

**PASANTÍA DE INVESTIGACIÓN EN EL APOYO AL DISEÑO DE MEDIDAS DE
MITIGACIÓN CONTRA RIESGO DE INUNDACIÓN EN EL RÍO DE ORO,
SECTOR PUENTE FLANDES-QUEBRADA CHIMITÁ, GIRÓN-SANTANDER.**

ANDRÉS CAMILO SANTOS SANTOS

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECHANICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA
2019**

**PASANTÍA DE INVESTIGACIÓN EN EL APOYO AL DISEÑO DE MEDIDAS DE
MITIGACIÓN CONTRA RIESGO DE INUNDACIÓN EN EL RÍO DE ORO,
SECTOR PUENTE FLANDES-QUEBRADA CHIMITÁ, GIRÓN-SANTANDER.**

ANDRÉS CAMILO SANTOS SANTOS

Proyecto de grado para optar al título de Ingeniero Civil

Director:

WILFREDO DEL TORO RODRIGUEZ

MSc en Ingeniería Civil

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECAICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2019

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	12
1. LOCALIZACIÓN.....	14
2. MARCO DE REFERENCIA.....	15
3.1 LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS.....	15
3.1.1 Levantamiento topográfico tradicional	15
3.1.2 Levantamiento topográfico 3D	15
3.2 MODELOS DIGITALES DE ELEVACIÓN	16
3.3 Medidas de mitigación	16
3.3.1 Medidas estructurales	17
3.3.2 Medidas no estructurales	17
3.4 MUROS EN GAVIONES	17
4. DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES REALIZADAS.	19
4.1 LEVANTAMIENTO 3D CON ESCÁNER LÁSER TERRESTRE.....	19
4.1.1 Tecnología implementada.....	19
4.1.2 Personal y equipos	19
4.1.3 Planeación levantamiento de información	21
4.1.4 Configuración del escáner láser terrestre	21
4.1.5 Captura de puntos de control.....	22
4.1.6 Levantamiento nube de puntos escáner láser terrestre	22
4.1.7 Procesamiento de las nubes de puntos	22
4.2 DISEÑO MUROS DE CONTENCIÓN EN GAVIÓN	23
4.2.1 Parámetros geomecánicos	25
4.2.2 Características gavión	25
4.2.3 Fuerzas desestabilizantes y estabilizantes	26
4.2.3.1 Coeficiente de empuje activo por efecto sísmico.	26

4.2.3.2 Empuje dinámico del agua.....	29
4.2.4 Fuerzas estabilizantes y desestabilizantes a lo largo de la base.	31
4.2.5 Capacidad de cimentación.....	37
4.2.6 Calculo tipo para muro de h=6.0M	38
4.2.6.1 Momento hidrostática.....	38
4.2.6.2 Momento hidrodinámica.....	39
4.2.6.3 Cálculo de la excentricidad.	39
4.2.6.4 Cálculo de los esfuerzos	40
4.2.6.5 Análisis de estabilidad.....	41
5. PLANOS	48
5.1 DISTRIBUCIÓN DE PLANOS PLANTA Y PERFIL	49
5.2 PLANOS DE SECCIONES TRASVERSALES	49
6. VALOR AGREGADOS.....	50
6.1 PRIORIZACIÓN DE OBRAS.....	50
6.1.1 Obras de intervención inmediata	51
6.1.2 Obras de intervención a largo plazo	51
7. CONCLUSIONES	52
BIBLIOGRAFÍA.....	53

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Localización Río de Oro.....	14
Figura 2. Mojoneros de nivelación.	19
Figura 3. Levantamiento con TLS.	22
Figura 4. Nube de puntos registrados.....	23
Figura 5. Curvas de nivel	23
Figura 6. Tramo de diseño	24
Figura 7. Fuerzas activas (Pa y Pae).....	29
Figura 8. Coeficiente c.	31
Figura 9. Peso del gavión	32
Figura 10. Peso de la lámina de agua	33
Figura 11. Fuerzas que actúan sobre el muro en gavión.....	35
Figura 12. Factores de capacidad.....	37
Figura 13. Muro en gaviones, altura 6.0m.	38
Figura 14. Esfuerzos verticales.....	40
Figura 15. Momento Estabilizante generados por el paso del gavión (Mr).	44
Figura 16. Momento Estabilizante generado por la lamina del agua (Mr).	45
Figura 17. Vista general de muro existente.	50
Figura 18. Sección típica de obras de intervención inmediatas.	51
Figura 19. Obras de canalización con intervención a largo plazo	51

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Características generales Escáner láserterrestre.	20
Tabla 2. Características Panorama 80.....	21
Tabla 3. Parámetros geotécnicos.	25
Tabla 4. Propiedades de gavión.	25
Tabla 5. Fuerzas activas (Pa y Pae).	28
Tabla 6. Presiones hidrostáticas Pw.	30
Tabla 7. Fuerzas desestabilizadoras Pwe.	31
Tabla 8. Peso del gavión	33
Tabla 9. Peso de la lámina de agua.....	34
Tabla 10. Fuerzas estabilizantes y desestabilizantes.	36
Tabla 11. Cálculo de capacidad portante.....	37
Tabla 12. Cálculo de excentricidad.	40
Tabla 13. Cálculo de los Esfuerzos Máximos y Mínimos	41
Tabla 14. Factor de seguridad por deslizamiento.	42
Tabla 15. Cálculo de capacidad portante.....	43
Tabla 16. Factor de seguridad por volcamiento.	47

LISTA DE ANEXOS

Ver anexos adjuntos en el CD y pueden visualizarlos en la base de datos de la Biblioteca UIS

Anexo A. Distribución de planos planta y perfil

Anexo B. Planos de secciones transversales

Anexo C. Programación tipo para muro de 6 m

RESUMEN

Titulo: PASANTÍA DE INVESTIGACIÓN EN EL APOYO AL DISEÑO DE MEDIDAS DE MITIGACIÓN CONTRA RIESGO DE INUNDACIÓN EN EL RÍO DE ORO, SECTOR PUENTE FLANDES-QUEBRADA CHIMITÁ, GIRÓN-SANTANDER..*

Autora: Andrés Camilo Santos Santos**

Palabras Clave: Geotécnica, Medidas de mitigación, Inundación, Gaviones.

