

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**



**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LAS
DEFENSAS RIBEREÑAS CON EL SISTEMA DE
GEOCONTENEDORES EN EL RÍO ICA**

INFORME DE SUFICIENCIA

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

STEVE EDUARDO GRANDE REYES

Lima- Perú

2014

ÍNDICE

RESUMEN	III
LISTA DE CUADROS	IV
LISTA DE FIGURAS	V
INTRODUCCIÓN.....	viii
CAPITULO I: ASPECTOS GENERALES	1
1.1 ANTECEDENTES	1
1.2 OBJETIVO DEL ESTUDIO.....	2
1.3 DEFINICIONES	2
1.3.1 Defensa Ribereña	2
1.3.2 Revestimiento	3
1.3.3 Geosintéticos	3
1.3.4 Geocontenedores.....	3
CAPITULO II: EVALUACIÓN TÉCNICA DE LAS DEFENSAS RIBEREÑAS	5
2.1 DATOS E INFORMACIÓN TÉCNICA.....	5
2.1.1 Ubicación	5
2.1.2 Topografía.....	5
2.1.3 Hidrología.....	6
2.1.4 Geología y Geotecnia.....	11
2.2 ANÁLISIS Y EVALUACIÓN.....	11
2.2.1 Modelamiento hidráulico del Río Ica.....	12
2.2.2 Zonas de Protección	18
2.2.3 Diseño geométrico	21
2.2.4 Diseño del Revestimiento.....	25
CAPITULO III: METODOLOGÍA DE CONSTRUCCIÓN DE LOS GEOCONTENEDORES	45
3.1 CONSIDERACIONES INICIALES	45
3.2 CONFECCIÓN DE GEOCONTENEDORES	47
3.3 INSTALACIÓN DE GEOCONTENEDORES.....	50
3.3.1 Limpieza, corte y perfilado del terreno.....	50
3.3.2 Trazo y replanteo	51
3.3.3 Colocación de la capa de geotextil de separación	51
3.3.4 Encofrado de los geocontenedores	51

3.3.5	Habilitado de los geocontenedores	53
3.3.6	Llenado de los geocontenedores.....	54
3.3.7	Cierre de los geocontenedores.....	54
3.3.8	Habilitado del manto antisocavante	55
3.3.9	Consideraciones para niveles superiores.....	55
CAPITULO IV: PROPUESTA DE MONITOREO DE LOS GOECONTENEDORES EN LAS DEFENSAS RIBEREÑAS.....		57
4.1	CONSIDERACIONES INICIALES	57
4.1.1	Descripción actual del proyecto y recomendaciones	57
4.1.2	Propuesta de monitoreo para geocontenedores.....	64
CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		68
5.1	CONCLUSIONES	68
5.2	RECOMENDACIONES	71
BIBLIOGRAFÍA		74
ANEXOS		76

PLANOS

N°01 Ubicación del proyecto. Escala: 1/10 000

N°02 Cuenca hidrográfica del río Ica. Escala: 1/500 000

RESUMEN

El presente Informe de Suficiencia “Evaluación del Comportamiento de las Defensas Ribereñas con el Sistema de Geocontenedores en el Río Ica” permite ilustrar el comportamiento en campo de los geocontenedores de la protección ribereña del río Ica durante las máximas avenidas del periodo 2012-2013; asimismo también muestra la importancia de los geocontenedores como nuevos materiales para sistemas de protección ribereña.

Por lo que es de interés del presente informe, desarrollar más esta nueva alternativa frente a las tradicionales y dar razones suficientes para su aplicación de modo más amplio para los ríos peruanos y proyectos similares.

El desarrollo del presente informe ha sido posible con la ayuda de evidencia existente que hace uso extensivo de estas tecnologías en las riberas del río Ica, donde para nuestro entendimiento se pudo revisar las metodologías de diseño, los procesos constructivos y esquemas de monitoreo de la información e investigación que existe sobre los geocontenedores actualmente en el mundo.

LISTA DE CUADROS

Cuadro N°2.1	Caudales de máximas avenidas para diferentes niveles de ocurrencia del río Ica.....	9
Cuadro N°2.2	Coefficientes de rugosidad según Manning para corrientes naturales.	10
Cuadro N°2.3	Resultados del modelamiento del Río Ica en la zona de estudio (Tr=100 años).	13
Cuadro N°2.4	Bordes libres recomendados según descarga de diseño.....	22
Cuadro N°2.5	Resumen de dimensionamiento Geométrico de la defensa ribereña en la zona de estudio.....	25
Cuadro N°2.6	Factores de Seguridad para los diferentes tipos de falla externa.	26
Cuadro N°2.7	Valores estimados para los distintos tipos de material.....	27
Cuadro N°2.8	Factores de Seguridad para la evaluación en condiciones estáticas.....	28
Cuadro N°2.9	Factores de Seguridad para la evaluación en condiciones pseudo-estáticas.....	29
Cuadro N°2.10	Parámetros del material de relleno del geocontenedor.....	33
Cuadro N°2.11	Propiedades del geosintético de envoltura.....	33
Cuadro N°2.12	Factor Turbulencia Kt para varias condiciones hidráulicas.	43
Cuadro N°3.13	Resumen de dimensiones geométricas de las defensas existentes en la zona de estudio.....	45

LISTA DE FIGURAS

Figura N°1.1	Detalle típico de defensa ribereña para enrocados.	2
Figura N°1.2	Geocontenedor.	4
Figura N°2.1	Ubicación geográfica del proyecto en estudio.	5
Figura N°2.2	Detalle de la ubicación del proyecto en estudio.	6
Figura N°2.3	Topografía de la zona en estudio del río Ica.	7
Figura N°2.4	Cuenca integral del río Ica.	8
Figura N°2.5	Detalle típico del lecho del río Ica en la zona de estudio, mezcla de arenas, gravas y desmonte con algo de vegetación en las laderas.	10
Figura N°2.6	Esfuerzos cortantes en las márgenes del Río Ica (Tr=100 años).	17
Figura N°2.7	Elevación del nivel de agua para la zona en estudio (Tr=100 años).	17
Figura N°2.8	Zona de inundación para el área en estudio (Tr=100 años).	18
Figura N°2.9	Zonas de protección ribereña.	19
Figura N°2.10	Esfuerzos cortantes corregidos debido a la protección ribereña en la margen izquierda del Río Ica (Tr=100 años).	20
Figura N°2.11	Elevación del nivel de agua corregida debido a la protección ribereña en la margen izquierda de la zona en estudio (Tr=100 años).	20
Figura N°2.12	Zona de inundación corregida debido a la protección ribereña en la margen izquierda del área en estudio (Tr=100 años).	21
Figura N°2.13	Elevación del borde libre y cimentación de la protección ribereña.	22
Figura N°2.14	Detalle de empotramiento de la base en el suelo de fundación. .	23
Figura N°2.15	Detalle del tamaño de partículas de la zona en estudio.	24
Figura N°2.16	Nivel de Socavación para la defensa ribereña.	24

Figura N°2.17 Esquema de manto antisocavante para sistemas geosintéticos de Geocontenedores.	24
Figura N°2.18 Posibilidades de fallas externas e internas en sistemas de Geocontenedores.	25
Figura N°2.19 Esquema de solución con Geocontenedores de 12.5m3.	27
Figura N°2.20 Esquema de solución final con Geocontenedores de 12.5m3.	30
Figura N°2.21 Esquema de solución de acuerdo a Leschinsky.....	31
Figura N°2.22 Esquema de solución de acuerdo a Kazimierowicz (1994 por Martins 2006).....	32
Figura N°2.23 Esquema y esfuerzos máximos para el Geocontenedor en estudio.....	34
Figura N°2.24 Diferentes tipos de apilamiento recomendados para Geocontenedores.	36
Figura N°2.25 Esfuerzos de tensión perimetrales en términos de $T_{máx}$	37
Figura N°2.26 Esquema de deformación para el Geocontenedor en estudio.	39
Figura N°2.27 Esquema y esfuerzo máximos para el Geocontenedor en estudio considerando la deformación del material.	39
Figura N°2.28 Esquema de deformación para el Geocontenedor en estudio considerando la deformación del material.....	40
Figura N°2.29 Análisis de fuerza que actúan en un partícula que reposa en un superficie.	41
Figura N°2.30 Espesores efectivos para diferentes arreglos con geocontenedores.	42
Figura N°3.1 Sección tipo para las defensas ribereñas en las progresivas 0+950 a 1+100 (Tramo I) y 1+850 a 2+240 (Tramo II)	46
Figura N°3.2 Sección tipo para las defensas ribereñas en las progresivas 2+230 a 2+470 (Tramo I) y 2+790 a 2+940 (Tramo II).	46
Figura N°3.3 Esquema básico de corte para geocontenedor de 10m3.	48
Figura N°3.4 Tipos de costura con eficiencia de unión sobre el geotextil.....	48
Figura N°3.5 Tipos de puntada.....	49

Figura N°3.6	Procedimiento de cosido con la cosedora manual.	49
Figura N°3.7	Corte y limpieza de los taludes del río Ica.....	50
Figura N°3.8	Trazo del vértice del talud y talón del geocontenedor.	51
Figura N°3.9	Tendido del geotextil de separación para el primer nivel de geocontenedores.....	52
Figura N°3.10	Habilitado de geocontenedor vacío con encofrado metálico.	52
Figura N°3.11	Habilitado de encofrado de madera.....	53
Figura N°3.12	Habilitado de geocontenedor vacío con encofrado de madera....	53
Figura N°3.13	Llenado de geocontenedor con maquinaria pesada.....	54
Figura N°3.14	Cierre de la tapa del geocontenedor con cocedora portátil.	55
Figura N°3.15	Habilitado del manto antisocavante.	56
Figura N°3.16	Habilitado de encofrado para segundo nivel.	56
Figura N°4.1	Vista del Tramo I desde aguas abajo.....	58
Figura N°4.2	Vista del Tramo I desde aguas arriba	59
Figura N°4.3	Vista del Tramo II desde aguas arriba	59
Figura N°4.4	Vista de la zona de hundimiento en el Tramo II	60
Figura N°4.5	Vista del Tramo III desde aguas arriba	61
Figura N°4.6	Vista de la zona de asentamiento en el Tramo III	61
Figura N°4.7	Vista de la zona de hundimiento en el Tramo IV.....	63
Figura N°4.8	Vista del Tramo IV desde aguas arriba.....	63

INTRODUCCIÓN

Presento a consideración de los miembros del jurado el Informe de Suficiencia “Evaluación del Comportamiento de las Defensas Ribereñas con el Sistema de Geocontenedores en el Río Ica”; para obtener el Título de Grado, que otorga la Universidad Nacional de Ingeniería a nombre de la Nación.

El desarrollo del presente informe se logró gracias a la evidencia de nuevas tecnologías que han ido ganando más terreno en nuestro ambiente técnico-construtivo con el uso de los geosintéticos, dentro del cual se encuentran los geocontenedores como una aplicación para las defensas ribereñas.

Asimismo el presente informe aprovechó la existencia de estas estructuras en río Ica, para su minucioso análisis.

El plan trazado se ha desarrollado en 5 capítulos habiéndose resuelto a satisfacción cada uno ellos, estos son descritos resumidamente a continuación:

El capítulo I trata acerca de los objetivos y alcances del presente informe, como también sobre algunas definiciones generales acerca de los temas que se comentarán en los demás capítulos, aquí cabe resaltar la definición que logramos darle a los Geosintéticos y a los Geocontenedores como materiales producidos a partir de polímeros y como estos son utilizados en varias aplicaciones.

El capítulo II describe las condiciones tanto topográficas, hidrológicas, hidráulicas, geológicas y geotécnicas de una zona específica del río Ica, asimismo detalla los procesos de diseño para una defensa ribereña ideal en la misma zona de estudio, utilizando geocontenedores con un caudal de $419 \text{ m}^3/\text{s}$ y un periodo de retorno $T_r=100$ años.

El capítulo III describe inicialmente las estructuras de protección existentes en el río Ica, donde se hace reconocimiento de 4 tramos de protección ribereña con

geocontenedores, teniendo éstas, configuraciones distintas a las proyectadas en el capítulo anterior. Posteriormente en el mismo capítulo se detallan los procesos de confección e instalación de los geocontenedores tomando como referencia la defensa ribereña del río Ica e información de todo el mundo, llegando a optimizar y generalizar gran parte de los procesos.

El capítulo IV detalla minuciosamente el comportamiento que tuvieron los geocontenedores en el periodo 2012-2013, lográndose reconocer ciertos problemas debido al alto caudal que se presentó en dicho periodo. Por otro lado en el mismo capítulo se describen las pautas a tener en cuenta para el monitoreo y reparación de los geocontenedores, teniendo en consideración los hechos mostrados en el último periodo analizado y las recomendaciones del capítulo II y III.

Finalmente el capítulo V engloba todas las conclusiones y recomendaciones que hemos logrado obtener del análisis de los capítulos anteriormente descritos, describiendo los puntos álgidos que debemos tener en cuenta para una protección ribereña utilizando geocontenedores.

CAPITULO I: ASPECTOS GENERALES

1.1 ANTECEDENTES

La constante búsqueda de nuevas tecnologías que sean más versátiles, más fáciles de construir, más económicas y que tengan gran afinidad con el medio ambiente en proyectos que tengan la finalidad de proteger las riberas de un río, han obligado al hombre a probar diferentes tipos de revestimiento que cumplan con esta condición, entre uno de ellos encontramos los sistemas de Geocontenedores, los cuales pertenecen a la rama de los geosintéticos y cumplen gran parte de las características antes mencionadas.

En el mundo la aplicación de estos sistemas de Geocontenedores no lleva más de 30 años de experiencia y en el Perú mucho menos, se puede considerar no más 10 años. Pero en estos últimos años, en nuestro país, se han ido realizando obras de protección de riberas en el río Ica, debido al incremento del potencial de desbordamiento del río en épocas de avenidas y a la progresiva erosión de los cauces.

Para el año 2012, zonas destinadas para fundos agroindustriales han utilizado geosintéticos para la protección de sus terrenos, estos fueron sistemas de contenedores rellenos de arena y material de lugar, a los cuales se les ha denominado Geocontenedores y son objeto de este informe.

Estas zonas al albergar estructuras innovadoras en la protección de riberas, brindan una oportunidad ideal para el conocimiento más a fondo de estos sistemas, dando la oportunidad de establecer nuevas guías para el buen desarrollo de estas tecnologías en nuestro país.

1.2 OBJETIVO DEL ESTUDIO

Siendo poca la información técnica respecto al comportamiento de los sistemas geosintéticos con geocontenedores aplicados a defensas de riberas de ríos, un análisis y evaluación del comportamiento post-constructivo de estas defensas en el río Ica, confirmarían o desvirtuarían los criterios usados en su formulación, los cuales podrían tomarse en cuenta para las elaboraciones de propuestas futuras. Por lo que el objetivo principal del presente informe es evaluar y proponer criterios y recomendaciones para futuras propuestas técnicas y constructivas de defensas ribereñas, revisando los sistemas geosintéticos de geocontenedores usados en un proyecto en el río Ica.

1.3 DEFINICIONES

1.3.1 Defensa Ribereña

Son estructuras encargadas de proteger las riberas de un río de flujos de agua extraordinarios, reforzando la superficie del suelo mediante un revestimiento ya sea este de grava, enrocado, vegetal, bloques de concreto, mantos, gaviones, asfalto, geosintéticos, entre otros. Evitando posibles desastres como la pérdida de áreas de cultivo, áreas de vivienda, vías de comunicación, obras energéticas, etc. En la figura N°1.1 se muestra el detalle típico de una defensa con enrocado o riprap.

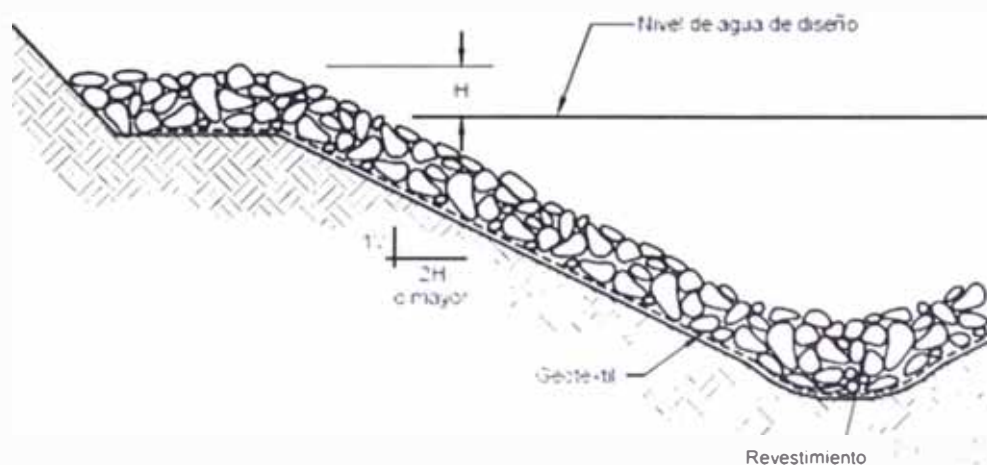


Figura N°1.1 Detalle típico de defensa ribereña para enrocados. Fuente, Suárez Díaz Jaime (2001)

1.3.2 Revestimiento

Tiene por objetivo aumentar la resistencia al esfuerzo tractivo producido por el flujo de agua utilizando diversos tipos de materiales como recubrimiento, los cuales tienen en cuenta los esfuerzos de corte, la inclinación de la ribera o dique y la disponibilidad de recursos para su determinación. Asimismo se deberá tener en cuenta los posibles mecanismos de falla como el exceso de presión de poros, la migración de finos por debajo del revestimiento, el deslizamiento del revestimiento, asentamiento diferenciales, socavación del pie, estabilidad del talud, etc., para su adecuada elección.

1.3.3 Geosintéticos

Podemos entender por Geosintéticos a un grupo de materiales (geotextiles, geomallas, geomembranas, geocompuestos, etc.) producidos industrialmente a partir de polímeros sintéticos derivados del petróleo (poliéster, polietileno, polipropileno, entre otros, asimismo existen inclusiones con fibras naturales), los cuales se han desarrollado, para aplicaciones en obras civiles como hidráulica, geotecnia, vías de transporte y medio ambiente, desempeñando una o más funciones, entre las que destacan: refuerzo, filtración, drenaje, separación, contención, protección, impermeabilización y control de erosión superficial.

1.3.4 Geocontenedores

Son estructuras flexibles hechas de Geotextiles tejidos de alta resistencia que confinan o encapsulan suelos propios de la zona o de lechos de río, normalmente arenas e incluso limos o arcillas y que en particular para este tipo de aplicaciones poseen volúmenes entre 0.3m^3 a 15m^3 (ver Figura N°1.2). Además pueden ser llenadas de varias maneras, mecánicamente o hidráulicamente e inclusive con herramientas manuales.

Estos pueden ser construidos in situ o en zonas cercanas y posteriormente llevados a las zonas de trabajo.

Adicionalmente el geotextil tejido que lo conforma tiene la capacidad de resistir el punzonamiento y rasgado, retener el material de llenado, resistir las presiones de

llenado, tener la permeabilidad suficiente para aliviar el exceso de presión de agua, y de sobrevivir a los procesos de instalación.

Por otro lado, los geocontenedores como estructuras ingenieriles cumple varias funciones o aplicaciones en el campo de la hidráulica y geotecnia, entre algunas de estas podemos mencionar:

- Defensas Ribereñas
- Espigones
- Rompeolas
- Estructura para control de socavación
- Diques de encauce de ríos.



Figura N°1.2 Geocontenedor. Fuente, Cortesía de Andex del Norte

CAPITULO II: EVALUACIÓN TÉCNICA DE LAS DEFENSAS RIBEREÑAS

2.1 DATOS E INFORMACIÓN TÉCNICA

2.1.1 Ubicación

Para el desarrollo del presente estudio y evaluación se tomó como base un proyecto localizado sobre las márgenes del río Ica, ubicado cerca al fundo Santa Rita, entre los distritos de Pueblo Nuevo y Santiago. El proyecto se encuentra políticamente en la provincia de Ica, región Ica. (Ver Figura N°2.1 y Figura N°2.2)



Figura N°2.1 Ubicación geográfica del proyecto en estudio. Fuente, Ministerio de Transportes y Comunicación (2004)

2.1.2 Topografía

De la información recaudada se pudo obtener la topografía completa del río Ica en el tramo señalado de rojo en la Figura N°2.2, asimismo este conto con una extensión de más de tres kilómetros lineales de alineamiento. Para la finalidad del presente informe, esta información fue procesada gracias al software de ingeniería CIVIL 3D, y posteriormente analizada y evaluada con el software HEC-RAS V4.1.0 (ver figura N°2.3).



Figura N°2.2 Detalle de la ubicación del proyecto en estudio. Fuente, Google Earth (2013)

2.1.3 Hidrología

De acuerdo a la información que se pudo recaudar del proyecto en estudio, no se pudo obtener datos de hidrología, por lo que se tuvo que hacer una pequeña investigación, obteniendo información del Ministerio de Agricultura y Riego para la cuenca del río Ica y otras de algunas universidades de la región.



Figura N°2.3 Topografía de la zona en estudio del río Ica. Fuente, Elaboración propia

El río Ica presenta un carácter irregular y torrentoso; irregular porque es temporalmente deficitario, ya que el 83% de su volumen total ocurre en el periodo de avenidas (tres meses, Enero-Febrero-Marzo), el 13% durante el periodo de transición (1.5 meses) y el 4% en el periodo de estiaje (7.5 meses); y torrentoso porque la corriente es rápida, impetuosa y no durable.

El río Ica no presenta claramente diferenciados los trayectos o sectores clásicos correspondientes a la vida de un río (la cuenca de recepción, el canal de descarga y el cono de deyección), en parte por su relativamente pequeña cuenca (7 711 km²) y en parte por su fuerte pendiente, habiendo intervenido por otro lado factores geomorfológicos que han contribuido a darle características muy especiales.

