

EVALUACION GEOTECNICA Y ESTRUCTURAL DE HASTA  
28 OBRAS DE PROTECCION HIDRAULICA LOCALIZADAS  
EN LOS 11 MUNICIPIOS QUE CONFORMAN EL NUCLEO  
DE LA REGION DE LA MOJANA



PROTECCION DE ORILLA No. 1 Y No. 3 – ACHI

INFORME DE ANALISIS DE ESTABILIDAD Y DISEÑO A NIVEL  
DE INGENIERIA BASICA

SEPTIEMBRE - 2015

## IDENTIFICACIÓN DE CAMBIOS

Nombre del proyecto:	EVALUACIÓN GEOTÉCNICA Y ESTRUCTURAL DE HASTA 28 OBRAS DE PROTECCIÓN HIDRÁULICA LOCALIZADAS EN LOS 11 MUNICIPIOS QUE CONFORMAN EL NÚCLEO DE LA REGIÓN DE LA MOJANA, QUE PERMITA OBTENER UN DIAGNOSTICO DETALLADO DE LAS CONDICIONES ACTUALES DE LAS CITADAS ESTRUCTURAS	
Orden de trabajo:	202-001-15	
Nombre del Informe:	INFORME DE ANÁLISIS Y DISEÑO A NIVEL DE INGENIERIA BASICA DEL LA PROTECCIÓN DE ORILLA NO. 1 Y NO. 3 EN ACHÍ	
Versión	Cambios Realizados	Fecha
0	Versión original	JULIO 15 2015
1	Versión corregida de acuerdo a las correcciones de la interventoría	AGOSTO 12 2015
2	Versión corregida de acuerdo a las correcciones de la interventoría	SEPTIEMBRE 3 2015

## ELABORADO POR:

Versión	Nombre	Firma	Fecha
0	DAVID CASTRO CRUZ		JULIO 15 2015
1	DAVID CASTRO CRUZ		AGOSTO 12 2015
1	DAVID CASTRO CRUZ		SEPTIEMBRE 3 2015

## REVISADO POR:

Versión	Nombre	Firma	Fecha
0	DONALDO CASTILLA		JULIO 15 2015
1	DONALDO CASTILLA		AGOSTO 12 2015
2	DONALDO CASTILLA		SEPTIEMBRE 3 2015

## APROBADO POR:

Versión	Nombre	Firma	Fecha
0	ALBERTO DURÁN		JULIO 15 2015
1	ALBERTO DURÁN		AGOSTO 12 2015
2	ALBERTO DURÁN		SEPTIEMBRE 3 2015

## TABLA DE CONTENIDO

<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>6</b>
<b>2. METODOLOGÍA Y CRITERIOS DE DISEÑO.....</b>	<b>7</b>
2.1 CRITERIOS GENERALES DE DISEÑO .....	7
2.1.1 Criterios de comportamiento.....	7
2.1.2 Criterios específicos de la estructura.....	7
2.2 MECANISMO DE PROTECCIÓN DE ORILLA.....	7
2.3 INSUMOS Y CONSIDERACIONES PARA EL ANÁLISIS Y DISEÑO DE LA PROTECCIÓN DE ORILLA.....	8
2.3.1 Información básica.....	8
2.3.2 Cargas .....	8
2.3.3 Condiciones de carga y de análisis .....	8
2.3.4 Esquema de la sección y sección de análisis.....	9
2.4 METODOLOGÍA DE ANÁLISIS GEOTÉCNICOS .....	11
2.4.1 Estabilidad general de las protecciones de orilla.....	11
2.4.2 Parámetros geotécnicos del relleno y del suelo de fundación para los análisis.....	12
<b>3. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL .....</b>	<b>13</b>
3.1 ESPOLONES ADOSADOS, A BASE DE PILOTES METÁLICOS Y BOLSAS DE SUELO-CEMENTO (Abs K0 +000 HASTA K0 +205). 13	
3.2 ESTRUCTURA DE PROTECCIÓN CON GEOBOLSAS Y GEOTUBOS (Abs. K0 +205 A Abs. K1 +063).....	14
<b>4. ESTRUCTURAS PROPUESTAS Y ANÁLISIS GEOTÉCNICOS PARA LAS ESTRUCTURAS DISEÑADAS .....</b>	<b>16</b>
4.1 ESPOLONES ADOSADOS, A BASE DE PILOTES METÁLICOS Y BOLSAS DE SUELO-CEMENTO (Abs K0 +000 HASTA K0 +205). 16	
4.2 ESTRUCTURA DE PROTECCIÓN CON GEOBOLSAS Y GEOTUBOS (Abs. K0 +205 A Abs. K1 +063).....	17
<b>5. ELEMENTOS DE LA ESTRUCTURA PROPUESTA PARA LA PROTECCIÓN DE ORILLA Y RECOMENDACIONES CONSTRUCTIVAS.....</b>	<b>24</b>
5.1 GEOTUBOS.....	24
5.2 GEOBOLSAS.....	25
5.3 GEOTEXTIL ANTISOCACIÓN.....	26
5.4 GEOMANTO.....	27
5.5 RELLENOS.....	28
<b>6. CANTIDADES DE OBRA Y PRESUPUESTO.....</b>	<b>29</b>
<b>7. CONCLUSIONES.....</b>	<b>31</b>
<b>8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>33</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2-1. Sección de análisis de la protección de orilla donde se presenta la estructura actual junto con los elementos que son propuestos en este informe. Sección que representa al tramo que presenta espolones en acero con un núcleo de bolsas de suelo-cemento. ....	10
Figura 2-2. Sección de análisis de la orilla donde se construirá la protección de orilla propuesta en geobolsas y geotubos. ....	10
Figura 3-1. Protección de orilla existente, conformada de pilotes en acero y sacos de suelo-cemento. ....	13
Figura 4-2. Análisis de la protección de orilla en espolones metálicos representativa de la condición actual y de diseño. Abs K0+190. ....	14
Figura 3-2. Protección de orilla en tablestacados presente en la actualidad, la cual no es suficiente para reducir la velocidad de flujo del agua y es completamente permeable. ....	15
Figura 4-1. Esquema de la estructura de espolones en pilotes metálicos con sacos de suelo-cemento (Ecovias S.A.S 2012). ....	17
Figura 4-3. Esquema del mecanismo de protección de orilla propuesto para este punto del trazado del Río Cauca. ....	18
Figura 4-4. Fotografía de construcción de protección de orilla y espigones con geobolsas en la zona de La Mojana, tomada durante visita a campo en abril de 2015. ....	18
Figura 4-5. Foto del archivo fotográfico que muestra el proceso de llenado de geobolsas en una formaleta por medio de una tolva (Archivo fotográfico de Suelos Ingeniería). ....	19
Figura 4-6. Foto del archivo fotográfico que muestra del izado y disposición de geobolsas por medio de una grúa (Archivo fotográfico de Suelos Ingeniería). ....	20
Figura 4-7. Foto que muestra el relleno con material in-situ en el espaldón de una hilera de geotubos (Archivo fotográfico de Suelos Ingeniería). ....	21
Figura 4-8. Foto de geotubos protegidos por medio de la instalación de geo mantos para facilitar la revegetación (Archivo fotográfico de Suelos Ingeniería). ....	21
Figura 4-9. Análisis de la protección de orilla en geobolsas y geotubos en la condición actual. ....	22

## LISTA DE TABLAS

Tabla 2-1. Resumen de la zonificación global teniendo con la sección de análisis que representa cada zona. ....	11
Tabla 2-2. Factores de seguridad mínimos para los análisis de estabilidad general .....	11
Tabla 2-3. Criterio de determinación la aceleración horizontal para análisis pseudo-estáticos, tomado de la NSR 10 (AIS 2010). ....	12
Tabla 2-4. Resumen de parámetros geo mecánicos empleados en los análisis de estabilidad general. ....	12
Tabla 3-1. Factores de seguridad representativos sobre la estructura actual ubicada en las abscisas K0+000 y K0+205. ....	14
Tabla 4-1. Resumen de los requisitos mínimos del material de relleno para la parte posterior de la protección de orilla. ....	16
Tabla 4-3. Factores de seguridad obtenidos de los análisis de estabilidad general para diferentes condiciones de carga, Sección 2. ....	22
Tabla 5-1. Propiedades del geotextil para la conformación de geotubos. ....	24
Tabla 6-1. Resumen de cantidades de obra y presupuesto para la rehabilitación de los espolones en pilotes metálicos con bolsas de suelo-cemento. ....	29
Tabla 6-2. Resumen de cantidades de obra y presupuesto para la construcción de la protección de orilla en Geobolsas y Geotubos. ....	30

## LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Análisis de estabilidad general y verificación de ocurrencia de tubificación

Anexo B. Cantidades de obra, APU, y presupuesto

Anexo C. Planos

# 1. INTRODUCCIÓN

Este informe es parte del contrato número 200 de 2014 entre el Fondo de Adaptación y la empresa Suelos Ingeniería (SI) S.A.S para la evaluación geotécnica y estructural de 28 obras de protección hidráulica en la zona de la Mojana. El objetivo específico del estudio es determinar la vida útil remanente de las estructuras, su capacidad de prevención de desastres y las cantidades y dimensiones de las obras necesarias para garantizar su funcionamiento durante escenarios de amenaza. Este informe corresponde al diseño a nivel de ingeniería básica el sector donde se encuentra la estructura correspondiente a las Protecciones de Orilla en Achí. Estas protecciones corresponden a la Protección de Orilla No.1 y la protección de Orilla No. 3 que pertenece a las 28 obras de protección hidráulica analizadas en este estudio. La protección de orilla número 3 se ubicó en correspondencia con el oficio 34 del 31 de marzo del 2015.

El presente informe consiste en: primero la revisión de la capacidad de la estructura en su estado actual de comportarse adecuadamente ante la aplicación de las cargas a las que estará sometida durante su operación, de acuerdo a los requisitos adoptados y suministrados por el FONDO ADAPTACIÓN, y segundo en la propuesta de una estructura u obras necesario a nivel de ingeniería básica para alcanzar dichas especificaciones, en caso de que no se cumplan.

En este documento se presenta un compendio de las metodologías y criterios empleados para llevar a cabo los análisis geotécnicos pertinentes para avalar el diseño o estructura propuesta, así como el detalle de los resultados obtenidos por medio de dichas verificaciones. Adicionalmente se presenta un resumen de las características de los materiales a emplear en la construcción de la o las estructuras propuestas. Se hará también una descripción de los elementos adicionales, aparte del cuerpo principal, que son necesarios para el correcto funcionamiento de la solución propuesta. Algunas recomendaciones de la construcción y manejo de materiales para los elementos principales de la solución propuesta se presentan en este documento.

La determinación de los sitios específicos donde se llevarán a cabo los análisis para la verificación de la estructura propuesta, se hizo con base en el nivel de las aguas del Río Cauca para una creciente con un periodo de retorno de 100 años y que fue suministrado por el Fondo Adaptación. Adicionalmente se tuvo en cuenta la información recolectada durante las etapas anteriores de caracterización y análisis de estabilidad de la misma estructura. Finalmente se calcularán las cantidades de obra y presupuesto aproximado para la construcción de las obras necesarias para alcanzar los requisitos mínimos indicados por el FONDO ADAPTACIÓN.

El presente informe se compondrá de los siguientes capítulos o secciones: (1) Introducción, (2) Metodología y criterios de diseño, (3) Análisis geotécnicos, (4) Elementos de la estructura propuesta para la protección de orilla (5) Cantidades de obra y presupuesto (6) Conclusiones y (7) Referencias bibliográficas.



## 2. METODOLOGÍA Y CRITERIOS DE DISEÑO

En este capítulo se presenta un compendio de las metodologías y criterios para el diseño de las protecciones de orilla de Achí No.1 y No. 3. de tal forma que cumpla con las especificaciones mínimas requeridas por las normas Colombianas y con las especificaciones suministradas por el Fondo Adaptación.

La situación actual que fue presen

### 2.1 CRITERIOS GENERALES DE DISEÑO

#### 2.1.1 Criterios de comportamiento

El comportamiento de la estructura en términos de esfuerzos y deformaciones debe ser satisfactorio, lo que significa que esta no debe presentar un deterioro apreciable o que lo aproxime a la falla ante la aplicación de cargas normales esperadas durante la vida útil de la estructura.

En caso de presentarse cargas asociadas a condiciones extraordinarias (como sismo y crecientes) la estructura no debe fallar súbitamente. En estos casos pueden presentarse agrietamientos, distorsiones y/o desplazamientos permanentes de la estructura, pero que en todo caso puedan ser reparados posteriormente. Estas deformaciones no pueden ser de tal magnitud que representen un riesgo para la seguridad de la estructura o que se traduzcan en una falla repentina de la misma.

#### 2.1.2 Criterios específicos de la estructura

Para el caso particular de las Protecciones de Orilla en Achí se tuvieron en cuenta los siguientes criterios o consideraciones.

- La cresta de la estructura propuesta deberá estar en la EL. 26.66 msnm, para asegurarse que la protección esté por encima del punto más alto de toda la orilla del río en toda la extensión donde esta será implementada.
- Las primeras capas de la protección de orilla serán construidas con geobolsas colocadas al volteo, de tal forma que puede alcanzarse un nivel sobre las aguas del Río Cauca adecuado para la disposición de geotubos o una estructura similar.
- En el caso de la protección de orilla No.1 que está hecha con tubos metálicos rellenos de concreto pobre, y un núcleo de bolsas de suelo cemento. Esta será restaurada ya que esta mantiene su forma y tiene una capacidad de servicio capaz de brindar protección a la orilla en este sector.

### 2.2 MECANISMO DE PROTECCIÓN DE ORILLA

En la zona se propondrán dos tipos de protecciones de orilla basándose en las condiciones actuales de cada tramo. La primera condición se propondrá cuando la protección de orilla actual requiera mantenimiento únicamente, pues su



estructura e integridad se conservan y se puede con unas recomendaciones adicionales asegurar su funcionamiento como estructura de protección que evite el desplazamiento de la orilla. En este caso se realizarán los análisis de estabilidad de diseño únicamente, pues los elementos propuestos no generan una condición estructural o geotécnica especial que ameriten un análisis por separado de la situación actual y de diseño. Aunque como se explicará a continuación la implementación de estos elementos recomendados reducen el deterioro y garantizan el buen funcionamiento de la estructura para evitar que el río Cauca desplace la orilla del trazado actual. Este caso se da para el tramo comprendido entre las abscisas K0 +000 hasta la abscisa K0 +250.

La segunda condición se propondrá cuando en el lugar no hay una estructura para proteger la orilla y se debe proponer una nueva estructura para contener el río y evitar el corrimiento de la orilla. En esta condición se propondrá una estructura en geobolsas y geotubos pues hay una protección de orilla capaz de prevenir la erosión causada por el río Cauca. Este es el caso del tramo de estudio comprendido entre las abscisas K0+250 hasta K1+1063.

Ambos casos serán explicados con más detenimiento a continuación en este documento.

## **2.3 INSUMOS Y CONSIDERACIONES PARA EL ANÁLISIS Y DISEÑO DE LA PROTECCIÓN DE ORILLA**

### **2.3.1 Información básica**

El diseño geotécnico de la estructura requiere de los siguientes insumos básicos:

1. Plano planta-perfil y cargas estructurales de la protección de orilla.
2. Resultado e interpretación de las investigaciones geotécnicas correspondiente a exploraciones de campo y ensayos de laboratorio (Suelos Ingeniería 2015).
3. Caracterización del material de fundación y de los materiales a usar en la protección de orilla.

### **2.3.2 Cargas**

Para el diseño de la estructura en esta zona se consideraron las siguientes cargas:

1. Peso propio de la estructura.
2. Carga hidrostática del río.
3. Cargas debido a sismo.
4. Carga viva debido al tráfico sobre la corona de la estructura (en caso de presentarse tráfico vehicular en las cercanías de la estructura)

### **2.3.3 Condiciones de carga y de análisis**

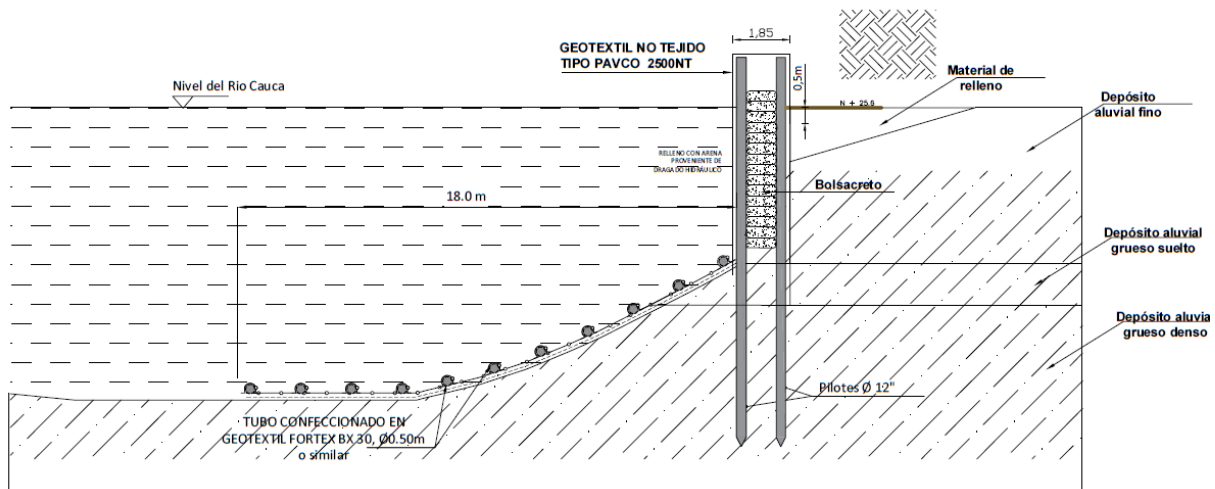
Las condiciones de carga consideradas para la protección de orilla son las que se listan a continuación:

1. Condición estática a corto plazo con flujo estacionario. Este análisis se hará en condiciones no drenadas para el nivel de aguas del Río Cauca a la mitad de la altura de la orilla.
2. Condición estática a largo plazo con flujo estacionario. Este análisis se hará en condiciones drenadas para el nivel de aguas del Río Cauca a la mitad de la altura de la orilla.
3. Condición estática con flujo estacionario para un nivel de aguas en caso de crecientes. Este análisis se hará en condiciones drenadas para el nivel de la lámina de agua del Río Cauca en caso de un creciente que coincida con la parte superior de la orilla en este tramo.
4. Condición de desembalse rápido. Para este análisis se tendrá en cuenta un nivel de aguas colgado dentro de la estructura del dique, desde el nivel de aguas en la parte superior de la orilla y el nivel de aguas a la mitad de la altura. Para esta condición de análisis se emplearon los parámetros drenados del material (esfuerzos efectivos), para modelar los efectos de acumulación de presión de poros por el cambio de carga se usa el método B-bar con la herramienta de cálculo Slide de Rockscience.
5. Condición de sismo. Se empleará en este caso un nivel de aguas a la mitad de la altura de la orilla. Este análisis se hará adoptando la resistencia al corte no drenado del material (esfuerzos totales). Esto se debe a que durante un evento de sismo la aplicación de cargas es súbita, no permitiendo la disipación del exceso de presión de poros en el suelo y provocando un comportamiento no drenado del material.