El presente trabajo se realizó bajo la modalidad de pasantía de investigación en el marco del desarrollo del proyecto Actualización de los estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por inundación del Río de Oro (sector Nuevo Girón - Café Madrid, 20 km aprox) y del Río Frio (sector PTAR - Girón, 6km aprox), dicho proyecto fue realizado por el grupo de investigación GEOMÁTICA, gestión y optimización de sistemas, adscrito a la escuela de ingeniería civil de la Universidad Industrial de Santander. El principal aporte de este trabajo fue el apoyo en la elaboración de los diseños de ingeniería de detalle para la construcción de las obras de marginalización del Río de Oro en el tramo piloto comprendido entre la desembocadura de la Quebrada la Iglesia y la Quebrada Chimitá, que involucra el levantamiento topográfico detallado con escaneo tridimensional de nube de punto y el análisis dinámico del empuje de agua. Asimismo, la pasantía tuvo como propósito principal actualizar los estudios de amenaza de la localidad ya mencionada, a través de diagnósticos geotécnicos con el fin de prevenir posibles inundaciones. Lo anterior fue posible gracias al uso de diversos programas tecnológicos que facilitaron el levantamiento de información en campo de la topografía del terreno y el diseño de los muros en gavión que pueden mitigar el impacto o la trascendencia de las inundaciones en el sector.

* Proyecto de grado

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas, Escuela de Ingeniería Civil. Director: Wilfredo Del Toro Rodríguez

ABSTRACT

Title: RESEARCH INTERNSHIP IN THE SUPPORT TO THE DESIGN OF MITIGATION MEASURES AGAINST RISK OF FLOOD IN THE RIO DE ORO, SECTOR BRIDGE FLANDES-QUEBRADA CHIMITÁ, GIRÓN-SANTANDER *

Author: Andrés Camilo Santos Santos**

Keywords: Geotechnical, Mitigation measures, Flood, Gabions.

This work was made in the modality of research internship in the framework of the project “Actualización de los estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por inundación del Río de Oro (sector Nuevo Girón - Café Madrid, 20 km aprox) y del Río Frio (sector PTAR - Girón, 6km aprox)”, which is developed by the research group GEOMATICA, Gestión y optimización de sistemas, ascribed to civil engineering program of the Universidad Industrial de Santander. The main contribution of this work was the support to the elaboration of detailed engineering designs for the construction of the marginalization of the river Rio de Oro in the prototype design between the mouth of the brooks “la Iglesia” and brook “Chimitá” involving the detailed topographic with three-dimensional scan of point cloud and the dynamic analysis push water. Also, the main purpose of the internship was to update the threat studies of the aforementioned town, through geotechnical diagnostics in order to prevent possible flooding. This was possible thanks to the use of various technological programs that facilitated the release of information in the field of land topography and the design of gabion walls that can mitigate the impact or transcendence of flooding in the sector.

* Proyecto de grado

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas, Escuela de Ingeniería Civil. Director: Wilfredo Del Toro Rodríguez

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial los desastres naturales asociados con el agua tales como inundaciones, tormentas y sequías, representan 9 de cada 10 desastres naturales, situación que se agrava con el continuo cambio climático¹. En relación, el Banco Mundial (BM) ha estimado que año a año en promedio 26 millones de personas quedan sumidas en la pobreza por los desastres ya mencionados, debido a que estos desastres acarrearán a la economía global un costo estimado de USD 520.000 millones².

Asimismo, en América Latina se triplicaron los eventos climáticos durante el periodo entre 1970 y 2014, dando como resultado que de cada 10 desastres naturales 7 sean por tormentas e inundaciones³; Ahora bien, Colombia no es ajena a estos eventos, ya que, la presencia de llanuras bajas y valles aluviales junto a las condiciones de precipitación facilitan la ocurrencia de inundaciones. Estas inundaciones pueden ocurrir de manera lenta y afectar grandes extensiones de terreno, otras pueden ocurrir de forma más rápida debido a que están asociadas a lluvias intensas en la parte alta de las cuencas con fuertes pendientes ⁴.

Debido a lo anterior, en Colombia se compila información sobre las afectaciones que generan las inundaciones, por ejemplo, en el periodo comprendido entre 1970

¹ HAGBRINK Isabel, “Agua: Panorama general.” [En línea]. Disponible en: <https://www.bancomundial.org/es/topic/water/overview>. [citado el: 13-Nov-2018]

² BANCO MUNDIAL, “Seguros climáticos,” 2017. [En línea]. Disponible en: <https://www.bancomundial.org/es/results/2017/12/01/climate-insurance>. [citado el: 13-Nov-2018].

