,15 m de espesor, en toda la superficie del banco de cenizas construido. Este espesor de cobertura se coloca tanto en la



superficie del banco como en los taludes de éste. Una vez alcanzada la cota final de disposición de cenizas en el depósito se procederá a colocar la capa final de cobertura, de 0,30 m de espesor, en la superficie, taludes y banquetas de éste. Lo anterior se puede revisar en detalle en el Plano Secuencia Constructiva, Plano 3406-GEN-MDT-PLA-007.

El material de cobertura corresponde a suelo del sector, mezclado con arcilla.

Además, es importante considerar que el diseño de saneamiento hidráulico que se presenta en este informe corresponde al diseño para la etapa de cierre del depósito de acopio de cenizas.

Luego, como el depósito se construye relleno el sector desde los puntos bajos hacia los puntos altos, con una pendiente longitudinal de 2,1 % equivalente a la pendiente media del terreno, el agua que ingrese a la plataforma en construcción pasará por sobre las cenizas con la cobertura de operación hacia aguas abajo.

#### 8.3.4 Protección al momento del cierre

Para el saneamiento superficial del depósito sólo se considera cubrirlo con un relleno en base a material existente de 0,3 m de espesor en toda la superficie que queda expuesta a la acción del clima.

Cuando el depósito quede sin operar durante un tiempo prolongado, se cubrirá con un relleno de tierra transitorio de 0,3 m de espesor. De esta forma se evitará que durante estos periodos se provoque el secado superficial de las cenizas y la posterior resuspensión de ellas producto del viento.

## 9 CONCLUSIONES

El depósito de cenizas se diseña en forma de plataforma rectangular, de 1.750 m de largo y 715 m de ancho. Posee taludes de 4:1 (V:H), con banquetas de 4 m de ancho cada 4 m de altura. Se ubica en la parte norte del sector definido por el cliente para el emplazamiento de este depósito.

La capacidad de almacenamiento total del depósito es de 24.658.190 m<sup>3</sup>, y el volumen total acumulado de generación de la Central Termoeléctrica es de 20.947.500 m<sup>3</sup>, de acuerdo a la información proporcionada por MPX Energía.

La plataforma de depósito de cenizas posee una pendiente superficial longitudinal de 2,1 %, equivalente a la pendiente media del terreno. En sentido transversal posee pendiente nula.

Durante el periodo de operación de la Central, las cenizas se mantendrán con cierta humedad para evitar su resuspensión producto del viento. Además, sobre ellas se dispondrá material de cobertura, de 0,15 m de espesor durante el periodo de operación y de 0,30 m de espesor al momento del cierre. Este material de cobertura corresponde a suelo del sector, y se colocará una vez alcanzada una superficie de cenizas en el depósito de no más de 4.000 m<sup>2</sup>.

El saneamiento de la cuenca aportante afluente a la plataforma se realiza mediante dos canales excavados en terreno natural (que en este caso corresponde a arena cementada), de 0,50 m de ancho basal, 0,50 m de altura y taludes 1:2 (V:H). El diseño de estos canales se realiza para un caudal de diseño de 221 l/s, asociado a un periodo de retorno de 100 años.

Es importante recordar que la zona del proyecto es árida de clima desértico. Esto implica que las aguas que son conducidas por quebradas o por canales hacia quebradas se infiltran en el suelo sin generar escorrentías. Sin embargo, de todas maneras debe realizarse la mantención de los canales con una frecuencia tal que permita su buena conductividad en periodos de lluvias, ya que las la operación y los vientos de la zona generan el ingreso de las arenas a ellos, interfiriendo con la conducción de las aguas hacia su restitución aguas abajo del depósito.