#### **2.3.4 Esquema de la sección y sección de análisis**

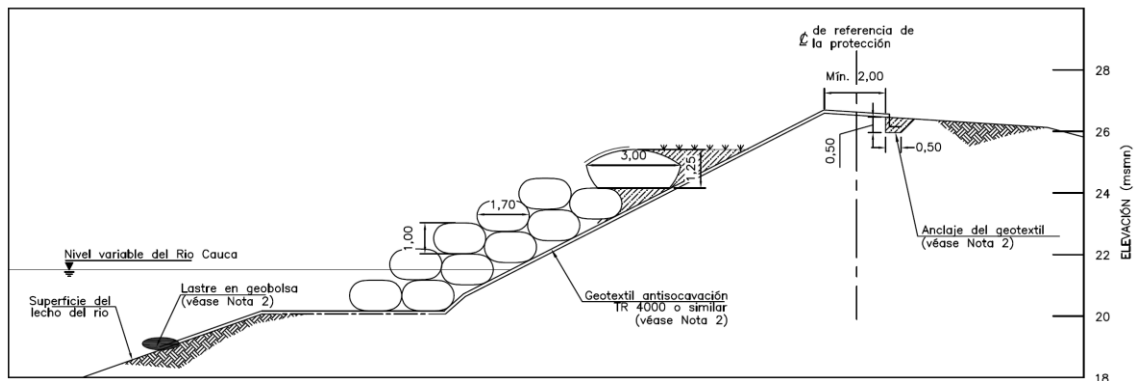
El análisis de estabilidad se hará para la sección crítica de la orilla del río, en el tramo de la protección que se está analizando. Esta sección corresponde al punto donde ésta tenga la mayor altura y sea más empinada. Esta sección se seleccionó por medio de la generación de secciones transversales del tramo de interés usando AutoCAD Civil 3D y una superficie del terreno natural en este punto. Esta superficie a su vez se construyó por medio de la información topográfica suministrada en un modelo de elevación digital (DEM) que suministró EL FONDO ADAPTACIÓN para la zona de estudio.

De acuerdo con la información mencionada, se seleccionó una sección transversal en la Abs. K0+190 la cual se presenta en la Figura 2-1. Esta sección se seleccionó para realizar los análisis debido a su alta pendiente en comparación con las demás secciones que se encuentran en el tramo donde están presentes los espolones metálicos.



**Figura 2-1. Sección de análisis de la protección de orilla donde se presenta la estructura actual junto con los elementos que son propuestos en este informe. Sección que representa al tramo que presenta espolones en acero con un núcleo de bolsas de suelo-cemento.**

Posteriormente se tomó la sección crítica basándose en la zonificación geotécnica y geométrica de las zonas donde no hay espolones metálicos y se debe proponer una nueva estructura. Esta sección representa las obras donde no se encontró una protección de orilla capaz de evitar la socavación en el sitio. Como se mencionó anteriormente para esta zona se usará una estructura compuesta por geobolsas y geotubos. La sección representativa de dicha estructura se muestra en la Figura 2-2.



**Figura 2-2. Sección de análisis de la orilla donde se construirá la protección de orilla propuesta en geobolsas y geotubos.**

De las anteriores secciones en la Tabla 2-1 se resume que zona representa cada sección de análisis, basándose en que se escogió la situación más crítica entre las zonas que cada sección representa.

**Tabla 2-1. Resumen de la zonificación global teniendo con la sección de análisis que representa cada zona.**

ABSCISAS	ZONIFICACION GLOBAL	ZONIFICACION GEOMETRICA	ZONIFICACION GEOTECNICA	Seccione que la representa
K0+000 - K0+050	1	1	1	Sección 1
K0+050 - K0+205	2	1	2	Sección 1
K0+205 - K0+302	3	2	1	Sección 2
K0+302 - K0+344	4	3	1	Sección 2
K0+344 - K1+063	5	4	1	Sección 2

## 2.4 METODOLOGÍA DE ANÁLISIS GEOTÉCNICOS

A continuación se presenta un compendio de las metodologías y criterios empleados para hacer la evaluación geotécnica de la nueva de la protección de orilla propuesta para esta zona. Estos análisis tienen en cuenta los criterios e insumos descritos en las secciones anteriores de este capítulo.

### 2.4.1 Estabilidad general de las protecciones de orilla

Para la verificación de la estabilidad general de la protección de orilla se tuvieron en cuenta mismos requisitos mínimos recomendados para taludes de diques por El Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos (U.S. Army Corps of Engineers 2000). Para la condición de sismo se tuvo en cuenta el factor de seguridad mínimo recomendado por la Norma Sismo Resistente Colombiana NSR 10 (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica 2010). En la Tabla 2-2 se presentan los factores de seguridad mínimos requeridos para las diferentes condiciones de carga y de análisis descritas en el Numeral 2.3.

**Tabla 2-2. Factores de seguridad mínimos para los análisis de estabilidad general**

Caso	Condición de diseño	F.S. mínimo	Observaciones
1	Condición estática a corto plazo con flujo estacionario	1.3	Condición UU, esfuerzos totales
2	Condición estática a largo plazo con flujo estacionario	1.4	Esfuerzos efectivos, con nivel freático
3	Condición estática con flujo estacionario para un nivel de aguas en caso de crecientes	1.3	Esfuerzos efectivos, con nivel freático
4	Desembalse rápido	1.2	Esfuerzos efectivos, con nivel freático colgado
5	Condición de sismo	1.05	80% del PGA

La estabilidad de las estructuras se analizó bajo condiciones de carga estática y de sismo mediante análisis estáticos y pseudo-estáticos, respectivamente. En estos se buscan distintas superficies de deslizamiento o superficies de falla, a partir de la metodología comúnmente utilizada de equilibrio límite.

Para el caso con sismo, se empleó el método pseudo-estático. La fuerza horizontal a considerar en los análisis será determinada con base en el criterio descrito en la tabla H.5.2-1 de la Norma Sismo Resistente Colombiana (NSR 10,

referencia (AIS 2010)), que se presenta en la Tabla 2-3. Con base en este criterio se tomará un 80% de la aceleración pico del terreno según la zona de sismicidad en la que se encuentra ubicada la estructura.

**Tabla 2-3. Criterio de determinación la aceleración horizontal para análisis pseudo-estáticos, tomado de la NSR 10 (AIS 2010).**

Material	KST $a_{max}$ mínimo	Análisis de Amplificación mínimo
Suelos, enrocados y macizos rocosos muy fracturados (RQD < 50%)	0.80	Ninguno
Macizos rocosos (RQD > 50%)	1.00	Ninguno
Todos los materiales térreos	0.67	Amplificación de onda unidimensional en dos columnas y promediar
Todos los materiales térreos	0.50	Amplificación de onda bidimensional

La Protección de Orilla de Achí se encuentra en una zona de sismicidad INTERMEDIA, según Norma Sismo Resistente Colombiana, y posee una aceleración pico del terreno (PGA) de 0,15. En el documento de caracterización geotécnica y geométrica para esta estructura (Suelos Ingeniería 2015) se presenta con más detalle este tema.

## 2.4.2 Parámetros geotécnicos del relleno y del suelo de fundación para los análisis

Con base en la caracterización de los materiales del suelo de fundación o de la orilla del río en la zona de interés, que se presentó en el documento, se determinaron los parámetros geo mecánicos más adecuados para representar el comportamiento de estos materiales, tanto para condiciones drenadas como no drenadas. En la Tabla 2-4 se presenta un resumen de los parámetros geo mecánicos empleados para los análisis de estabilidad general.

**Tabla 2-4. Resumen de parámetros geo mecánicos empleados en los análisis de estabilidad general.**

	Su (kPa)	$\Phi$ (°)	c (kPa)	$\gamma$ (kN/m³)	k (m/s)
<b>Estrato superficial</b>	36.6	27	6.5	16.5	6E-10
<b>Depósito aluvial fino</b>	17.3	23	8	17.2	2E-10
<b>Depósito aluvial grueso suelto</b>	NA	27	7	16.5	5E-5
<b>Depósito aluvial grueso denso</b>	NA	39	0	19.5	2E-4

### 3. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL

Basándose en el informe de caracterización se identificaron problemas en cada zona como se explicará a continuación. Para cada caso son propuestas una serie de elementos y medidas que serán explicados en este capítulo.

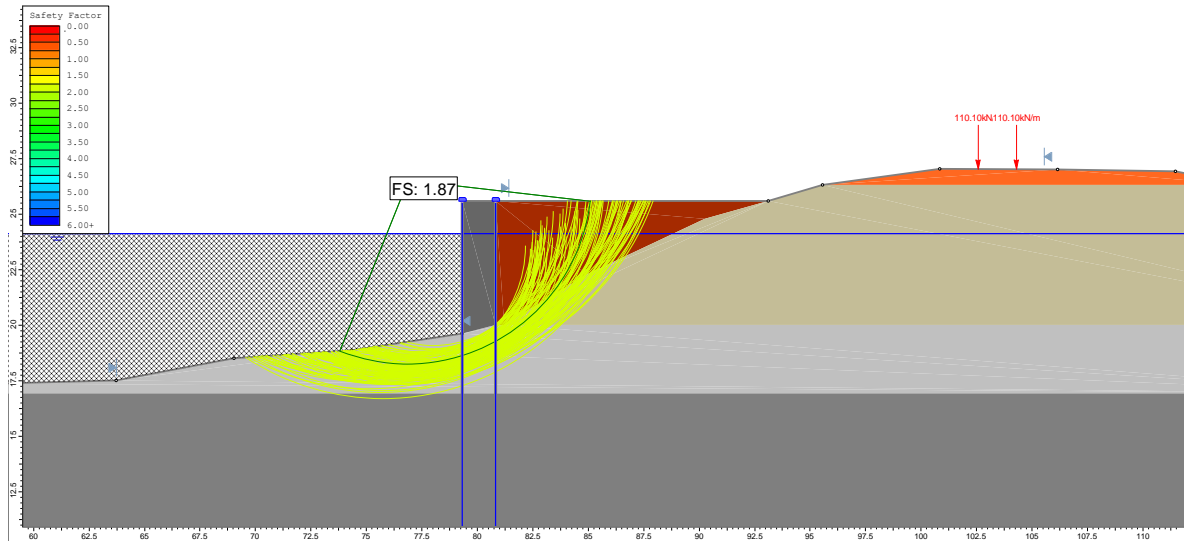
#### 3.1 ESPOLONES ADOSADOS, A BASE DE PILOTES METÁLICOS Y BOLSAS DE SUELO-CEMENTO (ABS K0 +000 HASTA K0 +205).

Esta estructura encontrada en campo y es descrita en el informe previo a este informe para la estructura de protección de orilla No. 1 y No. 3 (Suelos Ingeniería 2015). Esta estructura ubicada en la zona geométrica 1, se le aprecian distintos problemas que fueron identificados en la visita y evaluación de campo a la estructura. En la Figura 3-1 se observa que la estructura permite el paso de las aguas del río a través de su cuerpo, por lo que ha ocurrido socavación del terreno natural detrás de la estructura, evidenciando que esta no trabaja adecuadamente en la actualidad.



**Figura 3-1. Protección de orilla existente, conformada de pilotes en acero y sacos de suelo-cemento.**

El análisis de estabilidad de la sección 1 se hizo con la metodología explicada en el numeral 2.4. Para este fin se usó la herramienta Slide de Rocksciense donde los pilotes y el relleno fue modelado como se observa en la Figura 3-2 que se muestra a manera de ejemplo.



**Figura 3-2. Análisis de la protección de orilla en espolones metálicos representativa de la condición actual y de diseño. Abs K0+190.**

En la Tabla 3-1 se muestran los Factores de seguridad obtenidos para esta estructura los cuales indican que a estructura no tiene riesgo de colapso inmediato, y cumple con los requerimientos mínimos de seguridad. Para esta estructura el criterio de seguridad de desembalse rápido es superado por una mínima diferencia lo cual se considera adecuado pues la ocurrencia de un desembalse rápido total para el Río Cauca se considera poco probable. Por lo cual se concluye que este valor de factor de seguridad y los demás indican que la estructura actualmente está en capacidad de prestar su servicio en condiciones de servicio.

**Tabla 3-1. Factores de seguridad representativos sobre la estructura actual ubicada en las abscisas K0+000 y K0+205.**

Caso	Condición de diseño	Factor de seguridad mínimo	FS Sección 1 (Estructura en espolones metálicos y zona geotécnica 1)
1	Condición estática a corto plazo con flujo estacionario	1.3	1.83
2	Condición estática a largo plazo con flujo estacionario	1.4	1.87
3	Condición estática con flujo estacionario para un nivel de aguas en caso de crecientes	1.3	2.23
4	Desembalse rápido	1.2	1.21
5	Condición de sismo	1.05	1.40

### 3.2 ESTRUCTURA DE PROTECCIÓN CON GEOBOLSAS Y GEOTUBOS (ABS. K0 +205 A ABS. K1 +063)

Esta estructura se propone como un mecanismo de protección de orilla, para evitar el avance de la orilla en los puntos donde ésta se encuentra desprotegida o donde la estructura existente se encuentra deteriorada o es insuficiente como el



caso del tableestacado. En este último caso, el tablestacado permite que el río Cauca socave la orilla pues su flujo no es interrumpido por la estructura. Adicionalmente, la estructura no posee la altura suficiente para proteger la cara del dique.

En las condiciones actuales no hay ninguna obra civil en el lugar por lo cual no se considera pertinente realizar un análisis de estabilidad al tramo de este numeral. Adicionalmente, una vez se instalen las geobolsas esto agregará una carga que implicará que la zona sea más inestable, por lo cual se considera que los resultados de estabilidad de la etapa de diseño son representativos de las condiciones actuales.

En la caracterización previa se identificó que en las zonas geométricas 2, 3, y 4 poseen una orilla socavada por la acción del río Cauca. Puntualmente en las zonas 2 y 4 no poseen ninguna estructura de protección de orilla y estas tienen pendientes casi verticales en algunos casos (Suelos Ingeniería 2015). En la zona 3 hay una protección con tablestacado que permite la filtración del agua sin disminuir la corriente que trae el agua por su flujo con el Río Cauca como se observa en la Figura 3-3. Basándose en la evaluación visual de un ingeniero especializado, y que en esta zona se presentó una falla que causó una inundación en la región, se considera que esta estructura debe ser remplazada totalmente con la alternativa de geobolsas y geotubos propuesta.



**Figura 3-3. Protección de orilla en tablestacados presente en la actualidad, la cual no es suficiente para reducir la velocidad de flujo del agua y es completamente permeable.**

## 4. ESTRUCTURAS PROPUESTAS Y ANÁLISIS GEOTÉCNICOS PARA LAS ESTRUCTURAS DISEÑADAS

En este capítulo se presentan los resultados de los análisis geotécnicos llevados a cabo para verificar la estabilidad de la protección de orilla propuesta para esta zona. La metodología y criterios considerados para realizar los análisis son los descritos en el Capítulo 2.

### 4.1 ESPOLONES ADOSADOS, A BASE DE PILOTES METÁLICOS Y BOLSAS DE SUELO-CEMENTO (ABS K0 +000 HASTA K0 +205).

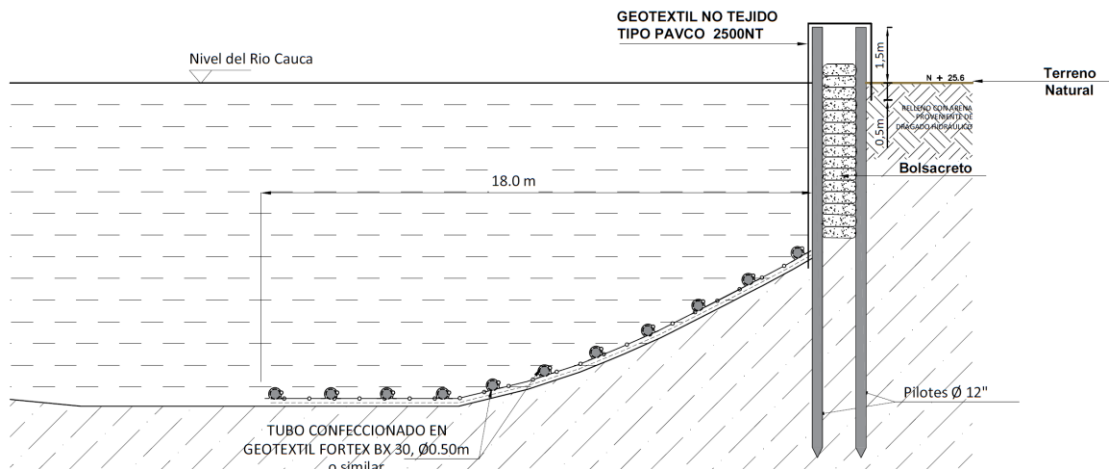
Para mejorar el desempeño de la estructura se propone recubrir ésta con un manto anti socavación para controlar la erosión que el Río Cauca genere en la parte frontal de la estructura. Para un diseño detallado se debe comprobar que el manto anti socavación instalado en la construcción de esta estructura continua prestando su servicio por medio de una inspección con buceo en el Río Cauca. En caso de que el manto anti socavación no esté presente, se debe instalar las especificaciones propuestas en el diseño inicial de esta que es un manto FORTEX BX 60 o similar (Ecovias S.A.S 2012). El manto anti socavación debe ser fijado con lastres conformados por geotextiles Fortex BX 30, de 0.50 m de diámetro, o similar.