³ BANCO MUNDIAL, “¿Cómo ganarle la pelea a la sequía en América Latina?,” 2017. [En línea]. Disponible en: <https://www.bancomundial.org/es/news/feature/2017/12/06/escasez-agua-america-latina>. [Citado el: 13-Nov-2018].

⁴ CAMPOS A. *et al.*, “Análisis de la gestión del riesgo de desastres en Colombia BANCO MUNDIAL COLOMBIA Coordinadores y editores Fondo Mundial para la Reducción y Recuperación de Desastres.”

y 2011 se declarara que 190 mil unidades residenciales fueron destruidas por diferentes desastres de orden natural, donde las inundaciones fueron causantes de más de 79 mil viviendas devastadas⁵.

En este sentido puede decirse que el 12% del territorio nacional se encuentra localizado en áreas con una mayor susceptibilidad a inundarse y específicamente la población localizada en zonas con mayor potencial de inundación se encuentra distribuida en 79 municipios, que representan el 28% del total de la población nacional⁶. En el 2005 el municipio de Girón, Santander, sufrió una catástrofe con cerca de 996 viviendas destruidas, más de 50 muertos y cuantiosas pérdidas económicas, producto del desbordamiento del Río de Oro y una gran cantidad de flujos hiperconcentrados y deslizamientos; los valores de precipitación alcanzaron 285 mm en 108 horas, con intensidades superiores a 40mm/h, los cuales ocasionaron un aumento drástico en los niveles de escorrentía que destruyeron y sepultaron casas en aproximadamente nueve barrios⁷.

Como medida para mitigar el alto riesgo de inundación, son comúnmente implementados los muros en gavión por su económica y fácil implementación a diferencia de otros tipos de contención ofreciendo la misma resistencia. Los materiales utilizados en los gaviones pueden soportar varios años de uso expuestos a la erosión y corrosión, debido a la forma constructiva como se realizan, poseen una muy buena permeabilidad, lo que permite un drenaje natural y una disminución de velocidad de la escorrentía⁸.

⁵ BANCO MUNDIAL, "Análisis de la gestión del riesgo de desastres en Colombia: un aporte para la construcción de políticas públicas," *Sist. Nac. Inf. para la Gestión del Riesgo Desastr.*, p. 438, 2012

⁶ *Ibíd.*

⁷ SUAREZ J., "Eventos históricos de grandes inundaciones en el Río de Oro." [en línea]. Disponible en: <http://www.erosion.com.co/efectos-del-agua-en-deslizamientos/43-deslizamiento-e-inundacion-en-giron-santander.html?showall=1&limitstart=>

⁸ MARTINES Contanza, "Mundo Gavión," 2015. [en línea]. Disponible en: <http://mundogavion.blogspot.com/2015/06/ventajas-y-desventajas-de-los-muros.html>. [Citado el: 16-Nov-2018]

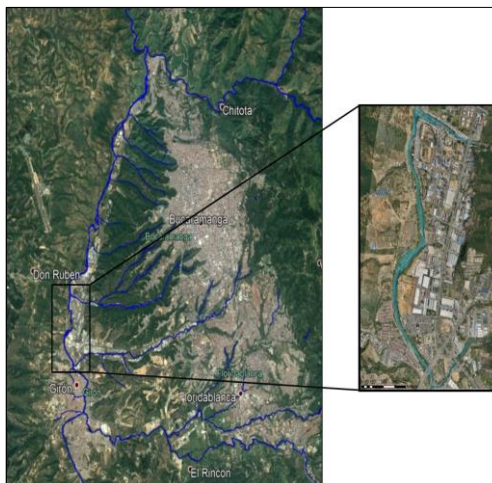
1. LOCALIZACIÓN

El municipio de Girón está localizado al nororiente del país en el departamento de Santander, Colombia. Se ubica a 7 kilómetros de su capital Bucaramanga y hace parte del Área Metropolitana junto con los municipios de Piedecuesta y Floridablanca.

Los ríos de Oro y Frío pertenecen a la cuenca superior del río Lebrija, que incluye los municipios de Bucaramanga, Floridablanca, Girón, Piedecuesta y Tona, al norte del departamento de Santander, en las vertientes occidentales de la cordillera oriental colombiana.

A su paso por el casco urbano del municipio de Girón, el río de Oro en el periodo de retorno de 2 años, se encuentra al límite de su capacidad y se presentan algunos desbordamientos en las zonas que están aproximadamente a 20 metros del borde del cauce.

Figura 1. Localización Río de Oro



Fuente: Equipo técnico Grupo de Investigación Geomántica UIS

2. MARCO DE REFERENCIA

3.1 LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS

El levantamiento topográfico es la primera fase del estudio técnico y descriptivo de un terreno.

Se entiende por levantamiento Topográfico al conjunto de actividades que se realizan en el campo con el objeto de capturar la información necesaria que permita determinar las coordenadas rectangulares de los puntos del terreno, ya sea directamente o mediante un proceso de cálculo, con las cuales se obtiene la representación gráfica del terreno levantado, el área y volúmenes de tierra cuando así se requiera⁹.

3.1.1 Levantamiento topográfico tradicional La topografía tradicional aún se encuentra vigente en diferentes áreas, debido a su precisión y rapidez en trabajos específicos, sin embargo requiere mayor planificación, recurso humano y logístico para realizar un trabajo seguro y eficiente, una de sus ventajas es la posibilidad de entregar resultados de precisión sin necesidad de realizar un post proceso para la toma de decisiones en terreno¹⁰.