**ANEXO 1**  
**DISEÑO DEL CANAL DE LA CUENCA AFLUENTE A LA PLATAFORMA**  
**CANAL SUR**

## Anexo 1 Diseño canal sur

**Cálculo de tirante normal sección Trapezoidal, Rectangular, Triangular**

Lugar: CANAL SUR Proyecto: MPX ENERGÍA  
 Tramo: 1 Revestimiento: ARENA

**Datos :**

Caudal (Q)	0.171	m <sup>3</sup> /s
Ancho de solera (b)	0.5	m
Talud (Z)	2	
Rugosidad (n)	0.035	
Pendiente (S)	0.01	m/m

**Resultados :**

Tirante normal (y)	0.2282	m	Perímetro (p)	1.5207	m
Area hidráulica (A)	0.2183	m <sup>2</sup>	Radio hidráulico (R)	0.1436	m
Espejo de agua (T)	1.4129	m	Velocidad (v)	0.7833	m/s
Número de Froude (F)	0.6363		Energía específica (E)	0.2595	m-Kg/Kg
Tipo de flujo	Subcrítico				

**Cálculo de tirante normal sección Trapezoidal, Rectangular, Triangular**

Lugar: CANAL SUR Proyecto: MPX ENERGÍA  
 Tramo: 2 Revestimiento: ARENA

**Datos :**

Caudal (Q)	0.171	m <sup>3</sup> /s
Ancho de solera (b)	0.5	m
Talud (Z)	2	
Rugosidad (n)	0.035	
Pendiente (S)	0.018	m/m

**Resultados :**

Tirante normal (y)	0.1970	m	Perímetro (p)	1.3809	m
Area hidráulica (A)	0.1761	m <sup>2</sup>	Radio hidráulico (R)	0.1275	m
Espejo de agua (T)	1.2879	m	Velocidad (v)	0.9711	m/s
Número de Froude (F)	0.8385		Energía específica (E)	0.2450	m-Kg/Kg
Tipo de flujo	Subcrítico				

**Cuidado velocidad erosiva**

**Cálculo de tirante normal sección Trapezoidal, Rectangular, Triangular**

Lugar:  Proyecto:   
 Tramo:  Revestimiento:

**Datos :**

Caudal (Q)	<input type="text" value="0.171"/>	m <sup>3</sup> /s
Ancho de solera (b)	<input type="text" value="0.5"/>	m
Talud (Z)	<input type="text" value="2"/>	
Rugosidad (n)	<input type="text" value="0.035"/>	
Pendiente (S)	<input type="text" value="0.025"/>	m/m

**Resultados :**

Tirante normal (y)	<input type="text" value="0.1812"/>	m	Perímetro (p)	<input type="text" value="1.3103"/>	m
Area hidráulica (A)	<input type="text" value="0.1562"/>	m <sup>2</sup>	Radio hidráulico (R)	<input type="text" value="0.1192"/>	m
Espejo de agua (T)	<input type="text" value="1.2247"/>	m	Velocidad (v)	<input type="text" value="1.0945"/>	m/s
Número de Froude (F)	<input type="text" value="0.9783"/>		Energía específica (E)	<input type="text" value="0.2422"/>	m-Kg/Kg
Tipo de flujo	<input type="text" value="Subcrítico"/>		<b>Cuidado velocidad erosiva</b>		

**Cálculo de tirante normal sección Trapezoidal, Rectangular, Triangular**

Lugar:  Proyecto:   
 Tramo:  Revestimiento:

**Datos :**

Caudal (Q)	<input type="text" value="0.171"/>	m <sup>3</sup> /s
Ancho de solera (b)	<input type="text" value="0.5"/>	m
Talud (Z)	<input type="text" value="2"/>	
Rugosidad (n)	<input type="text" value="0.035"/>	
Pendiente (S)	<input type="text" value="0.02"/>	m/m

**Resultados :**

Tirante normal (y)	<input type="text" value="0.1918"/>	m	Perímetro (p)	<input type="text" value="1.3577"/>	m
Area hidráulica (A)	<input type="text" value="0.1695"/>	m <sup>2</sup>	Radio hidráulico (R)	<input type="text" value="0.1248"/>	m
Espejo de agua (T)	<input type="text" value="1.2671"/>	m	Velocidad (v)	<input type="text" value="1.0091"/>	m/s
Número de Froude (F)	<input type="text" value="0.8810"/>		Energía específica (E)	<input type="text" value="0.2437"/>	m-Kg/Kg
Tipo de flujo	<input type="text" value="Subcrítico"/>		<b>Cuidado velocidad erosiva</b>		