Adicional a este geo manto, entre el fondo del río y la cresta de la estructura se recomienda usar una protección con el fin de evitar que el río socave la parte posterior a la protección de orilla, así como brindar protección a las bolsas y a la estructura como se observa en la . Esta puede ser un geotextil no tejido tipo PAVCO 2500 NT o similar. Este geotextil debe anclarse excavando una zanja de 50.0 cm de profundidad en la parte anterior a la estructura, depositando el geotextil, y finalmente rellenando la zanja con material proveniente de la excavación. Este geo manto fue instalado inicialmente al final de la construcción, pero en la actualidad el geo manto fue retirado por el río. Esto evidencia que se debe tener especial cuidado en los anclajes y la fijación del geo textil no tejido.

Se debe igualmente rellenar la parte posterior de la estructura (espacio entre la estructura y orilla actual) que ha sido socavada por el agua. El terreno natural debe ser elevado hasta la altura de 25.6 msnm que es la altura inicial donde se encontraba el suelo en el momento del diseño de la protección de orilla. Se recomienda para este relleno usar material fino de la zona de manera compactada que debe cumplir con las características mínimas mostradas a continuación en la para garantizar una mínima resistencia a la socavación. Un esquema de la reparación (y versión original del diseño) para este tipo de estructura se presenta en la Figura 4-1, donde se aprecia el geotextil no tejido que debe ser agregado a la estructura actual.

**Tabla 4-1. Resumen de los requisitos mínimos del material de relleno para la parte posterior de la protección de orilla.**

<b>Clasificación</b>	Material con porcentaje de finos mayor a 30% y menor a 80%
<b>Límite Líquido</b>	$\leq 40\%$
<b>Índice de Plasticidad (IP)</b>	$\geq 15\%$
<b>Proctor Modificado</b>	Peso unitario = 95% del Proctor mod. $\omega_{Compactada} = \omega_{Optima} + 5\%$

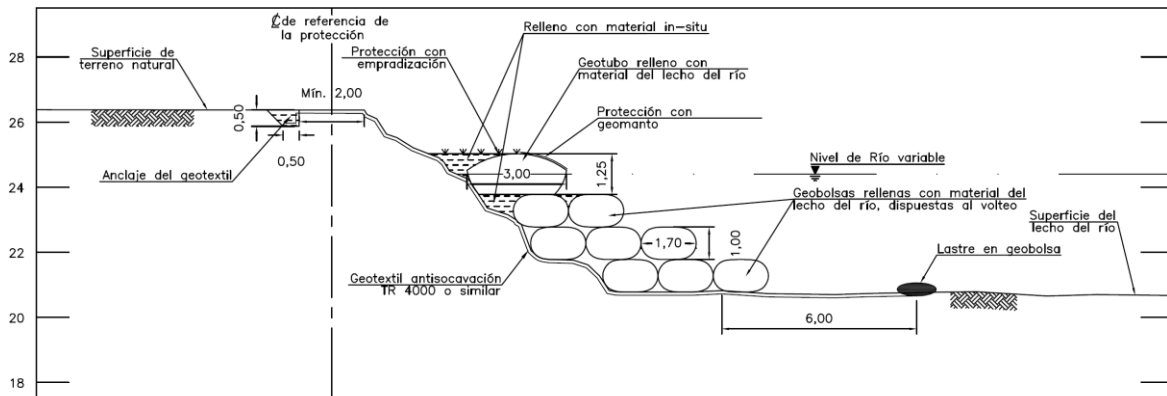


**Figura 4-1. Esquema de la estructura de espolones en pilotes metálicos con sacos de suelo-cemento (Ecovias S.A.S 2012).**

Debido a que los elementos de protección propuestos no están enfocados en dar un soporte estructural directo. No se considera necesario adelantar un análisis geotécnico por separado entre la situación de diseño y la situación actual. Esto se debe a que la evaluación de estabilidad general con o sin los elementos de protección propuestos arrojan los valores de estabilidad similares. Esto se debe a que los elementos propuestos mencionados anteriormente, no generan un peso considerable en comparación con el peso de los espolones metálicos y las bolsas de suelos cemento, y tampoco brindan apoyo o fuerzas resistentes considerables a la estructura. Por esta razón los análisis presentados en el capítulo 4 son representativos de la situación actual y futura. Sin embargo, a manera de resumen en la Tabla 3-1 se presenta los resultados de estabilidad de esta sección, los cuales serán mostrados con más detalle en el siguiente capítulo.

#### 4.2 ESTRUCTURA DE PROTECCIÓN CON GEOBOLSAS Y GEOTUBOS (ABS. K0 +205 A ABS. K1 +063)

En los casos donde la orilla no cuente con un mecanismo de protección para evitar la socavación del río, se propone un mecanismo que estará compuesto de geobolsas llenas de material aluvial fino de la zona mezclado con agua bombeada del Río Cauca, y de un geotubo ubicado en la parte superior de las geobolsas; el geotubo será llenado con material aluvial bombeado del fondo del río. En la Figura 4-2 se presenta un esquema de la protección de orilla propuesta para este tramo de estudio la cual será evaluada su estabilidad en el capítulo 4. La situación actual será evaluada en cuanto a estabilidad general mientras un análisis hidrológico sobre el esfuerzo de corte que actúa sobre la orilla está fuera del alcance de este proyecto.



**Figura 4-2. Esquema del mecanismo de protección de orilla propuesto para este punto del trazado del Río Cauca.**

La decisión de adoptar geobolsas y geotubos como mecanismo de protección de la orilla se tomó con base en la revisión de los materiales disponibles en la zona y teniendo en cuenta que estructuras similares son construidas en la actualidad en la zona. En la orilla izquierda del Río Cauca entre las poblaciones de Colorado y Nechí se construye actualmente un mecanismo de protección de orilla conformado con geobolsas como se puede ver la Figura 4-3. Otras alternativas incluirían materiales como sobre tamaños de roca o concreto, que resultarían en opciones de mayor costo.



**Figura 4-3. Fotografía de construcción de protección de orilla y espigones con geobolsas en la zona de La Mojana, tomada durante visita a campo en abril de 2015.**

Previo a la disposición de las geobolsas y del geotubos deberá instalarse un geotextil anti socavación (de tipo TR 4000 o similar) para controlar la socavación del río por la parte frontal o posterior de la estructura de geobolsas y geotubos. Este geotextil va acompañado de un lastre en geobolsa adherido a la parte frontal del geotextil. Este lastre descende a medida que la corriente del río socava el lecho, cortando el avance de la socavación y protegiendo la fundación de la estructura de geobolsas y geotubos. El geotextil es instalado desde la orilla del río y debe extenderse en el lecho por lo menos 6.0 m hacia adentro del río, desde la ubicación aproximada del costado más cercano a la orilla de la primera geobolsa instalada, como se ve en la Figura 4-2. A una distancia de por lo menos 2.0 m hacia adentro de la orilla, debe anclarse el geotextil excavando una zanja de 50.0 cm de profundidad, depositando el geotextil, y finalmente relleno la zanja con material proveniente de la excavación.

La disposición de las geobolsas en el lecho del río se hace al volteo. Usando una formaleta de madera se hace el llenado de las geobolsas a través de una tolva, donde se mezcla material limo arenoso proveniente de préstamo lateral o del lecho del río. Posterior al llenado, las geobolsas son izadas por medio de una grúa y arrojadas en el lecho del río, como se ve en la Figura 4-4.



**Figura 4-4.** Foto del archivo fotográfico que muestra el proceso de llenado de geobolsas en una formaleta por medio de una tolva (Archivo fotográfico de Suelos Ingeniería).



**Figura 4-5. Foto del archivo fotográfico que muestra del izado y disposición de geobolsas por medio de una grúa (Archivo fotográfico de Suelos Ingeniería).**

Deberán arrojarse el número de geobolsas necesarias (de 1.7 m de ancho x 1.7 m de largo x 1.0 m de alto) para construir una superficie plana que se encuentre a cerca de un metro (1.0 m) por debajo del nivel de las aguas del nivel de la orilla. Esta superficie es necesaria para instalar el geotubo que irá en la parte superior de la estructura. Cualquier espacio dejado entre la superficie del terreno (cubierta con geotextil anti socavación) y la última capa de geobolsas deberá ser llenado con material in-situ.

Una vez se ha construido una superficie plana por medio de las geobolsa se instalará una capa de geotubos de 1.25 m de alto. El geotubo deberá ser dispuesto vacío sobre la superficie construida con geobolsas y llenado por medio de mangueras con material aluvial bombeado desde el lecho del río. La instalación y llenado de los geotubos debe hacerse de manera cuidadosa, verificando que este no se doble excesivamente, arriesgando el geotextil exterior a rupturas. Después de realizar el proceso de llenado, deberá rellenarse con material in-situ, el espacio dejado en la parte posterior del geotubo hasta la parte más alta del mismo, como se ve en la . Este relleno se hace con el fin de proteger el geotubo de las corrientes del Río Cauca y de acciones antrópicas. El relleno deberá ser empradizado.





**Figura 4-6. Foto que muestra el relleno con material in-situ en el espaldón de una hilera de geotubos (Archivo fotográfico de Suelos Ingeniería).**

Como medida de protección adicional del geotubo, deberá instalarse un geo manto, como el que se ve en la , en la parte frontal del geotubo y que se encuentra sobre el nivel de las aguas del río. Este geo manto facilitará la revegetación sobre el geotubo, en la parte que no se encuentra protegida por el relleno.



**Figura 4-7. Foto de geotubos protegidos por medio de la instalación de geo mantos para facilitar la revegetación (Archivo fotográfico de Suelos Ingeniería).**

En el Anexo C se muestran los planos en planta de la zona donde será construida la protección de orilla, y el plano con las secciones típicas del mecanismo acompañado de las notas pertinentes.

El objeto de esta protección de orilla es evitar el avance de la orilla, de tal forma que en los meandros el río no socave la orilla permitiendo la entrada de las aguas del mismo hacia los terrenos cercanos y poniendo en peligro las vías y obras hidráulicas cercanas. Esta estructura funcionará mientras el nivel de las aguas del río no supere el nivel máximo de la



orilla en el punto donde ésta será construida. Con la protección de orilla no se pretende en ningún caso controlar el avance de las aguas del río durante crecientes extraordinarias.

Las geobolsas y geotubos se modelaron como una carga impuesta sobre la orilla. Esta carga depende del número de bolsas y de si en la condición que se está evaluando las bolsas están bajo el agua y reciben un empuje por el principio de Arquímedes, o todo el peso efectivo es cargado por el suelo de la orilla. En la Figura 4-8 se presenta a manera de ejemplo la evaluación de este tipo de protección en condiciones actuales.

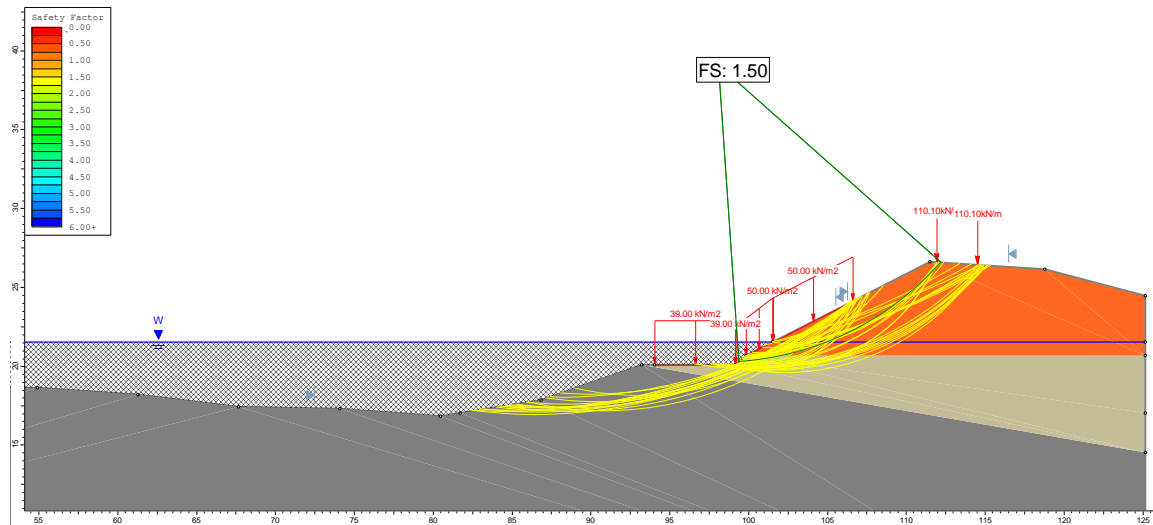


Figura 4-8. Análisis de la protección de orilla en geobolsas y geotubos en la condición actual.

Las demás secciones de análisis son mostradas en el Anexo A, mientras en la Tabla 4-2 se presentan los factores de seguridad obtenidos para la sección de análisis adoptados, considerando las condiciones de carga y análisis descritas en el Capítulo 2.

Tabla 4-2. Factores de seguridad obtenidos de los análisis de estabilidad general para diferentes condiciones de carga, Sección 2.

Caso	Condición de diseño	Factor de seguridad mínimo	FS Sección 2 (Estructura geobolsas y geotubos) K0+205 a K1+0
1	Condición estática a corto plazo con flujo estacionario	1.3	1.44
2	Condición estática a largo plazo con flujo estacionario	1.4	1.50
3	Condición estática con flujo estacionario para un nivel de aguas en caso de crecientes	1.3	1.94
4	Desembalse rápido	1.2	1.27
5	Condición de sismo	1.05	1.40

Como se puede ver en la Tabla 4-2 la sección 2 que evalúa una estructura en geobolsas y geotubos exhibe un comportamiento adecuado ante las diferentes condiciones de carga para las que se realizó el análisis. Es importante observar que la condición de desembalse rápido evaluada fue una situación crítica donde el río Cauca está al borde de la protección de orilla y este desaparece rápidamente antes de que el nivel freático en la orilla decaiga. Aún en esta condición extrema los criterios mínimos de estabilidad son cumplidos por lo que se deduce que las estructuras presentarán condiciones de estabilidad adecuadas y un buen comportamiento geotécnico durante su vida útil.

## 5. ELEMENTOS DE LA ESTRUCTURA PROPUESTA PARA LA PROTECCIÓN DE ORILLA Y RECOMENDACIONES CONSTRUCTIVAS

### 5.1 GEOTUBOS

Los geotubos se instalarán en la parte superior de la protección de orilla sobre una superficie generada a través de la colocación de geobolsas al volteo, como se ve en la . Esta estructura tiene la finalidad evitar la erosión de la orilla por el efecto de las aguas del Río Cauca en este punto.

Los geotubos consisten en saco ovalado de Geotextil de polipropileno de alto módulo a la tensión (TR4000 o similar), relleno de material granular. En la Tabla 5-1 **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se presentan las características del geotextil del que deben ser fabricados los geotubos.

**Tabla 5-1. Propiedades del geotextil para la conformación de geotubos.**

PROPIEDAD	NORMA	UNIDAD	
<b>POLÍMERO</b>		<b>PP</b>	<b>POLIPROPILENO ESTABILIZADO UV</b>
RESISTENCIA A LA TENSIÓN	ASTM D-4632	N (lb)	2400 (540)
ELONGACIÓN		%	22
MÉTODO DE LA TIRA ANCHA	ASTM D-4595		
•Sentido Longitudinal		kN/m	66
ELONGACIÓN	ASTM D-4595	%	28
•Sentido Transversal		kN/m	57
ELONGACIÓN	ASTM D-4833	%	15
RESISTENCIA AL PUNZONAMIENTO		N (lb)	1260 (238)
RESISTENCIA AL RASGADO TRAPEZOIDAL	ASTM D-4533	N (lb)	690 (155)
MÉTODO DE MULLEN BURST	ASTM D-3786		
• Resistencia al Estallido		kPa (psi)	6653 (965)
PROPIEDADES HIDRÁULICAS			
TAMAÑO DE ABERTURA APARENTE	ASTM D-4751	mm (No. Tamiz)	0.600 (30)
COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD	ASTM D-4491	cm/s	6.4 X 10-2
PERMITIVIDAD HIDRÁULICA	ASTM D-4491	s -1	0.54
ESPESOR	ASTM D-5199	mm	1. 20

El material de relleno deberá ser preferiblemente arenoso; por lo tanto, no deberá contener más de 35% de material pasa tamiz 200, ya que se pueden generar procesos de consolidación lenta del material al interior de la geo estructura. Sin

embargo con aprobación del fabricante de las geo estructuras se podrán usar mezclas de material granular y material fino. En el caso de que el material llenante de la geo estructura tenga tamaños superiores al de arena gruesa (4.75 mm o Tamiz No 4), se debe realizar tamizado del mismo, con el fin de evitar posibles taponamientos en las tuberías de llenado, permitir un adecuado flujo del lodo y evitar posibles punzonamientos que puedan ocasionar daños en el geotextil. Deben realizarse ensayos de gradación, de acuerdo con la norma ASTM D422, al inicio, y a los 250.0 m, en sentido longitudinal de la geo estructura y/o cuando se observe cambio en las características físicas o químicas del material. El material de llenado deberá mezclarse con agua en una proporción aproximada de 80% agua 20% material llenante.