3.1.2 Levantamiento topográfico 3D La topografía levantada a partir del escáner laser 3D disminuye considerablemente los procesos de planificación, requiere menor recurso humano y logísticos; Además el Escáner Láser 3D permite entregar información con un máximo nivel de detalle en un tiempo corto de trabajo en terreno

⁹ PACHAS R. .-L. and - Academia-Trujillo-Venezuela Topográfico, "El levantamiento topográfico: uso del gps y estación total Surveying: Use of GPS and Total Station."

¹⁰ GONZÁLEZ Esteban, "Nosotros | EGV Ingeniería." [e]. Available: <https://www.egv.cl/nosotros/>. [Accessed: 20-Nov-2018].

utilizando un método no invasivo permitiendo realizar un trabajo seguro comparado con la topografía tradicional¹¹.

3.2 MODELOS DIGITALES DE ELEVACIÓN

Los Modelos Digitales de Elevación se caracterizan por su exactitud y grado de detalle digital, De los cuales se pueden generar archivos MDT (Modelos Digitales de Terreno). Los cuales Implementa la tecnología LIDAR Para la obtención de modelos de alta resolución y de visualización e 3D, como los son mapas de erosión, pendientes y de rugosidad, entre otros.

La generación de un modelo digital de elevación comienza con el levantamiento mediante el escaner y su respectiva georeferenciación en el plano ó imagen; A la imagen ráster resultante, le son extraídas las curvas de nivel convirtiéndolas en vectores y añadiéndoles sus correspondientes valores de elevación. Una vez que la imagen ha sido totalmente digitalizada, se crea una representación ráster del mapa con base en esos elementos vectoriales, para después añadirle los elementos hidrográficos, tales como ríos y lagos¹²..

3.3 Medidas de mitigación

Las medidas de mitigación asociadas al desarrollo de procesos constructivos, constituyen el conjunto de acciones de prevención, mitigación y compensación de los impactos negativos que deben acompañar el desarrollo de un proyecto, a fin de

¹¹ Ibíd.

¹² NOVILLO LOPEZ Daniel, “El riesgo de inundación. Medidas estructurales y medidas no estructurales. Herramientas para la cuantificación.” 2012. [en línea]. Disponible en: <https://www.eoi.es/blogs/danielnovillo/2012/04/26/el-riesgo-de-inundacion-medidas-estructurales-y-medidas-no-estructurales-herramientas-para-la-cuantificacion/>. [citado: 11-Dec-2018].

asegurar el uso sostenible de los recursos constructivos involucrados y la protección del medio ambiente ¹³.

Las medidas para reducir el riesgo de inundación se dividen en dos grupos: medidas estructurales y medidas no estructurales.

3.3.1 Medidas estructurales Las medidas estructurales engloban todas aquellas construcciones que reducen o evitan el posible impacto de la inundación, incluyendo un amplio rango de obras de ingeniería civil. Su funcionalidad se encuentra limitada, ya que se diseñan para eventos asociados a una cierta probabilidad anual de excedencia, de manera que si se produce un evento superior al de diseño, la estructura no es capaz de proporcionar la protección necesaria frente a la inundación, y pierde su funcionalidad¹⁴.

3.3.2 Medidas no estructurales Las medidas no estructurales incluyen políticas, concienciación, desarrollo del conocimiento, reglas de operación, así como mecanismos de participación pública e información a la población, de modo que puede reducirse el riesgo existente y los impactos derivados de la inundación, estas medidas buscan la reducción de la vulnerabilidad de la población en riesgo a partir del planeamiento y la gestión llevados a cabo antes, durante y después de la catástrofe¹⁵.

3.4 MUROS EN GAVIONES

Los muros de gaviones son estructuras flexibles, constituidas por cajas fabricadas de malla de alta resistencia con dimensiones que vienen en fracciones de medio

¹³ I. UNIVERSITARIA COLEGIO MAYOR DE ANTIOQUIA, *Manual de gestión para obras en construcción*. 2010

¹⁴ NOVILLO LOPEZ Daniel Op. Cit.

¹⁵ Ibíd.

metro, las cuales son rellenas con bloques sanos de roca. La conformación dada permite que se pueda realizar un esquema modular que facilita la configuración de una amplia variedad de posibilidades geométricas para el muro. Los muros de gaviones trabajan como muros de gravedad cuya función principal la de soportar los empujes laterales del terreno. Es de mencionar que específicamente estas estructuras son diseñadas para el empuje activo del terreno, debido a que por su flexibilidad se esperan deformaciones del suelo suficientes para que se alcance un estado del suelo, con la correspondiente reducción de la resistencia cortante, en relación a la condición de reposo¹⁶.

¹⁶ VENEGAS PIÑAR R., "Proyecto de construcción de un muro de gaviones de 960 m³," 2008

4. DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES REALIZADAS.

4.1 LEVANTAMIENTO 3D CON ESCÁNER LÁSER TERRESTRE

En este punto se realizaron actividades de apoyo al levantamiento 3D con escáner láser terrestre en el área de riesgo analizada, a partir del escáner de una franja de 50 metros a lo largo del tramo de 2.3 km. En este trabajo se implementaron 320 estaciones, a su vez, se consideraron las quebradas de La Iglesia y Chimita como complemento al modelo formado.

Figura 2. Mojones de nivelación.



Fuente: Equipo técnico Grupo de Investigación Geomántica UIS

4.1.1 Tecnología implementada Se implementó un láser con sistema LIDAR aerotransportado, el cual realiza un barrido de la tierra mediante un haz láser desde un equipo estacionado en la superficie del suelo.