**Cálculo de tirante normal sección Trapezoidal, Rectangular, Triangular**

Lugar: CANAL SUR Proyecto: MPX ENERGÍA  
 Tramo: 5 Revestimiento: ARENA

**Datos :**

Caudal (Q)	0.171	m <sup>3</sup> /s
Ancho de solera (b)	0.5	m
Talud (Z)	2	
Rugosidad (n)	0.035	
Pendiente (S)	0.025	m/m

**Resultados :**

Tirante normal (y)	0.1812	m	Perímetro (p)	1.3103	m
Area hidráulica (A)	0.1562	m <sup>2</sup>	Radio hidráulico (R)	0.1192	m
Espejo de agua (T)	1.2247	m	Velocidad (v)	1.0945	m/s
Número de Froude (F)	0.9783		Energía específica (E)	0.2422	m-Kg/Kg
Tipo de flujo	Subcrítico		<b>Cuidado velocidad erosiva</b>		

**Cálculo de tirante normal sección Trapezoidal, Rectangular, Triangular**

Lugar: CANAL SUR Proyecto: MPX ENERGÍA  
 Tramo: 6 Revestimiento: ARENA

**Datos :**

Caudal (Q)	0.171	m <sup>3</sup> /s
Ancho de solera (b)	0.5	m
Talud (Z)	2	
Rugosidad (n)	0.035	
Pendiente (S)	0.0195	m/m

**Resultados :**

Tirante normal (y)	0.1930	m	Perímetro (p)	1.3632	m
Area hidráulica (A)	0.1710	m <sup>2</sup>	Radio hidráulico (R)	0.1255	m
Espejo de agua (T)	1.2721	m	Velocidad (v)	0.9999	m/s
Número de Froude (F)	0.8706		Energía específica (E)	0.2440	m-Kg/Kg
Tipo de flujo	Subcrítico		<b>Cuidado velocidad erosiva</b>		

## Verificación con $Q = 221 \text{ l/s}$

**Cálculo de tirante normal sección Trapezoidal, Rectangular, Triangular**

Lugar:  Proyecto:   
 Tramo:  Revestimiento:

**Datos :**

Caudal (Q)	<input type="text" value="0.221"/>	m <sup>3</sup> /s
Ancho de solera (b)	<input type="text" value="0.5"/>	m
Talud (Z)	<input type="text" value="2"/>	
Rugosidad (n)	<input type="text" value="0.035"/>	
Pendiente (S)	<input type="text" value="0.01"/>	m/m

**Resultados :**

Tirante normal (y)	<input type="text" value="0.2589"/>	m	Perímetro (p)	<input type="text" value="1.6580"/>	m
Area hidráulica (A)	<input type="text" value="0.2636"/>	m <sup>2</sup>	Radio hidráulico (R)	<input type="text" value="0.1590"/>	m
Espejo de agua (T)	<input type="text" value="1.5358"/>	m	Velocidad (v)	<input type="text" value="0.8384"/>	m/s
Número de Froude (F)	<input type="text" value="0.6462"/>		Energía específica (E)	<input type="text" value="0.2948"/>	m-Kg/Kg
Tipo de flujo	<input type="text" value="Subcrítico"/>				

**Cálculo de tirante normal sección Trapezoidal, Rectangular, Triangular**

Lugar:  Proyecto:   
 Tramo:  Revestimiento:

**Datos :**

Caudal (Q)	<input type="text" value="0.221"/>	m <sup>3</sup> /s
Ancho de solera (b)	<input type="text" value="0.5"/>	m
Talud (Z)	<input type="text" value="2"/>	
Rugosidad (n)	<input type="text" value="0.035"/>	
Pendiente (S)	<input type="text" value="0.018"/>	m/m