Para poder conformar la geo estructura, son necesarias mangas de llenado; estos elementos son de 1.50 m de largo y 0.305 m de diámetro; van cosidas en la parte superior de la geo estructura, con una separación de 7.0 m. Las mangas de llenado van conectadas a la tubería de descarga del lodo.

Con el fin de darle estabilidad a la geo estructura durante el proceso de llenado, se utilizarán eslingas o argollas de amarre, las cuales son del mismo material y van sujetas a ésta mediante costura. Dichas eslingas van a lo largo de la geo estructura, a los lados del mismo, en ambos costados. La geo estructura se deberá sujetar utilizando estas argollas y estacas de madera, o metálicas, empleando cordeles de polipropileno de ½ pulgada, como mínimo.

Para colocar esta protección se deberá conformar una plataforma o superficie horizontal y libre de protuberancias, con el fin de garantizar la estabilidad del geotubo y evitar el punzonamiento o rasgue el geotextil. La superficie de colocación de los geotubos deberá tener una pendiente máximo del 2.0% tanto en sentido transversal como longitudinal.

Los geotubos no deben someterse a esfuerzos adicionales que puedan dañar las costuras del geotextil, o causar su deterioro; por lo tanto, no se permitirá la operación de equipos de construcción directamente sobre la geo estructura.

Los traslapes longitudinales entre las geo estructuras se realizarán de acuerdo a las indicaciones del proveedor de los mismos, así mismo deberán tener en cuenta todas las recomendaciones del fabricante de los geotubos al momento de su instalación.

## **5.2 GEOBOLSAS**

Las geobolsas se colocarán al volteo en la parte sumergida de la protección de orilla para producir una superficie donde se puedan disponer adecuadamente los geotubos. Estos elementos evitarán el deterioro en la parte inferior de la orilla por la acción de las aguas del río. En la parte inferior deberá instalarse un manto anti socavación que evite la caída de las geobolsas por el avance de la socavación del lecho del río.

Las geobolsas consisten en sacos de Geotextil de polipropileno de alto módulo a la tensión (TR4000 o similar), relleno de material granular. En la Tabla 5-1 se presentan las características del geotextil del que deben ser fabricados los geotubos.

Con el fin de darle estabilidad a las geobolsas durante el proceso de llenado y para facilitar su izado durante la colocación, se utilizarán eslingas o argollas de amarre, las cuales son del mismo material de la geobolsa y van sujetas a ésta mediante costura. Dichas eslingas van en los cuatro extremos de la geobolsa.

Para poder conformar la estructura con las geobolsas, son necesarias formaleas metálicas, o de madera, donde son depositadas las geobolsas para su llenado. Adicionalmente, son necesarias tolvas donde se lleva a cabo la mezcla del material de relleno. Las tolvas deben ser instaladas sobre las formaleas, de tal forma que el llenado pueda realizarse depositando el lodo (combinación de agua y suelo), por gravedad, a través de la boquilla de las geobolsas.

El material de relleno de las geobolsas debe ser preferiblemente arenoso, con el fin de optimizar los rendimientos de llenado y minimizar las pérdidas de material llenante. Deben realizarse ensayos de gradación, de acuerdo con la norma ASTM D422, al inicio, y otro cada 150 geobolsas, y/o cuando se observe cambio en las características físicas o químicas del material.

En el caso de que el material llenante de las geobolsas tenga tamaños superiores al de arena gruesa (4.75 mm o Tamiz No 4), se debe realizar tamizado del mismo, con el fin de permitir un adecuado flujo del lodo y evitar posibles punzonamientos que puedan ocasionar daños en el geotextil.

Una vez se ha terminado el llenado de la geobolsa, según el diseño, se debe cerrar la boca del mismo, con cordel de polipropileno. La elaboración de costuras debe hacerse teniendo en cuenta los siguientes lineamientos:

- El hilo debe ser de kevlar, aramida, polietileno, poliéster, o nylon. No deben permitir hilos elaborados 100% a partir de fibras naturales. Cuando se propongan hilos compuestos por fibras sintéticas y fibras naturales, no se deben permitir aquellos que tengan 10% o más, en peso, de fibras naturales. No se deben permitir costuras elaboradas con alambres.
- La densidad de la puntada debe ser de mínimo de 150 a 200 puntadas por metro.
- La tensión del hilo debe ajustarse en campo de tal forma que no corte el geotextil, pero que sea suficiente para asegurar una unión permanente entre las superficies a coser. Si se hace la costura a mano, deberán tenerse los cuidados necesarios para que al pasar el hilo, el rozamiento no funda las fibras del geo contenedor.
- La resistencia a la tensión de la unión, debe ser mínimo del 90% de la resistencia a la tensión Grab del geotextil que se está cociendo.

Las geobolsas no deben someterse a esfuerzos adicionales que puedan dañar las costuras del geotextil, o causar su deterioro; por lo tanto, no se deberá permitir la operación de equipos de construcción directamente sobre las geobolsas.

No se deben sobrepasar las alturas del diseño a nivel de construcción. Las concavidades que se presenten en la parte superior de las geobolsas que lleguen a reducir la altura de diseño, deben rellenarse con material adecuado.

Durante la construcción de la estructura deberán tenerse en cuenta todas las recomendaciones del fabricante de las Geobolsas.

### 5.3 GEOTEXTIL ANTISOCACAVACIÓN

Se usará un geotextil anti socavación en la base de la protección de orilla propuesta de tal forma que se evita la pérdida de base de la estructura por socavación en el lecho del río. Adicionalmente el manto ayudará a reducir la socavación de la parte posterior de la estructura en caso de una inundación que rebase el nivel superior de la estructura propuesta.

El geotextil deberá ser suministrado, transportado y almacenado de manera que no sufra perforaciones, cortes o cualquier otro defecto que afecte sus cualidades como material anti socavación.

A nivel de construcción deberán confirmarse con el proveedor detalles tales como posición de los traslapes y forma de sellado de los mismos, mecanismo de anclaje del geotextil, tamaño del geotextil y ancho útil. De cualquier forma el traslapo mínimo tanto en sentido transversal como longitudinal deberá ser de 0,50 m. Si se requiere material sellante para los traslapes, éste deberá ser del tipo recomendado por el fabricante del geotextil, pero en todo caso el traslapo de geotextil a base de polipropileno deberá efectuarse únicamente al calor según lo especificado por el fabricante.

El geotextil deberá ser extendido por lo menos 2 m sobre la orilla, para ser asegurado en una zanja con dispositivos de anclaje. Posteriormente se deberá rellenar y compactar con el material proveniente de la excavación.

El geotextil anti socavación deberá incluir un lastre de arrastre en el extremo que se encuentra en el lecho del río. Este lastre debe estar fabricado del mismo material que el geotextil anti socavación. El lastre deberá ser suministrado, transportado y almacenado de manera que no sufra perforaciones, cortes o cualquier otro defecto que afecte sus cualidades. El geotextil anti socavación deberá ser suministrado de tal forma que tenga el lastre integrado a su estructura. En caso contrario el lastre deberá ser adquirido por separado con las características y especificaciones recomendadas por el fabricante del geotextil. El lastre deberá en este caso ser adherido al geotextil de la manera recomendada por el fabricante.

El equipo que se emplee para la instalación deberá ser tal que no cause daños al geotextil.

El geotextil anti socavación deberá cumplir con los siguientes requisitos:

- Masa unitaria no menor de 160 g/m<sup>2</sup>.
- Espesor, determinado de acuerdo con las normas ASTM D-5199 ó ICONTEC 1998, no menor de 1,3 mm.
- Resistencia a la tensión (método Grab), determinada de acuerdo con las normas ASTM D-4632 o ICONTEC 1998, no menor de 2540 N (mordaza de 1 pulg<sup>2</sup> y v = 12 pulg/min).
- Elongación a la rotura, determinada de acuerdo con la norma ASTM D-4632, no menor de 19%.
- Resistencia al rasgado trapezoidal no menor de 8,1 kN, determinada de acuerdo con las normas ASTM D-4533 o ICONTEC 2003.
- Resistencia al estallido (Mullen Burst), determinada de acuerdo con la norma ASTM D-3787, no menor de 7074 kPa.
- Coeficiente de permeabilidad no menor que  $8,1 \times 10^{-2}$  cm/seg, determinado según la norma ASTM D-4491 o ICONTEC 2002.

#### 5.4 GEOMANTO

Se instalará una capa de geo manto sobre la superficie frontal y expuesta de los geotubos, con el fin de facilitar la revegetación sobre esta superficie, que su vez ayudará a la protección del geotextil ante los daños que puedan ocasionar elementos que transporte el río.

El geo manto deberá ser suministrado, transportado y almacenado de manera que no sufra perforaciones, cortes o cualquier otro defecto que afecte sus cualidades. Para la etapa de construcción deberán suministrarse los detalles de colocación del geo manto.

El anclaje del geo manto se hará por medio de una hilera de grapas a cada extremo del geo manto. Las grapas estarán separadas cada 1,5 m en sentido longitudinal. Las grapas empleadas serán grapas de anclaje tipo "J" en varilla metálica de entre 6.0 y 10.0 mm de diámetro. Las dimensiones de las grapas deben establecerse de acuerdo con las recomendaciones del fabricante del geo manto.

Los traslapes longitudinales deberán ser de 0.20 m como mínimo. Estos deberán asegurarse a la superficie con una hilera de grapas de anclaje separadas entre 0.50 m y 1.0 m. Los traslapes transversales al sentido de la pendiente deberán tener 0.30 m como mínimo y se deberán asegurar con una hilera de grapas separadas cada 0.50 m.

Se deberán remover cualquier tipo de obstrucción que pueda evitar el contacto íntimo del manto con la superficie del geotubo. El equipo que se emplee para la instalación deberá ser tal que no cause daños al geo manto.

## **5.5 RELLENOS**

La superficie sobre la cual se hagan los rellenos deberá estar libre de raíces, troncos, materia orgánica u otros materiales inadecuados o susceptibles de descomponerse.

La granulometría de los materiales deberá tener una distribución que asegure que el relleno quede libre de lentes, bolsas, franjas y capas de material significativamente diferente dentro de una misma zona.

El material de relleno deberá ser descargado y extendido de tal manera que no queden espacios vacíos entre capas sucesivas de material descargado. Cualquier material que se rechace por no cumplir con los requisitos deberá ser retirado, esté o no esté cubierto por otro material de relleno.

Se deberá construir el relleno al costado de los geotubos por medio de la colocación y compactación del material en capas continuas aproximadamente horizontales y con pendiente suficiente en sentido transversal para asegurar el drenaje adecuado de las aguas de escorrentía.

Después de descargar y extendido el material, y antes de su compactación, si es necesario deberá procederse con su humedecimiento mediante la aplicación de agua en las proporciones indicadas.

Cada capa de material de relleno deberá ser compactada con el mismo número de pasadas. Esto se debe realizar en forma sistemática y continua, inmediatamente después de extender el material y de humedecerlo. Por espesor de cada capa se entiende el espesor de relleno en estado suelto antes de su compactación.



## 6. CANTIDADES DE OBRA Y PRESUPUESTO

Las cantidades de obra se determinaron por medio de la superficie del terreno natural de la zona y por medio de la generación de secciones, por medio de las que se verificó si la orilla en el tramo de interés varía significativamente o si se mantiene igual. De esta forma se generaron secciones típicas con las cuales se calcularon las cantidades empleando el método de las secciones aferentes.

En la Tabla 6-1 se presentan las cantidades de obra y presupuesto para la construcción de la Protección de Orilla en espolones metálicos. En el Anexo B se presentan las memorias de cálculo de las cantidades de obra y los análisis de precios unitarios de los cuales se determinó el precio unitario de cada actividad. Para cuantificar el manejo de aguas en la obra, se estimó en \$35,000,000 COP debido a que se está cerca al río y de manera conservadora se le asigna un porcentaje elevado del costo de la obra total.

**Tabla 6-1. Resumen de cantidades de obra y presupuesto para la rehabilitación de los espolones en pilotes metálicos con bolsas de suelo-cemento.**

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
<b>1</b>	<b>Actividades varias o generales</b>				
1.1	Localización, replanteo, y levantamiento topográfico	m2	1,230.0	\$ 4,912	\$ 6,041,760
<b>2</b>	<b>Manejo de aguas en la obra</b>				
2.1	Evacuación de aguas del sitio del, drenajes y cualquier elemento necesario para garantizar el manejo de las aguas en el sitio de obra	GL	1.0	\$ 35,000,000	\$ 35,000,000
<b>3</b>	<b>Excavaciones y movimiento de tierras</b>				
3.1	Descapote y limpieza del sito de obra	m <sup>2</sup>	1,230.0	\$ 26,290	\$ 32,336,700
3.2	Excavaciones adicional	m <sup>3</sup>	143.0	\$ 30,441	\$ 4,353,063
<b>4</b>	<b>Relleno</b>				
4.1	Relleno con material fino homogéneo seleccionado para repara la orilla	m <sup>3</sup>	1,435.0	\$ 37,339	\$ 53,581,465
<b>5</b>	<b>Protección de superficies</b>				
5.1	Empradizado con pasto convencional	m <sup>2</sup>	1,068.0	\$ 8,498	\$ 9,075,864
5.2	Geotextil no tejido para proteger la orilla del fujo del agua (PAVCO 2500 NT similar)	m <sup>2</sup>	2,357.0	\$ 36,260	\$ 85,464,820
<b>6</b>	<b>Elementos o actividades para el control de calidad de los materiales y la obra</b>				
6.1	Evaluación estructural del estado del acero y el estado de las bolsacretos.	Gl	1.0	\$ 5,000,000	\$ 5,000,000
6.2	Servicios necesarios para la ejecución de ensayos necesarios para el control de calidad de las obras.	GL	1.0	\$ 5,000,000	\$ 5,000,000
<b>TOTAL (COSTOS)</b>					<b>\$ 235,853,672</b>

En la Tabla 6-2 se muestra las cantidades y presupuesto para desarrollar una protección de orilla en geobolsas y geotubos con las especificaciones descritas en la sección 2.2.2. La cual se desarrolla por 852 m en el tramo estudiado en este informe.

**Tabla 6-2. Resumen de cantidades de obra y presupuesto para la construcción de la protección de orilla en Geobolsas y Geotubos.**

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
<b>1</b>	<b>Actividades varias o generales</b>				
1.1	Localización, replanteo, exploración sub acuática y levantamiento topográfico	m2	9,523.0	\$ 4,912	\$ 46,776,976
<b>2</b>	<b>Excavaciones y movimiento de tierras</b>				
2.1	Descapote y limpieza del sitio de obra	m <sup>2</sup>	9,523.0	\$ 26,290	\$ 250,359,670
2.2	Excavaciones adicional	m <sup>3</sup>	263.0	\$ 30,441	\$ 8,005,983
2.3	Excavaciones en el lecho del río	m <sup>3</sup>	6,503.0	\$ 14,356	\$ 93,357,068
<b>3</b>	<b>Rellenos para conformar la protección de orilla</b>				
3.1	Relleno con material fino homogéneo seleccionado para rellenar la orilla	m <sup>3</sup>	2,634.0	\$ 37,339	\$ 98,350,926
<b>4</b>	<b>Protección de superficies de las caras</b>				
4.1	Empradizado con pasto convencional	m <sup>2</sup>	9,523.0	\$ 8,498	\$ 80,926,454
4.2	Geotextil no tejido para proteger la orilla de la infiltración del agua (PAVCO 2500 NT similar)	m <sup>2</sup>	17,288.0	\$ 36,260	\$ 626,862,880
4.3	Geobolsas (1,7 m ancho x 1,7 m largo x 1 m alto)	m <sup>3</sup>	11,119	\$ 304,727	\$ 3,388,259,513
4.4	Geotubos (1,25 m de alto)	m	858	\$ 422,630	\$ 362,616,540
<b>5</b>	<b>Elementos o actividades para el control de calidad de los materiales y la obra</b>				
5.2	Servicios necesarios para la ejecución de ensayos necesarios para el control de calidad de las obras.	GL	1.0	\$ 5,000,000	\$ 5,000,000
<b>TOTAL (COSTOS)</b>					<b>\$ 4,960,516,010</b>

## 7. CONCLUSIONES

Con base en el proceso del análisis del estado actual y diseño geotécnico de la Protección de Orilla se tienen las siguientes conclusiones:

1. Luego de considerar varias alternativas para protecciones de orilla se concluyó que una estructura en geobolsas y geotubos rellenos con material del lecho del río, es la mejor alternativa para proteger la orilla que está en contacto con el río Cauca y no tiene una estructura para rehabilitar en la actualidad.
2. Para el caso de los espolones metálicos se considera que esta estructura puede ser rehabilitada y llevarla a un estado de servicio suficiente para evitar que el río Cauca socave la orilla en la zona donde se encuentra actualmente construida.
3. Para los análisis geotécnicos realizados sobre las secciones críticas de la protección de, se realizaron análisis de estabilidad que evaluaron la estabilidad del suelo de cada tipo de estructura propuesta. En todos los casos y para todos los criterios, las protecciones de orilla descritas en este informe cumplieron con los requerimientos de estabilidad.
4. Se hicieron análisis de estabilidad general sobre las secciones de análisis críticas de la nueva estructura propuesta como protección de orilla. Los análisis se hicieron para una condición al (1) final de la construcción, en (2) operación en épocas de verano con NF medido en campo, (3) operación con nivel máximo extraordinario donde el río está al mismo nivel que la corona de cada protección de orilla, (4) desembalse rápido y (5) sismo. De los análisis de estabilidad se obtuvo que la estructura propuesta exhibe un comportamiento adecuado ante las diferentes condiciones de carga.
5. Los análisis realizados tomaron la información topográfica y batimétrica del LIDAR suministrado por el Fondo Adaptación. Se recomienda para desarrollar un diseño más detallado de estas estructuras, realizar batimetrías sobre el río junto con levantamientos topográficos más detallados.
6. Se hizo un cálculo de las cantidades de obra necesarias para la construcción de una protección de orilla en los 852 m en geobolsas y geotubos y se requiere 4542 geobolsas, 858 m de geotubos, y 13,754.0 m<sup>3</sup> de relleno.
7. Por medio de las cantidades de cada uno de los elementos necesarios para construcción de la obra y teniendo en cuenta los costos aproximados de materiales y mano de obra en la zona, se hizo un cálculo del presupuesto para la construcción de la estructura propuesta. El costo total de la solución en geotubos y geobolsas es de \$4,960,516,010 COP, de los cuales el 76% (\$3,750,876,053 COP) corresponden a las geobolsas y los geotubos que serán empleados. El 13% (\$626,862,880 COP) representa las actividades y el material para la colocación del geotextil de protección PAVCO 2500 NT o similar. Mientras el 4% pertenecen a actividades como localización, empujamiento de la orilla entre otros.
8. Para la rehabilitación de la estructura en espolones metálicos con pilotes de acero, se requiere de manera general rellenar la parte posterior de los espolones y recubrir una geo membrana para evitar la infiltración. Se requieren 2,357.5 m<sup>2</sup> de geotextil para tal fin, y un relleno de 1,435.0 m<sup>3</sup>.