4.1.2 Personal y equipos Para elaborar el levantamiento topográfico fue necesario contar con personal capacitado y el equipo adecuado de la siguiente manera:

Personal: Un profesional especializado en el manejo del Escáner Láser Terrestre y procesamiento de las nubes de puntos, profesional de campo para el levantamiento de las nubes de puntos, **Magna-Sirgas Colombia-Bogotá**, técnico en topografía, un cadenero, un vigilante de seguridad, y 2 auxiliares de ingeniería.

Equipos:

- Escáner láser terrestre marca RIEGL VZ-400, cámara fotográfica marca NIKON 700 de 12.1 Megapíxeles.
- Trípode de aluminio.
- Cilindros reflectores para la georreferenciación de las posiciones de escaneo.
- Dispositivos GNSS RTK de alta precisión marca Topcon GR-5.
- Nivel de precisión Kern, equipos de cómputo de alto rendimiento para el procesamiento de la información.
- Software RiSCAN PRO 1.8 para el procesamiento de las nubes de puntos, y software para la descarga y transformación de las coordenadas recolectadas con el GPS de alta precisión.

Tabla 1. Características generales Escáner láser terrestre.

escáner láser terrestre	
Detalle	Características
Puntos por posición de escaneo	Entre 6.0 y 8.0 millones
Alcance	350-600 m
Peso	9.6 kg
Tipo cámara integrada	NKON 700
Resolución cámara integrada	12.1 MP
Precisión	3-5 mm

Batería	Externa
Duración posición de escaneo	1.5-2.0 Mn
Resolución de escaneo	0.02-0.08
GPS y brújula	integrado
Software	Ris can pro

Fuente: Equipo técnico Grupo de Investigación Geomántica UIS

4.1.3 Planeación levantamiento de información Se determinaron las características necesarias para el correcto funcionamiento del escáner láser y las metodologías a usar. Asimismo, se emplearon las imágenes tomadas por medio aéreo para establecer los puntos probables para la ubicación del escáner.

4.1.4 Configuración del escáner láser terrestre Se requirió del alistamiento configuracional del laser terrestre de acuerdo a los resultados que se deseaban obtener.

Resolución de escaneo: se define como esquema a seguir el Panorama 80.

Tabla 2. Características Panorama 80

	Ángulo de inicio	Ángulo de parada	Incremento
Escaneo Vertical	30°	130°	0.08°
Escaneo Horizontal	0	360°	0.08°

Fuente: Equipo técnico Grupo de Investigación Geomántica UIS

Sistema de referencia: el sistema se rige bajo el estándar internacional WGS84 y en los resultados del levantamiento.

4.1.5 Captura de puntos de control Se determinó una red de 10 mojones distribuidos en la zona de forma que permitieran una correcta nivelación, mientras que se asignan las respectivas coordenadas para registrar correctamente la información en el sistema de referencia.

4.1.6 Levantamiento nube de puntos escáner láser terrestre Se realizó la toma de 320 estaciones adicionales a las 150 con el fin de registrar detalladamente la zona en la que se dispondrán los muros de gavión.

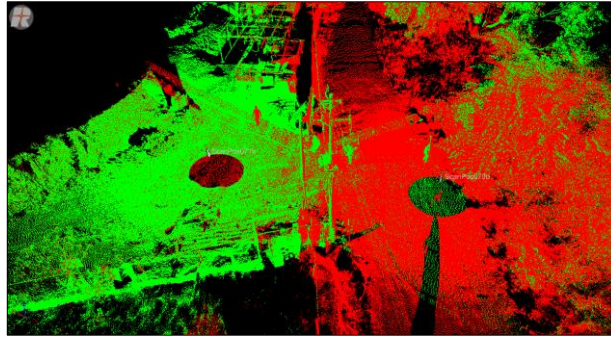
Figura 3. Levantamiento con TLS.



Fuente: Equipo técnico Grupo de Investigación Geomántica UIS

4.1.7 Procesamiento de las nubes de puntos Este proceso es necesario para para crear una nube continua de puntos con la totalidad de posiciones de escaneo. Para este trabajo se implementó el método manual donde se procuró encontrar cuatro puntos en común entre dos posiciones de escaneo y así identificar posibles errores que pueden ser reducidos gracias al software Riscan Pro.

Figura 4. Nube de puntos registrados



Fuente: Equipo técnico Grupo de Investigación Geomántica UIS

Adicionalmente, se hace un filtro de los puntos registrados por zonas y así eliminar aquellos puntos que no pertenecen al terreno, dichos puntos filtrados se usan para generar las curvas de nivel en el software CAD.