Por otro lado el río Ica presenta un lecho móvil con pendiente de alrededor del 8% aguas arriba de la estación hidrométrica la Achirana y aguas abajo con una pendiente promedio del 2%, valor que viene a recalcar en nuestro informe. (Ver Figura 2.4)

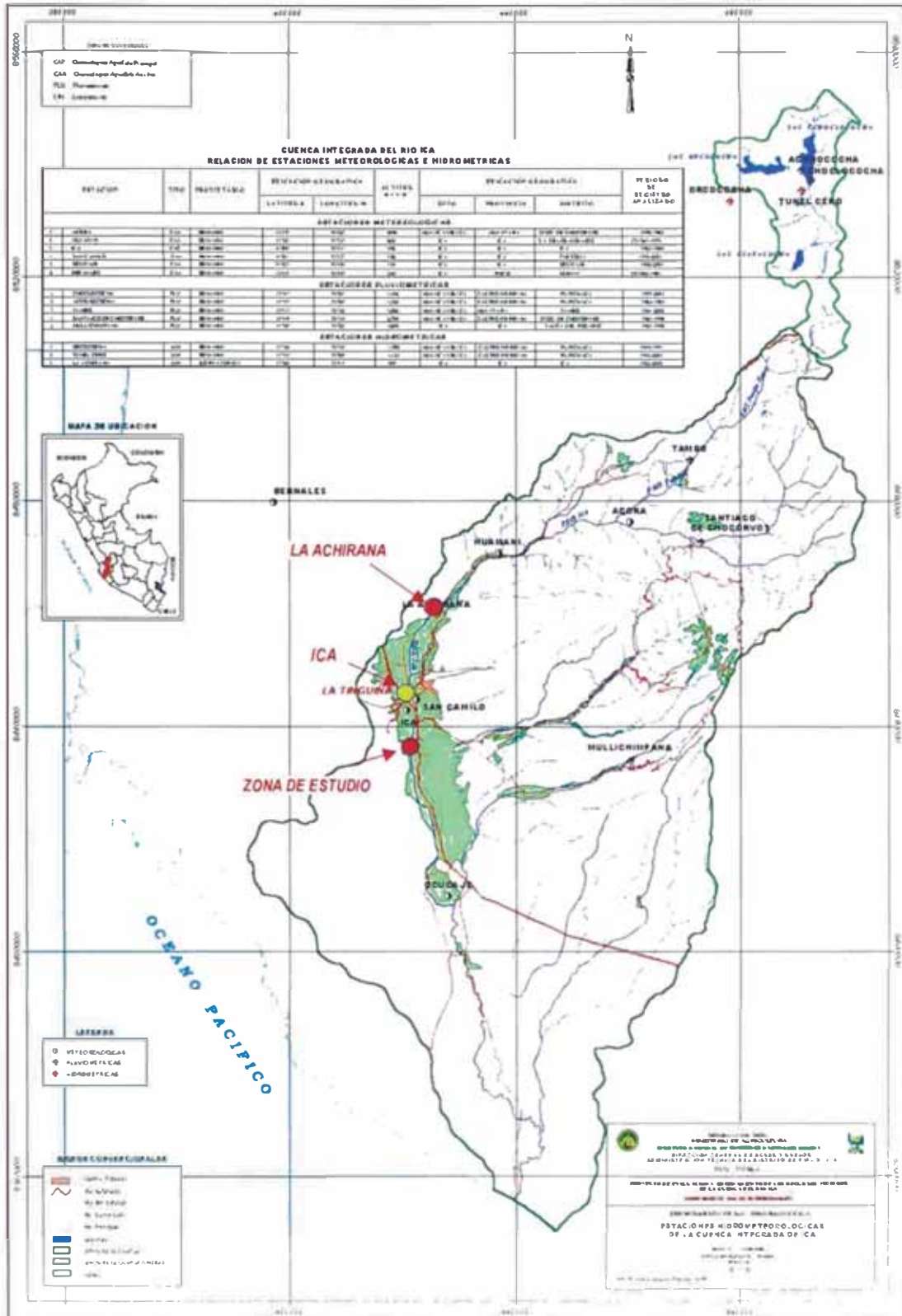


Figura N°2.4 Cuenca integral del río Ica. Fuente, Instituto Nacional de Recursos Naturales ATDR ICA

Con respecto a la cantidad de escorrentía que transporta el Río Ica, la consultora ATA - SWECO en el año 2000 (ATA - SWECO), desarrollo en el Estudio de Factibilidad de Solución de la Problemática de Desbordes e Inundaciones del Río Ica y Quebrada Cansas/Chanchajalla, un modelamiento de la cuenca del río Ica para la generación de caudales, mediante el modelo HFAM (Hydrocomp Forecast and Analysis Modeling), utilizando la información hidrométrica de estación La Achirana.

En el siguiente cuadro N°2.1, se presenta los caudales máximos obtenidos para el río Ica, a la altura de la bocatoma La Achirana, mediante el modelo HFAM.

Cuadro N°2.1 Caudales de máximas avenidas para diferentes niveles de ocurrencia del río Ica.
Fuente, ATA-SWECO (2000)

PERIODO DE RETORNO (Años)	CAUDAL MAXIMO (m ³ /s)
10	262
50	372
100	419
200	466
500	527

Por otro lado para el tramo en estudio se consideró un coeficiente de rugosidad equivalente a 0.032 para el canal principal según el Cuadro N°2.2 dado por Manning para corrientes naturales, siendo un valor intermedio en la condición mínima de los puntos a3 y a2. Este valor fue tomado con la finalidad de obtener velocidades máximas en el cauce, ya que este será un factor relevante en el análisis que se realizará, asimismo dicho valor fue respaldado con las visitas que se realizaron a la zona (ver Figura N°2.5), en donde se observó la presencia de un lecho semiplano compuesto mayormente de arena con algunos montículos, franjas y pozos de material pedregoso.

Para el caso de las laderas o riberas del cauce principal, se observó adicionalmente la presencia de matorrales y vegetación.

Cuadro N°2.2 Coeficientes de rugosidad según Manning para corrientes naturales. Fuente, Ven Te Chow (1994)

Corrientes naturales	Mínimo	Normal	Máximo
Corrientes menores (ancho superficial en nivel creciente < 100 pies)			
a. Corrientes en planicies			
1. Limpias, rectas, máximo nivel, sin montículos ni pozos profundos	0.025	0.030	0.033
2. Igual al anterior, pero con más piedras y malezas	0.030	0.035	0.040
3. Limpio, serpenteante, algunos pozos y bancos de arena	0.033	0.040	0.045
4. Igual al anterior, pero con algunos matorrales y piedras	0.035	0.045	0.050
5. Igual al anterior, niveles bajos, pendientes y secciones más ineficientes	0.040	0.048	0.055
6. Igual al 4, pero con más piedras	0.045	0.050	0.060
7. Tramos lentos, con malezas y pozos profundos	0.050	0.070	0.080
8. Tramos con muchas malezas, pozos profundos o canales de crecientes con muchos árboles con matorrales bajos	0.075	0.100	0.150

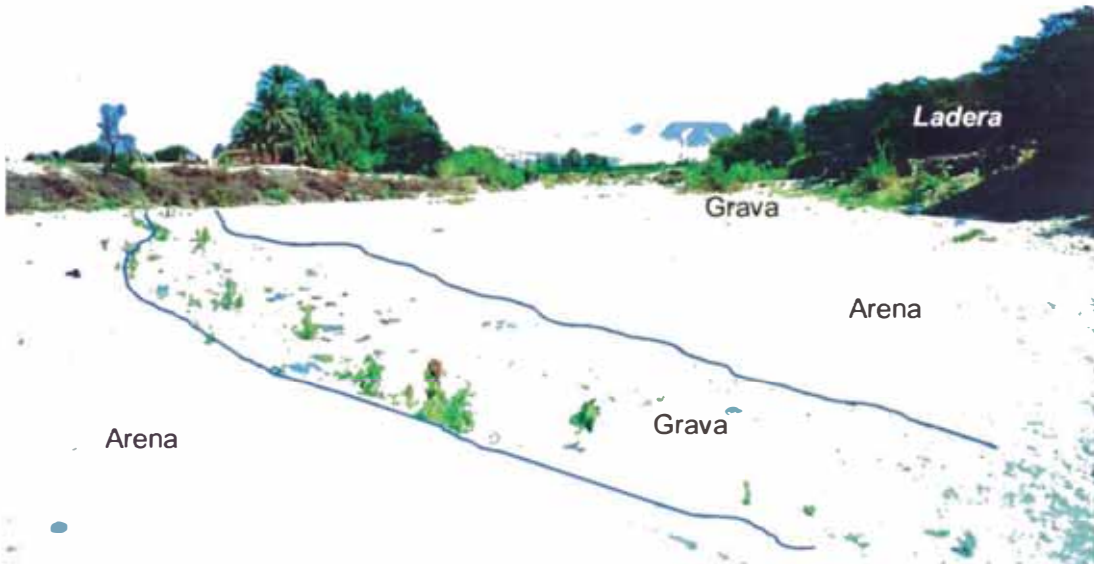


Figura N°2.5 Detalle típico del lecho del río Ica en la zona de estudio, mezcla de arenas, gravas y desmonte con algo de vegetación en las laderas. Fuente, Elaboración propia

2.1.4 Geología y Geotecnia

De acuerdo a la información que se pudo recaudar del proyecto, no se pudo obtener datos de geología y geotecnia, por lo que se tuvo que hacer una pequeña investigación, obteniendo información de distintas fuentes como la Universidad Nacional San Luis Gonzaga de Ica, entre otros.

Podemos considerar que la cuenca del río Ica forma parte de un ámbito en el cual sucedieron eventos geológicos, movimientos orogénicos (movimientos horizontales de la corteza terrestre) y epirogenéticos (movimientos verticales de la corteza terrestre), que dieron como resultado la formación de cordilleras y el desarrollo de estructuras geológicas de diversa magnitud tales como fallas y pliegues en el sector andino de la cuenca.

Las rocas que afloran en la región son arenosas, areniscas, cuarcitas, calizas, conglomerados, diatomitas, etc., además intrusiones ígneas granitoides y efusiones volcánicas. Estas rocas se estima que oscilan entre el Paleozoico y el Cuaternario reciente.

Asimismo la zona del valle de Ica se ve fuertemente afectada por la presencia de fuertes huaycos en la parte media y alta de la cuenca. Además uno de los problemas importantes del río Ica es la gran cantidad de arrastre de sedimentos que existen en su cauce, los cuales son de carácter irregular y por lo tanto difíciles de cuantificar.

Otro fenómeno importante de geodinámica externa es la socavación que afecta progresivamente las orillas, terrenos de cultivo y estructuras civiles, las cuales se aprecian fácilmente en todo el cauce del río.

2.2 ANÁLISIS Y EVALUACIÓN

Para la estimación de la estructura de defensa ribereña en el río Ica, se tuvieron en cuenta todos los datos mencionados en el subcapítulo 2.1, los cuales fueron analizados usando métodos convencionales recomendados por entidades nacionales y extranjeras que en el presente informe se irán comentado, de igual manera se procederá para el análisis de los sistemas con geocontenedores.

Cabe mencionar que en este subcapítulo se sugerirá una posible alternativa de protección para la zona en estudio, esta no necesariamente será igual a las estructuras existentes, las cuales sí se desarrollaran más a fondo en el capítulo III y IV.

2.2.1 Modelamiento hidráulico del Río Ica

Para el modelamiento hidráulico se utilizó el programa computacional HEC-RAS (Hydraulic Engineering Center – River Analysis System) Versión 4.1.0 del U.S. Army Corps of Engineers, para estimar los niveles agua de los distintos puntos de análisis en la zona de estudio.

Este procedimiento de cálculo se basa en la solución por medio de la expresión de Manning de la ecuación de energía unidimensional (Bernoulli) con pérdida de energía debida a la fricción. Este procedimiento se conoce como método Standard por pasos o etapas fijas.

Para el modelamiento se procesó la información topográfica con secciones transversales cada 20 m perpendiculares a la dirección del flujo. Asimismo se consideró un régimen permanente con flujo mixto (supercrítico y subcrítico) para los diferentes escenarios mostrados en el Cuadro N°2.1, las condiciones de borde para las secciones más extremas fueron aguas arriba y aguas abajo, de altura normal con pendiente igual a la línea de energía de aproximadamente 0.002 m/m, de acuerdo a un modelamiento inicial con la pendiente del lecho y que en ambos casos era de 2% con bajas variaciones.

Asimismo para este análisis el manual de hidrología, hidráulica y drenaje del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2011) recomienda para las defensas ribereñas, un periodo de retomo igual a 100 años ($T_r = 100$ años) considerando una vida útil de 25 años y un riesgo admisible del 22%.

Teniendo en cuenta todas estas consideraciones se muestra en el Cuadro N°2.3 los resultados de la modelación del escenario que tendremos en cuenta para nuestra propuesta de defensa ribereña. Adicionalmente se muestran valores de esfuerzo cortante (ver Figura N°2.6), elevación de la superficie de agua (ver Figura N°2.7) y llanuras de inundación (ver Figura N°2.8).

Cuadro N°2.3 Resultados del modelamiento del Río Ica en la zona de estudio (Tr=100 años).

Fuente, Elaboración propia

Reach	River Sta	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel left (m/s)	Vel Total (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl	Max Chl Dpth (m)
0+040	3+180	419	389.75	395.04	395.52	0.0015	1.80	2.80	149.4	42.15	0.49	5.29
0+060	3+160	419	390.26	394.85	395.47	0.0022	2.02	3.18	131.62	40.01	0.59	4.59
0+100	3+120	419	390.37	394.87	395.35	0.0017	1.63	2.74	152.95	47.82	0.52	4.5
0+120	3+100	419	390.48	394.84	395.31	0.0018	1.87	2.64	158.87	56.03	0.53	4.36
0+140	3+080	419	390.49	394.7	395.26	0.0023	1.96	2.90	144.28	58.39	0.60	4.2
0+180	3+040	419	390.25	394.73	395.13	0.0015	1.77	2.38	175.83	65.36	0.49	4.48
0+200	3+020	419	390.25	394.67	395.1	0.0015	1.71	2.43	172.18	66.61	0.50	4.42
0+220	3+000	419	390.15	394.66	395.06	0.0014	1.81	2.35	178.45	65.74	0.48	4.53
0+240	2+980	419	390	394.59	395.03	0.0017	2.00	2.44	171.75	63.42	0.52	4.59
0+260	2+960	419	390	394.5	394.99	0.0018	2.10	2.60	161.25	59.51	0.55	4.5
0+280	2+940	419	390.27	394.41	394.94	0.0025	2.27	2.82	148.55	58.92	0.62	4.22
0+300	2+920	419	390.1	394.48	394.86	0.0014	1.62	2.41	173.94	61.91	0.47	4.38
0+320	2+900	419	390.05	394.53	394.8	0.0009	1.52	2.08	201.43	64.17	0.38	4.48
0+340	2+880	419	390.12	394.5	394.79	0.0009	1.44	2.10	199.4	64.59	0.39	4.38
0+380	2+840	419	389.73	394.37	394.73	0.0012	1.31	2.36	177.82	58.89	0.44	4.64
0+400	2+820	419	389.5	394.38	394.7	0.001	1.34	2.21	189.28	60.3	0.41	4.88
0+420	2+800	419	389.48	394.4	394.66	0.0009	1.48	2.02	207.69	61.51	0.38	4.92
0+440	2+780	419	389.29	394.44	394.63	0.0006	1.16	1.75	239.85	63.95	0.31	5.15
0+460	2+760	419	389.47	394.44	394.61	0.0005	1.02	1.55	271.02	92.63	0.29	4.97
0+480	2+740	419	389.34	394.44	394.6	0.0005	0.90	1.52	275.6	93.13	0.28	5.11
0+500	2+720	419	389.09	394.33	394.58	0.0008	1.32	1.84	228.1	83.84	0.36	5.3
0+520	2+700	419	389	394.26	394.56	0.001	1.58	1.94	215.94	81.1	0.40	5.26
0+540	2+680	419	389	394.27	394.53	0.0008	1.51	1.83	229	81.01	0.37	5.27
0+580	2+640	419	389.25	394.12	394.48	0.0011	1.61	2.16	194.32	80.27	0.43	4.87
0+600	2+620	419	389.18	394.08	394.45	0.0011	1.61	2.22	188.39	79.09	0.43	4.9
0+620	2+600	419	389	394.01	394.43	0.0012	1.55	2.36	177.2	75.96	0.44	5.01
0+640	2+580	419	389.09	393.97	394.4	0.0013	1.38	2.44	172.06	65.58	0.46	4.88
0+660	2+560	419	388.75	393.91	394.37	0.0013	1.21	2.50	167.53	57.87	0.47	5.16
0+680	2+540	419	388.64	393.94	394.32	0.0012	1.55	2.31	181.17	56.82	0.45	5.31
0+700	2+520	419	388.99	393.92	394.3	0.0012	1.42	2.38	176.15	54.72	0.44	4.93
0+720	2+500	419	388.91	393.93	394.26	0.001	1.18	2.26	185.41	51.81	0.40	5.02
0+740	2+480	419	388.74	393.83	394.23	0.0012	1.63	2.51	166.61	44.51	0.45	5.09
0+760	2+460	419	388.72	393.66	394.19	0.0017	2.01	2.85	147.08	41.94	0.53	4.94
0+780	2+440	419	388.6	393.54	394.15	0.0019	2.01	3.03	138.5	39.92	0.57	4.94
0+800	2+420	419	388.48	393.52	394.1	0.0017	1.92	3.00	139.79	37.49	0.54	5.04
0+820	2+400	419	388.46	393.55	394.05	0.0014	1.69	2.78	150.64	40.81	0.49	5.09
0+840	2+380	419	388.44	393.57	394	0.0012	1.67	2.60	161.46	42.17	0.46	5.13

Reach	River Sta	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel left	Vel Total	Flow Area	Top Width	Froude # Chl	Max Chl Dpth
0+860	2+360	419	388.25	393.52	393.97	0.0013	1.76	2.65	157.97	42.31	0.47	5.27
0+880	2+340	419	388.25	393.2	393.91	0.0023	2.25	3.34	125.29	34.4	0.61	4.95
0+900	2+320	419	388.25	392.75	393.81	0.004	3.12	4.07	102.87	30.55	0.81	4.5
0+920	2+300	419	388.4	392.51	393.72	0.0044	2.76	4.39	95.51	29.18	0.83	4.11
0+940	2+280	419	388.25	392.54	393.59	0.0037	2.43	4.14	101.21	31.65	0.75	4.29
0+960	2+260	419	388.3	391.93	393.45	0.0062	2.80	5.02	83.53	28.46	0.97	3.63
0+980	2+240	419	388.25	392.2	393.2	0.0036	2.00	4.08	102.58	30.63	0.75	3.95
1+000	2+220	419	388.24	392.3	393.07	0.0027	2.06	3.60	116.51	34.1	0.66	4.06
1+020	2+200	419	388.24	392.29	393	0.0025	2.12	3.45	121.44	36.17	0.63	4.05
1+040	2+180	419	388.23	392.35	392.91	0.002	1.94	3.08	135.88	39.69	0.56	4.12
1+060	2+160	419	388.22	392.31	392.87	0.0019	1.80	3.08	135.88	38.84	0.55	4.09
1+080	2+140	419	388.21	392.3	392.82	0.0017	1.70	2.98	140.68	40.29	0.52	4.09
1+100	2+120	419	388.21	392.13	392.76	0.0023	1.88	3.34	125.55	36.76	0.59	3.92
1+120	2+100	419	388.2	391.76	392.68	0.0038	2.38	3.92	106.83	35.47	0.76	3.56
1+140	2+080	419	388.02	391.86	392.55	0.0026	2.04	3.40	123.19	38.88	0.64	3.84
1+160	2+060	419	387.99	391.91	392.46	0.0021	1.88	3.08	136.06	42.39	0.57	3.92
1+180	2+040	419	387.98	391.92	392.4	0.0018	1.69	2.89	145.02	44.52	0.53	3.94
1+200	2+020	419	387.97	391.91	392.35	0.0017	1.70	2.82	148.77	45.41	0.51	3.94
1+220	2+000	419	387.95	391.94	392.3	0.0013	1.62	2.53	165.5	47.07	0.45	3.99
1+240	1+980	419	387.94	391.93	392.26	0.0012	1.38	2.46	170.4	49.14	0.43	3.99
1+260	1+960	419	387.75	391.94	392.23	0.001	1.29	2.27	184.53	52.06	0.39	4.19
1+280	1+940	419	387.75	391.94	392.2	0.001	1.33	2.17	193.02	55.13	0.39	4.19
1+300	1+920	419	387.75	391.94	392.18	0.0008	1.05	2.03	206.35	60.43	0.36	4.19
1+320	1+900	419	387.75	391.91	392.16	0.0008	0.91	2.05	204.22	60.52	0.36	4.16
1+340	1+880	419	387.75	391.89	392.14	0.0009	0.88	2.08	201.92	60.26	0.38	4.14
1+360	1+860	419	387.75	391.84	392.12	0.001	1.06	2.17	193.39	57.45	0.40	4.09
1+380	1+840	419	387.75	391.82	392.1	0.001	1.19	2.21	189.89	54.21	0.40	4.07
1+400	1+820	419	387.75	391.8	392.08	0.001	1.27	2.21	189.17	54.32	0.39	4.05
1+420	1+800	419	387.75	391.7	392.05	0.0013	1.05	2.44	171.91	53.27	0.44	3.95
1+440	1+780	419	387.53	391.41	391.99	0.0022	1.03	3.11	134.94	48.1	0.58	3.88
1+460	1+760	419	387.5	390.89	391.89	0.0047	2.17	4.03	103.86	39.27	0.84	3.39
1+480	1+740	419	387.5	390.75	391.79	0.0055	2.36	4.09	102.43	40.61	0.90	3.25
1+500	1+720	419	387.49	390.95	391.58	0.0032	1.80	3.24	129.16	46.35	0.69	3.46
1+520	1+700	419	387.48	390.87	391.52	0.0031	1.49	3.21	130.51	53.03	0.68	3.39
1+540	1+680	419	387.48	390.49	391.41	0.005	2.03	3.87	108.25	47.84	0.84	3.01
1+560	1+660	419	387.47	390.52	391.27	0.004	2.02	3.45	121.29	52.95	0.76	3.05
1+580	1+640	419	387.25	390.56	391.16	0.003	1.60	3.12	134.47	56.52	0.66	3.31
1+600	1+620	419	387.25	390.41	391.08	0.0037	1.71	3.33	125.79	55.5	0.72	3.16
1+620	1+600	419	387.25	390.36	391	0.0035	1.89	3.21	130.69	58.58	0.70	3.11
1+640	1+580	419	387.24	390.37	390.9	0.003	1.82	2.92	143.3	64.12	0.66	3.13
1+660	1+560	419	387.11	390.38	390.82	0.0024	1.49	2.67	156.72	69.11	0.59	3.27