9. El costo de la rehabilitación de los espolones en tubos de acero es de \$235,853,672 COP. De este costo el 36% (\$85,464,820 COP) corresponde a los materiales de protección como los geotextiles, el 23% (\$53,581,465 COP) se asocia con las actividades para rellenar la parte aguas debajo de los espolones, y el 15% (\$35,000,000 COP) corresponde al precio de las actividades para controlar el agua en la estructura. El restante 26% corresponde a las demás actividades en las que se destaca el empujado, el descapote y limpieza de la zona, y el levantamiento topográfico.
10. Las estructuras se evaluaron y diseñaron bajo condiciones de la lámina de agua y de carga exigida por los estándares internacionales y las normas Colombianas. La lámina de agua corresponde al nivel con un periodo de retorno de 100 años. Sin embargo estas condiciones de diseño están limitadas a los eventos extremos con un periodo de retorno considerado adecuado por las normas Colombianas. Sin embargo, Los eventos extraordinarios que impliquen condiciones extremas en la estructura no son contemplados en los diseños de estas estructuras.
11. La siguiente tabla muestra a manera de resumen las estructuras planteadas en cada tramo de la zona de estudio.

Zona	Abscisa inicial	Abscisa final	Longitud (m)	Estructura propuesta
<b>ZONA 1</b>	K0+ 000	K0+ 205	205	Estructura en espolones adosados, a base de pilotes metálicos
<b>ZONA 2</b>	K0+ 205	K1+ 063	858	Estructura de protección con geobolsas y geotubos

## 8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. «Título H Estudios Geotécnicos.» En *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente*. Bogotá, 2010.
2. Ecovias S.A.S. *INTERVENTORÍA PARA LA URGENCIA MANIFIESTA PRESENTADA EN LOS SITIOS EL CERRO SANTA ANITA, RÍO CAUCA, MUNICIPIO DE NECHÍ, DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA, REGIÓN DE LA MOJANA Y REFORZAMIENTO DE LAS OBRAS EN EL SITIO JOSÉ BRAVO*. Informe Final, Bogotá D.C: INVIAS, 2012.
3. Suelos Ingeniería. *Informe de caracterización geotécnica y geométrica de las protecciones de orilla No 1 y No 2 en Achí*. Caracterización geotécnica y geométrica, Bogotá: Fondo Adaptación, 2015.
4. U.S. Army Corps of Engineers. *Design and construction of levees, EM 1110-2-1913*. Manual, Washington, DC: Department of the Army, 2000.
5. Bjerrum, L. 1972. "Embankments on soft ground". Proceedings of the Specialty Conference on Performance of Earth and Earth-Supported Structures, Lafayette, In., 2, 1–54.
6. Bowles, J. E. 1997. Chapter 4: "Foundation Analysis and Design". Fifth Edition. McGraw Hill International Editions.
7. Day, Robert W. 2006. "Foundation Engineering Handbook" Design and construction with the 2006 International Building Code. Part 2. McGraw Construction. ASCE Press.
8. Hynes-Griffin, M. E. y A. G. Franklin, 1984. "Rationalizing the Seismic Coefficient Method", Miscellaneous Paper G. L. 84-13, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, Mississippi.
9. Naval Facilities Engineering Command, 1983. "Soils and Geology Procedures for Foundation Design of Buildings and Other Structures". TM 5-818-1/AIR FORCE AFM 88-3, CHAP 3. pp. 16-22. Washington, D.C.
10. Timoshenko, S. y J. N. Goodier, 1951. "Theory of Elasticity", 2d Edition. McGraw Hill.
11. U.S. Army Corps of Engineers. Engineering and Design. Design and construction of levees. Engineer Manual EM 1110-2-1913. April, 2000.
12. Idriss, IM, y RW Boulanger. «Semi-empirical procedures for evaluating liquefaction potential during earthquakes.» Soil dynamic and Earthquake Engineering XXVI, nº 2 (2006): 115-130.
13. Tatsuoka, F, T Iwasaki, Tokida K, y S Yasuda. «Soils and foundations.» Soils and Foundations IV, nº 4 (1980): 95-111.
14. Wald, David J., Vincent Quitoriano, Thomas Heaton, y Hiroo Kanamori. «Relationship between Peak ground aceleration, Peak ground velocity, and Intensity in California.» Earthquake Spectra 15, nº 3 (1999): 557-564.

## **ANEXO A.**

# **ANALISIS DE ESTABILIDAD GENERAL Y VERIFICACION DE LA OCURRENCIA DE TUBIFICACION**

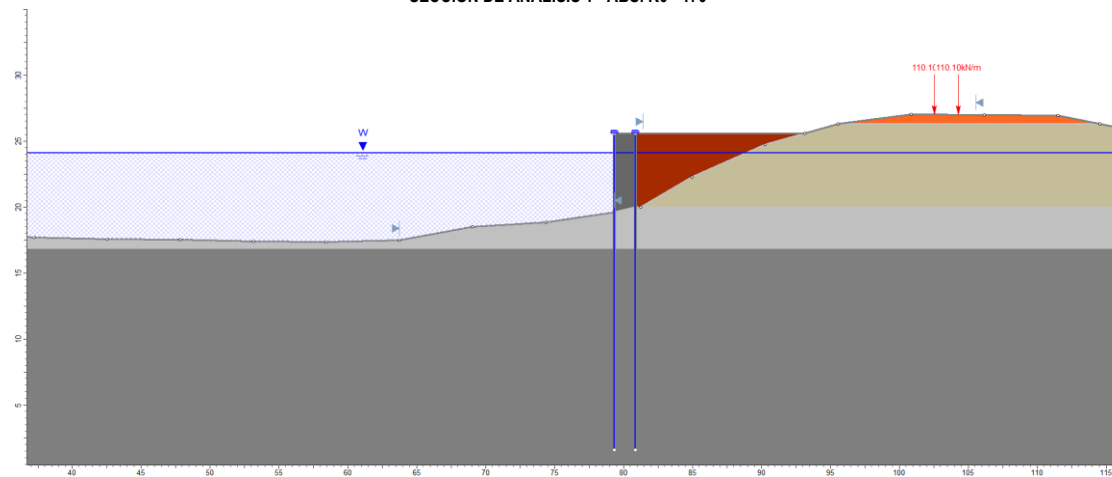
	Su (kPa)	$\Phi$ (°)	c (kPa)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	k (m/s)
Estrato superficial	36.6	27	6.5	16.5	6.00E-10
Depósito aluvial fino	17.3	23	8	17.2	2.00E-10
Depósito aluvial grueso suelto	NA	27	7	16.5	5.00E-05
Depósito aluvial grueso denso	NA	39	0	19.5	2.00E-04



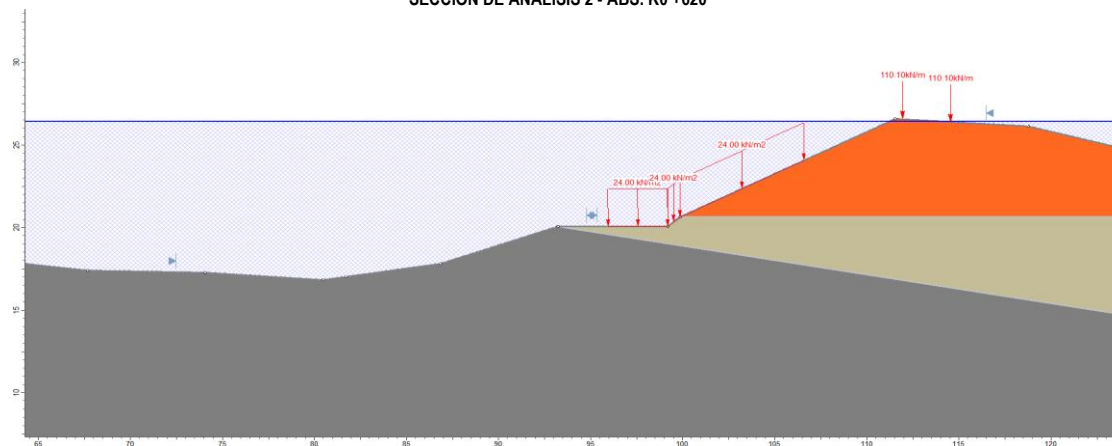
Anexo A - Diseño básico - Secciones de análisis y parámetros geotécnicos

Ver. 0  
Hoja: 2 de 8

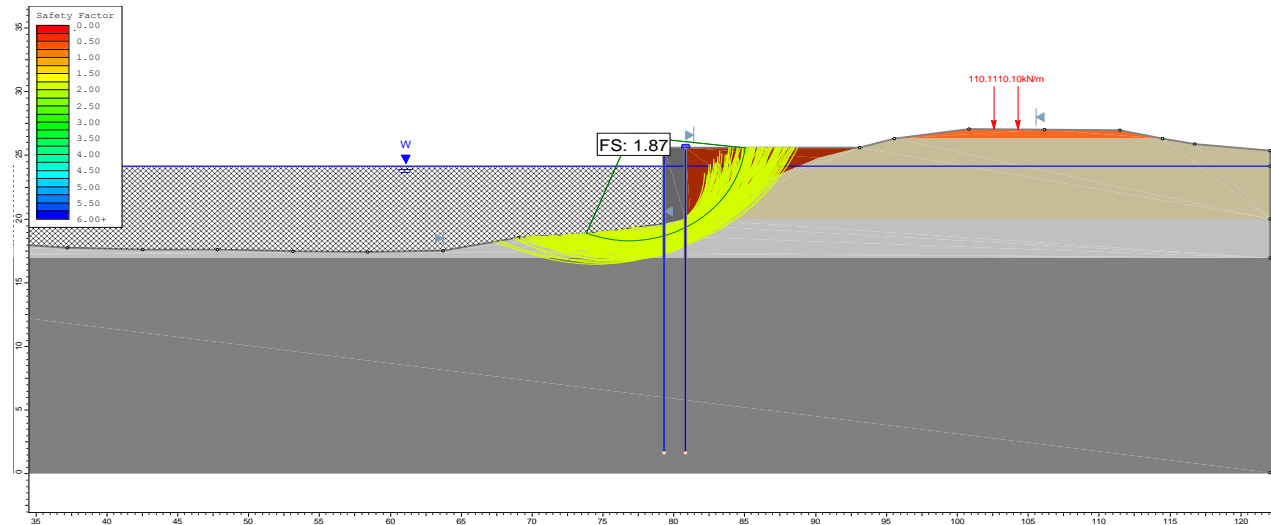
SECCIÓN DE ANÁLISIS 1 - ABS. K0 +170



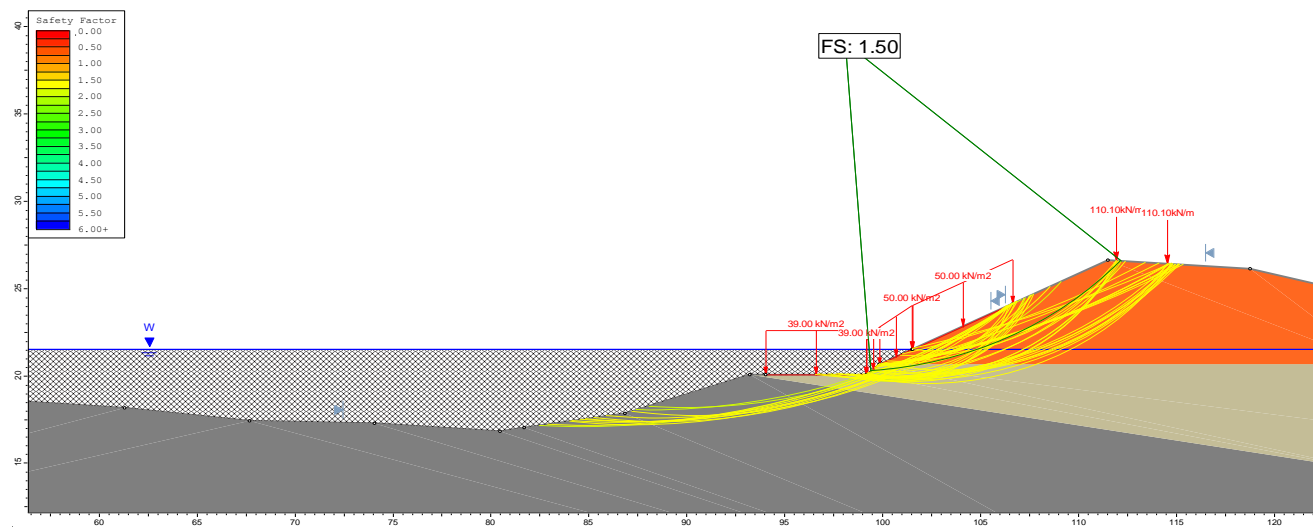
SECCIÓN DE ANÁLISIS 2 - ABS. K0 +620



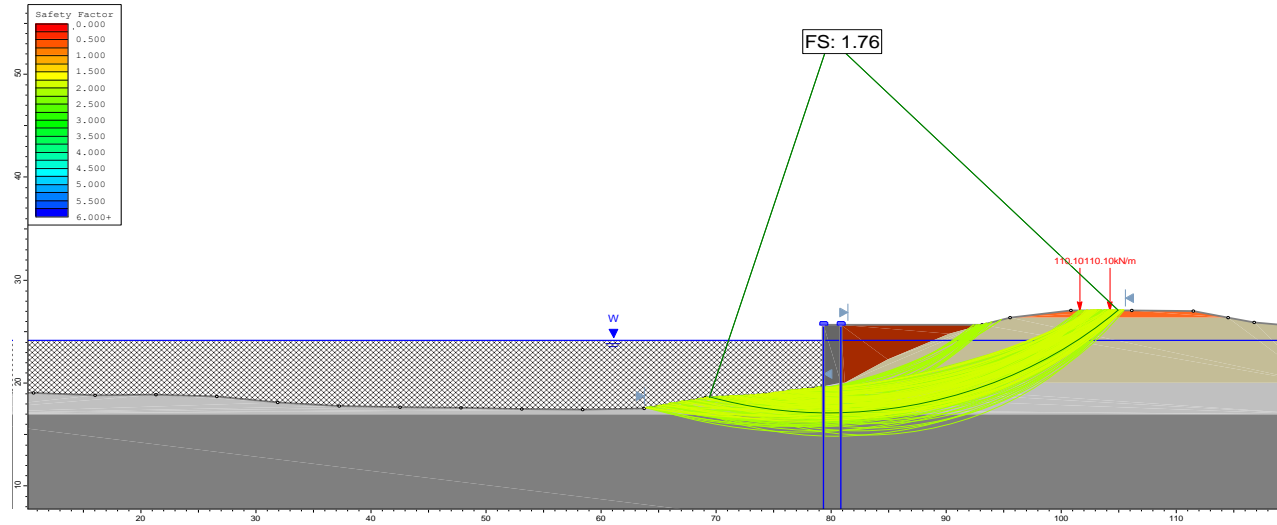
**SECCIÓN DE ANÁLISIS 1 - ABS. K0 +170**



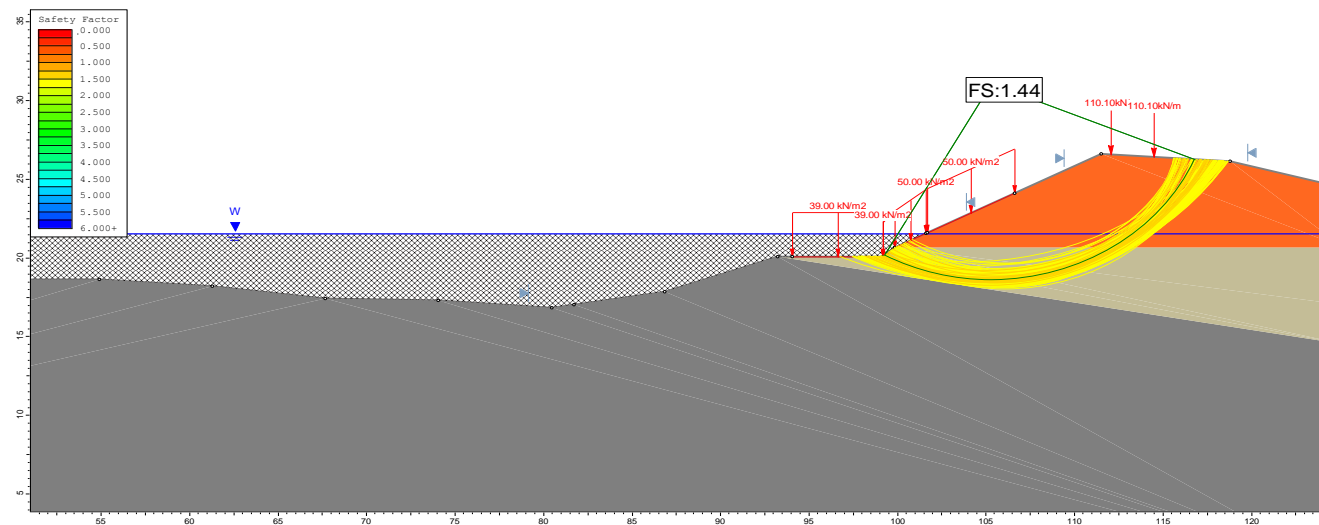
**SECCIÓN DE ANÁLISIS 2 - ABS. K0 +620**