Figura 5. Curvas de nivel



Fuente: Equipo técnico Grupo de Investigación Geomántica UIS

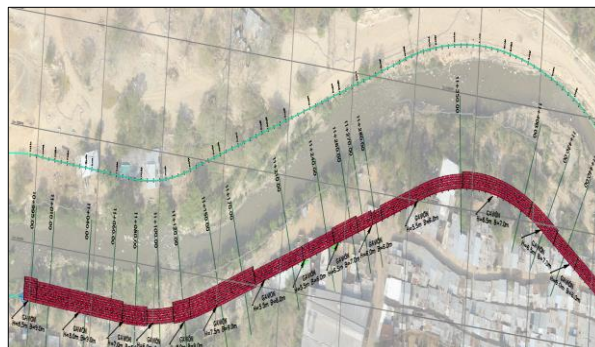
4.2 DISEÑO MUROS DE CONTENCIÓN EN GAVIÓN

En el desarrollo de este proyecto se propuso el diseño de muros de contención, basados en los parámetros de estabilidad y resistencia. Además de ello, se presentan las instrucciones pertinentes para lograr un correcto dimensionamiento y chequeo del Gavión, estas son las siguientes:

- En primer lugar, debe realizarse el dimensionamiento provisional del gavión.
- Luego de ello, se debe estimar las fuerzas que estabilizan y desestabiliza el gavión.
- Después, se deben aplicar los factores de cargas y calcular los momentos, las fuerzas y las reacciones que producen estas.
- Posteriormente, se determinan los factores de seguridad.
- Por último, se hace el cálculo de las resistencias máximas en los tramos más críticos de la sección, con el fin de determinar si se realizan modificaciones al modelo inicialmente planteado.

Ahora bien, el diseño de las diferentes tipologías de muros se basa en ensayos de laboratorios dando cumplimiento a los factores de seguridad y la capacidad portante del terreno, mientras que, la metodología es desarrollada para el pre dimensionamiento de los muros en gaviones, lo cual, requiere el diseño de las diferentes tipologías de muros. Durante esta etapa de diseño se realizaron actividades de apoyo en el tramo comprendido entre las abscisas K10+990 y K11+670 de la margen derecha del Rio de Oro, el cual, tiene una longitud total de 681 metros y cuenta con 8 tipologías de muros que van desde los 5 metros hasta 8.5 metros de altura.

Figura 6. Tramo de diseño



4.2.1 Parámetros geomecánicos Los parámetros geomecánicos, necesarios para la realización del dimensionamiento y verificación de la estabilidad de la estructura, están basados en la exploración geotécnica ejecutada en la zona requerida, y al estudio de suelos, de los cuales se obtuvieron los siguientes valores:

Tabla 3. Parámetros geotécnicos.

Datos Sobre el Relleno		
Cohesión (Cu)	1150.6	kg/m ²
Angulo de Fricción (Φ)	34	°
Peso Esp. Del suelo (γ)	2000	kg/m ³
Profundidad de terreno actual (D)	1.7	m
Profundidad del terreno en el lecho (DL)	1.2	m
Inclinación del Talud (α)	0	°

Fuente: Equipo técnico Grupo de Investigación Geomántica UIS

4.2.2 Características gavión Para el diseño elaborado se usaron los siguientes parámetros geométricos y materiales de construcción:

Tabla 4. Propiedades de gavión.

Datos Sobre el Gavión		
Inclinación del Muro	0.0 ó $\beta=90$	°
Peso Esp. De las piedras	2400	kg/m ³
Porosidad de los gaviones	30	%
Altura del Gavión (H)	6	m
Base del Gavión (B)	6	m

Fuente: Equipo técnico Grupo de Investigación Geomántica UIS

Como se especificó anteriormente, se define un peso específico del material rocoso con un coeficiente de porosidad de 30%.

4.2.3 Fuerzas desestabilizantes y estabilizantes Para la evaluación de las sollicitaciones de carga se determinaron las fuerzas estabilizantes y las desestabilizantes.; las primeras están conformadas por el peso propio de la estructura y el empuje por el tacón, mientras las segundas, determinan el empuje activo producido por el terreno a contener y el empuje producido por el movimiento sísmico.

4.2.3.1 Coeficiente de empuje activo por efecto sísmico. El empuje activo fue calculado a partir de la teoría de Coulomb, la cual, permite calcular las presiones activas considerando un suelo granular sin cohesión ($C_u=0$). Adicionalmente, se incluyeron condiciones sísmicas con el fin de que el planteamiento sea próximo de la realidad. En concordancia, según la actividad sísmica del sector y siguiendo las indicaciones de la NSR-10 título A, se consideran valores de¹⁷:

$$K_h = \frac{\text{Componente Horizontal de la aceleración del sismo}}{\text{aceleración debida a la gravedad, g}} = 0.25$$

$$K_v = \frac{\text{Componente Vertical de la aceleración del sismo}}{\text{aceleración debida a la gravedad, g}} = 0.10$$

Donde, los resultados de las fuerzas desestabilizadoras (empuje activo (P_a) y empuje activo sísmico (P_{ae}), se calcularon utilizando la siguiente teoría¹⁸.

$$P_a = \frac{1}{2} K_a \gamma H^2 \quad (1)$$

¹⁷ DAS B. M., *Fundamentos ingeniería cimentaciones*. cengage learning, 2012

¹⁸ DE LA COMISIÓN S., "Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial Viceministerio de Vivienda y Desarrollo Territorial Dirección del Sistema Habitacional República de Colombia Comision asesora permanente para el regimen de construcciones sismo resistentes (Creada por la Ley 400 de 1997) NSR-10 TÍTULO H-ESTUDIOS GEOTÉCNICOS

Donde,

- ✓ Coeficiente de Empuje Activo (Ka).
- ✓ Profundidad de terreno lecho (H).
- ✓ Peso específico del suelo γ .

$$Ka = \frac{\sin(\beta + \Phi)^2}{\sin(\beta)^2 \sin(\beta - \delta) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\Phi + \delta) \sin(\Phi - \alpha)}{\sin(\beta - \delta) \sin(\alpha + \beta)}} \right]^2} = 0.254 \quad (2)$$

$$Pa = \frac{1}{2} * 0.254 * 2000 * 1.2^2 = 366.1 \text{ kg/m} \quad (3)$$

La relación para estimar los esfuerzos activos por unidad de longitud de muro (pae) se puede determinar cómo¹⁹:

$$Pae = \frac{1}{2} \gamma H^2 (1 - Kv) Ka_e \quad (4)$$

- ✓ Coeficiente de Empuje Activo sísmico (Ka_e).
- ✓ Profundidad de terreno lecho (H).
- ✓ Peso específico del suelo γ .
- ✓ Aceleración Kv .