Reach	River Sta	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel left	Vel Total	Flow Area	Top Width	Froude # Chl	Max Chl Dpth
1+680	1+540	419	386.93	390.32	390.77	0.0025	1.53	2.65	158.04	72.6	0.59	3.39
1+700	1+520	419	386.98	390.4	390.68	0.0016	1.34	2.20	190.79	75.19	0.48	3.42
1+720	1+500	419	386.99	390.38	390.65	0.0014	1.28	2.16	193.73	72.76	0.45	3.39
1+740	1+480	419	386.98	390.29	390.62	0.0016	1.36	2.34	179.17	76.11	0.48	3.31
1+760	1+460	419	386.97	390.32	390.56	0.0013	1.19	2.07	202.69	77.27	0.43	3.34
1+780	1+440	419	386.75	390.31	390.53	0.001	1.10	1.95	215.14	78.66	0.39	3.56
1+800	1+420	419	386.75	390.31	390.5	0.0009	1.06	1.82	229.63	81.76	0.36	3.56
1+820	1+400	419	386.75	390.29	390.49	0.0009	1.01	1.83	228.53	82.09	0.36	3.54
1+840	1+380	419	386.72	390.26	390.47	0.0009	1.17	1.88	222.47	77.28	0.37	3.54
1+860	1+360	419	386.69	390.22	390.44	0.001	1.33	1.95	214.43	73.7	0.38	3.53
1+880	1+340	419	386.5	390.15	390.42	0.0012	1.45	2.14	195.64	69.25	0.42	3.65
1+900	1+320	419	386.49	390.13	390.39	0.0012	1.55	2.14	195.6	68.75	0.42	3.64
1+920	1+300	419	386.49	390.12	390.36	0.0011	1.29	2.02	207.61	74.49	0.41	3.63
1+940	1+280	419	386.49	390.1	390.34	0.001	1.12	2.01	208.8	73.59	0.39	3.61
1+960	1+260	419	386.48	390.11	390.31	0.0009	1.28	1.90	220.7	72.94	0.36	3.63
1+980	1+240	419	386.41	390.09	390.29	0.0009	1.22	1.90	220.59	73.17	0.36	3.68
2+000	1+220	419	386.25	390.03	390.27	0.001	1.24	2.04	205.57	69.63	0.39	3.78
2+020	1+200	419	386.25	389.95	390.25	0.0012	1.49	2.26	185.68	63.2	0.43	3.7
2+040	1+180	419	386.25	389.81	390.21	0.0018	1.48	2.62	159.86	57.92	0.52	3.56
2+060	1+160	419	386.23	389.54	390.14	0.0031	1.56	3.23	129.9	51.9	0.66	3.31
2+080	1+140	419	386	389.55	390.06	0.0023	1.11	2.87	146.07	58.98	0.58	3.55
2+100	1+120	419	386	389.5	390.01	0.0022	1.29	2.88	145.55	59.14	0.58	3.5
2+120	1+100	419	386	389.42	389.96	0.0024	1.41	2.88	145.24	63.69	0.60	3.42
2+140	1+080	419	385.9	389.46	389.89	0.002	1.55	2.53	165.33	68.96	0.54	3.56
2+160	1+060	419	385.75	389.46	389.83	0.0018	1.53	2.39	175.42	69.76	0.52	3.71
2+180	1+040	419	385.74	389.44	389.79	0.0018	1.42	2.31	181.22	75.07	0.52	3.7
2+200	1+020	419	385.74	389.22	389.73	0.0027	1.48	2.77	151.37	70.46	0.63	3.48
2+220	1+000	419	385.73	389.32	389.63	0.0014	1.01	2.19	191.56	88.71	0.46	3.59
2+240	0+980	419	385.72	389.23	389.6	0.0018	1.07	2.39	175.56	80.59	0.51	3.51
2+260	0+960	419	385.71	389.15	389.55	0.002	1.06	2.55	164.45	79.65	0.54	3.44
2+280	0+940	419	385.58	389.14	389.51	0.0018	1.02	2.46	170.51	85.47	0.51	3.57
2+300	0+920	419	385.5	389.12	389.46	0.0017	0.76	2.40	174.92	89.17	0.49	3.62
2+320	0+900	419	385.49	389.11	389.42	0.0015	0.86	2.30	182.44	87.28	0.47	3.62
2+340	0+880	419	385.48	389.02	389.38	0.0017	0.83	2.50	167.69	75.87	0.50	3.54
2+360	0+860	419	385.28	388.96	389.35	0.0017	0.87	2.52	166.44	76.36	0.50	3.68
2+380	0+840	419	385.25	388.9	389.31	0.0017	1.08	2.50	167.91	75.83	0.51	3.65
2+400	0+820	419	385.24	388.72	389.26	0.0024	1.01	2.77	151.34	82.17	0.60	3.48
2+420	0+800	419	385.24	388.75	389.18	0.0019	1.39	2.67	157.12	82.41	0.53	3.51
2+440	0+780	419	385.22	388.69	389.14	0.002	0.82	2.58	162.71	96.4	0.54	3.47
2+460	0+760	419	385.03	388.54	389.09	0.0026	0.92	2.88	145.67	85.91	0.61	3.51
2+480	0+740	419	385	388.53	389.02	0.0023	0.89	2.58	162.42	102.76	0.58	3.53

Reach	River Sta	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel left	Vel Total	Flow Area	Top Width	Froude # Chl	Max Chl Dpth
2+500	0+720	419	385	388.56	388.95	0.0017	0.76	2.33	179.73	108.9	0.51	3.56
2+520	0+700	419	385	388.49	388.91	0.0019	0.86	2.38	175.88	113.31	0.54	3.49
2+540	0+680	419	384.88	388.42	388.87	0.0021	0.90	2.40	174.72	119.29	0.56	3.54
2+560	0+660	419	384.75	388.37	388.83	0.0021	0.96	2.31	181.44	129.16	0.56	3.62
2+580	0+640	419	384.75	388.29	388.78	0.0023	1.02	2.36	177.57	133.48	0.59	3.54
2+600	0+620	419	384.74	388.32	388.7	0.0019	0.95	2.11	198.4	140.9	0.53	3.58
2+620	0+600	419	384.73	388.34	388.65	0.0015	0.99	1.91	219.11	142.12	0.48	3.61
2+640	0+580	419	384.5	388.4	388.59	0.0009	0.76	1.58	265.67	149.85	0.36	3.9
2+660	0+560	419	384.5	388.38	388.57	0.0009	0.86	1.56	268.32	149.19	0.38	3.88
2+680	0+540	419	384.53	388.39	388.55	0.0008	0.79	1.49	281.57	147.27	0.34	3.89
2+700	0+520	419	384.36	388.4	388.52	0.0006	0.70	1.33	315.78	149.84	0.29	4.05
2+720	0+500	419	384.25	388.39	388.51	0.0005	0.66	1.33	315.01	145.64	0.28	4.14
2+740	0+480	419	384.4	388.37	388.5	0.0005	0.67	1.37	306.64	140.94	0.29	3.97
2+760	0+460	419	384.25	388.33	388.48	0.0007	0.72	1.49	281.51	128.17	0.32	4.08
2+780	0+440	419	384.43	388.24	388.46	0.0011	0.93	1.76	238.21	115.59	0.40	3.81
2+800	0+420	419	384	388.24	388.43	0.0008	0.96	1.64	255.72	102.48	0.35	4.24
2+810	0+410	419	384	388.24	388.42	0.0008	1.09	1.66	252.57	90.33	0.35	4.24
2+820	0+400	419	384	388.23	388.42	0.0008	1.27	1.68	249.03	84.71	0.35	4.23
2+840	0+380	419	383.99	388.2	388.4	0.0009	1.34	1.81	231.06	73.39	0.39	4.21
2+860	0+360	419	383.98	388.18	388.38	0.0009	0.93	1.80	232.56	77.65	0.38	4.2
2+880	0+340	419	383.98	388.17	388.36	0.0009	1.07	1.74	241.05	83.52	0.38	4.19
2+900	0+320	419	383.97	388.13	388.34	0.001	1.18	1.78	235.02	84.02	0.39	4.16
2+920	0+300	419	383.75	388.01	388.31	0.0013	1.37	2.04	205.55	79.64	0.46	4.26
2+940	0+280	419	383.75	387.79	388.26	0.0021	1.84	2.45	171.24	85.6	0.58	4.04
2+960	0+260	419	383.75	386.74	388.09	0.0072	2.33	4.46	94.05	51.5	1.02	2.99
2+980	0+240	419	383.75	387.12	387.8	0.0033	1.98	3.02	138.53	82.75	0.70	3.37
3+000	0+220	419	383.75	386.87	387.71	0.0043	2.06	3.40	123.15	81.94	0.78	3.12
3+020	0+200	419	383.75	386.84	387.6	0.0039	1.93	3.27	128.24	81.66	0.75	3.09
3+040	0+180	419	383.5	386.89	387.49	0.0029	0.58	2.85	147.28	110.55	0.65	3.39
3+060	0+160	419	383.5	386.55	387.39	0.0048	1.25	3.50	119.71	87.34	0.81	3.05
3+080	0+140	419	383.5	386.48	387.28	0.0048	0.88	3.40	123.1	97.13	0.81	2.98
3+100	0+120	419	383.49	386.62	387.11	0.0028	0.75	2.60	161.28	120	0.62	3.13
3+120	0+100	419	383.48	386.6	387.05	0.0025	0.84	2.48	169.06	120	0.59	3.12
3+140	0+080	419	383.46	386.58	386.99	0.0024	1.10	2.37	177.04	120	0.58	3.12
3+160	0+060	419	383.45	386.49	386.94	0.0026	0.83	2.52	166.28	120	0.60	3.04
3+180	0+040	419	383.43	386.48	386.87	0.0023	0.92	2.33	179.92	120	0.56	3.05
3+200	0+020	419	383.25	386.47	386.82	0.002	1.05	2.17	192.87	120	0.53	3.22

 Zona de Curva

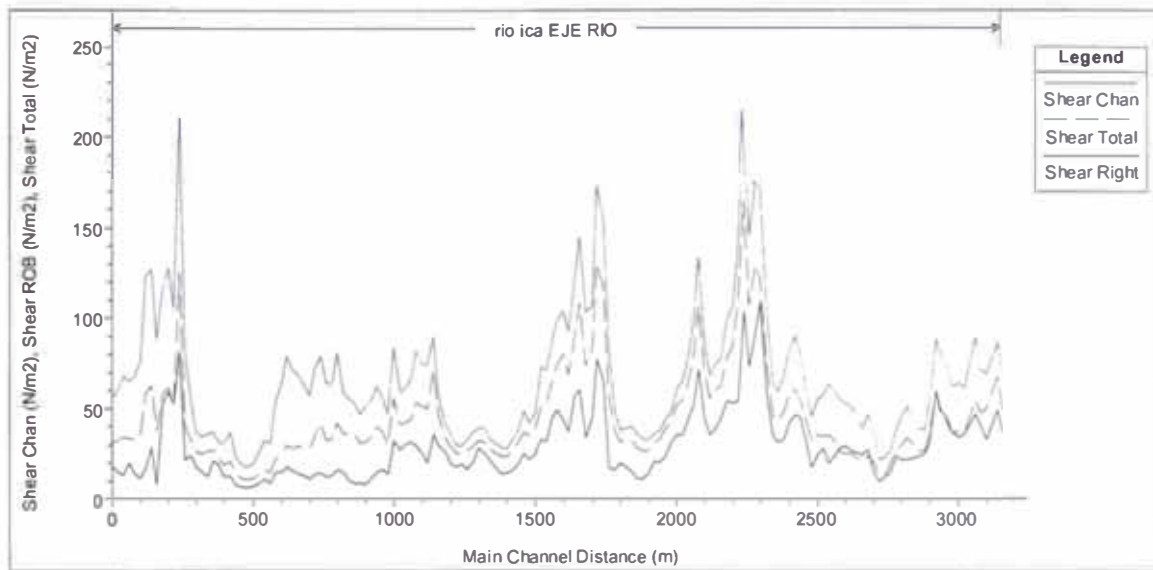


Figura N°2.6 Esfuerzos cortantes en las márgenes del Río Ica ($T_r=100$ años). Fuente, Elaboración propia.

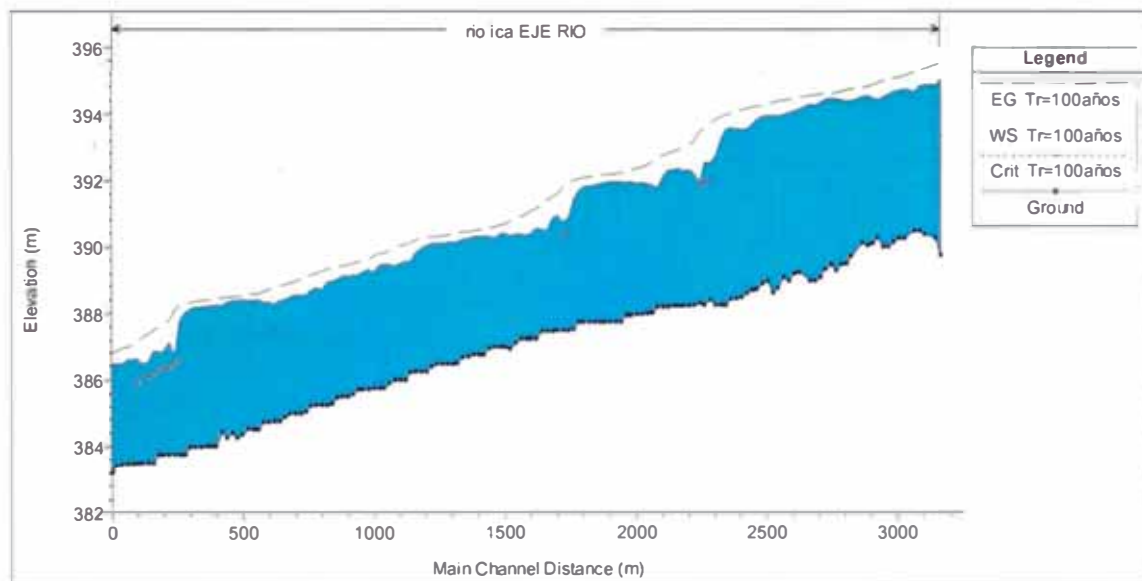


Figura N°2.7 Elevación del nivel de agua para la zona en estudio ($T_r=100$ años). Fuente, Elaboración propia.

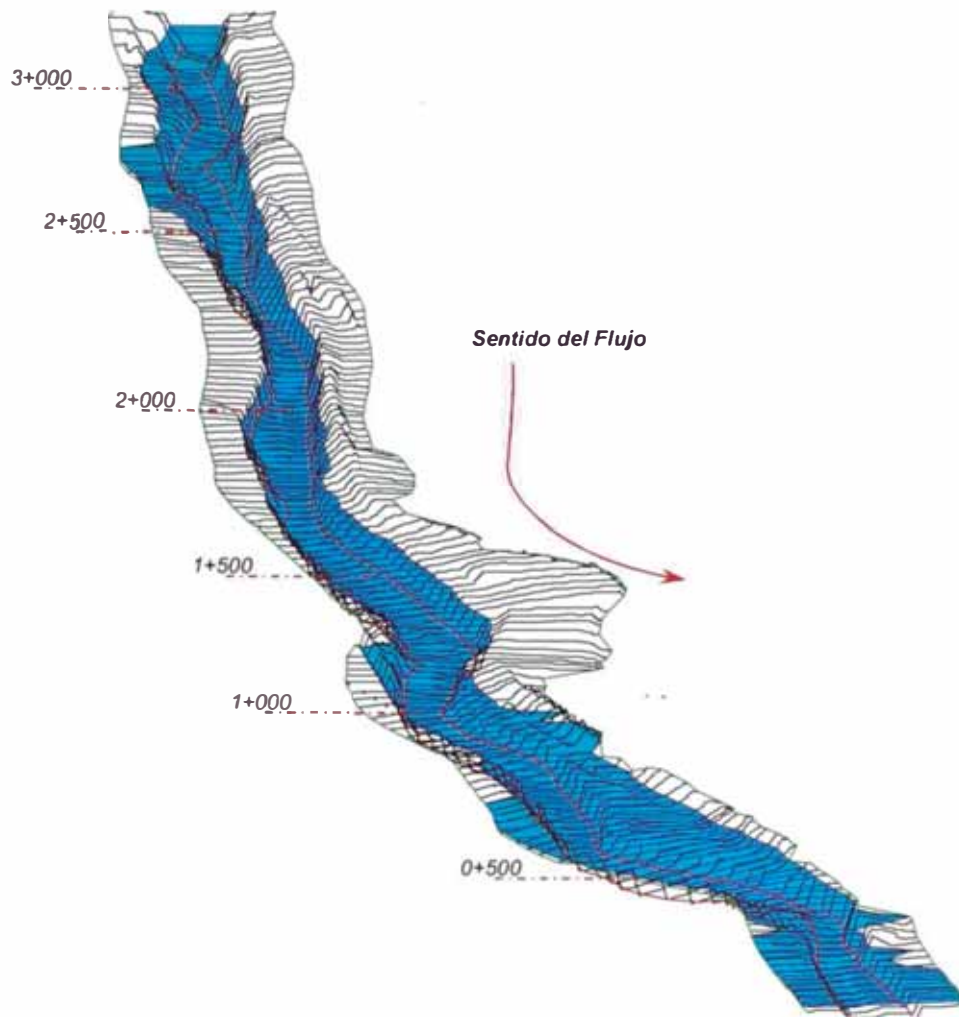


Figura N°2.8 Zona de inundación para el área en estudio ($T_r=100$ años). Fuente, Elaboración propia.

2.2.2 Zonas de Protección

Con la finalidad de proteger la zona donde se ubica el fundo Santa Rita, se realizó la zonificación del tramo en estudio, esta puede apreciarse en la Figura N°2.9 y abarca desde la progresiva 0+900 a la progresiva 3+000, y considerando las estaciones del modelo hidráulico, desde la progresiva 2+320 a la progresiva 0+220.

La zona de estudio cuenta en gran parte con tramos curvos los cuales han sido identificados en el Cuadro N°2.3 y tendrán especial cuidado en el análisis. Asimismo la zona de protección abarcará la totalidad de los tramos en curvas y los tramos rectos restantes.

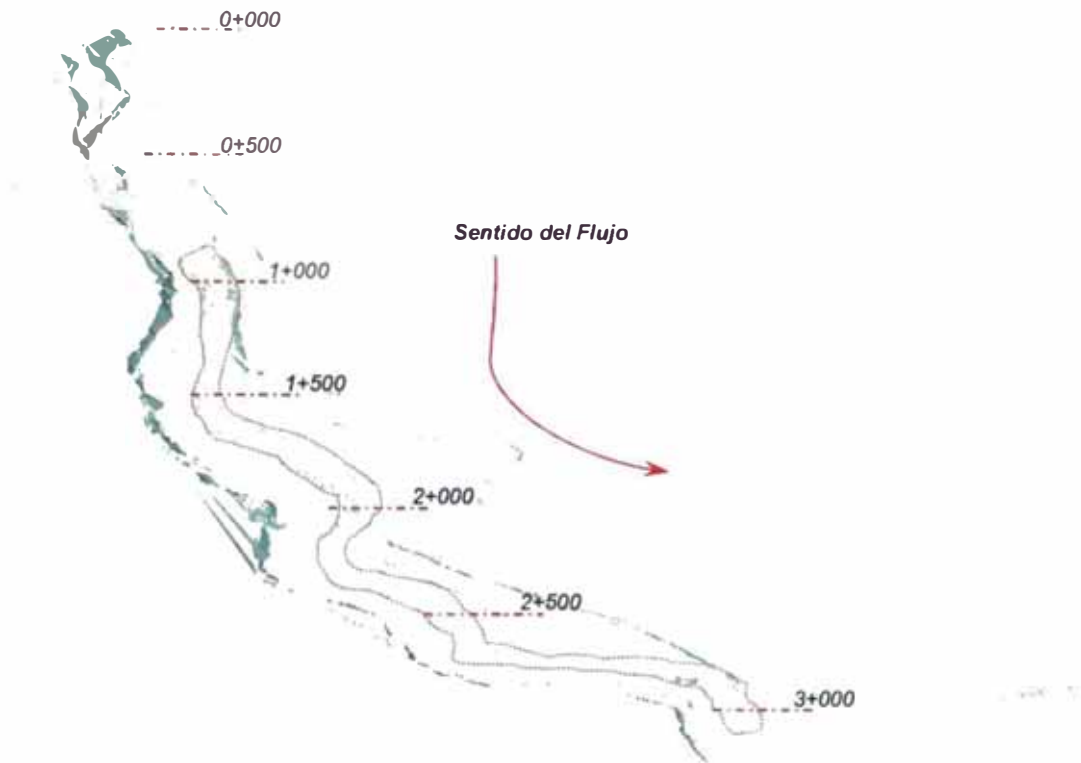


Figura N°2.9 Zonas de protección ribereña. Fuente, Elaboración propia

Podemos observar en la Figura N°2.8 que la zona a proteger presenta inundación en ambas márgenes para la avenida extraordinaria de 100 años ($T_r=100$ años); pero al ser el alcance de nuestro estudio solo la margen izquierda del Río Ica en la zona indicada de la Figura N°2.9, no se intervendrá en la margen opuesta. Cabe indicar que en la margen opuesta no existe industria formalizada o interés en la protección de estos terrenos.