**Resultados :**

Tirante normal (y)	<input type="text" value="0.2240"/>	m	Perímetro (p)	<input type="text" value="1.5019"/>	m
Area hidráulica (A)	<input type="text" value="0.2124"/>	m <sup>2</sup>	Radio hidráulico (R)	<input type="text" value="0.1414"/>	m
Espejo de agua (T)	<input type="text" value="1.3961"/>	m	Velocidad (v)	<input type="text" value="1.0405"/>	m/s
Número de Froude (F)	<input type="text" value="0.8517"/>		Energía específica (E)	<input type="text" value="0.2792"/>	m-Kg/Kg
Tipo de flujo	<input type="text" value="Subcrítico"/> <b>Cuidado velocidad erosiva</b>				

**Cálculo de tirante normal sección Trapezoidal, Rectangular, Triangular**

Lugar: CANAL SUR Proyecto: MPX ENERGÍA  
 Tramo: 3 Revestimiento: ARENA

**Datos :**

Caudal (Q)	0.221	m <sup>3</sup> /s
Ancho de solera (b)	0.5	m
Talud (Z)	2	
Rugosidad (n)	0.035	
Pendiente (S)	0.025	m/m

**Resultados :**

Tirante normal (y)	0.2064	m	Perímetro (p)	1.4229	m
Area hidráulica (A)	0.1883	m <sup>2</sup>	Radio hidráulico (R)	0.1324	m
Espejo de agua (T)	1.3254	m	Velocidad (v)	1.1734	m/s
Número de Froude (F)	0.9938		Energía específica (E)	0.2765	m-Kg/Kg
Tipo de flujo	Subcrítico		<b>Cuidado velocidad erosiva</b>		

**Cálculo de tirante normal sección Trapezoidal, Rectangular, Triangular**

Lugar: CANAL SUR Proyecto: MPX ENERGÍA  
 Tramo: 4 Revestimiento: ARENA

**Datos :**

Caudal (Q)	0.221	m <sup>3</sup> /s
Ancho de solera (b)	0.5	m
Talud (Z)	2	
Rugosidad (n)	0.035	
Pendiente (S)	0.02	m/m

**Resultados :**

Tirante normal (y)	0.2182	m	Perímetro (p)	1.4759	m
Area hidráulica (A)	0.2044	m <sup>2</sup>	Radio hidráulico (R)	0.1385	m
Espejo de agua (T)	1.3729	m	Velocidad (v)	1.0814	m/s
Número de Froude (F)	0.8949		Energía específica (E)	0.2778	m-Kg/Kg
Tipo de flujo	Subcrítico		<b>Cuidado velocidad erosiva</b>		



**Cálculo de tirante normal sección Trapezoidal, Rectangular, Triangular**

Lugar:  Proyecto:   
 Tramo:  Revestimiento:

**Datos :**

Caudal (Q)	<input type="text" value="0.221"/>	m <sup>3</sup> /s
Ancho de solera (b)	<input type="text" value="0.5"/>	m
Talud (Z)	<input type="text" value="2"/>	
Rugosidad (n)	<input type="text" value="0.035"/>	
Pendiente (S)	<input type="text" value="0.025"/>	m/m

**Resultados :**

Tirante normal (y)	<input type="text" value="0.2064"/>	m	Perímetro (p)	<input type="text" value="1.4229"/>	m
Area hidráulica (A)	<input type="text" value="0.1883"/>	m <sup>2</sup>	Radio hidráulico (R)	<input type="text" value="0.1324"/>	m
Espejo de agua (T)	<input type="text" value="1.3254"/>	m	Velocidad (v)	<input type="text" value="1.1734"/>	m/s
Número de Froude (F)	<input type="text" value="0.9938"/>		Energía específica (E)	<input type="text" value="0.2765"/>	m-Kg/Kg
Tipo de flujo	<input type="text" value="Subcrítico"/>		<b>Cuidado velocidad erosiva</b>		

**Cálculo de tirante normal sección Trapezoidal, Rectangular, Triangular**

Lugar:  Proyecto:   
 Tramo:  Revestimiento:

**Datos :**

Caudal (Q)	<input type="text" value="0.221"/>	m <sup>3</sup> /s
Ancho de solera (b)	<input type="text" value="0.5"/>	m
Talud (Z)	<input type="text" value="2"/>	
Rugosidad (n)	<input type="text" value="0.035"/>	
Pendiente (S)	<input type="text" value="0.0195"/>	m/m

**Resultados :**

Tirante normal (y)	<input type="text" value="0.2196"/>	m	Perímetro (p)	<input type="text" value="1.4821"/>	m
Area hidráulica (A)	<input type="text" value="0.2063"/>	m <sup>2</sup>	Radio hidráulico (R)	<input type="text" value="0.1392"/>	m
Espejo de agua (T)	<input type="text" value="1.3784"/>	m	Velocidad (v)	<input type="text" value="1.0715"/>	m/s
Número de Froude (F)	<input type="text" value="0.8843"/>		Energía específica (E)	<input type="text" value="0.2781"/>	m-Kg/Kg
Tipo de flujo	<input type="text" value="Subcrítico"/>		<b>Cuidado velocidad erosiva</b>		

**ANEXO 2**  
**DISEÑO DEL CANAL DE DRENAJE DE LA PLATAFORMA**  
**CANAL NORTE**

## Anexo 2 Diseño canal norte

**Cálculo de tirante normal sección Trapezoidal, Rectangular, Triangular**

**Lugar:** CANAL NORTE      **Proyecto:** MPX ENERGÍA  
**Tramo:** 1      **Revestimiento:** ARENA

**Datos :**

Caudal (Q)	0.05	m <sup>3</sup> /s
Ancho de solera (b)	0.5	m
Talud (Z)	2	
Rugosidad (n)	0.035	
Pendiente (S)	0.02	m/m

**Resultados :**

Tirante normal (y)	0.1002	m	Perímetro (p)	0.9481	m
Area hidráulica (A)	0.0702	m <sup>2</sup>	Radio hidráulico (R)	0.0740	m
Espejo de agua (T)	0.9008	m	Velocidad (v)	0.7124	m/s
Número de Froude (F)	0.8148		Energía específica (E)	0.1261	m-Kg/Kg
Tipo de flujo	Subcrítico				

**Cálculo de tirante normal sección Trapezoidal, Rectangular, Triangular**

**Lugar:** CANAL NORTE      **Proyecto:** MPX ENERGÍA  
**Tramo:** 2      **Revestimiento:** ARENA

**Datos :**

Caudal (Q)	0.05	m <sup>3</sup> /s
Ancho de solera (b)	0.5	m
Talud (Z)	2	
Rugosidad (n)	0.035	
Pendiente (S)	0.0189	m/m

**Resultados :**

Tirante normal (y)	0.1018	m	Perímetro (p)	0.9551	m
Area hidráulica (A)	0.0716	m <sup>2</sup>	Radio hidráulico (R)	0.0750	m
Espejo de agua (T)	0.9071	m	Velocidad (v)	0.6983	m/s
Número de Froude (F)	0.7936		Energía específica (E)	0.1266	m-Kg/Kg
Tipo de flujo	Subcrítico				

**Cálculo de tirante normal sección Trapezoidal, Rectangular, Triangular**

**Lugar:** CANAL NORTE **Proyecto:** MPX ENERGÍA  
**Tramo:** 3 **Revestimiento:** ARENA

**Datos :**

Caudal (Q)	0.05	m <sup>3</sup> /s
Ancho de solera (b)	0.5	m
Talud (Z)	2	
Rugosidad (n)	0.035	
Pendiente (S)	0.01	m/m

**Resultados :**

Tirante normal (y)	0.1209	m	Perímetro (p)	1.0407	m
Area hidráulica (A)	0.0897	m <sup>2</sup>	Radio hidráulico (R)	0.0862	m
Espejo de agua (T)	0.9836	m	Velocidad (v)	0.5575	m/s
Número de Froude (F)	0.5894		Energía específica (E)	0.1367	m-Kg/Kg
Tipo de flujo	Subcrítico				