Donde,

¹⁹ Ibíd.

$$K_{ae} = \frac{\sin(\beta + \Phi - \theta)^2}{\cos(\theta) \sin(\beta)^2 \sin(\beta - \delta - \theta) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\Phi + \delta) \sin(\Phi - \theta - \alpha)}{\sin(\beta - \delta - \theta) \sin(\alpha + \beta)}} \right]^2} = 0.476 \quad (5)$$

$$P_{ae} = \frac{1}{2} * 2000 * 1.2^2 (1 - 0.1) 0.476 = 616.4 \text{ kg/m} \quad (6)$$

Obteniendo el delta de fuerzas horizontales ejercidas por el muro.

$$\Delta P_{ae} = P_{ae} - P_a \quad (7)$$

Donde,

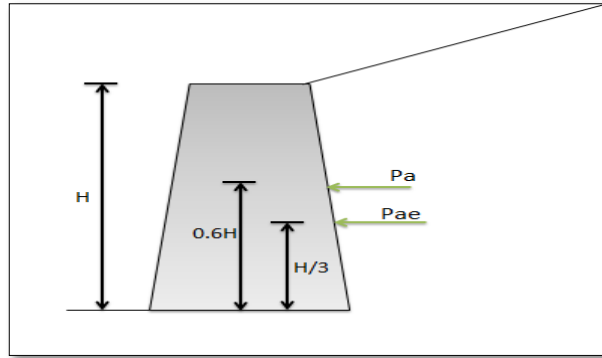
- ✓ P_{ae} = empuje activo sísmico
- ✓ P_a = empuje activo

$$\Delta P_{ae} = 616.4 - 366.1 = 250.2 \text{ kg/m} \quad (8)$$

Tabla 5. Fuerzas activas (Pa y Pae).

Coef. de Empuje Activo (K_{ae})	0.476	
Coef. de Empuje Activo (K_a)	0.254	
Altura en el lecho de río (H')	1.2	m
Fuerza del Empuje Activo (P_a)	366.1	Kg/m
Fuerza del Empuje Activo (P_{ae})	616.4	Kg/m
Diferencia de Empujes (ΔP_{ae})	250.2	Kg/m

Figura 7. Fuerzas activas (Pa y Pae).



4.2.3.2 Empuje dinámico del agua

a. Fuerzas hidrostáticas Pw.

La presión unitaria de agua aumenta en proporción a su profundidad, la presión del agua (Pw) es normal a la superficie del muro y está representada por una distribución de carga triangular, donde su resultante esta aplicada a 2/3 de la altura entre la base del muro y la superficie de agua²⁰.

$$P_w = \frac{1}{2} * \gamma_w * H^2 \quad (9)$$

Donde,

- ✓ Peso unitario del agua en kg/m³ (γ_w).
- ✓ Profundidad total del agua en el muro (H).

$$P_w = \frac{1}{2} * 1000 * 6^2 = 18000 \text{ Kg/m} \quad (10)$$

²⁰ DASEL H., *presas pequeñas de concreto*. Mexico: limusa, 1978

Tabla 6. Presiones hidrostáticas Pw.

Presiones hidrostáticas por nivel afluyente		
h lámina de agua afluyente	6	m
Peso Esp. Agua (γ)	1000	Kg/m ³
H/3	2.00	m
Fuerza por nivel del afluyente	18000.00	Kg/m

b. Fuerza hidrodinámica Pwe.

Además de la fuerza dinámica ejercida al muro por efectos del sismo, la estructura también es afectada por la presión hidrodinámica causada por el agua libre, y es representada aproximadamente por una distribución parabólica, donde su resultante esta aplicado a 2/5 de la altura entre la base del muro y la superficie de agua, se determina así²¹:

$$P_{we} = 0.726 C * K_h * \gamma_w * H^2 \quad (11)$$

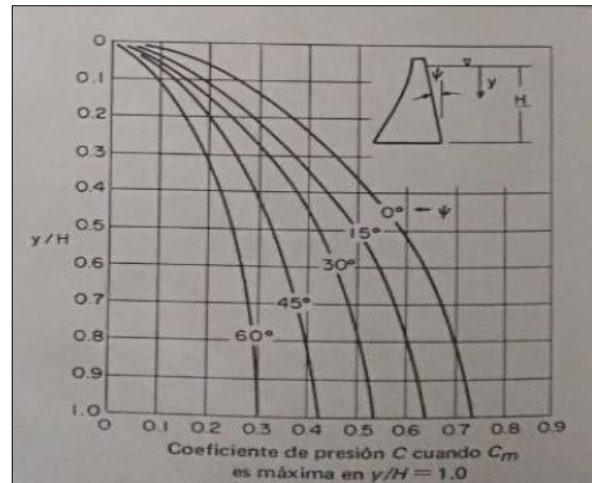
Donde,

- ✓ Coeficiente sin dimensión para la distribución y magnitud de las presiones (C).
- ✓ Coeficiente sísmico horizontal (K_h) en unidades de gravedad.
- ✓ Peso unitario del agua en kg/m³ (γ_w).
- ✓ Profundidad total del agua en el muro (H).