Asimismo resaltamos el hecho de que no se colocará un dique contra inundación sino solo una protección de la misma margen izquierda.

Por lo tanto teniendo en cuenta estas aclaraciones se realizó una nueva modelación con el software HEC-RAS V.4.1.0 considerando una protección de altura preliminar en la margen izquierda. Como resultado de la nueva modelación se obtuvieron valores de esfuerzo cortante corregidos (ver Figura N°2.10), elevación de la superficie de agua corregida (ver Figura N°2.11) y llanuras de inundación corregidas (ver Figura N°2.12).

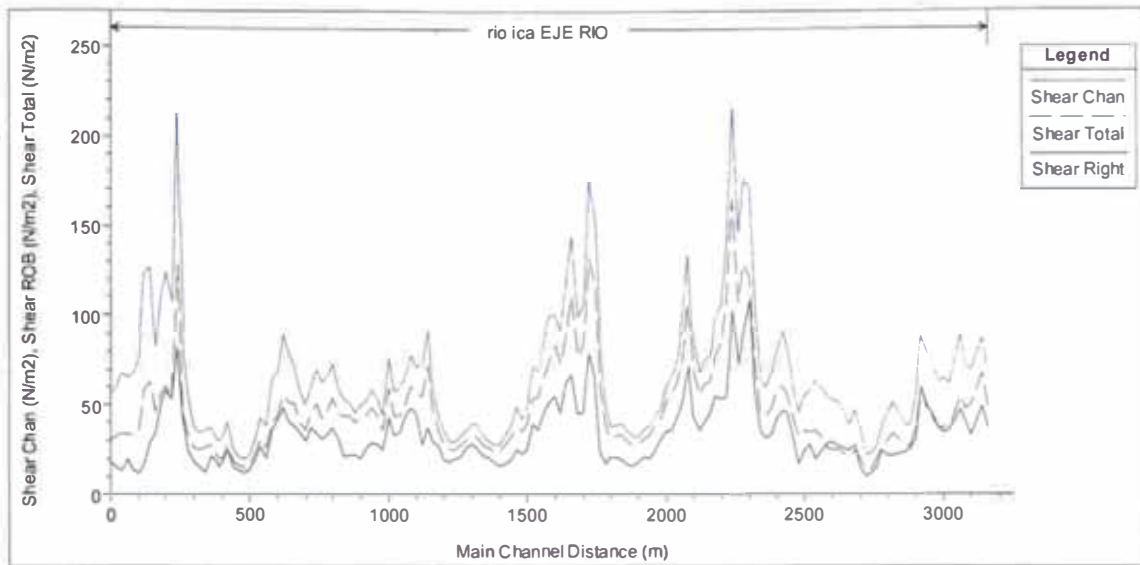


Figura N°2.10 Esfuerzos cortantes corregidos debido a la protección ribereña en la margen izquierda del Río Ica ($T_r=100$ años). Fuente, Elaboración propia.

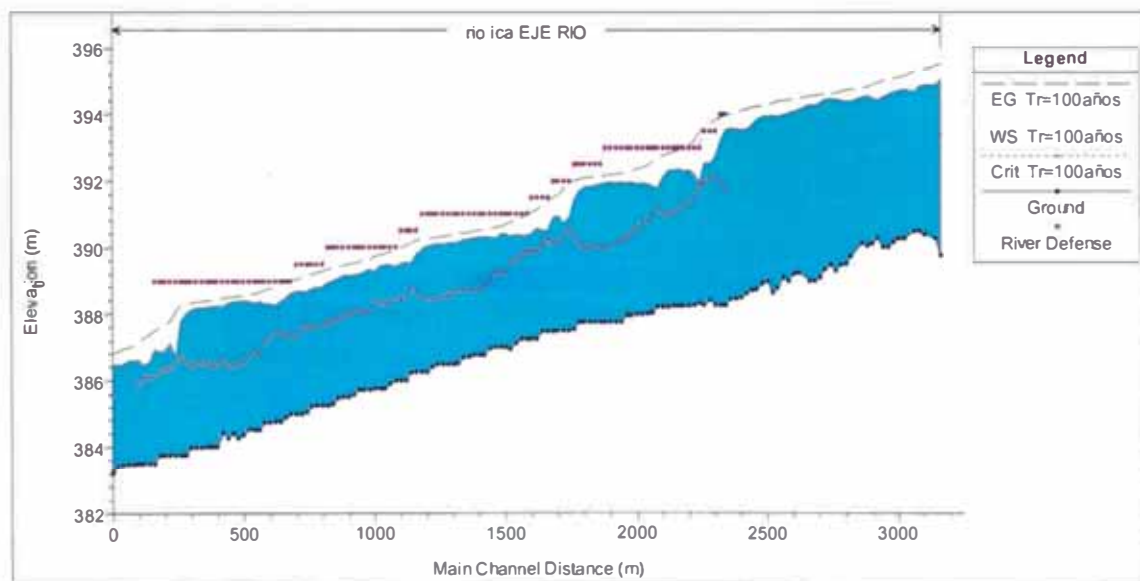


Figura N°2.11 Elevación del nivel de agua corregida debido a la protección ribereña en la margen izquierda de la zona en estudio ($T_r=100$ años). Fuente, Elaboración propia.

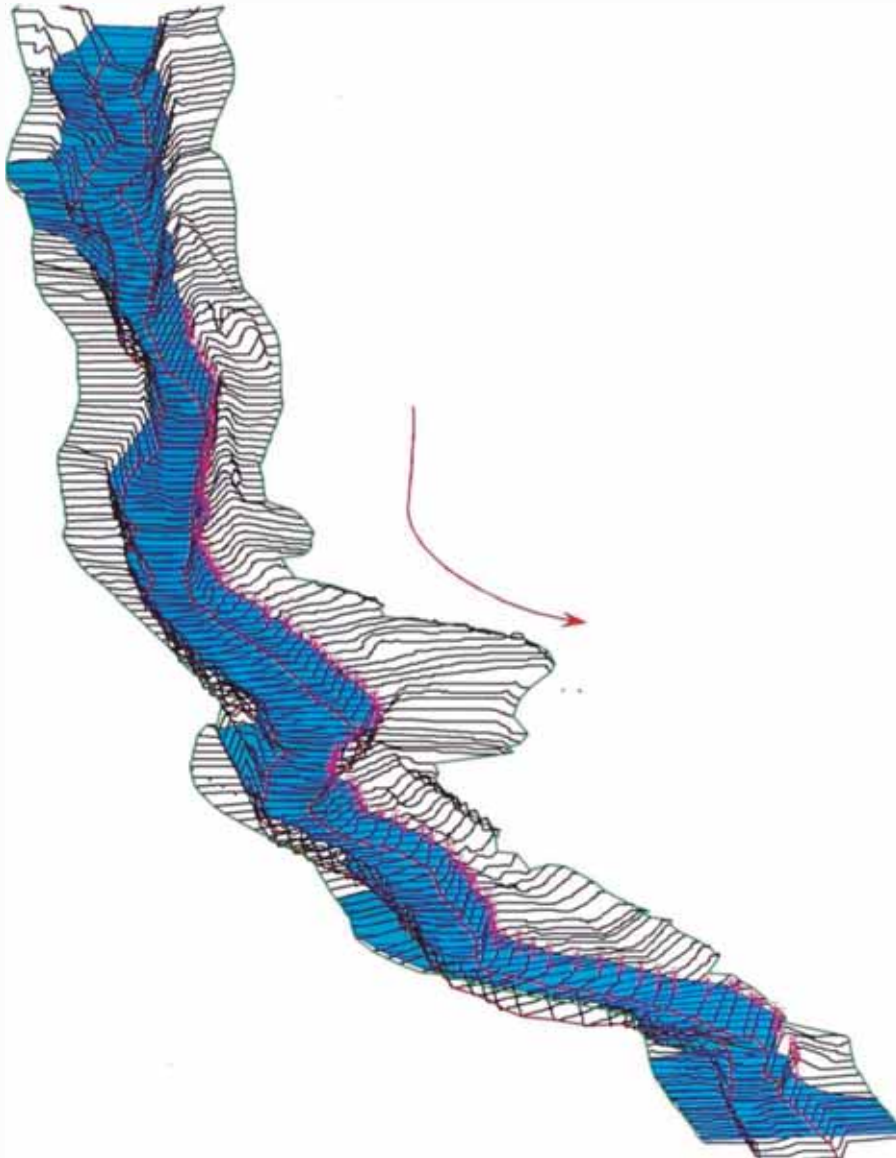


Figura N°2.12 Zona de inundación corregida debido a la protección ribereña en la margen izquierda del área en estudio ($T_r=100$ años). Fuente, Elaboración propia.

2.2.3 Diseño geométrico

- Altura de protección

La altura necesaria de protección se calculará agregando al tirante máximo obtenido, una altura adicional llamada borde libre, el cual viene a ser una sobrealtura por seguridad. El Cuadro N°2.4 muestra bordes libres recomendados en función del caudal de diseño.

Cuadro N°2.4 Bordes libres recomendados según descarga de diseño. Fuente, Textbook for Group Training Course in River and Dam Engineering River Bureau. Ministry of Construction Japón

DESCARGA DE DISEÑO (m ³ /s)	BORDE LIBRE (m)
Menos de 200	0.60
200 - 500	0.80
500 - 2000	1.00

El estudio realizado, considera una descarga máxima de 419 m³/s para un periodo de retomo de 100 años, por lo tanto según el Cuadro N°2.4 tomamos 0.80 m como borde libre. En la Figura N°2.13 se grafica la elevación del borde libre con respecto al nivel de la lámina de agua.

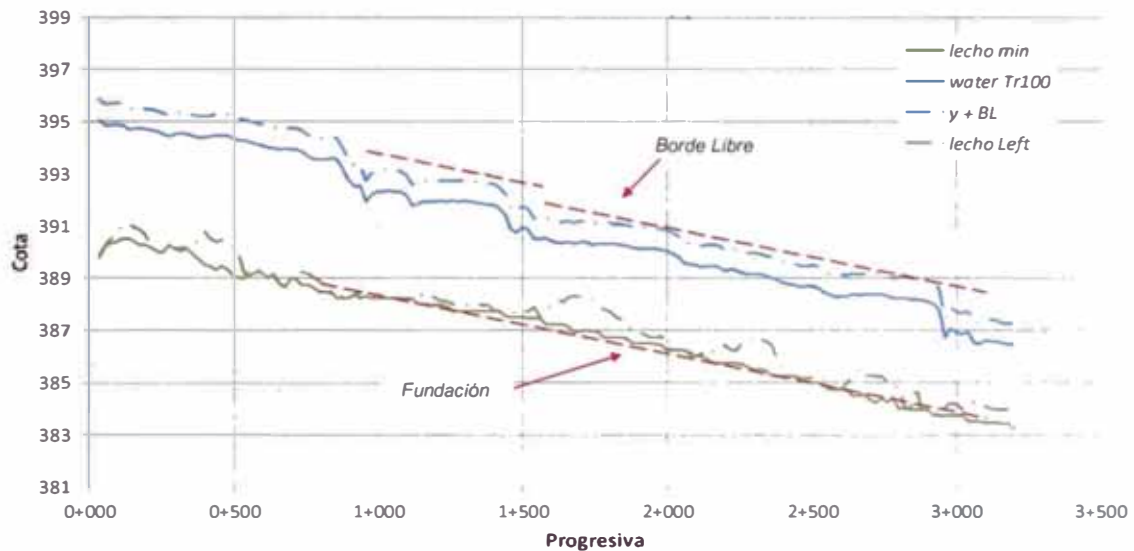


Figura N°2.13 Elevación del borde libre y cimentación de la protección ribereña. Fuente, Elaboración propia

- Nivel de Fundación

La estructura sugerida para la protección ribereña, es similar a un muro de gravedad ya sea de concreto o de gaviones, donde es recomendable un empotramiento de por lo menos 0.30m, con la finalidad de aumentar la resistencia al deslizamiento y promover la limpieza y mejoramiento de la base. (Ver Figura 2.14)

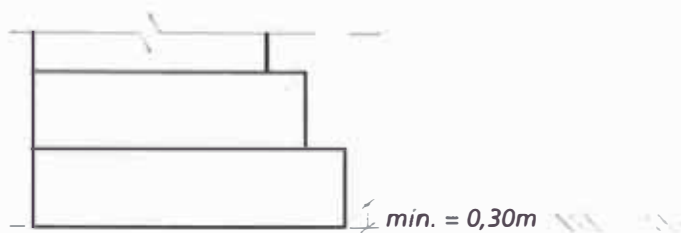


Figura N°2.14 Detalle de empotramiento de la base en el suelo de fundación. Fuente, Barros de Almeida (2008)

- Profundidad de Socavación

Para este cálculo se hizo uso del método de Lischtvan-Lebediev (Maza, 1967) ya que su modelamiento se adecua más a las condiciones encontradas en campo, éste está basado en determinar la condición de equilibrio entre la velocidad media de la corriente y la velocidad media del flujo que se requiere para erosionar un material de diámetro y densidad conocido.

En el tramo de estudio se ha reconocido, para el lecho, un material no cohesivo de diámetro medio igual a 1mm y 2mm, el cual es correspondiente a una arena gruesa (ver Figura 2.15), asimismo, del modelamiento hidráulico hecho al río, se han reconocido velocidades medias que varían entre 3 m/s y 4 m/s. Todos estos datos son suficientes para estimar valores de socavación general en la zona de estudio, los cuales fueron hallados y son presentados en el anexo A. En la figura N°2.16 se puede apreciar el nivel de socavación a lo largo del tramo en estudio.

Para la longitud de la protección antisocavante, se estima su valor en forma similar que para otras protecciones como enrocados o gaviones. Estos valores varían entre 1.5 a 2.0 veces la profundidad de socavación y se disponen frente a la protección sobre el lecho. Para nuestro caso se considerará 1.5 veces la profundidad de socavación. (Ver Figura N°2.17).

Cabe mencionar que también existen otras propuestas para el control de la socavación, a parte de la que se ha recomendado en la Figura N°2.17, las cuales se mencionan en el capítulo V del presente informe.



Figura N°2.15 Detalle del tamaño de partículas de la zona en estudio. Fuente, Elaboración propia

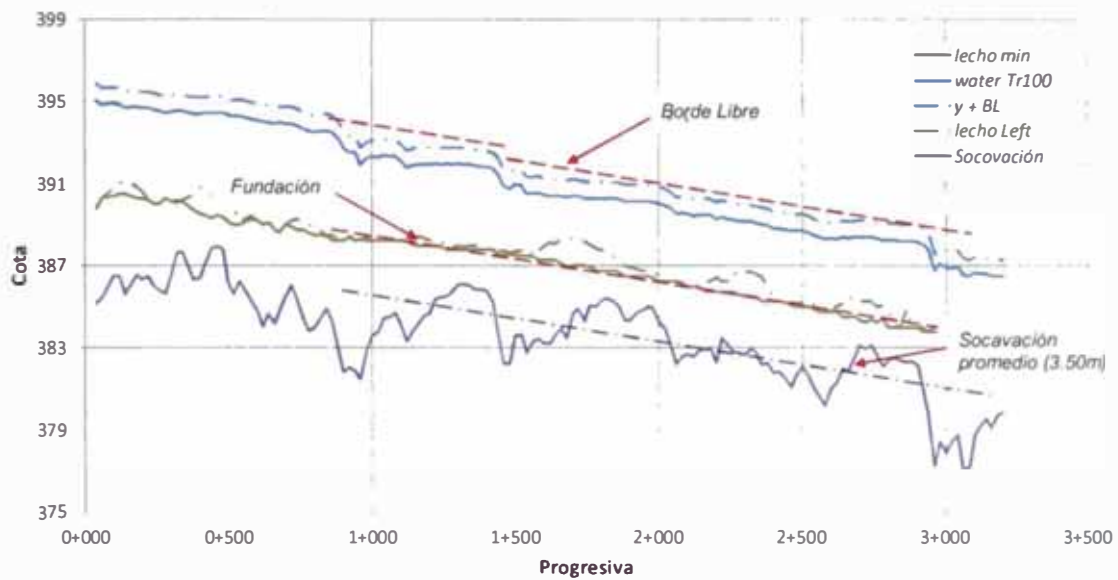


Figura N°2.16 Nivel de Socavación para la defensa ribereña. Fuente, Elaboración propia.

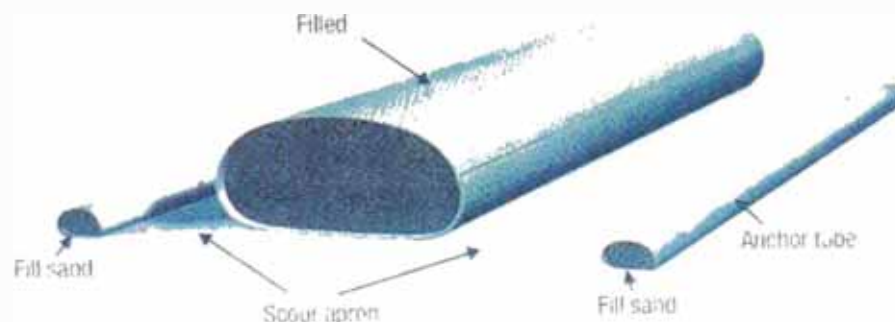


Figura N°2.17 Esquema de manto antisocavante para sistemas geosintéticos de Geocontenedores.

Fuente, Korea Geosynthetic Research Institute

En el Cuadro N°2.5 se muestra el resultado final del diseño geométrico indicando la altura de la protección ribereña y la longitud de la protección antisocavante.

Cuadro N°2.5 Resumen de dimensionamiento Geométrico de la defensa ribereña en la zona de estudio. Fuente, Elaboración propia

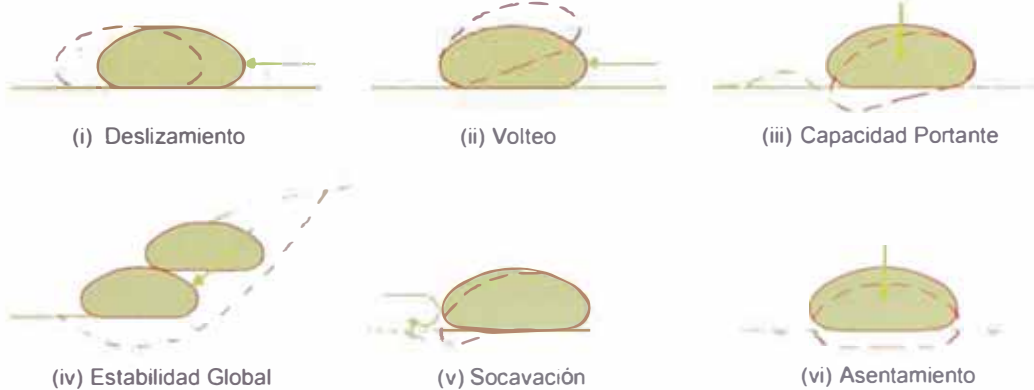
PROGRESIVA TOPOGRÁFICA	ALTURA DE PROTECCIÓN (m)	LONGITUD DE PROTECCIÓN ANTISOCAVANTE (m)
0+900 a 1+500	5.0	6.0
1+500 a 3+000	4.5	6.0

2.2.4 Diseño del Revestimiento

Como elemento de protección para las riberas de la zona en estudio, utilizaremos el sistema de geocontenedores, los cuales estarán apilados escalonadamente con una inclinación igual a 1H:2V.

Para la evaluación de estos sistemas se tuvieron en cuenta tipos de falla externo e interno, los cuales se muestran en la Figura N°2.18.

ESTADOS LIMITES EXTERNOS



ESTADOS LIMITES INTERNOS



Figura N°2.18 Posibilidades de fallas externas e internas en sistemas de Geocontenedores.

Fuente, Lawson (2006)

- Estabilidad externa

El análisis considera geocontenedores apilados en forma de un muro de contención, muy similar a una protección con gaviones. Esta evaluación se realizará con la ayuda de software de ingeniería Geo5-Gabion Wall V.5.9.14.0 del grupo Fine, el cual verifica la estabilidad de muros construidos con mallas rellenas de material, ya sean gaviones u de otro tipo. Asimismo considera una evaluación estándar basada en factores de seguridad o en estado límite (LRFD), los cuales de acuerdo a normativa extranjera (AASHTO 2002) y que en nuestro caso para factores de seguridad, adoptan los valores que se muestran en el Cuadro N°2.6.

Cuadro N°2.6 Factores de Seguridad para los diferentes tipos de falla externa. Fuente, AASHTO 2002

TIPO DE FALLA	FACTORES DE SEGURIDAD
Estabilidad Externa	
Deslizamiento	≥ 1.5 (1.125)
Volteo	≥ 1.5 (1.125)
Capacidad Portante	≥ 2.5 (1.875)
Estabilidad Global	≥ 1.3 (1.10)
Estabilidad Sísmica	$\geq 75\%$ de todos los modos de falla

En la Figura N°2.19 se muestra el esquema de análisis de evaluación, si bien el software nos pide parámetros adicionales como valores geotécnicos, valores de fricción para las interfaces entre estructura-suelo y entre Geocontenedores o bloques, entre otros; estos han sido estimados según literatura y criterio, entre los cuales podemos mencionar: Koerner (2005) y el Paper "Hydraulic stability of coastal structures made of geotextile sand containers (GSCS): effect of engineering properties of GSCS" (2012).

Asimismo otros valores han sido considerados tomando en cuenta sus características generales como el caso del material de fundación y los taludes de la zona en estudio. Estos valores en resumen se muestran en el Cuadro N°2.7.

También se considera una tensión de trabajo preliminar para el geotextil tejido que encapsulará el material de relleno, el cual se explicará con mayor detalle más adelante.