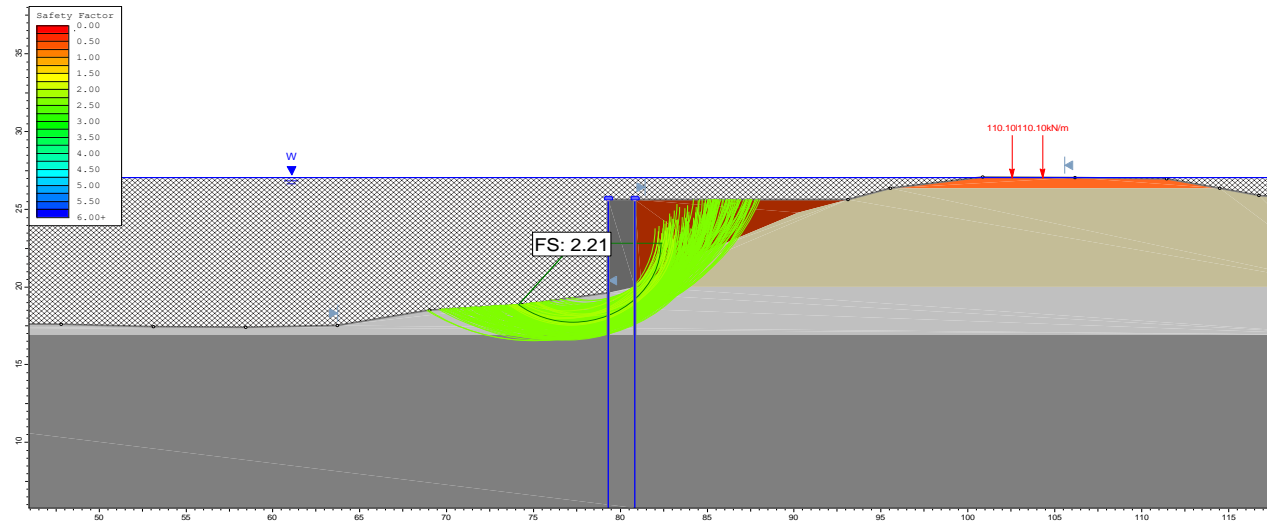
**SECCIÓN DE ANÁLISIS 1 - ABS. K0 +170**



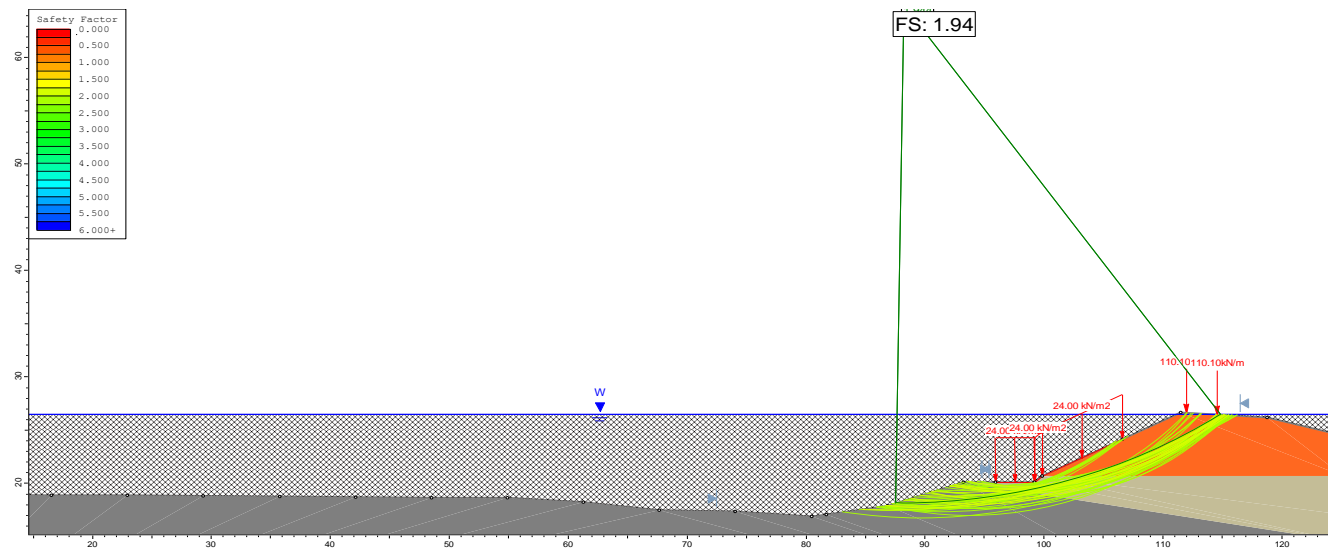
**SECCIÓN DE ANÁLISIS 2 - ABS. K0 +620**



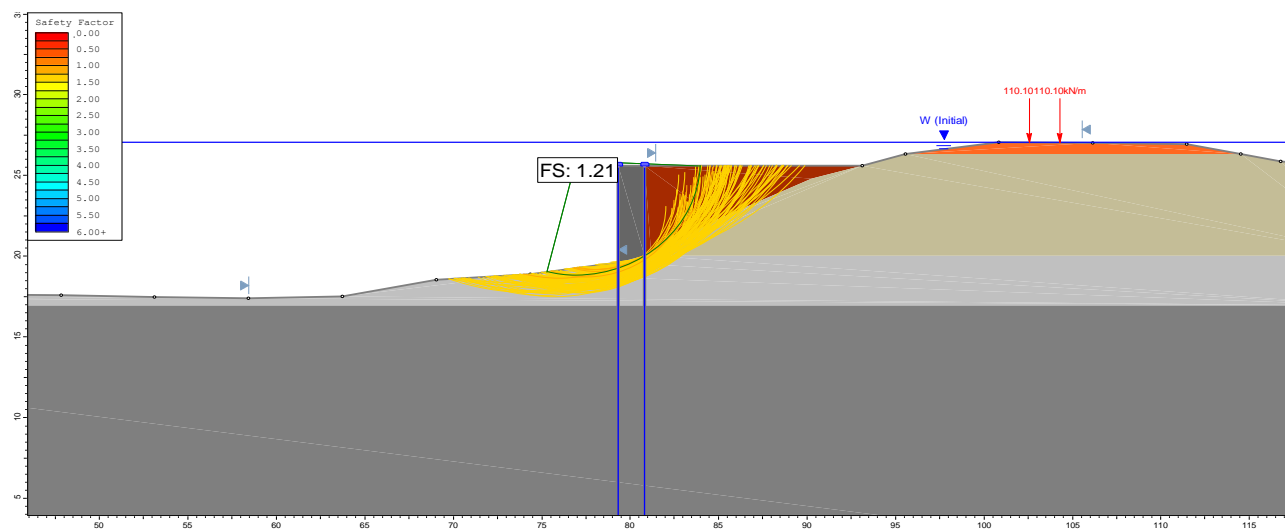
**SECCIÓN DE ANÁLISIS 1 - ABS. K0 +170**



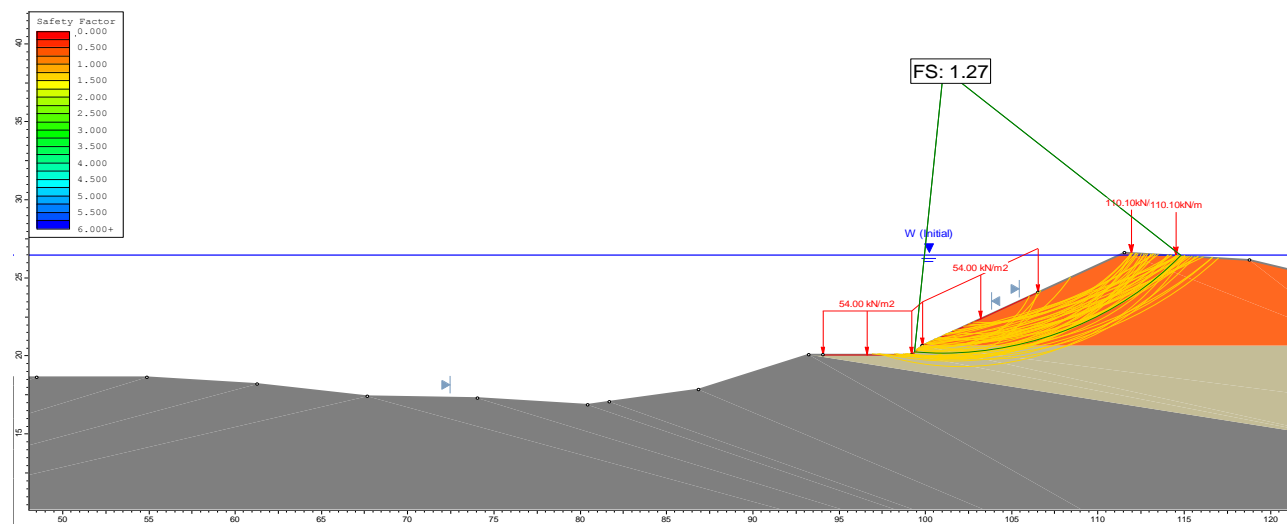
**SECCIÓN DE ANÁLISIS 2 - ABS. K0 +620**



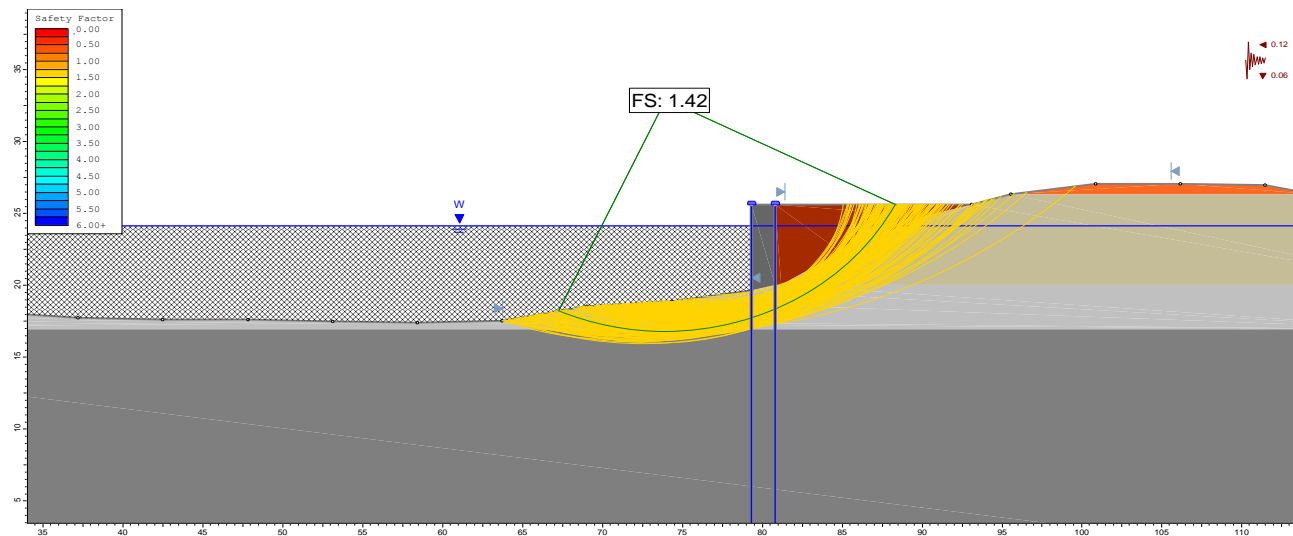
**SECCIÓN DE ANÁLISIS 1 - ABS. K0 +170**



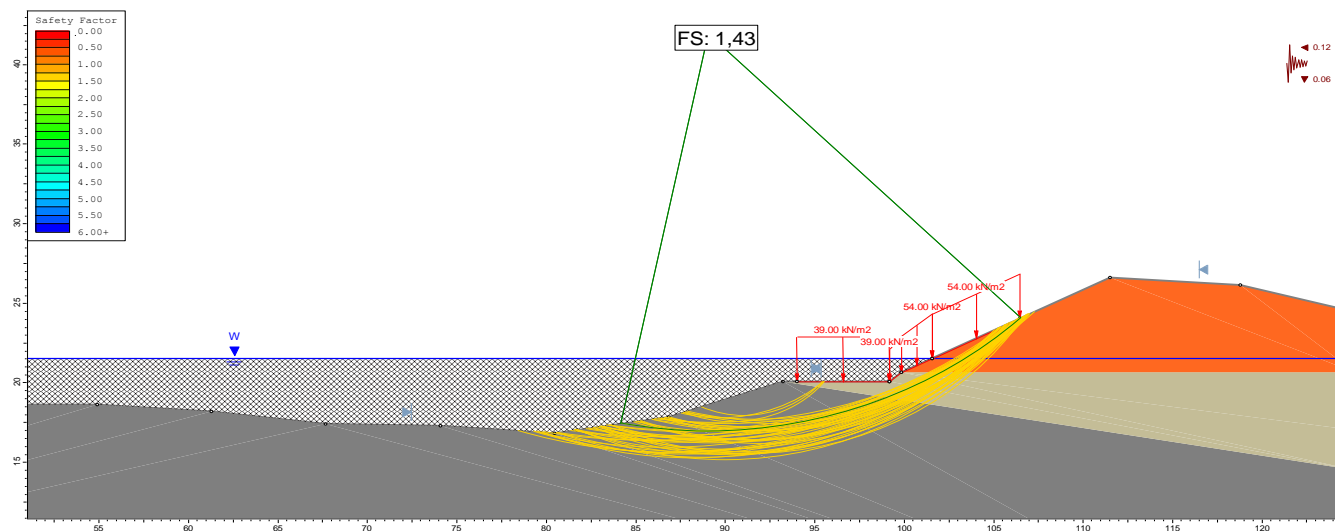
**SECCIÓN DE ANÁLISIS 2 - ABS. K0 +620**



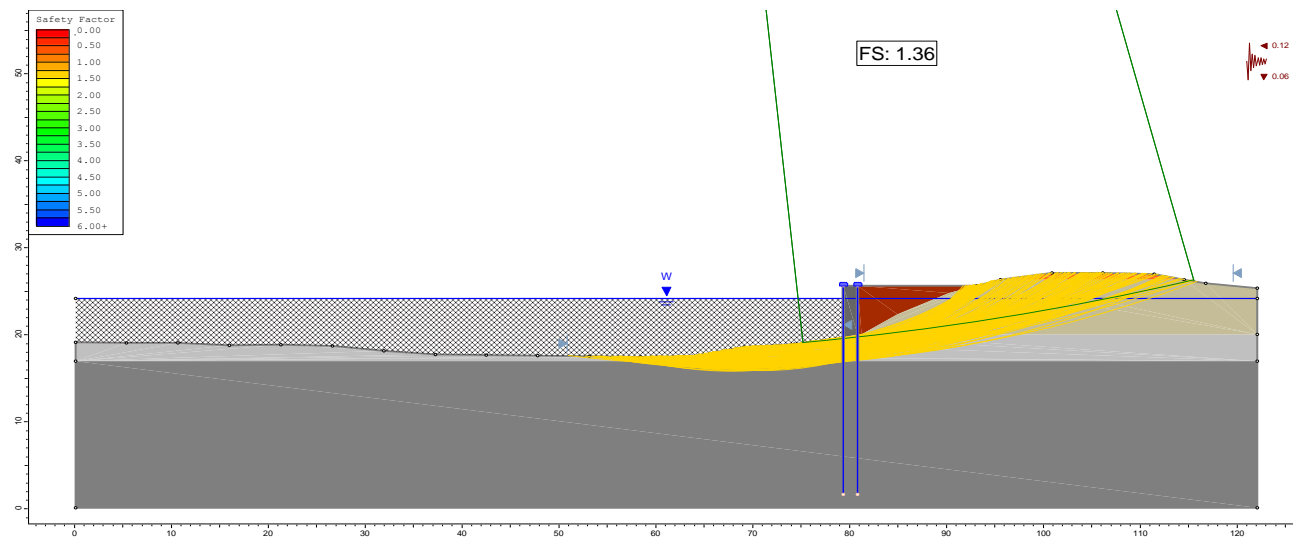
**SECCIÓN DE ANÁLISIS 1 - ABS. K0 +170**