**Cálculo de tirante normal sección Trapezoidal, Rectangular, Triangular**

**Lugar:** CANAL NORTE **Proyecto:** MPX ENERGÍA  
**Tramo:** 4-5-6 **Revestimiento:** ARENA

**Datos :**

Caudal (Q)	0.05	m <sup>3</sup> /s
Ancho de solera (b)	0.5	m
Talud (Z)	2	
Rugosidad (n)	0.035	
Pendiente (S)	0.025	m/m

**Resultados :**

Tirante normal (y)	0.0943	m	Perímetro (p)	0.9215	m
Area hidráulica (A)	0.0649	m <sup>2</sup>	Radio hidráulico (R)	0.0704	m
Espejo de agua (T)	0.8770	m	Velocidad (v)	0.7704	m/s
Número de Froude (F)	0.9042		Energía específica (E)	0.1245	m-Kg/Kg
Tipo de flujo	Subcrítico				

**Cálculo de tirante normal sección Trapezoidal, Rectangular, Triangular**

**Lugar:** CANAL NORTE      **Proyecto:** MPX ENERGÍA  
**Tramo:** 7      **Revestimiento:** ARENA

**Datos :**

Caudal (Q)	0.05	m3/s
Ancho de solera (b)	0.5	m
Talud (Z)	2	
Rugosidad (n)	0.035	
Pendiente (S)	0.0287	m/m

**Resultados :**

Tirante normal (y)	0.0907	m	Perímetro (p)	0.9058	m
Area hidráulica (A)	0.0618	m2	Radio hidráulico (R)	0.0683	m
Espejo de agua (T)	0.8630	m	Velocidad (v)	0.8085	m/s
Número de Froude (F)	0.9643		Energía específica (E)	0.1241	m-Kg/Kg
Tipo de flujo	Subcrítico				

**Cálculo de tirante normal sección Trapezoidal, Rectangular, Triangular**

**Lugar:** CANAL NORTE      **Proyecto:** MPX ENERGÍA  
**Tramo:** 8      **Revestimiento:** ARENA

**Datos :**

Caudal (Q)	0.05	m3/s
Ancho de solera (b)	0.5	m
Talud (Z)	2	
Rugosidad (n)	0.035	
Pendiente (S)	0.025	m/m

**Resultados :**

Tirante normal (y)	0.0943	m	Perímetro (p)	0.9215	m
Area hidráulica (A)	0.0649	m2	Radio hidráulico (R)	0.0704	m
Espejo de agua (T)	0.8770	m	Velocidad (v)	0.7704	m/s
Número de Froude (F)	0.9042		Energía específica (E)	0.1245	m-Kg/Kg
Tipo de flujo	Subcrítico				

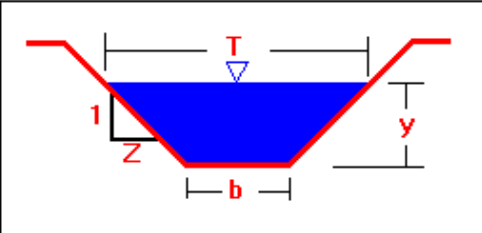
**Cálculo de tirante normal sección Trapezoidal, Rectangular, Triangular**

**Lugar:** CANAL NORTE      **Proyecto:** MPX ENERGÍA

**Tramo:** 9      **Revestimiento:** ARENA

**Datos :**

Caudal (Q)	0.05	m <sup>3</sup> /s
Ancho de solera (b)	0.5	m
Talud (Z)	2	
Rugosidad (n)	0.035	
Pendiente (S)	0.028	m/m



**Resultados :**

Tirante normal (y)	0.0914	m	Perímetro (p)	0.9086	m
Area hidráulica (A)	0.0624	m <sup>2</sup>	Radio hidráulico (R)	0.0687	m
Espejo de agua (T)	0.8655	m	Velocidad (v)	0.8016	m/s
Número de Froude (F)	0.9533		Energía específica (E)	0.1241	m-Kg/Kg
Tipo de flujo	Subcrítico				