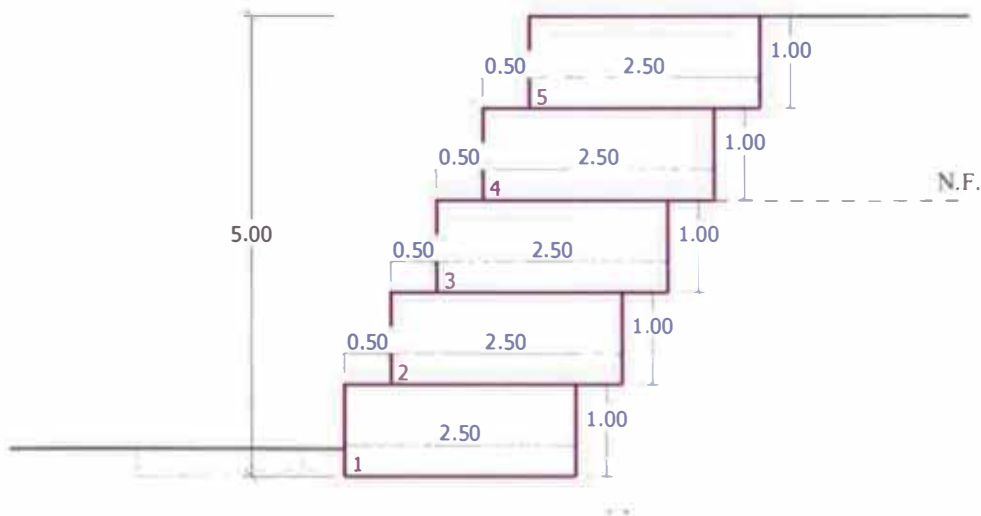


Figura N°2.19 Esquema de solución con Geocontenedores de 12.5m³. Fuente, Geo5-Gabion wall

Cuadro N°2.7 Valores estimados para los distintos tipos de material. Fuente, Elaboración propia.

PARAMETRO	VALOR
Geocontenedor	
Peso específico promedio	19 kN/m ³
Fricción aparente entre Geocontenedores	15 °
Cohesión aparente entre Geocontenedores	2 kPa
Tensión de trabajo del Geotextil	52.81 kN/m
Material de Fundación	
Peso específico	18 kN/m ³
Angulo de fricción	35 °
Cohesión	5 kPa
Fricción en interface estructura-suelo	15 °
Módulo de Elasticidad	20 Mpa
Material del Talud	
Peso específico	19 kN/m ³
Angulo de fricción	30 °
Cohesión	10 kPa
Fricción en interface estructura-suelo	15 °
Módulo de Elasticidad	30 Mpa

De igual forma se asume una dimensión inicial para el geocontenedor: 1.0m de alto, 2.5m de ancho y 5.0m de longitud, dando un geocontenedor de 12.5m³.

En el Cuadro N°2.8 se muestran los resultados de la evaluación realizada a la estabilidad externa del revestimiento con el sistema de Geocontenedores esquematizado en la Figura N°2.15. Los detalles de cálculo se muestran en el anexo B.

Cuadro N°2.8 Factores de Seguridad para la evaluación en condiciones estáticas. Fuente, Elaboración propia.

TIPO DE FALLA	F.S.
Verificación Completa del Muro	
Deslizamiento	2.38
Volteo	7.33
Capacidad Portante	4.09
Asentamiento	0.87 cm
Verificación del 1º nivel	
Deslizamiento	1.82
Volteo	17.84
Unión entre bloques	11.42
Verificación del 2º nivel	
Deslizamiento	4.14
Volteo	66.27
Unión entre bloques	11.42

Según el Cuadro N°2.8, no se presenta inestabilidad en la estructura, y en ninguno de los niveles.

Para el análisis sísmico se consideró una aceleración máxima del suelo (PGA) de 0.40g, debido a que el sector de análisis se encuentra en la Zona 3, asimismo el coeficiente sísmico horizontal a utilizar en los análisis será del 50% del PGA,

En el Cuadro N°2.9 se muestran los resultados de la evaluación pseudo-estática realizada a la estabilidad externa del revestimiento con el sistema de geocontenedores.

Cuadro N°2.9 Factores de Seguridad para la evaluación en condiciones pseudo-estáticas. Fuente, Elaboración propia.

TIPO DE FALLA	F.S.
Verificación Completa del Muro	
Deslizamiento	1.42
Volteo	2.04
Capacidad Portante	3.00
Asentamiento	0.84 cm
Verificación del 1º nivel	
Deslizamiento	0.71
Volteo	2.55
Unión entre bloques	1.37
Verificación del 2º nivel	
Deslizamiento	0.87
Volteo	3.36
Unión entre bloques	2.75

Según el Cuadro N°2.9, no se presenta inestabilidad en la estructura, pero si en los niveles entre geocontenedores, cuyos valores de deslizamiento están por debajo del factor seguridad permisible equivalente a 1.125, estos valores serán controlados con la implementación de un geotextil no tejido en el interfaz de cada nivel, brindando un incremento de la fricción de interface a valores entre 23° y 30° de acuerdo a lo comprobado por Koerner (2005) para ángulos de interacción en materiales geosintéticos; por lo que para un ángulo de interface equivalente a 25° obtenemos unos factores de seguridad de 1.20 y 1.44 para el 1^{er} y 2^{do} nivel respectivamente, cumpliendo con los valores mínimos permisibles.

La Figura N°2.20 muestra el esquema final de solución para nuestra defensa ribereña, si bien solo se ha hecho el análisis para la altura máxima igual a 5.0m, esta evaluación satisfará las demás condiciones menos críticas.

Por otro lado para el manto antisocavante se consideró un lastre de sección típica de 0.30m x 0.60m, y una longitud de protección de 6.0 m; este detalle se puede apreciar mejor en la Figura N°2.20.

Respecto a la estabilidad global para fallas circulares, se asumen condiciones favorables debido a la presencia de taludes naturales con inclinación mayor a los 80 grados, por lo tanto podemos considerar que las zonas protegidas con el sistema de geocontenedores serán estables ante las fallas globales rotacionales.

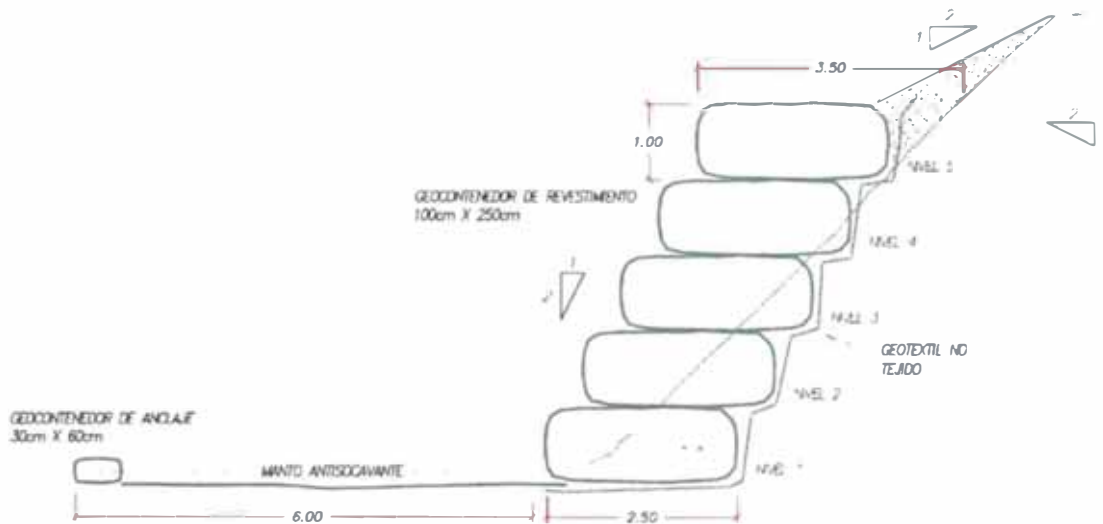


Figura N°2.20 Esquema de solución final con Geocontenedores de 12.5m³. Fuente, Elaboración propia.

- Estabilidad interna

Para este caso se evaluarán los tipos de falla interna más importantes como la rotura del geotextil de confinamiento y la consolidación del material confinado, la pérdida de finos a través del geotextil no tiene mucha relevancia debido a que estos sistemas serán llenados manualmente y no hidráulicamente, asimismo el geotextil a considerar como envoltura, tiene una abertura aparente menor a 0.5 mm, valor por debajo del diámetro medio del material de la zona en estudio.

Para el análisis de los esfuerzos que se generan en la capa de envoltura se considera un geocontenedor expuesto a esfuerzos internos debido al material de confinamiento y a esfuerzos externos debido a flujos de agua u otro material; su evaluación puede realizarse por varios métodos siendo el más conocido el de Leshchinsky (1996), el cual utilizando las ecuaciones de Timoshenko calcula las fuerzas de tracción en el perímetro de la estructura, este cálculo debido a su complejidad es realizado por el software denominado GeoCoPS (Geosynthetic

Confined Pressurized Slurry) el cual también ha sido desarrollado por el mismo autor (ver Figura N°2.21).

De igual forma Kazimierowicz (1994) propone un análisis más simple basado en algunas hipótesis y en función de la presión de llenado. Las situaciones que considera Kazimierowicz se muestran en la Figura N°2.22.

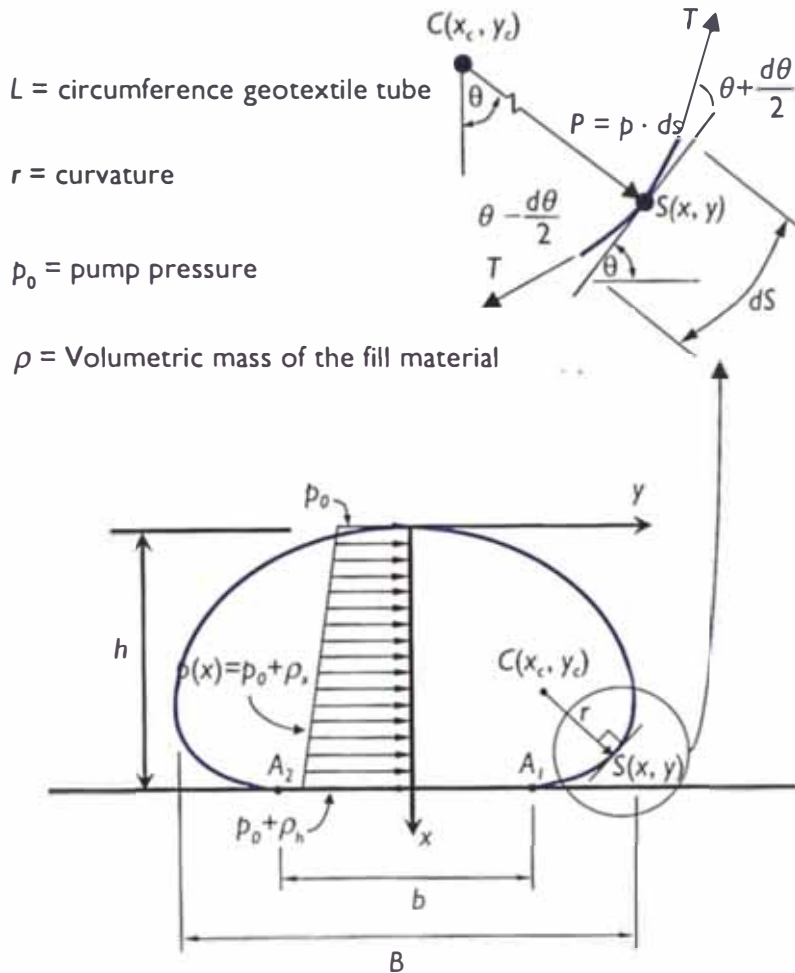


Figura N°2.21 Esquema de solución de acuerdo a Leschinsky. Fuente, Geosystems. Design Rules and Applications (2013)

Para el geocontenedor en evaluación, la tensión mínima de la envoltura puede analizarse considerando una presión de inflado $P_0=0$ tanto para la metodología de Kazimierowicz (1994) como la Leshchinsky (1996), siendo la de Kazimierowicz (1994) una buena estimación. Conservadoramente utilizaremos la metodología propuesta por Leschinsky (1996), el cual mediante el software GeoCoPS brindará mayores alcances al análisis.

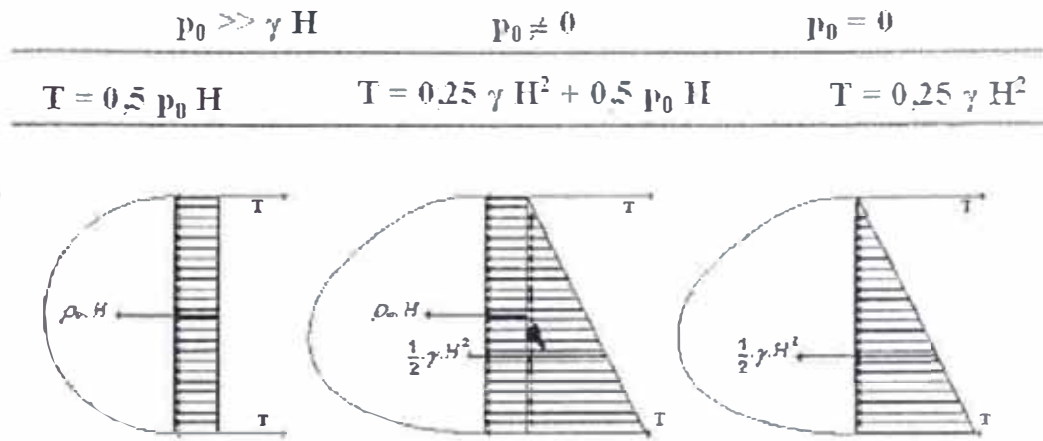


Figura N°2.22 Esquema de solución de acuerdo a Kazimierowicz (1994 por Martins 2006). Fuente, Geosintéticos en obras de refuerzo de suelos, de pavimentación, de protección costera y protección ambiental.

De igual forma que para el análisis de estabilidad externa tenemos la necesidad de asumir ciertos parámetros acordes al proyecto para la estimación de los esfuerzos que requerirá nuestro geotenedor según el software GeoCoPS versión 2.0. (Ver Cuadro N°2.10)

Por otro lado todo geosintético presenta factores de reducción que afectan la tensión última del refuerzo, ya sean por fluencia o creep (RF_c), por daños de instalación (RF_{id}), por durabilidad (RF_d) y por incertidumbre en los materiales (FS) (Koerner 1999), dependiendo estos del tipo de material y aplicación a la cual estará sometida. Por lo tanto para el cálculo se deberá tener en cuenta una tensión admisible la cual será afectada por estos factores de reducción; en la expresión (2.1) podemos representar este valor.

$$T_{admisible} = \frac{T_{\text{último}}}{RF_{id} \times RF_c \times RF_d \times FS} \quad (2.1)$$

Asimismo se coloca un factor de seguridad para los esfuerzos en las uniones o costuras (RF_{ss}) el cual dependerá del tipo de costura que se utilice.

Para los cálculos a realizar se contemplará un geotextil tejido denominado ANDEX-108T cuyas propiedades se indican en el Cuadro N°2.11, donde puede apreciarse los factores de reducción que emite por el fabricante. Para el caso de las costuras podemos asumir conservadoramente un valor de $RF_{ss}=2$.

Cuadro N°2.10 Parámetros del material de relleno del geocontenedor. Fuente, Elaboración propia.

PARAMETRO	VALOR
Geocontenedor	
Gravedad específica (Gs)	26.5 kN/m ³
Densidad de suelo suelto (llenado)	18 kN/m ³
Densidad de suelo saturado (en trabajo)	20 kN/m ³
Perímetro transversal promedio (aprox. circunferencia)	6 m

Cuadro N°2.11 Propiedades del geosintético de envoltura. Fuente, Cortesía de Andex del Norte.

PROPIEDAD ÍNDICE	VALOR
Tipo de Geosintético	Geotextil tejido bidireccional ANDEX-108T
Material	Poliéster con protección UV
Tensión última o máxima	108 kN/m
Elongación última	11.5 %
Módulo de rigidez	939.13 kN/m
Tamaño de abertura aparente	0.425 mm
Factores de Reducción	
Reducción por fluencia (RF_c)	1.52
Reducción por daños de instalación (RF_{id})	1.17
Reducción por durabilidad (RF_d)	1.15

En la Figura N°2.23 se muestran los resultados de la evaluación realizada con el programa GeoCoPS versión 2.0 para el esfuerzo de tensión máxima que necesitara el geotextil de encapsulamiento. Los detalles de cálculo se muestran en los anexo C.

Se debe tener en cuenta que se ha considerado el escenario donde se generan mayores esfuerzos y en el cual no se contempla una presión de agua lateral.

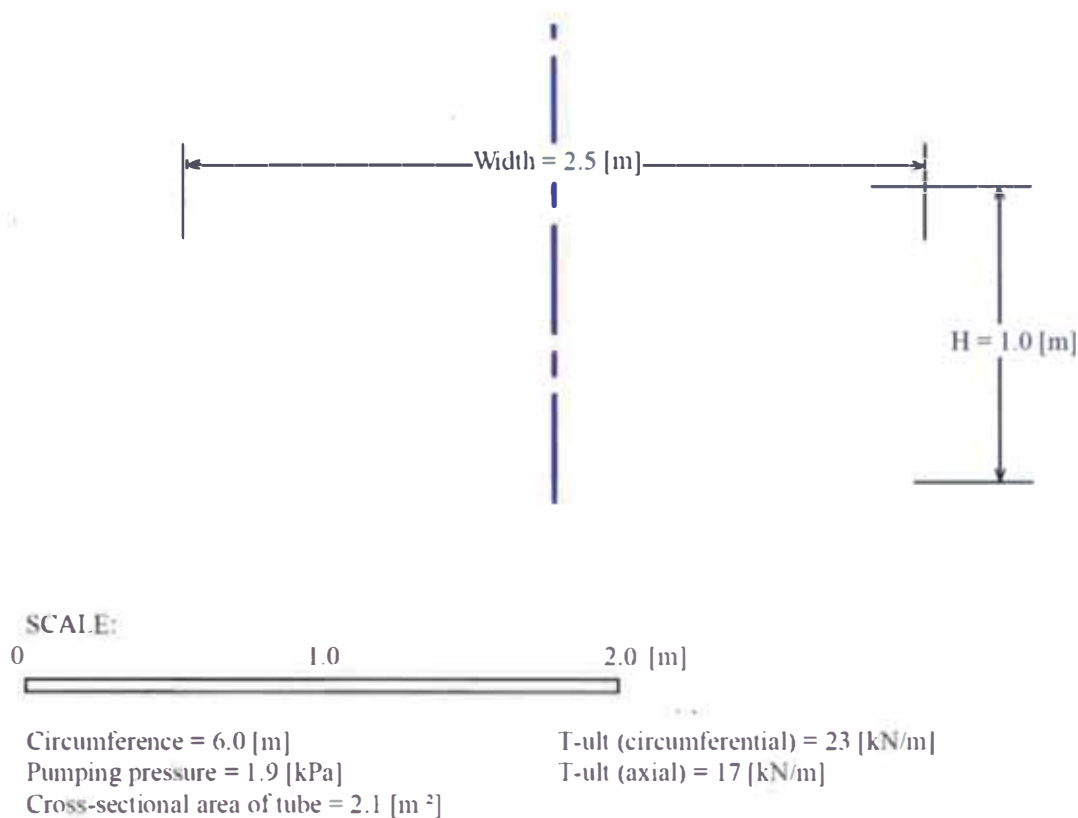


Figura N°2.23 Esquema y esfuerzos máximos para el Geocontenedor en estudio. Fuente, GeoCoPS (2002)

Asimismo la geometría analizada mediante el software no es totalmente similar al geocontenedor que se está evaluando, pero si nos brinda una buena aproximación.

Según la Figura N°2.23 necesitamos una tensión máxima de 23 kN/m en la dirección transversal y 17 kN/m en la dirección longitudinal para poder soportar los requerimientos que presenta el geocontenedor; estos valores son fácilmente superados por el geotextil inicialmente escogido.

El manual de diseño "Geosystems. Design Rules and Applications" (Bezuijen & Vastenburg 2013) indica una forma adicional para el cálculo de la tensión máxima que necesitaría un geocontenedor, en donde se asume que el elemento es lanzado desde la superficie del agua hasta la profundidad donde se colocará la estructura; esta situación no es similar a la de este estudio pero se puede

considerar como situación crítica si existe algún golpe u movimiento brusco del geocontenedor. Ver expresión (2.2)

$$T = \sqrt{2 \cdot \frac{D_n \cdot V}{b \cdot S} \cdot \frac{J}{C_d} \cdot \left(\frac{\rho - \rho_w}{\rho_w} \right) \cdot \rho \cdot g} \quad (2.2)$$

Dónde:

- T = carga de tensión en el geotextil [N/m]
- b = ancho del geocontenedor [m]
- S = perímetro o circunferencia aprox. transversal del geocontenedor [m]
- J = Modulo de rigidez del geotextil [kN/m]
- Cd = coeficiente de arrastre (Cd=1) [-]
- ρ = densidad del suelo encapsulado [kg/m³]
- ρ_w = densidad del agua [kg/m³]
- g = aceleración de la gravedad [m/s²]
- V = volumen del geocontenedor por metro lineal [m³/m]
- Dn = espesor nominal del geocontenedor [m]

Por lo tanto según la ecuación (2.2) se obtiene un esfuerzo de tensión de 72.6 kN/m, asumiendo que este esfuerzo se da en las costuras y éstas tengan el 70% de resistencia final del geocontenedor, podemos estimar que la tensión última que necesitaría el geotextil de encapsulamiento sería de 103.7 kN/m, estando casi al límite de nuestro refuerzo propuesto.

Tener en cuenta que esta metodología no exige los factores de seguridad mencionados anteriormente pero si un factor por costura. Asimismo este método asume una serie de condiciones adicionales que pueden ser revisadas en la referencia.