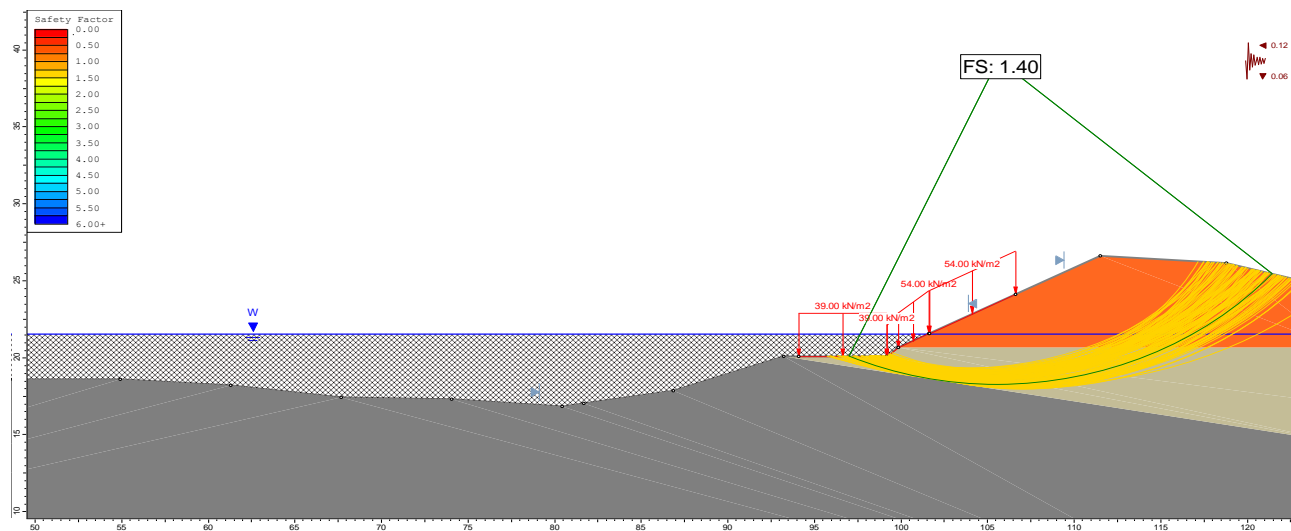
**SECCIÓN DE ANÁLISIS 2 - ABS. K0 +620**



**SECCIÓN DE ANÁLISIS 1 - ABS. K0 +170**



**SECCIÓN DE ANÁLISIS 2 - ABS. K0 +620**



## **ANEXO B.**

# **CANTIDADES DE OBRA, APU, Y PRESUPUESTO**



Anexo B - Cantidades de Obra y presupuesto - Resumen de cantidades y presupuesto - Espolones en acero y

Ver. 0

Hoja: 1 de 4

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	Actividades varias o generales				
1.1	Localización, replanteo, y levantamiento topográfico	m2	1 230.0	\$ 4 912	\$ 6 041 760
2	Manejo de aguas en la obra				
2.1	Evacuación de aguas del sitio del, drenajes y cualquier elemento necesario para garantizar el manejo de las aguas en el sitio de obra	GL	1.0	\$ 35 000 000	\$ 35 000 000
3	Excavaciones y movimiento de tierras				
3.1	Descapote y limpieza del sito de obra	m <sup>2</sup>	1 230.0	\$ 26 290	\$ 32 336 700
3.2	Excavaciones adicional	m <sup>3</sup>	143.0	\$ 30 441	\$ 4 353 063
4	Relleno				
4.1	Relleno con material fino homogéneo seleccionado para repara la orilla	m <sup>3</sup>	1 435.0	\$ 37 339	\$ 53 581 465
5	Protección de superficies				
5.1	Empradizado con pasto convencional	m <sup>2</sup>	1 068.0	\$ 8 498	\$ 9 075 864
5.2	Geotextil no tejido para proteger la orilla del fujo del agua (PAVCO 2500 NT similar)	m <sup>2</sup>	2 357.0	\$ 36 260	\$ 85 464 820
6	Elementos o actividades para el control de calidad de los materiales y la obra				
6.1	Evaluación estructural del estado del acero y el estado de las bolsacretos.	GI	1.0	\$ 5 000 000	\$ 5 000 000
6.2	Servicios necesarios para la ejecución de ensayos necesarios para el control de calidad de las obras.	GL	1.0	\$ 5 000 000	\$ 5 000 000
TOTAL (COSTOS)					\$ 235 853 672

MEMORIAS DE CANTIDADES		
	VOLUMEN DE RELLENO	
	UNIDAD	Valor
ÁREA DE RELLENO	m <sup>2</sup>	7
LONGITUD DEL TRAMO	m	205
VOLUMEN DE RELLENO	m <sup>3</sup>	1435
	TOTAL	1435
	ÁREA DE EMPRADIZADO	
	UNIDAD	Valor
LONGITUD CARA AGUAS ARRIBA	m	6
LONGITUD DEL TRAMO	m	205
ÁREA DE EMPRADIZADO	m <sup>2</sup>	1230
	TOTAL	1230
	ÁREA DE GEOCOLCHÓN Y GEOTEXTIL DE SEPARACIÓN	
	UNIDAD	Valor
LONGITUD CARA AGUAS ARRIBA	m	11.5
LONGITUD DEL TRAMO	m	205
ÁREA	m <sup>2</sup>	2357.5
	TOTAL	2357.5

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	Actividades varias o generales				
1.1	Localización, replanteo, exploración sub acuática y levantamiento topográfico	m2	9 523.0	\$ 4 912	\$ 46 776 976
2	Excavaciones y movimiento de tierras				
2.1	Descapote y limpieza del sitio de obra	m <sup>2</sup>	9 523.0	\$ 26 290	\$ 250 359 670
2.2	Excavaciones adicional	m <sup>3</sup>	263.0	\$ 30 441	\$ 8 005 983
2.3	Excavaciones en el lecho del río	m <sup>3</sup>	6 503.0	\$ 14 356	\$ 93 357 068
3	Rellenos para conformar la protección de orilla				
3.1	Relleno con material fino homogéneo seleccionado para rellenar la orilla	m <sup>3</sup>	2 634.0	\$ 37 339	\$ 98 350 926
4	Protección de superficies de las caras				
4.1	Empradizado con pasto convencional	m <sup>2</sup>	9 523.0	\$ 8 498	\$ 80 926 454
4.2	Geotextil no tejido para proteger la orilla de la infiltración del agua (PAVCO 2500 NT similar)	m <sup>2</sup>	17 288.0	\$ 36 260	\$ 626 862 880
4.3	Geobolsas (1,7 m ancho x 1,7 m largo x 1 m alto)	m <sup>3</sup>	11 119	\$ 304 727	\$ 3 388 259 513
4.4	Geotubos (1,25 m de alto)	m	858	\$ 422 630	\$ 362 616 540
5	Elementos o actividades para el control de calidad de los materiales y la obra				
5.2	Servicios necesarios para la ejecución de ensayos necesarios para el control de calidad de las obras.	GL	1.0	\$ 5 000 000	\$ 5 000 000
TOTAL (COSTOS)					\$ 4 960 516 010

MEMORIAS DE CANTIDADES		
VOLUMEN DE RELLENO		
	UNIDAD	Valor
ÁREA DE EXCAVACIÓN	m <sup>2</sup>	3.07
LONGITUD DEL TRAMO	m	858
VOLUMEN DE EXCAVACIÓN	m <sup>3</sup>	2634.06
	TOTAL	2634.06
VOLUMEN DE EXCAVACIÓN		
	UNIDAD	Valor
ÁREA DE EXCAVACIÓN	m <sup>2</sup>	7.58
LONGITUD DEL TRAMO	m	858
VOLUMEN DE EXCAVACIÓN	m <sup>3</sup>	6503.64
	TOTAL	6503.64
ÁREA DE EMPRADIZADO		
	UNIDAD	Valor
LONGITUD CARA AGUAS ARRIBA	m	11.1
LONGITUD DEL TRAMO	m	858
ÁREA DE EMPRADIZADO	m <sup>2</sup>	9523.8
	TOTAL	9523.8
RELLENO DE GEOBOLSAS Y GEOTUBOS		
	UNIDAD	Valor
AREA DE LAS GEOBOLSAS Y GEOTUBOS	m	12.96
LONGITUD DEL TRAMO	m	858
ÁREA	m <sup>2</sup>	11119.68
	TOTAL	11119.68
ÁREA DEL GEOTEXTIL DE SEPARACIÓN		
	UNIDAD	Valor
LONGITUD CARA AGUAS ARRIBA	m	20.15
LONGITUD DEL TRAMO	m	858
ÁREA	m <sup>2</sup>	17288.7
	TOTAL	17288.7

Localización, replanteo y levantamiento topográfico (m2)

1. HERRAMIENTAS Y EQUIPOS

ITEM	DESCRIPCIÓN	UND	CANTIDAD	RENDIMIENTO	VR. UNITARIO O TARIFA	VR. PARCIAL
1.1	HERRAMIENTA MENOR	gl	1	0.038	\$ 1 326	\$ 50

2. MATERIALES

2.1	LISTON 2 x2x3M.	und	1	0.11	3 570.00	\$ 393
2.2	PUNTILLA 2 CC	lbs	1	0.02	2 040.00	\$ 41
2.3	PIOLA GRUESA 50 METROS	rol	1	0.06	2 550.00	\$ 153
2.4	MINERAL ROJO	kg	1	0.005	7 140.00	\$ 36

3. MANO DE OBRA

3.1	M.O. ALBANILERIA 2 AYUDANTE-1 OFI	hr	1	0.08	23 502.00	\$ 1 880
3.3	M.O. TOPOGRAFIA 1 CADENERO-1 TOP	hr	1	0.03	45 892.00	\$ 1 377

TOTAL COSTOS DIRECTOS M2	\$ 3 930
ADMINISTRACION, IMPREVISTOS Y UTILIDAD (AIU) 25%	\$ 982
COSTO TOTAL POR M2	\$ 4 912

Descapote (m2)

1. HERRAMIENTAS Y EQUIPOS

ITEM	DESCRIPCIÓN	UND	CANTIDAD	RENDIMIENTO	VR. UNITARIO O TARIFA	VR. PARCIAL
1.2	RETROEXCAVADORA	hr	1	0.017	\$ 60 000	\$ 1 000
1.3	VOLQUETA	hr	1	0.017	\$ 50 000	\$ 833
1.4	HERRAMIENTA MENOR	gl	1	1.000	\$ 200	\$ 200

2. MATERIALES

2.1	BOTADERO	m3	1	1.000	\$ 5 000	\$ 5 000
-----	----------	----	---	-------	----------	----------

3. MANO DE OBRA

3.1	OFICIAL DE OBRA	hr	1	0.017	\$ 7 556	\$ 126
3.2	OPERADOR DE EQUIPO	hr	2	0.017	\$ 8 185	\$ 273

4. ACARREO O TRANSPORTE

4.1	DESDE LA OBRA AL BOTADERO	km	86	0.300	\$ 343	\$ 8 846
4.2	VOLQUETA	hr	1.4	0.074	\$ 45 000	\$ 4 755

TOTAL COSTOS DIRECTOS M2

\$ 21 032

ADMINISTRACION, IMPREVISTOS Y UTILIDAD (AIU) 25%

\$ 5 258

COSTO TOTAL POR M2

\$ 26 290

Excavación (m3)

1. HERRAMIENTAS Y EQUIPOS

ITEM	DESCRIPCIÓN	UND	CANTIDAD	RENDIMIENTO	VR. UNITARIO O TARIFA	VR. PARCIAL
1.1	CARGADOR	hr	1	0.025	\$ 80 000	\$ 2 000
1.2	RETROEXCAVADORA	hr	1	0.025	\$ 60 000	\$ 1 500
1.3	VOLQUETA	hr	1	0.025	\$ 50 000	\$ 1 250
1.4	HERRAMIENTA MENOR	gl	1	1.000	\$ 200	\$ 200

2. MATERIALES

2.1	BOTADERO	m3	1	1.000	\$ 5 000	\$ 5 000
-----	----------	----	---	-------	----------	----------

3. MANO DE OBRA

3.1	OFICIAL DE OBRA	hr	1	0.025	\$ 7 556	\$ 189
3.2	OPERADOR DE EQUIPO	hr	3	0.025	\$ 8 185	\$ 614

4. ACARREO O TRANSPORTE

4.1	DESDE LA OBRA AL BOTADERO	km	86	0.300	\$ 343	\$ 8 846
4.2	VOLQUETA	hr	1.4	0.074	\$ 45 000	\$ 4 755

TOTAL COSTOS DIRECTOS M3

\$ 24 353

ADMINISTRACION, IMPREVISTOS Y UTILIDAD (AIU) 25%

\$ 6 088

COSTO TOTAL POR M3

\$ 30 441

Relleno con material fino homogéneo seleccionado para repara la orilla (m3)

1. HERRAMIENTAS Y EQUIPOS

ITEM	DESCRIPCIÓN	UND	CANTIDAD	RENDIMIENTO	VR. UNITARIO O TARIFA	VR. PARCIAL
1.1	CARGADOR	hr	1	0.025	\$ 80 000	\$ 2 000
1.2	VIBROCOMPACTADOR	hr	1	0.025	\$ 80 000	\$ 2 000
1.3	CARROTANQUE	hr	1	0.020	\$ 50 000	\$ 1 000
1.4	HERRAMIENTA MENOR	gl	1	1.000	\$ 200	\$ 200

2. MATERIALES

2.1	MATERIAL COMPACTADO	m3	1	1.000	\$ 10 000	\$ 10 000
2.2	AGUA	m3	1	0.100	\$ 3 000	\$ 300

3. MANO DE OBRA

3.1	OFICIAL DE OBRA	hr	1	0.025	\$ 7 556	\$ 189
3.2	OPERADOR DE EQUIPO	hr	3	0.025	\$ 8 185	\$ 614

4. ACARREO O TRANSPORTE

4.1	DESDE FUENTE DE MATERIAL AL SITIO DE OBRA	km	86	0.300	\$ 343	\$ 8 846
4.2	VOLQUETA	hr	1.4	0.074	\$ 45 000	\$ 4 755

TOTAL COSTOS DIRECTOS M3

\$ 29 903

ADMINISTRACION, IMPREVISTOS Y UTILIDAD (AIU) 25%

\$ 7 476

COSTO TOTAL POR M3

\$ 37 379



Empradizado (m2)

1. HERRAMIENTAS Y EQUIPOS

ITEM	DESCRIPCIÓN	UND	CANTIDAD	RENDIMIENTO	VR. UNITARIO O TARIFA	VR. PARCIAL
1.1	HERRAMIENTA MENOR	gl	1	1.000	\$ 1 000	\$ 1 000

2. MATERIALES

2.1	GRAMA CONVENCIONAL	m2	1	1.000	\$ 4 000	\$ 4 000
-----	--------------------	----	---	-------	----------	----------

3. MANO DE OBRA

3.1	INSTALADOR	hr	1	0.050	\$ 7 556	\$ 378
3.2	AYUDANTE	hr	1	0.050	\$ 4 407	\$ 220

4. ACARREO O TRANSPORTE

4.1	DESDE PROVEEDOR AL STIO DE OBRA	gl	1	1.000	\$ 1 200	\$ 1 200
-----	---------------------------------	----	---	-------	----------	----------

TOTAL COSTOS DIRECTOS M2

\$ 6 798

ADMINISTRACION, IMPREVISTOS Y UTILIDAD (AIU) 25%

\$ 1 700

COSTO TOTAL POR M2

\$ 8 498

**Geotextil antisocavación (m2)**

**1. HERRAMIENTAS Y EQUIPOS**

ITEM	DESCRIPCIÓN	UND	CANTIDAD	RENDIMIENTO	VR. UNITARIO O TARIFA	VR. PARCIAL
1.1	HERRAMIENTA MENOR	gl	1	1.000	\$ 1 000	\$ 1 000
1.2	RETROEXCAVADORA	hr	1	0.050	\$ 60 000	\$ 3 000

**2. MATERIALES**

2.1	GEOTEXTIL NO TEJIDO TR-4000 O SIMILAR CON LASTRE	m2	1	1.20	\$ 15 000	\$ 18 000
-----	--	----	---	------	-----------	-----------

**3. MANO DE OBRA**

3.1	INSTALADORES	hr	2	0.10	\$ 24 792	\$ 4 958
3.2	AYUDANTE	hr	1	0.10	\$ 4 407	\$ 441
3.2	OPERADOR DE EQUIPO	hr	1	0.050	\$ 8 185	\$ 409

**4. ACARREO O TRANSPORTE**

4.1	DESDE PROVEEDOR AL STIO DE OBRA	gl	1	1.000	\$ 1 200	\$ 1 200
-----	---------------------------------	----	---	-------	----------	----------

**TOTAL COSTOS DIRECTOS M2**

**\$ 29 008**

**ADMINISTRACION, IMPREVISTOS Y UTILIDAD (AIU) 25%**

**\$ 7 252**

**COSTO TOTAL POR M2**

**\$ 36 260**

Geobolsas rellenas de material del lecho del río (Unidad)

1. HERRAMIENTAS Y EQUIPOS

ITEM	DESCRIPCIÓN	UND	CANTIDAD	RENDIMIENTO	VR. UNITARIO O TARIFA	VR. PARCIAL
1.1	RETROEXCAVADORA	hr	1	0.100	\$ 60 000	\$ 6 000
1.2	BOMBA HIDRÁULICA	hr	1	0.100	\$ 125 000	\$ 12 500
1.3	HERRAMIENTA MENOR	gl	1	1.000	\$ 15 000	\$ 15 000
1.4	MARCO PARA LLENADO DE BOLSAS	gl	1	0.010	\$ 200 000	\$ 2 000

2. MATERIALES

2.1	GEOBOLSAS	un	1	1.000	\$ 200 000	\$ 200 000
-----	-----------	----	---	-------	------------	------------

3. MANO DE OBRA

3.1	OFICIAL DE OBRA	hr	1	0.100	\$ 7 556	\$ 756
3.2	AYUDANTE	hr	1	0.100	\$ 4 407	\$ 441
3.3	OPERADOR DE EQUIPO	hr	2	0.100	\$ 8 185	\$ 1 637
3.4	INSTALADORES (BUZOS)	hr	2	0.100	\$ 15 741	\$ 3 148

4. ACARREO O TRANSPORTE

4.1	DESDE PROVEEDOR AL STIO DE OBRA - GEOBOLSAS	gl	1	1.000	\$ 2 300	\$ 2 300
-----	---	----	---	-------	----------	----------

TOTAL COSTOS DIRECTOS POR UNIDAD

\$ 243 781

ADMINISTRACION, IMPREVISTOS Y UTILIDAD (AIU) 25%

\$ 60 945

COSTO TOTAL POR UNIDAD

\$ 304 727

Geotubos de 1.25 m de alto rellenos de material del lecho del río (ml)

1. HERRAMIENTAS Y EQUIPOS

ITEM	DESCRIPCIÓN	UND	CANTIDAD	RENDIMIENTO	VR. UNITARIO O TARIFA	VR. PARCIAL
1.1	RETROEXCAVADORA	hr	1	0.100	\$ 60 000	\$ 6 000
1.2	BOMBA HIDRÁULICA	hr	1	0.375	\$ 125 000	\$ 46 875
1.3	HERRAMIENTA MENOR	gl	1	1.000	\$ 15 000	\$ 15 000

2. MATERIALES

2.1	GEOTUBOS	un	1	0.083	\$ 3 000 000	\$ 250 000
-----	----------	----	---	-------	--------------	------------

3. MANO DE OBRA

3.1	OFICIAL DE OBRA	hr	1	0.375	\$ 7 556	\$ 2 833
3.2	AYUDANTE	hr	1	0.375	\$ 4 407	\$ 1 653
3.3	OPERADOR DE EQUIPO	hr	2	0.100	\$ 8 185	\$ 1 637
3.4	INSTALADORES (BUZOS)	hr	2	0.375	\$ 15 741	\$ 11 806

4. ACARREO O TRANSPORTE

4.1	DESDE PROVEEDOR AL STIO DE OBRA - GEOBOLSAS	gl	1	1.000	\$ 2 300	\$ 2 300
-----	---	----	---	-------	----------	----------

TOTAL COSTOS DIRECTOS ML	\$ 338 104
ADMINISTRACION, IMPREVISTOS Y UTILIDAD (AIU) 25%	\$ 84 526
COSTO TOTAL POR ML	\$ 422 630

Excavaciones en el lecho del río m3)

1. HERRAMIENTAS Y EQUIPOS

ITEM	DESCRIPCIÓN	UND	CANTIDAD	RENDIMIENTO	VR. UNITARIO O TARIFA	VR. PARCIAL
1.1	RETROEXCAVADORA	hr	1	0.050	\$ 60 000	\$ 3 000
1.2	BOMBA HIDRÁULICA	hr	1	0.050	\$ 125 000	\$ 6 250

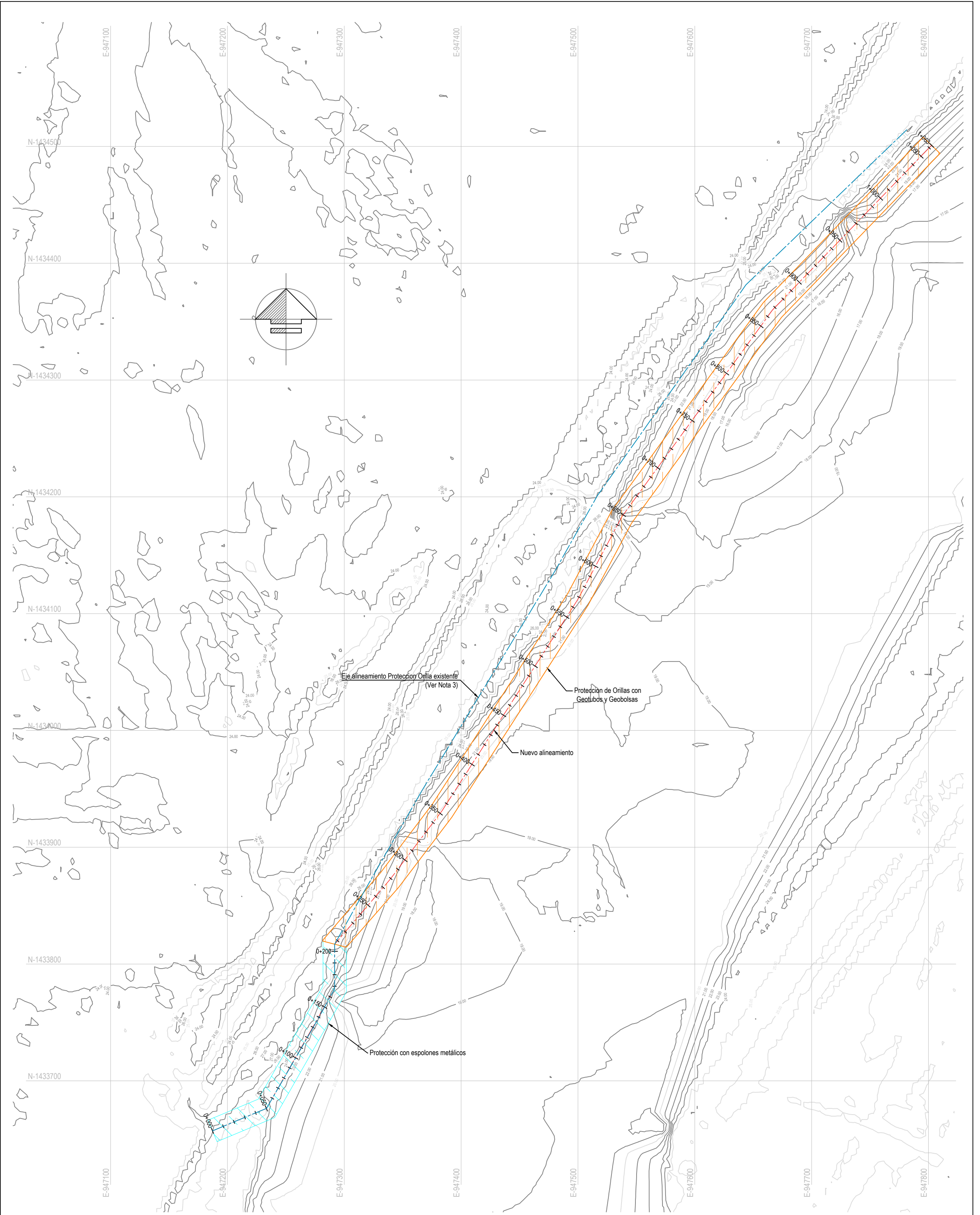
2. MANO DE OBRA

2.1	OFICIAL DE OBRA	hr	1	0.050	\$ 7 556	\$ 378
2.2	AYUDANTE	hr	1	0.050	\$ 4 407	\$ 220
2.3	OPERADOR DE EQUIPO	hr	2	0.100	\$ 8 185	\$ 1 637

TOTAL COSTOS DIRECTOS POR UNIDAD	\$ 11 485
ADMINISTRACION, IMPREVISTOS Y UTILIDAD (AIU) 25%	\$ 2 871
<b>COSTO TOTAL POR UNIDAD</b>	<b>\$ 14 356</b>

## **ANEXO C.**

## **PLANOS**

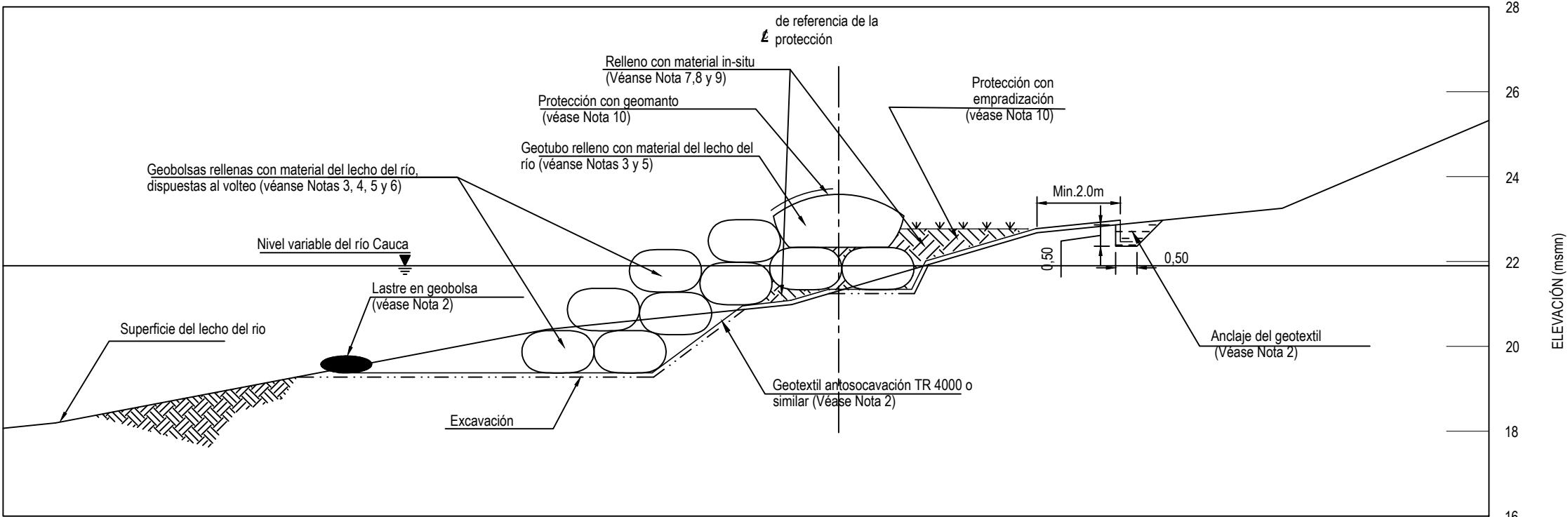


ZONIFICACIÓN SOLUCIÓN PROTECCIÓN DE ORILLA ACHÍ  
Esc 1:2500

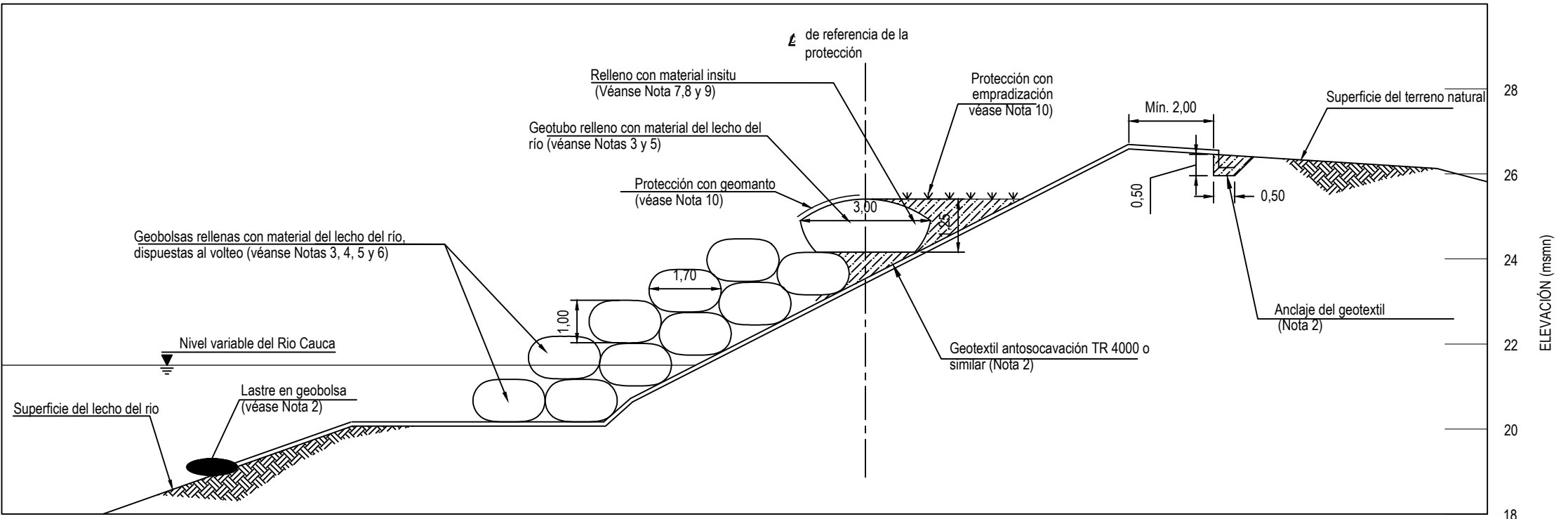
- NOTAS :
- Excepto donde se indique lo contrario, todas las dimensiones en este plano están expresadas en metros, y las elevaciones medidas con respecto al nivel del mar (msnm).
  - La superficie del terreno natural es aproximada y extraída de un levantamiento LIDAR hecho en la zona, suministrado por el FONDO ADAPTACIÓN. La precisión de este levantamiento es de puntos cada 5.0 x 5.0 m, por lo que existe incertidumbre acerca de algunos puntos del terreno. la fundación y altura de la estructura podrá variar al emplear una topografía mas detallada de la zona.
  - El eje del alineamiento para la zona con protección de orilla propuesta con geobolsas y geotubos fue alterado para que el abscisado correspondiera con la orilla del río Cauca.

CONVENCIONES:					<div>SI SUELOS INGENIERIA S.A.S.</div> <div>Estudios, diseños y construcciones en geotecnia</div>				CAD	
<div><div></div>EJE ALINEAMIENTO SEGUN FONDO ADAPTACION</div>					DISEÑO: D.CASTRO		REVISO: D.CASTILLA	APROBO: A.DURAN		ESC: 1:125
<div><div></div>EJE ALINEAMIENTO PROPUESTO</div>					DIBUJO: J.GUTIERREZ		FECHA: JULIO 2015	PLANO: 2		
					CONTIENE: ZONIFICACIÓN DISEÑO PROTECCIÓN DE ORILLA ACHÍ					
0	15-07-2015	Version original	J.G	D.C	A.D	<div><div>Fondo Adaptación</div><div>Compañía de la Infraestructura y el Medio Ambiente</div><div>ESTRATEGIA DE DESARROLLO SOSTENIBLE</div></div> <div>PROYECTO:</div> <div>EVALUACION GEOTECNICA Y ESTRUCTURAL DE HASTA 28 OBRAS DE PROTECCION HIDRAULICA LOCALIZADAS EN LOS 11 MUNICIPIOS QUE CONFORMAN EL NUCLEO DE LA REGION DE LA MOJANA</div>				
No.	FECHA	REVISIONES	DIBUJO	REVISION	APROBO					





SECCIÓN TÍPICA 2 PROTECCIÓN DE ORILLA ACHÍ  
ESCALA 1:125



SECCIÓN TÍPICA 3 - PROTECCIÓN DE ORILLA ACHÍ  
ESCALA 1:125

NOTAS

Dimensiones se encuentran en metros y elevaciones en msnm a menos que se indique lo contrario.

Entre la superficie del terreno natural y la estructura de geobolsas u geotubos deberá instalarse un geotextil antisocavación TR 400 o similar. El geotextil deberá estar acompañado de un lastre, en el mismo material, adherido al extremo del geotextil que descansara en el lecho del río. el geotextil antisocavación deberá ser anclado por medio de una zanja en la orilla.

Las geobolsas tendrán 1.7m de ancho y largo, y 1.0m de altura. Los geotubos en la parte superior tendrán una altura de 1.25m, 3.0 m de ancho y 6.8m de largo.

Las geobolsas vacías serán ubicadas en una formaleta con su boquilla apuntada hacia arriba, posteriormente ser llenadas por medio de una tolva.

El material de relleno de las geobolsas y de los geotubos puede ser del fondo del río, previa autorización de FONDO ADAPTACION. Este material debe ser preferiblemente arenoso, sin presencia de finos.

Las geobolsas serán dispuesta al volteo; estas serán izadas por medio de una grúa y arrojadas en su ubicación final, dejándolas caer desde una altura superior al nivel de las aguas del río Cauca.

Debe nivelarse la superficie de apoyo de los geotubos hasta obtener una superficie lisa, y sin protuberancias, con una pendiente de máximo 0.5% tanto en el sentido longitudinal como transversal, con el fin de garantizar la estabilidad de los geotubos.

Una vez se alcance el nivel superior de la estructura de geobolsas, debiera rellanarse con material in-situ compactado, el espacio entre las geobolsas del nivel superior y el espacio entre el geotextil anti-socavación y las geobolsas, con el fin de nivelar la superficie de

apoyo de los geotubos. Una vez instalados los geotubos, el espacio dejado entre estos y el geotextil antisocavación también deberá ser relleno con material in-situ.

El material in-situ empleado para nivelar la superficie de apoyo de los geotubos y para llenar los espacios entre el terreno y el mecanismo de control de erosión, deberá cumplir con lo descrito en el capítulo 4 de las especificaciones técnicas.

El relleno en la espalda de los geotubos deberá ser protegido con empradización. La parte expuesta de los geotubos sobre el nivel de las aguas del río Cauca deberá ser recubierta con geomanto. El geomanto deberá cumplir con lo descrito en el capítulo 4 de las especificaciones técnicas.

En este plano se presenta una sección típica para las zonas donde la dinámica del río Cauca ha generado orillas con paredes casi verticales y otra sección típica para las zonas donde la orilla se

encuentra tendida. En las zonas donde la orilla se encuentra tendida se requieren mayores cantidades de geotextil antisocavacion, de empradizacion y de rellenos con material in-situ, comparado con las zonas donde la orilla se encuentra con una menor pendiente.

CONVENCIONES:

0

15-07-2015

Version original

J.G

D.C

A.D

SI

SUELOS INGENIERIA S.A.S.

Estudios, diseños y construcciones en geotecnia

CAD

DISEÑO: D.CASTRO

DIBUJO: J.GUTIERREZ

REVISÓ: D.CASTILLA

FECHA: JULIO 2015

APROBO: A.DURAN

PLANO: 2

ESC.: 1:125

CONTIENE: SECCION TÍPICA 2 Y 3

PROYECTO: PROTECCIÓN DE ORILLA ACHÍ

Fondo Adaptación

Equipo en la Reconstrucción

EVALUACION GEOTECNICA Y ESTRUCTURAL DE HASTA 28 OBRAS DE PROTECCION HIDRAULICA LOCALIZADAS EN LOS 11 MUNICIPIOS QUE CONFORMAN EL NUCLEO DE LA REGION DE LA MOJANA