Por otro lado si bien estos análisis consideran esfuerzos de tensión para un solo geocontenedor, existen metodologías que consideran un aporte adicional en la tensión cuando se tienen geocontenedores apilados, entre los cuales Lawson (2008) en su Paper "Geotextile containment for hydraulic and environmental engineering" indica tres casos de apilamiento que pueden utilizarse con geocontenedores (ver Figura N°2.24); asimismo Plaut y Filz (2008) en su Paper "Deformations and Tensions in Single-Layer and Stacked Geosynthetic Tubes"

estiman un cierto incremento en la tensión del geotextil envolvente debido a este apilamiento.

Si bien este incremento no ha sido evaluado, Lawson (2008) indica también en la Figura N°2.25 donde se dan los mayores esfuerzos del geotextil envolvente, ubicando estos en los extremos del geocontenedor. Entonces podemos decir, que debido a la geometría, los incrementos de esfuerzos se darán directamente sobre el cuerpo del geocontenedor y no en la costura de los extremos donde se presenta el máximo esfuerzo de tensión, por lo tanto podemos considerar que para este caso los esfuerzos transmitidos por la pila al geotextil envolvente del primer nivel, no afectaran en gran magnitud los valores calculados anteriormente.

Se debe tener en cuenta que Lawson hace esta similitud con un geocontenedor diferente al de nuestro análisis, siendo este mucho más deformable en los extremos, por lo tanto según la disposición y tipo de geocontenedor sugerido en este informe, podemos asumir que la distribución de los esfuerzos de tensión serán similares a los que se muestran en la parte baja y lateral de la Figura N°2.25, siendo estas zonas muy definidas por las costuras. Este es un motivo adicional por el cual deberá tenerse especial cuidado con estas zonas en su elaboración en la parte constructiva.

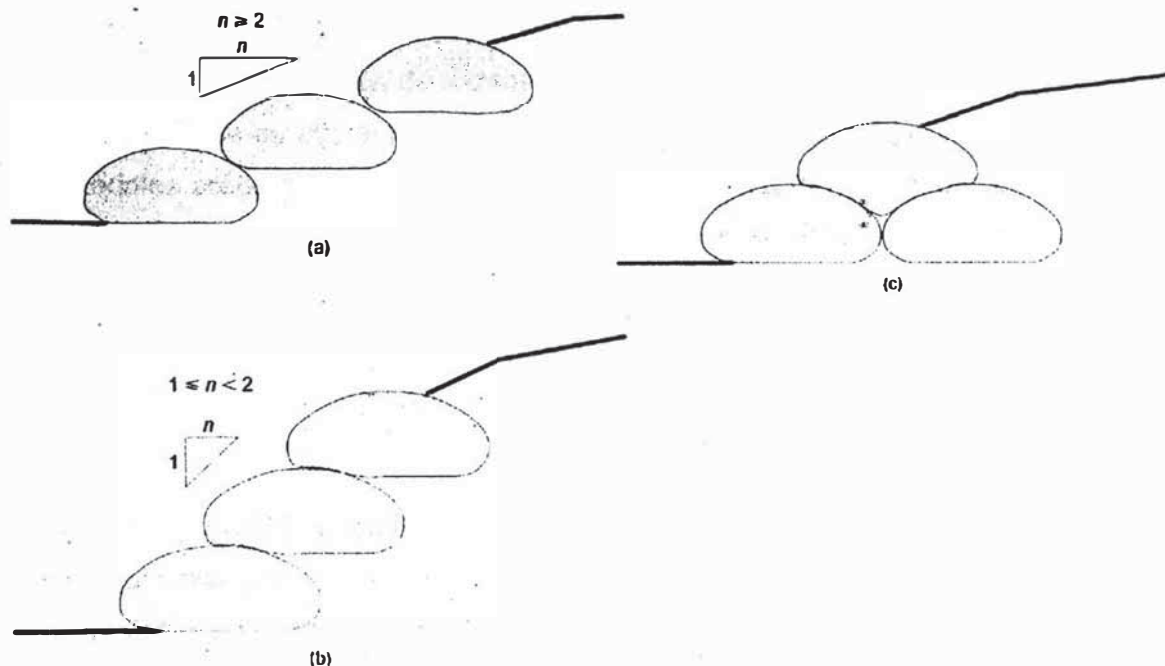


Figura N°2.24 Diferentes tipos de apilamiento recomendados para Geocontenedores. Fuente, Lawson (2008)

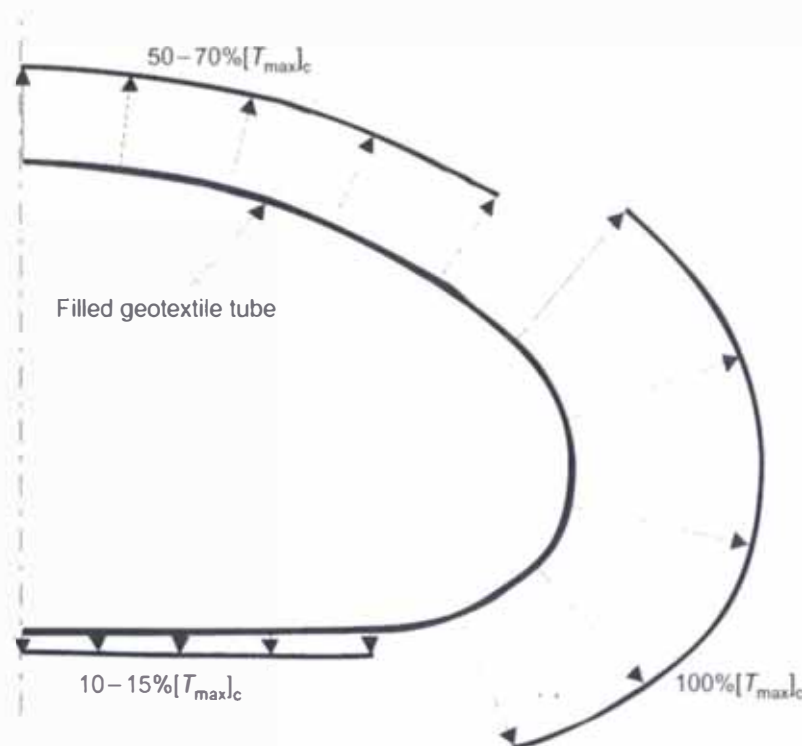


Figura N°2.25 Esfuerzos de tensión perimetrales en términos de $T_{máx}$. Fuente, Lawson (2008)

Otro efecto muy importante en la estabilidad interna, es el proceso de consolidación o deformación que presenta el material de relleno del geocontenedor, en nuestro caso si bien durante la etapa de llenado colocamos un material suelto de baja densidad, este al entrar en funcionamiento sufrirá una disminución de su altura debido a la compactación hidráulica que presentan los materiales arenosos, entendiéndose este fenómeno como el reacomodo de las partículas debido al flujo de agua. En el caso que el material presente finos o tenga un llenado hidráulico utilizando bombas y mangas, estas deformaciones podrán darse inmediatamente durante el llenado o como un proceso de consolidación propiamente dicho.

Leschinsky (1996) recomienda para realizar el cálculo de la deformación del material relaciones unidimensionales teniendo en cuenta las siguientes expresiones en un estado totalmente saturado:

$$\frac{\Delta h}{h_0} = \frac{\Delta e}{1 + e_0} = \frac{e_0 - e_f}{1 + e_0} = \frac{G_s (w_0 - w_f)}{1 + w_0 G_s} \quad (2.3)$$

$$w_0 = \frac{G_s - \gamma_{slurry} / \gamma_w}{G_s (\gamma_{slurry} / \gamma_w - 1)} \quad (2.4)$$

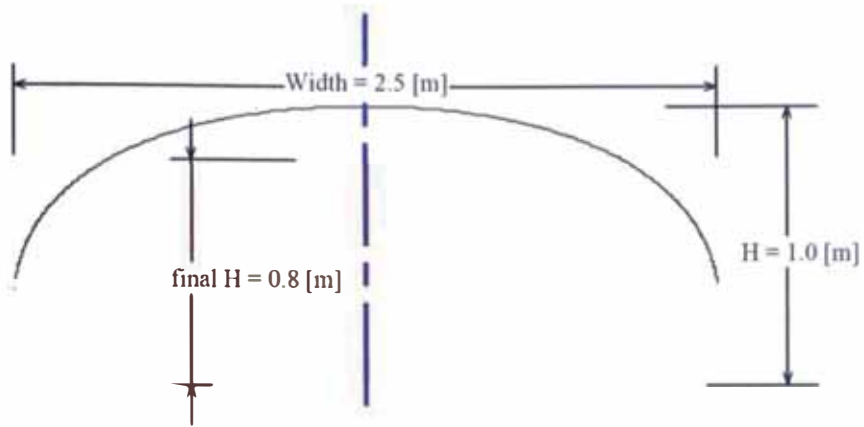
$$w_f = \frac{G_s - \gamma_{soil} / \gamma_w}{G_s (\gamma_{soil} / \gamma_w - 1)} \quad (2.5)$$

Dónde:

w_0 y w_f	= contenido inicial y final de humedad del material de llenado [%]
G_s	= gravedad específica del suelo de llenado [t/m^3]
γ_{soil}	= peso unitario del material solidificado o final [t/m^3]
γ_{slurry}	= peso unitario del material suelto o inicial [t/m^3]
γ_w	= peso unitario del agua [t/m^3]

En la Figura N°2.26 se muestran los resultados de la evaluación realizada con el programa GeoCoPS versión 2.0 para el cálculo de la disminución de la altura debido a deformaciones en el material. Los detalles de cálculo se muestran en el anexo C.

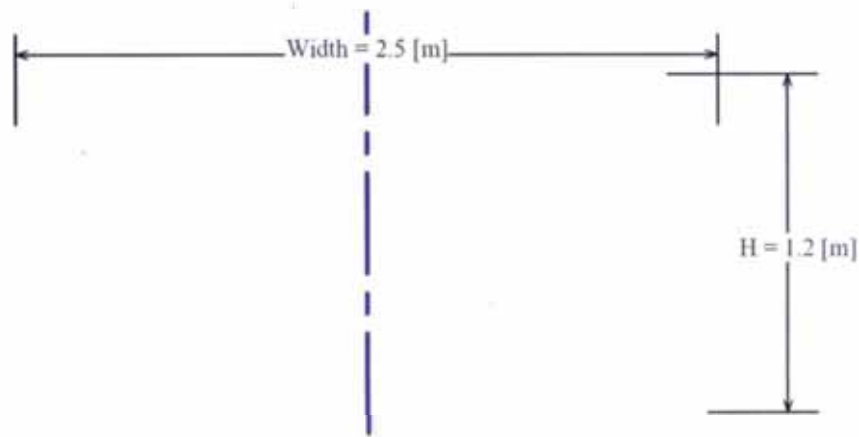
Un valor importante que resalta en la Figura N°2.26 es la disminución de la altura a 0.80 m, es decir que en su etapa de funcionamiento o en una etapa posterior se tendrá una disminución de altura efectiva, motivo por el cual debe hacerse una corrección adicional considerando una altura mayor que asegure la altura efectiva de 1.00 m, análisis que implicará un aumento de sección y de tensiones en el geotextil de encapsulamiento en la etapa inicial hasta llegar a la posición final y cuya evaluación ha sido realizada en ítems anteriores en este informe. (Ver Figura N°2.27 y Figura N°2.28)



SCALE:
0 1.0 2.0 [m]

Unit weight of slurry = 18.0 [kN/m³]
Unit weight of consolidated (saturated) fill = 20.0 [kN/m³]
Initial cross-sectional area of tube = 2.1 [m²]
Consolidated cross-sectional area of tube = 1.7 [m²]

Figura N°2.26 Esquema de deformación para el Geocontenedor en estudio. Fuente, GeoCoPS (2002)



SCALE:
0 1.0 2.0 [m]

Circumference = 6.2 [m] I-ult (circumferential) = 39 [kN m]
Pumping pressure = 4.4 [kPa] I-ult (axial) = 27 [kN m]
Cross-sectional area of tube = 2.5 [m²]

Figura N°2.27 Esquema y esfuerzo máximos para el Geocontenedor en estudio considerando la deformación del material. Fuente, GeoCoPS (2002)

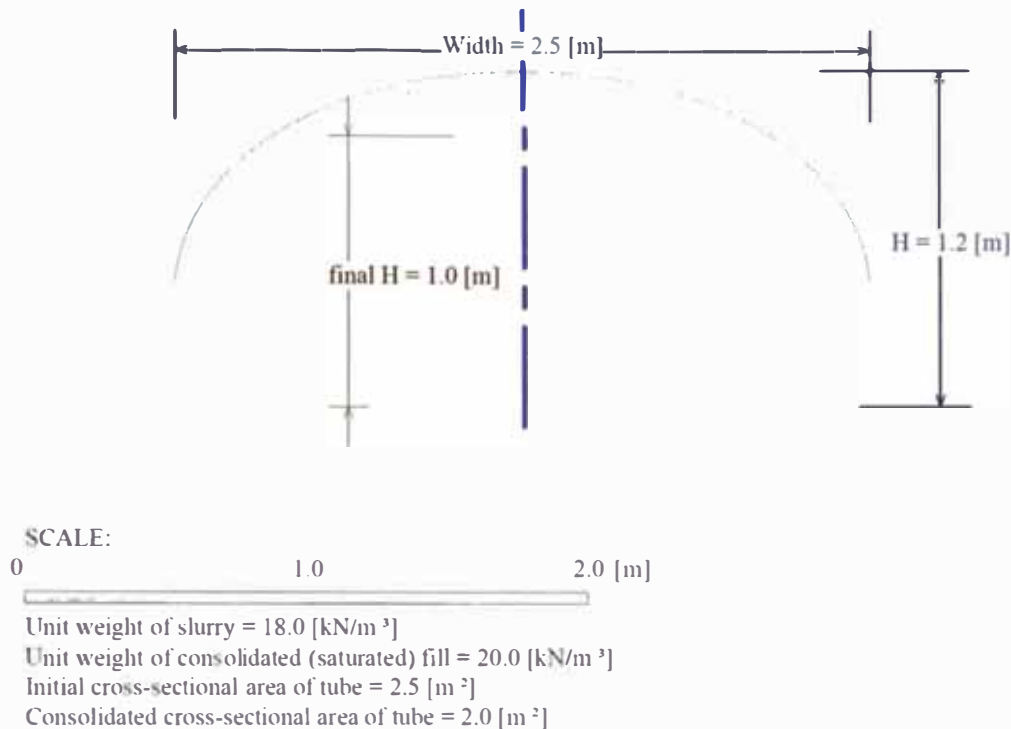


Figura N°2.28 Esquema de deformación para el Geotenedor en estudio considerando la deformación del material. Fuente, GeoCoPS (2002)

El geotextil tejido propuesto inicialmente soportará los esfuerzos iniciales de 39 kN/m según la Figura N°2.27 dados por el tema de deformación del material confinado, hasta que posteriormente el sistema llegue a su estado final mostrado en la Figura N°2.23 y Figura N°2.28, donde este soportará las tensiones evaluadas anteriormente.

- Fuerzas tractivas en geotenedores

Todo revestimiento puede ser arrastrado por los esfuerzos cortantes producidos por los flujos de agua u oleaje, estas fuerzas a lo largo de los años han sido analizadas en su mayor parte empíricamente comenzando por Shield (1936), Lane (1953), hasta Pilarczyk (1995, 1998, 2001) entre otros, los cuales han ido planteando expresiones que engloban diversas variables para la estabilidad de estos revestimientos.

El análisis realizado en el presente informe tomará en cuenta el método planteado por Shield considerando la siguiente expresión:

$$\tau_{cr} = \varphi(\gamma_s - \gamma_w)D \quad (2.6)$$

Dónde:

τ_{cr} = esfuerzo cortante mínimo para la iniciación de movimiento [N/m²]

D = tamaño de la partícula o elemento representativo [m]

γ_s, G_s = peso específico del suelo o gravedad específica del suelo [N/m³]

γ_w = peso unitario del agua [N/m³]

φ = parámetro crítico de Shields [-]

La expresión (2.6) evalúa el esfuerzo mínimo que necesitará un elemento cualesquiera para que inicie su movimiento debido a un flujo de agua. Nuestro caso evaluará un geocontenedor en la parte más profunda del cauce en la zona de estudio. Si bien el parámetro más importante y difícil de estimar es el parámetro de Shield, el manual de diseño "Geosystems. Design Rules and Applications" (Bezuijen & Vastenburg 2013) recomienda un valor para este parámetro igual a 0.05, valor que aceptamos para nuestro calculo.

Asimismo la expresión (2.6) considera dos correcciones, una por inclinación (K) y otra por espesor efectivo (t_k, D_k), las cuales pueden representarse en la Figura N°2.29 y en la Figura N°2.30.

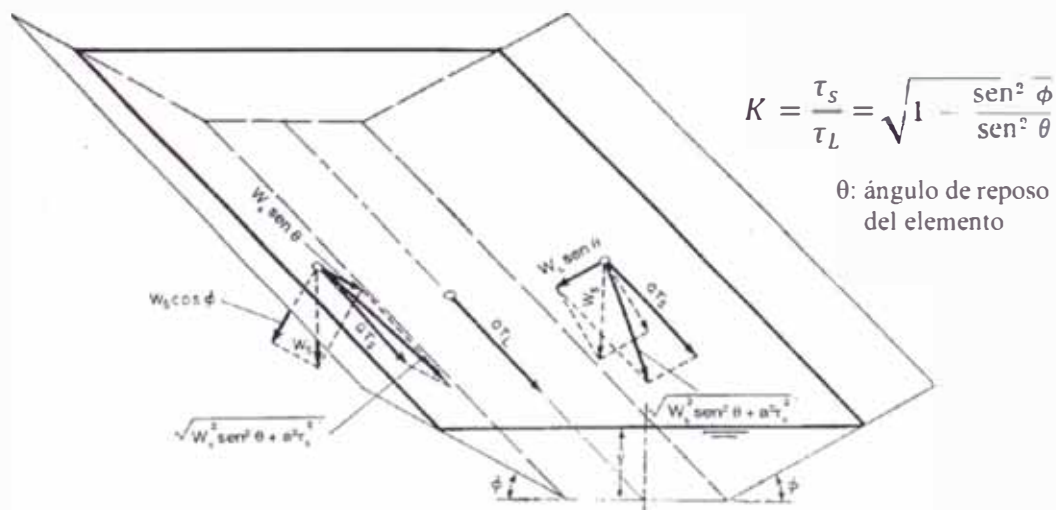
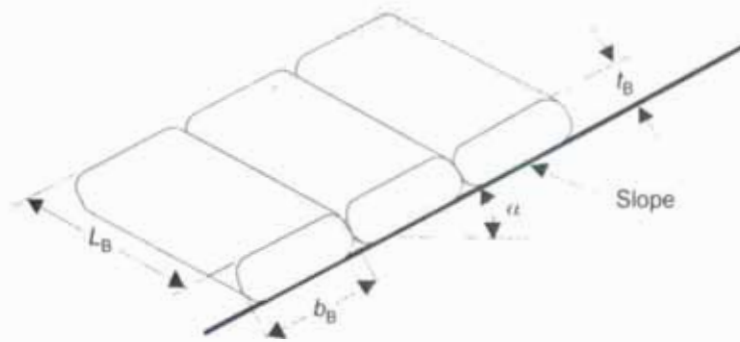
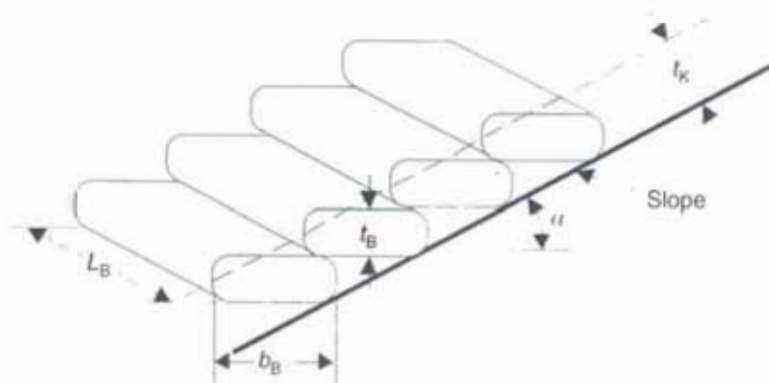


Figura N°2.29 Análisis de fuerza que actúan en un partícula que reposa en un superficie. Fuente, Ven Te Chow (1994)



Effective thickness of structure:
 $t_k = t_B$

(a)



Effective thickness of structure:
 $t_k = b_B \sin \alpha$

(b)

Figura N°2.30 Espesores efectivos para diferentes arreglos con geocontenedores. Fuente, Lawson (2008)

Por lo tanto la expresión (2.6) es corregida y representada por la expresión (2.7).

$$\tau_{cr} = K\phi(\gamma_s - \gamma_w)D_k \quad (2.7)$$

A su vez existen correcciones adicionales que consideran el grado de turbulencia del flujo y la relación entre el tirante de escurrimiento y rugosidad de la protección, correcciones que fueron desarrollados por Pilarczyk (2001) y han sido motivo de una evaluación adicional en el presente informe (ver anexo D).

Para este caso particular consideraremos adicionalmente a la expresión (2.7) el factor corrección por turbulencia, ya que la zona a proteger contempla varios tramos en curva donde flujo del agua es más intenso y muestra mayores esfuerzos cortantes. El Cuadro N°2.12 muestra los valores del factor turbulencia para las diferentes situaciones que presenta un flujo hidráulico.

Cuadro N°2.12 Factor Turbulencia K_t para varias condiciones hidráulicas. Fuente, Control de Erosión en Zonas Tropicales, Jaime Suarez 2001.

Tipo de turbulencia	Sitio	Parámetro de turbulencia K_t
Normal	Muros laterales	1.0
Mediana	Curvas suaves	1.5
Fuerte	Resaltos hidráulicos y curvas fuertes	2.0
	Sitios de alta turbulencia	2.0 a 2.5
Carga directa del agua sobre revestimiento	Jets espirales	3.0 a 4.0

Entonces para las zonas turbulentas la expresión (2.7) se verá modificada por la expresión (2.8)

$$K_T \tau_{cr} = K \varphi (\gamma_s - \gamma_w) D_k \quad (2.8)$$

Por lo tanto para la evaluación se considerará un valor de $K=1$ para el factor por inclinación mostrado en la Figura N°2.29, esto debido a que tanto la disposición escalonada asumida para los geocontenedores en estudio (tipo b según Figura N°2.30) y el encapsulamiento por el geotextil, evitan cualquier movimiento en la dirección de la pendiente del talud, este mismo caso puede relacionarse para un suelo cohesivo donde el valor de K también toma la unidad. Asimismo se considera un valor de $K_T=2$ para el factor por turbulencia debido a la presencia de curvas fuertes y de alta agitación.

Entonces de acuerdo a la expresión (2.8) se calcula el esfuerzo crítico necesario para la iniciación de movimiento del geocontenedor sugerido, el cual resulta ser de 924 N/m^2 ; siendo el esfuerzo máximo en la zona de estudio según la Figura N°2.10 brindada por el programa HEC-RAS versión 4.1.0 en las zonas de curva, de 216.4 N/m^2 . Lo que demuestra que el sistema de geocontenedores podrá resistir los esfuerzos cortantes producidos por el flujo de agua del río Ica en la zona de estudio. Los detalles de cálculo se muestran en el anexo E, adicionalmente se muestra una metodología recomendada por el manual de diseño "Geosystems. Design Rules and Applications" (Bezuijen & Vastenburg 2013) evaluada por medio de la expresión dada por Pilarczyk (2001), ver anexo D.

CAPITULO III: METODOLOGÍA DE CONSTRUCCIÓN DE LOS GEOCONTENEDORES

3.1 CONSIDERACIONES INICIALES

Para el desarrollo de este capítulo se tuvo como base procedimientos generales de confección e instalación de geocontenedores, teniendo como principal referencia el proyecto de protección ribereña del fundo Santa Rita que ha sido motivo del presente informe, las estructuras del proyecto se describen a continuación:

Las defensas consideradas en este proyecto fueron evaluadas para un estado de emergencia, lo cual significa que son estructuras de tipo temporal o de corta vida útil, se asume que fueron analizadas para un caudal de 150 m³/s a 200 m³/s de acuerdo al nivel de protección que poseen; asimismo estas presentan una serie de características que se muestran en el Cuadro N°3.1, en la Figura N°3.1 y en la Figura N°3.2.

Cuadro N°3.13 Resumen de dimensiones geométricas de las defensas existentes en la zona de estudio. Fuente, Cortesía de Andex del Norte

PROGRESIVA TOPOGRÁFICA	TRAMO	ALTURA DE PROTECCIÓN (m)	LONGITUD DE PROTECCIÓN ANTISOCAVANTE (m)
0+950 a 1+100	I	3.0	2.5
1+850 a 2+040	II	3.0	2.5
2+230 a 2+470	III	2.0	2.0
2+790 a 2+940	IV	2.0	2.0

Cabe resaltar que cada división mostrada en el Cuadro N°3.1 representa una zona de curvatura a lo largo de la margen izquierda del río Ica desde aguas arriba. También pueden observarse en las figuras, tres tipos diferentes de geocontenedores, de 7.0m³, de 10.5m³ y de 14.0m³ los cuales han sido dispuesto en forma escalonada con una pendiente de 1H:2V. Por otro lado el

material de encapsulamiento especificado para estos geocontenedores es el geotextil tejido bidireccional ANDEX-108T, el cual ha sido utilizado en el análisis realizado en el capítulo II y cuyos resultados no corresponden a los analizados en el presente capítulo.

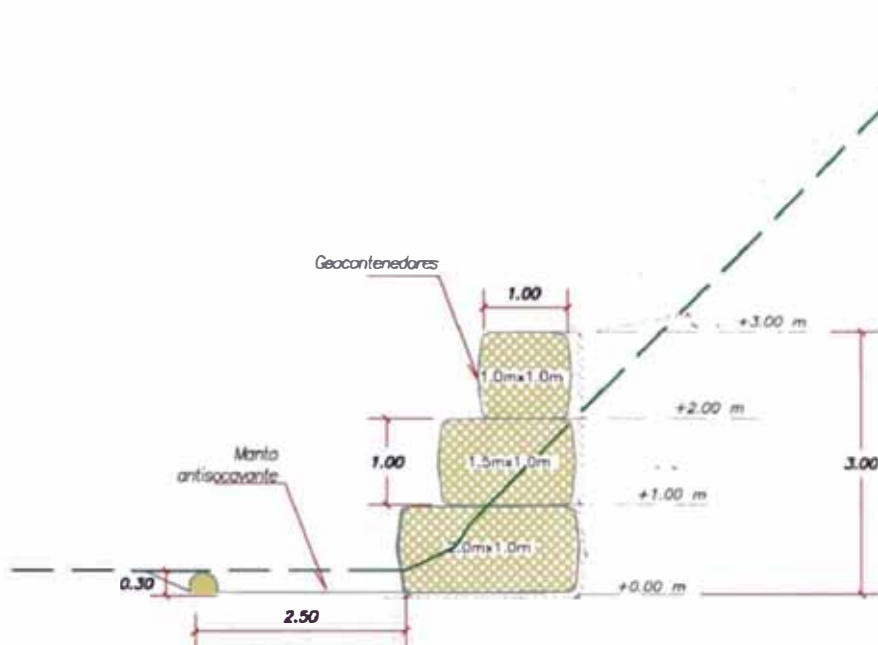


Figura N°3.1 Sección tipo para las defensas ribereñas en las progresivas 0+950 a 1+100 (Tramo I) y 1+850 a 2+240 (Tramo II). Fuente, Cortesía de Andex del Norte.

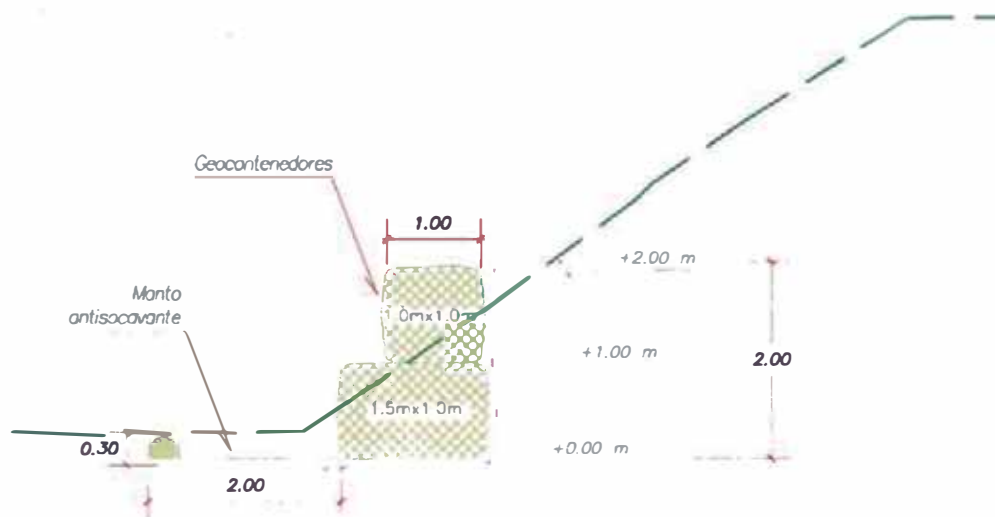


Figura N°3.2 Sección tipo para las defensas ribereñas en las progresivas 2+230 a 2+470 (Tramo I) y 2+790 a 2+940 (Tramo II). Fuente, Cortesía de Andex del Norte.

3.2 CONFECCIÓN DE GEOCONTENEDORES

Cada tipo de geocontenedor tiene un proceso estandarizado para su confección, dependiendo este de diversos factores, los cuales se comprenden mejor, siguiendo la siguiente serie de pasos:

- Poseer las dimensiones geométricas del geocontenedor a fabricar.
- Realizar los cortes necesarios a partir del rollo de presentación inicial, tratando de optimizar el material evitando los desperdicios.
- Unir los pedazos necesarios utilizando la costura y puntada que mejor se adecue a las condiciones del proyecto.

Si bien los pasos antes mencionados son en esencia el proceso para la confección de geocontenedores, se debe tener en cuenta que la fabricación de estos necesitará de por lo menos una adecuada implementación de maquinarias e infraestructura para su desarrollo como también de un alto grado de control de calidad. Otro punto importante a recalcar son los procedimientos que cada proveedor maneja en su producción, el cual puede depender además de los factores antes mencionados, de la ubicación de los materiales e insumos, la mano obra califica y el manejo de los despachos y almacenamiento, finalmente dependiendo todo de la capacidad organizativa que puede poseer el proveedor.

En la Figura N°3.3 se muestra un esquema básico de cortes para la confección de un geocontenedor de 10m³; en la Figura N°3.4 se muestran los diferentes tipos de costura que se pueden hacer en las uniones de cada paño en el geocontenedor; en la Figura N°3.5 se muestran los diferentes tipos de puntadas y por último en la Figura N°3.6 se aprecia el procedimiento de cosido con la cosedora manual.

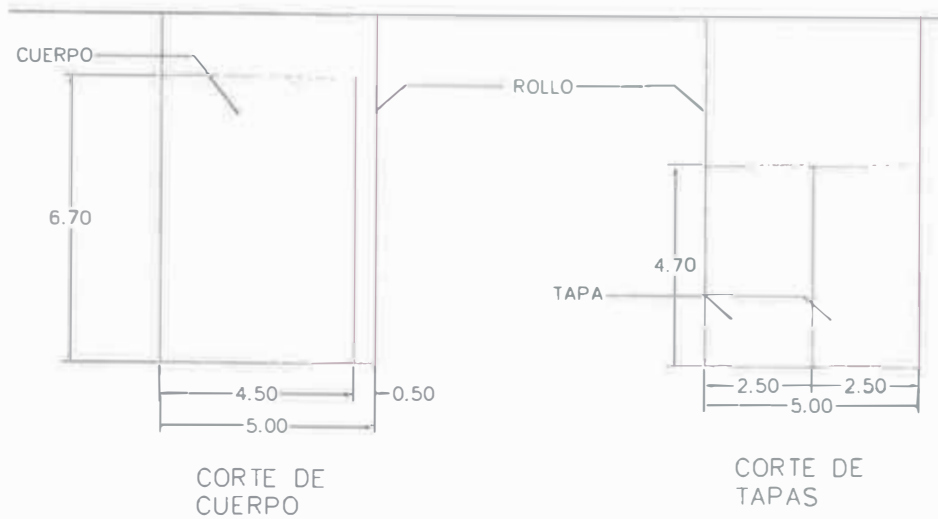


Figura N°3.3 Esquema básico de corte para geocontenedor de 10m³. Fuente, Cortesía de Andex del Norte.






Seam	Description	Strength of seam on seam side
	Prayer seam common in geotextile containers when closure is made on-site	30–50% of strength of geotextile
	Butterfly seam	40–70% of strength of geotextile
	J-seam	30–60% of strength of geotextile
	Double J-seam	50–70% of strength of geotextile
	Overlap Z-seam can only be produced in the factory with special equipment	>80% of strength of geotextile

Figura N°3.4 Tipos de costura con eficiencia de unión sobre el geotextil. Fuente, Geosystems. Design Rules and Applications (2013).

3.3 INSTALACIÓN DE GEOCONTENEDORES

Como se comentó inicialmente en este capítulo, tomaremos como referencia el proyecto de protección ribereña con geocontenedores ubicado en el río Ica para las recomendaciones y procedimientos de instalación que se indicarán a continuación.

Los pasos básicos a tener en cuenta para la instalación de geocontenedores en las márgenes de un río como sistemas de protección ribereña son:

3.3.1 Limpieza, corte y perfilado del terreno

- Se deberá comenzar con la limpieza de la zona correspondiente a la margen y lecho donde se ubicarán los geocontenedores.
- Luego se procederá con el corte y perfilado de las márgenes dando el espacio necesario para el trabajo seguro del personal que construirá los geocontenedores (ver Figura N°3.7).
- Asimismo se deberá tener cuidado con la estabilidad natural del talud tratando, si es posible, dar una compactación de la margen con la maquinaria de corte.
- Para el caso donde se considere la construcción de diques de protección se deberá considerar partidas adicionales.



Figura N°3.7 Corte y limpieza de los taludes del río Ica. Fuente, Cortesía de Andex del Norte.

- Por otro lado es recomendable el mejoramiento de la base de cimentación a fin de mejorar la capacidad portante del suelo y minimizar los asentamientos.

3.3.2 Trazo y replanteo

- Se deberá señalar las áreas donde se ubicarán los geocontenedores evitando pérdidas de espacio, teniendo especial cuidado con la inclinación y altura que pretende la estructura de protección (ver Figura N°3.8).



Figura N°3.8 Trazo del vértice del talud y talón del geocontenedor. Fuente, Cortesía de Andex del Norte.

3.3.3 Colocación de la capa de geotextil de separación

- Se deberá habilitar y transportar el geotextil especificado de acuerdo a las consideraciones del proyecto.
- Luego se procederá a su colocación en el área señalizada, dependiendo de los niveles y el arreglo que tendrá cada geocontenedor (ver Figura N°3.9)
- Asimismo se deberá considerar un traslape longitudinal en el sentido del flujo de 30 cm a 50 cm dependiendo de la magnitud del caudal del río.

3.3.4 Encofrado de los geocontenedores

Existen diferentes tipos de encofrado, pudiendo ser estos de madera, de metal, entre otros (ver Figura N°3.10). Asimismo existen geocontenedores que

prescinden de encofrado como los que son llenados hidráulicamente mediante bombas.

- Se habilitará el encofrado del geocontenedor en la posición señala por el trazo (ver Figura N°3.11).
- Se extenderá el geotextil de separación por la parte trasera del armazón del encofrado a fin de evitar arrugas o desgaste del material.
- Finalmente se preparará el encofrado para la recepción del geocontenedor vacío.



Figura N°3.9 Tendido del geotextil de separación para el primer nivel de geocontenedores. Fuente, Cortesía de Andex del Norte.



Figura N°3.10 Habilitado de geocontenedor vacío con encofrado metálico. Fuente, Cortesía de Andex del Norte.



Figura N°3.11 Habilitado de encofrado de madera. Fuente, Cortesía de Andex del Norte.

3.3.5 Habilitado de los geocontenedores

- Se colocará el geocontenedor vacío dentro del encofrado con especial cuidado evitando cualquier corruga; asimismo se asegurarán los borde para evitar cualquier desplazamiento (ver Figura N°3.12).
- La tapa del geocontenedor se posicionará a un costado del encofrado, de preferencia en la dirección opuesta a la descarga del material de llenado.
- Finalmente se preparará el sistema para la recepción del material de llenado.



Figura N°3.12 Habilitado de geocontenedor vacío con encofrado de madera. Fuente, Cortesía de Andex del Norte.

3.3.6 Llenado de los geocontenedores

- Se llenarán los geocontenedores con el material especificado en el proyecto, preferentemente material de la zona.
- Para el llenado podrá usarse tanto mano de obra como también maquinaria, teniendo especial cuidado con este último por lo que la descarga deberá tener un desnivel máximo de 1.0 m (ver Figura N°3.13).
- Adicionalmente se recomienda la compactación del material de llenado con una compactadora manual para evitar el efecto de compactación hidráulica.
- Finalmente se preparará el geocontenedor para su sellado.



Figura N°3.13 Llenado de geocontenedor con maquinaria pesada. Fuente, Cortesía de Andex del Norte.

3.3.7 Cierre de los geocontenedores

- Se cocerá la tapa de cada geocontenedor con una cocedora portátil especial, asegurando el tipo de costura y puntada (ver Figura N°3.14).
- Deberá tenerse especial cuidado con la calidad del acabado de cada costura, ya que son las zonas con mayor susceptibilidad a falla.
- Finalmente se retirará el encofrado.



Figura N°3.14 Cierre de la tapa del geocontenedor con cocedora portátil. Fuente, Cortesía de Andex del Norte.

3.3.8 Habilitado del manto antisocavante

- Se extenderá el manto geotextil desde el primer geocontenedor (primer nivel) hasta la longitud estimada por el proyecto. Cabe señalar que el primer geocontenedor ya viene de fábrica con el manto antisocavante acoplado a él (ver Figura N°3.15).
- Luego de estirado el manto se procederá con el armado del lastre, el cual está compuesto del mismo geotextil del geocontenedor y será llenado con material recomendado por el proyecto (generalmente el material de la zona)
- Finalmente luego de darle forma y cocer el lastre se procederá con el recubrimiento del manto por material de la zona, con la finalidad de dar un empotramiento a la estructura, este espesor de material es estipulado por el proyecto.

3.3.9 Consideraciones para niveles superiores

- Se deberá tener especial cuidado con el encofrado de la parte superior, apuntalando adecuadamente el encofrado de madera (ver Figura N°3.16).
- El arreglo que tendrá cada geocontenedor será en tres bolillos, muy similar a la colocación de ladrillos en muros de edificaciones.

- Por otro lado, se colocarán geotextiles no tejidos en cada interfaz o nivel de cada fila de geocontenedores, a fin de incrementar el esfuerzo contra el deslizamiento horizontal (ver Figura N°3.15). Este grado de interacción entre niveles puede ser mejorado usando otro tipo de geotextil de encapsulamiento para los geocontenedores (geocompuesto).



Figura N°3.15 Habilitado del manto antisocavante. Fuente, Cortesía de Andex del Norte.



Figura N°3.16 Habilitado de encofrado para segundo nivel. Fuente, Cortesía de Andex del Norte.

CAPITULO IV: PROPUESTA DE MONITOREO DE LOS GEOCONTENEDORES EN LAS DEFENSAS RIBEREÑAS

4.1 CONSIDERACIONES INICIALES

Para el desarrollo de este capítulo se describirá la situación en la que se encuentran los geocontenedores colocados en la margen izquierda del río Ica, ubicados en el distrito de Pueblo de Nuevo, provincia de Ica.

Parte de la información se describió en el capítulo III, donde se indicaron los procedimientos de instalación como también las características geométricas de los geocontenedores existentes en la zona de estudio (ver Cuadro N°3.1).

La obra tuvo un periodo de construcción de dos y medio meses entre los meses de Noviembre del 2012 y Enero del 2013, haciéndose visitas y monitoreos entre los meses de Marzo y Julio del 2013, durante el cual las estructuras ya habían pasado por una temporada de crecidas; el caudal máximo de dicho periodo fue estimado en 250 m³/s según personal de los fundos cercanos a la zona, siendo un valor sujeto a posibles variaciones al no ser comprobado por aforos u otros métodos.

Es importante resaltar que la obra se realizó como una obra de emergencia debido a la premura y necesidad del proyecto.

4.1.1 Descripción actual del proyecto y recomendaciones

A continuación se describirán las condiciones en las que se encontraron las estructuras de la defensa ribereña luego de la primera temporada de crecidas en el año 2013. Asimismo se darán una serie de recomendaciones para mejorar su comportamiento.

- Tramo I (progresiva 0+950 a 1+100)

Este tramo está compuesto de tres niveles con una altura total de 3.0 m y una protección antisocavante de 2.50 m según detalle en la Figura N°3.1.

En este tramo se pudo apreciar de acuerdo a la inspección en campo, ninguna disconformidad a lo largo de la defensa, solo cierto grado de sedimentación en el primer nivel debido al acarreo de material que tuvo el río (ver Figura N°4.1 y Figura N°4.2).

Este grado de sedimentación en el tiempo podrá ir disminuyendo la sección efectiva del río provocando la elevación del nivel de agua durante las futuras crecidas, motivo por el cual deberán hacerse trabajos de remoción de material periódicamente (mantenimiento) de acuerdo al comportamiento que el río vaya presentando durante las siguientes temporadas.



Figura N°4.1 Vista del Tramo I desde aguas abajo, Cortesía de Andex del Norte.

- Tramo II (progresiva 1+850 a 2+040)

Este tramo está compuesto de tres niveles con una altura total de 3.0 m y una protección antisocavante de 2.50 m según detalle en la Figura N°3.1, situación muy similar al anterior.

Para este tramo se pudo apreciar en la parte final aguas abajo terminando la curva que da el río, una zona que tuvo procesos de asentamiento y socavación, dando lugar a hundimientos y un posterior desplazamiento de geocontenedores (ver Figura N°4.3 y Figura N°4.4).



Figura N°4.2 Vista del Tramo I desde aguas arriba, Cortesía de Andex del Norte.



Figura N°4.3 Vista del Tramo II desde aguas arriba, Cortesía de Andex del Norte.



Figura N°4.4 Vista de la zona de hundimiento en el Tramo II, Cortesía de Andex del Norte.

Este fenómeno pudo darse por la gran variabilidad del suelo de fundación que hay en la zona, encontrándose cerca del lugar arenas muy sueltas de baja capacidad, asimismo se consideró que el flujo de agua, impactaba directamente sobre dicho lugar incrementado los esfuerzos y procesos de socavación.

Otra suposición que pudo afectar a la estructura fue la cantidad de flujo que transporta el río en el periodo estudiado, siendo este mayor o igual al que pudo estar sujeto por diseño la estructura existente. Esto implicaría un aumento de profundidad de socavación como de tirante de agua, igualmente en velocidades y esfuerzos cortantes, los cuales tal vez no pudieron ser soportados en los puntos indicados en las figuras. En el anexo F se realizó el modelamiento hidráulico del caudal estimado en la avenida máxima del 2013, mostrando una profundidad de socavación media igual 2.50 m, siendo un valor cercano al proyectado en la estructura existente; asimismo se dan alcances sobre los niveles de agua, esfuerzos cortantes, entre otros.

Al ser esta obra de tipo emergencia, solo se recomienda reponer e incrementar la altura de la defensa siguiendo los pasos detallados en el capítulo III como el mejoramiento del suelo de fundación, asimismo se deberá incrementar la longitud de manto antisocavante y reducir el grado de inclinación de la protección de acuerdo al capítulo II, para mejorar así, la estabilidad de la estructura.

- Tramo III (progresiva 2+230 a 2+470)

Este tramo está compuesto de dos niveles con una altura total de 2.0 m y una protección antisocavante de 2.00 m según detalle en la Figura N°3.2.

Para este tramo se pudo apreciar en la parte final aguas abajo y terminando la curva que da el río, una zona que tuvo procesos de asentamientos y socavación severa, los cuales dieron lugar a hundimientos y que sumandos a las fuerzas del río, dieron un posterior desplazamiento de geocontenedores como se observa en la Figura N°4.6.



Figura N°4.5 Vista del Tramo III desde aguas arriba, Cortesía de Andex del Norte.



Figura N°4.6 Vista de la zona de asentamiento en el Tramo III, Cortesía de Andex del Norte.

Asimismo se pudo apreciar un alto grado de sedimentación aguas arriba de la protección, encontrándose material cubriendo casi la totalidad del segundo nivel (ver Figura N°4.5).

Estos fenómenos como mencionamos anteriormente se pudieron dar por la gran variabilidad del suelo de fundación que se encuentra en la zona, asimismo se considera que el flujo de agua impactaba directamente sobre el final de la protección incrementado los esfuerzos y procesos de socavación. En este caso en particular se aprecia adicionalmente un derrumbe de talud, el cual se encuentra empujando el geocontenedor de la Figura N°4.6.

Por otro lado deberá tenerse especial cuidado con el fenómeno de agradación que se encuentra dando en la parte aguas arriba de la protección, pudiéndose dar una sobrelevación del nivel de agua en las próximas crecidas provocando una futura erosión por corona.

También está la posibilidad como se comentó anteriormente de que los caudales estipulados inicialmente hayan sido superados por los reales en dicho periodo, provocando fallas puntuales en los puntos de mayor vulnerabilidad de la estructura.

Como en los casos anteriores al ser esta obra de tipo emergencia, solo se recomienda reponer e incrementar la altura de la defensa siguiendo los pasos detallados en el capítulo III como el mejoramiento del suelo de fundación, asimismo se deberá incrementar la longitud de manto antisocavante y reducir el grado de inclinación de la protección de acuerdo al capítulo II, para mejorar así, la estabilidad de la estructura.

- Tramo IV (progresiva 2+790 a 2+940)

Este tramo está compuesto de dos niveles con una altura total de 2.0 m y una protección antisocavante de 2.00 m según detalle en la Figura N°3.2, situación muy similar al anterior.

Este tramo presenta la misma situación que el tramo III, en la Figura N°4.7 se puede apreciar el desplazamiento de los geocontenedores debido al hundimiento

del terreno. Asimismo en la Figura N°4.8 se aprecia también el proceso de agradación del río cubriendo en su totalidad el segundo nivel de la protección aguas arriba.



Figura N°4.7 Vista de la zona de hundimiento en el Tramo IV, Cortesía de Andex del Norte.



Figura N°4.8 Vista del Tramo IV desde aguas arriba, Cortesía de Andex del Norte.

Como en los casos anteriores al ser esta obra de tipo emergencia, solo se recomienda reponer e incrementar la altura de la defensa siguiendo los pasos detallados en el capítulo III como el mejoramiento del suelo de fundación, asimismo se deberá incrementar la longitud de manto antisocavante y reducir el grado de inclinación de la protección de acuerdo al capítulo II, para mejorar así, la estabilidad de la estructura.

En todos los tramos evaluados el factor que mayor ha influido en la desestabilización de las estructuras, ha sido el hundimiento del terreno, ya sea por asentamiento, socavación o ambos, los cuales a su vez han ido provocando con ayuda de la fuerza del río, el desplazamiento progresivo de los geocontenedores. Cabe mencionar que estos fenómenos solo se han dado en las temporadas de crecidas, el resto del año se han mantenido estables.

Otro punto importante es la influencia de la compactación hidráulica dada por el flujo de agua, el cual deforma y compacta cada geocontenedor independientemente provocando la disminución de su altura inicial y que sumado a los hundimientos por el terreno van restando a la altura efectiva de protección proyectada. Por lo que seguir las recomendaciones dadas el capítulo III es muy importante.

4.1.2 Propuesta de monitoreo para geocontenedores

En nuestro país la aplicación de geocontenedores como protección de ríos o costas es un tema relativamente nuevo y que carece de un historial al cual se pueda recurrir para afianzar la decisión que puede tenerse en un proyecto costero o fluvial, esto se suma a su vez a un tema ideológico, donde la aplicación de soluciones no convencionales es una tarea difícil y que toma gran cantidad de tiempo su establecimiento en el país. Esta situación fue muy similar a lo que sucedió con las aplicaciones usando gaviones, las cuales ya son muy comunes en nuestros días.

Por ahora basándonos en la experiencia que se tiene del proyecto en el río Ica desarrollado y descrito en páginas anteriores, se propondrá una serie de pasos

para realizar un seguimiento a estas estructuras y mejorar nuestro concepto de ellas como soluciones comunes o definitivas.

Cabe mencionar nuevamente que el carácter de la obra evaluada fue de tipo emergencia, y que fue para el sector privado, asimismo se carece de alguna normativa nacional que se enfoque en estos tipos de solución.

Entonces teniendo como referencia la descripción del proyecto en el ítem 4.1.1, se sugerirá un programa de monitoreo de acuerdo a las principales observaciones que se han ido teniendo, con el objetivo fundamental de proporcionar la información necesaria para determinar si estas medidas de control propuestas en los capítulos anteriores vienen siendo útiles de manera tal, que el proyecto se encuentre dentro de los límites aceptables desde el punto de vista técnico.

A continuación se indicarán los puntos principales en los cuales se deberá basar la propuesta de monitoreo de geocontenedores, asimismo se darán algunas restricciones:

- Inicialmente deberá hacerse un monitoreo y supervisión de la etapa de construcción del proyecto, cuyos procedimientos y recomendaciones se dan en el capítulo III.
- Deberá verificarse la integridad total de la estructura de protección, poniendo especial atención en la secuencialidad longitudinal de cada fila de geocontenedores. No deberá presentarse separaciones que permitan el ingreso directo del flujo de agua.
- Deberá verificarse los puntos de unión y costura de cada geocontenedor. No deberán presentarse descoses o elongaciones excesivas que permitan el escape del material de relleno.
- Deberá verificarse los paños de cada geocontenedor en busca de rasguños o desgarros. No deberán presentarse desgarros excesivos o aberturas que permitan el escape del material.

- Deberá verificarse el desplazamiento horizontal que pueda presentar cada geocontenedor. No deberán presentarse desplazamientos relativos entre niveles de geocontenedores que comprometan la inclinación y posición inicial dada por diseño.
- Deberá verificarse el hundimiento vertical que pueda presentar la estructura de geocontenedores. No deberán presentarse hundimientos que comprometan la altura efectiva de protección.
- Deberá verificarse la deformación tanto vertical y horizontal que pueda tener cada geocontenedor. No deberán presentarse deformaciones excesivas por compactación del material o por movimiento interno del mismo.
- Deberá hacerse un seguimiento de los caudales a los que se ira exponiendo las defensas con geocontenedores, principalmente a lo largo de las épocas de crecidas.
- Deberá evaluarse el comportamiento de los mantos antisocavantes, y como estos acaban luego del paso de una crecida máxima.

Varios de estos puntos han sido identificados en ítem 4.1.1 y han sido motivo de algunas recomendaciones para su remediación, para el caso de las costuras y desgarros también pueden realizarse reparaciones puntuales cubriendo el área afectada por paños que posteriormente serán cocidos.

Lo resaltante en estos sistemas de geocontenedores como defensas costeras o ribereñas, es lo fácil que pueden ser reparadas ante cualquier eventualidad, además de ser también de reparaciones puntuales.

Otro punto a monitorear y también a considerar en una propuesta de monitoreo para geocontenedores, es la posible irregularidad que pueda presentar el flujo de escorrentía del río; ya que en muchos casos, estos no se tienen presentes en las propuesta iniciales debido a que no se indican en los estudios básicos.

Asimismo existen otros factores que también son importantes en una propuesta de monitoreo como el riesgo social o la falta de información de la comunidad acerca de estos sistemas geosintéticos. Muchas veces se arman problemas al no hacerse las obras comunes que las personas conocen o a las que están

acostumbradas, provocando falta de interés por la protección de estos nuevos sistemas y hasta la destrucción, como por ejemplo el robo o daño adrede de los geocontenedores por desadaptados cercanos a la comunidad.

Por ultimo también es recomendable hacer modelamientos hidráulicos a escala de estos nuevos sistemas con la finalidad de comprender con anterioridad cual podría ser el comportamiento de estas nuevas estructuras, validando la información con las pocas experiencias que existan o se vayan dando en el país.

CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- El desarrollo del presente informe se basa y tiene como referencia un proyecto existente en nuestro país, que hace uso esencialmente de geocontenedores para la protección de riberas.
- La información existente del proyecto fue muy limitada, por lo que se realizó una investigación a fin de satisfacer las necesidades de datos iniciales, referentes a la parte hidráulica y geotécnica.
- Los procesos de geodinámica externa y evaluación se restringen a la erosión de la margen izquierda del río Ica en el tramo de estudio.
- El diseño sugerido en el presente informe y que ha sido objetivo del capítulo II para la protección de la ribera en la zona de estudio, ha sido modulado considerando un tiempo de vida útil de 25 años y 100 años como periodo de retorno, recomendado por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2011); asimismo se trabajó un caudal máximo para dicho periodo de 419 m³/s según el modelo HFAM desarrollado por ATA-SWECO en el año 2000, y un coeficiente de rugosidad según Manning equivalente de 0.032 de acuerdo a observaciones en campo.
- La estructura geométrica planteada para la protección ribereña consiste en una serie de niveles conformados por geocontenedores de 12.5m³ de capacidad, con una inclinación de 1H:2V, llegando a una altura máxima de 5.0m y protecciones por socavación de 6.0m de longitud; asimismo se considera un empotramiento mínimo de la base de 0.30 m de profundidad. Estos puntos se presentan detalladamente en el Cuadro N°2.4.
- La geometría sugerida no es definitiva y puede variar para otros proyectos, recomendándose reducir el ángulo de inclinación a valores menores a 1H:1V.
- Las estructuras de defensa fueron analizadas tanto por estabilidad externa (deslizamiento, volteo, capacidad portante, estabilidad global, socavación y asentamiento) como por estabilidad interna, (rotura de geotextil y consolidación) obteniendo factores de seguridad satisfactorios para las

condiciones a las cuales estará sometida, tanta hidráulica, geotécnica y geoméricamente. Asimismo a través de estos análisis se determinó la resistencia mínima que necesitaría el geotextil de confinamiento, obteniendo un valor máximo y conservador de 103.7 kN/m como tensión máxima según Bezuijen y Vastenburg (2013), por otra parte el software de diseño GeoCoPS v.2.0 (2002) brinda valores menores de 39 kN/m como tensión última; esto se debe a que Bezuijen y Vastenburg asumen condiciones que implican que el geocontenedor sea lanzado desde la superficie del agua al fondo del cauce cuando existe un nivel agua.

- Para varios de estos cálculos se han tomado valores referenciales de acuerdo a las recomendaciones que brindan los autores de las bibliografías e información de proyectos pasados o similares.
- Es importante resaltar las características que presenta un geotextil de refuerzo, el cual será utilizado como material de confinamiento para el geocontenedor, ya que si bien cada material geosintético presenta una resistencia a la tensión última o máxima que viene de fábrica, existen factores de reducción que van de acuerdo a cada tipo de proyecto, al tipo de polímero y al tipo de aplicación, que llegan a afectar la resistencia última dada por el proveedor.
- Los geocontenedores al ser un tipo de revestimiento para una protección de ribera, también están sujetos a sufrir fuerzas de corte producidas por las corrientes de agua, las cuales son llamadas fuerzas tractivas y han sido motivo de cálculo en el presente informe. Para este cálculo se asumió un geocontenedor unitario en el fondo del cauce, el cual según el planteamiento por Shield (1936) y recomendaciones por Bezuijen y Vastenburg (2013), posee un esfuerzo mínimo para su movilización de 924 N/m²; asimismo Bezuijen y Vastenburg (2013) recomiendan otra metodología basada el planteamiento dado por Pilarczyk (2001) donde se brinda un espesor efectivo (Dk) mínimo, y que para nuestro caso debe ser mayor a 1.73m. Para ambos casos nuestra estructura cumple dichas condiciones.
- Las estructuras encontradas en las márgenes del río Ica y que son base de este informe fueron construidas con un carácter de emergencia, lo que implica que su composición fue dada para caudales de mayor incidencia. Estas son detalladas en las Figuras N°3.1 y N°3.2, como también el Cuadro N°3.1.

- Es importante definir para un geocontenedor el tipo de confección que se le realizará como los procesos para su instalación en campo, ya que de estos dependerá el adecuado y esperado desempeño de las estructuras cuando entren en funcionamiento.
- En todas las estructuras encontradas menos en las del tramo I, se hallaron ciertos puntos donde se observó desestabilización del sistema, estas se dieron justamente en los tramos finales de las curvas, donde se apreciaron hundimientos del terreno como factor principal, pudiéndose dar por socavación, asentamiento o ambas, las cuales sumados a la fuerza del río en dichas zonas, han ido provocando el desplazamiento progresivo de los geocontenedores de niveles más altos. Cabe mencionar que estos fenómenos solo se han dado en las temporadas de crecidas, el resto del año se han mantenido estables.

Por otro lado deberá tenerse especial cuidado con el fenómeno de agradación que se encuentra dando en la parte aguas arriba de todas las estructuras, el cual puede implicar una sobrelevación del nivel de agua en las próximas crecidas, pudiendo provocar futuras erosiones por corona.

- Otro punto importante es la influencia de la compactación hidráulica dada por el flujo de agua, el cual deforma y compacta cada geocontenedor independientemente provocando la disminución de su altura inicial y que sumado a los hundimientos por el terreno van restando a la altura efectiva de protección proyectada. Por lo que seguir las recomendaciones dadas el capítulo III es muy importante.
- Cabe resaltar que estos sistemas de geocontenedores son de fácil reparación y solo implican mantenimiento en zonas puntuales o focalizadas.
- Se llegaron a asumir caudales de entre $150 \text{ m}^3/\text{s}$ y $200 \text{ m}^3/\text{s}$ para el análisis de las estructuras existentes de acuerdo a las características que estas presentaban en campo, lográndose una aproximación adecuada. Asimismo se evaluó el caudal máximo para el periodo 2013, el cual según los técnicos de los fundos de la zona, eran de entre $250 \text{ m}^3/\text{s}$ y $300 \text{ m}^3/\text{s}$, sobrepasando los valores para las condiciones iniciales de las estructuras existentes. Esto implicaría que las estructuras fueron exigidas para el periodo en mención, contribuyendo a las posibles causas de fallas puntuales que se fueron

observado durante el reconocimiento de campo. En el anexo F se muestra el back análisis para un caudal máximo de 250 m³/s.

- Es importante definir para una obra con geocontenedores un programa de monitoreo, ya que son consideradas nuevas tecnologías en nuestro país, y generalmente esta información es necesaria para optar o decidir por una solución como ésta, en nuestro medio. Asimismo esta retroalimentación nos servirá para ir mejorando nuestras propuestas con geocontenedores a lo largo del tiempo.
- Si bien el presente informe ha indicado evaluaciones considerando diferentes tipos de falla tanto interna como externa y también fuerzas tractivas, las observaciones hechas en campo han mostrado una mayor tendencia hacia las fallas por hundimiento pertenecientes al tipo de falla externa y no concerniente al mismo geocontenedor; los demás tipos de falla detallados en el informe han sido mínimos o inexistentes, por lo que prestar y dar mayor importancia al material de fundación y a los procedimientos constructivos es recomendable. Esto no quita importancia a los demás análisis ya que estos son una serie de evaluaciones que brindan mayor confianza y seguridad en la utilización de estos nuevos sistemas.

5.2 RECOMENDACIONES

- Deberá considerarse estudios básicos que engloben todas las observaciones comentadas en el presente informe. De esta manera podrá lograrse un adecuado dimensionamiento de las estructuras de protección con geocontenedores.
- Se sugiere seguir la metodología indicada en el capítulo II para el dimensionamiento de la defensa ribereña con geocontenedores, haciendo caso a las recomendaciones como la colocación de geotextiles no tejidos en el interfaz de cada nivel, o la utilización de un material geocompuesto que tenga mayor rugosidad y que cumpla con la resistencia a la tensión mínima.
- Se deberá tener especial cuidado en las partidas que impliquen el mejoramiento de fundación y talud de corte, con la finalidad de minimizar los hundimientos del terreno debido a los asentamientos, socavación o ambos.

Asimismo se sugiere seguir los pasos para la confección e instalación de geocontenedores descrita en el capítulo III, donde adicionalmente se dan algunas recomendaciones como la mencionada anteriormente.

- La corta vida o poco tiempo que tiene la protección estudiada hace que nuestra evaluación vaya actualizándose a la medida que se pueda, ya que en el transcurso del tiempo pueden presentarse algunos fenómenos no identificados en el presente informe.
- En la elaboración de nuevos proyectos de defensa de riberas que impliquen la utilización de geocontenedores, es recomendable proponer propuestas de seguimiento o monitoreo periódico a fin de realizar adecuados mantenimientos y obtener puntos de retroalimentación. Asimismo se sugiere seguir los pasos descritos en el capítulo IV, donde adicionalmente se indican una serie de recomendaciones ante cualquier eventualidad o problema.
- De acuerdo a las observaciones hechas a cada tramo de la protección ribereña, no se ha demostrado la eficacia de los mantos antisocavantes, ya que estos han sido enterrados o tal vez en el peor de los casos desgarrados. Se recomienda hacer un seguimiento más detallado de estos e inclusive proponer otros tipos de protección antisocavante.
- Otras recomendaciones adicionales referentes al mejoramiento del comportamiento de la estructura ante los procesos de socavación vendrían a ser las disposiciones que se pueden tener en vez del manto antisocavante con lastre, como por ejemplo la posible utilización de un geocontenedor en forma de colchón con una longitud igual a 1.5 o 2.0 veces la profundidad de socavación con un ancho tentativo de 0.50m y dispuesto a continuación de la defensa en el lecho del río; otra posibilidad es profundizar la protección ribereña hasta el nivel socavación calculado con una pendiente 2H:1V por debajo del nivel del lecho del río.

También puede considerarse la posibilidad de utilizar una combinación de los sistemas antes descritos, pudiendo este depender del nivel de exigencia del río como de la envergadura del proyecto.

- En proyectos donde se presenten ríos con alto grado de abrasión (cascajos de piedra, palizadas, elementos punzantes, etc.), es recomendable utilizar

elementos protectores que cubran la superficie de los geocontenedores como enrocados, materiales granulares, entre otros.

También existen geocompuestos que funcionan como material de encapsulamiento y como material protector, conformados ambos por elementos geosintéticos. En la industria de los geosintéticos estos materiales son por lo general geotextiles tejidos recubiertos por geotextiles no tejidos, los cuales en combinación (fusionados) logran cumplir con una mayor protección en comparación a solamente un geotextil tejido, el cual fue caso de estudio en el presente informe. Si bien no se ha determinado totalmente cual es grado de resistencia a la erosión de estos geotextiles o geocompuestos, se recomienda realizar pruebas de abrasión o desgaste, con la finalidad de determinar el grado de confiabilidad ante la erosión que puedan tener estos materiales ante los sedimentos con cascajos de piedra, palizadas u otros elementos que traiga consigo una corriente de un río.

BIBLIOGRAFÍA

- Barros de Almeida, Pérsio Leister, et. al., "Obras de Contención, Manual Técnico". Editorial Maccaferri do Brazil Ltda. Sau Paulo, 2008.
- Bezuijen, A. & Vastenburg, E. W., "Geosystems: design rules and applications". Editorial CRC Press/Balkema. 1.a Edición. Delft, Holanda, 2013.
- Chow, Ven Te, "Hidráulica de Canales Abiertos". Editorial Mc Graw-Hill Interamericana. Santafé de Bogotá, Colombia, 1994.
- Koerner, Robert M., "Designing whit geosynthetics". Editorial Pearson Prentice Hall, 5.a Edición. New Jersey, Estados Unidos de Norteamérica, 2005.
- Lawson, C. R., Paper: "Geotextile containment for hydraulic and environmental engineering". Geosynthetics International, 15, No. 6, pp. 384-427. s.l. 2008.
- Leshchinsky, D. y Leshchinsky, O., "Geosynthetic Confined Pressurized Slurry (GeoCoPS): Supplemental Notes for Version 1.0", Report TR CPAR-GL-96-1, US Army Corps of Engineers Waterways Experiment Station. Vicksburg, Mississippi, 1996.
- Loschacoff C. S., Brea J. D., Busquets M., Ormazabal P., Paper: "Algunas consideraciones sobre el cálculo de protecciones de márgenes en ríos". Primer Simposio Regional sobre Hidráulica de Ríos. Buenos Aires, Argentina, 2003.
- Martín Vide, Juan P., "Ingeniería de Ríos", Editorial Universidad Politécnica de Cataluña, Alfaomega grupo editor. México D.F., 2003.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones, "Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje". Lima, 2011.
- Plaut, R. H. & Filtz, G. M., Paper: "Deformations and tensions in single-layer and stacked geosynthetic tubes. Proceeding of the 1st Pan American Geosynthetic conference, pp. 382-389. Cancun, Mexico, 2008.
- Rocha Felices, Arturo, "Introducción a la Hidráulica Fluvial". Editorial Universidad Nacional de Ingeniería. 1.a Edición. Lima, 1998.

- Suárez Díaz, Jaime, "Control de Erosión en Zonas Tropicales", División editorial y de publicaciones Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, 2001.
- Vertematti, José Carlos, et. al., "Manual Brasileiro de Geossintéticos". Editora Edgard Blüncher Ltda. Sau Paulo, 2004.