El Coeficiente C es igual a 0.73 cuando se asume que la presión del agua está calculada tomando en cuenta la altura hasta su nivel máximo.

²¹ Ibíd.

Figura 8. Coeficiente c.



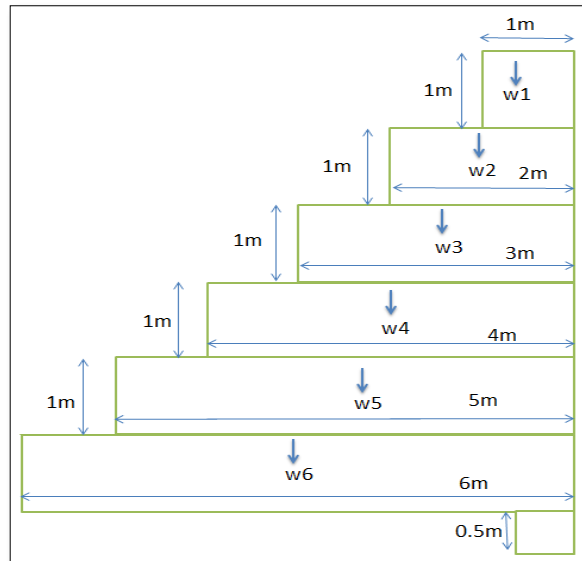
$$P_{we} = 0.726 * 0.73 * 0.25 * 1000 * 6^2 = 4769.82 \text{ Kg/m} \quad (12)$$

Tabla 7. Fuerzas desestabilizadoras P_{we} .

presión hidrostática sísmico		
C	0.73	
aceleración horizontal	0.25	g
Fuerza horizontal, ve	4769.82	Kg/m

4.2.4 Fuerzas estabilizantes y desestabilizantes a lo largo de la base. Las fuerzas principales que actúan sobre un muro de contención, están constituidas por: la presión de la tierra contra el plano vertical, la presión de la tierra pasiva, la presión del suelo que actúa verticalmente, los pesos de las partes que integran el muro, el relleno y la lámina de agua arriba de la base. Además de ello es necesario tener en cuenta la presión o empuje que puede producirse por el efecto sísmico.

Figura 9. Peso del gavión



Para el cálculo de las fuerzas verticales producidas por el peso del gavión se realiza un analisis por los niveles que constituyen el muro, así:

$$\text{volumen} = L * B * H \quad (13)$$

A partir de la ecuación 11 se realiza el cálculo para el volumen del primer nivel del gavión, para determinar posteriormente el peso.

$$v = 1 * 1 * 1 = 1 \text{ m}^3/\text{m} \quad (14)$$

$$W1 = V * (1 - P_g) * P_e \quad (15)$$

Donde,

- ✓ V = volumen del gavión
- ✓ P_g = coeficiente de porosidad
- ✓ P_e = Peso específico de las piedras

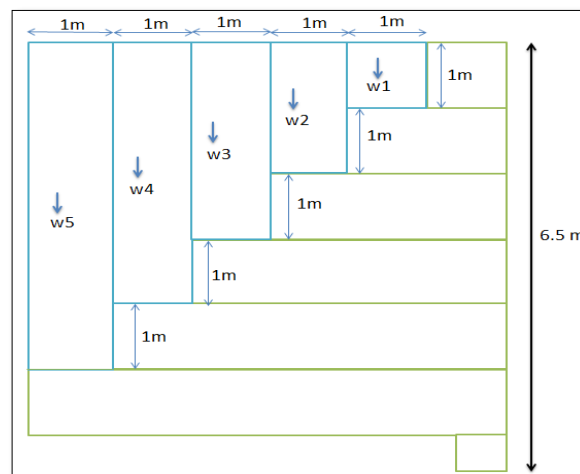
$$W1 = 1 * (1 - 30\%) * 2400 = 1680 \text{ kg} \quad (16)$$

Tabla 8. Peso del gavión

Peso gavión part1 (w1)	1680	kg
Peso gavión part2 (w2)	3360	kg
Peso gavión part3 (w3)	5040	kg
Peso gavión part4 (w4)	6720	kg
Peso gavión part5 (w5)	8400	kg
Peso gavión part6 (w6)	10080	kg
Peso Tacón (wt)	420	kg
Dist. Hasta c. -gavpart1 (bw1)	0.5	m
Dist. Hasta c. -gav part2 (bw2)	1	m
Dist. Hasta c. -gav part3 (bw3)	1.5	m
Dist. Hasta c. -gav part4 (bw4)	2	m
Dist. Hasta c. -gav part5 (bw5)	2.5	m
Dist. Hasta c. -gav part6 (bw6)	3	m
Dist. Hasta c. -tacón (bt)	0.25	m

En la figura 10, se muestran las fuerzas generadas por la lámina de agua que actúan sobre el gavión.

Figura 10. Peso de la lámina de agua



$$\text{volumen} = L * B * H \quad (17)$$

$$v = 1 * 1 * 1 = 1 \text{ m}^3/\text{m} \quad (18)$$

Seguidamente se realiza el cálculo del volumen producido por la lamina de agua teniendo en cuenta la ecuación 15, con el fin de determinar el peso del agua que se ejerce sobre el muro en gavión.

$$W1 = V * Pg \quad (19)$$

Donde,

- ✓ V = volumen del gavión
- ✓ Pg = coeficiente de porosidad

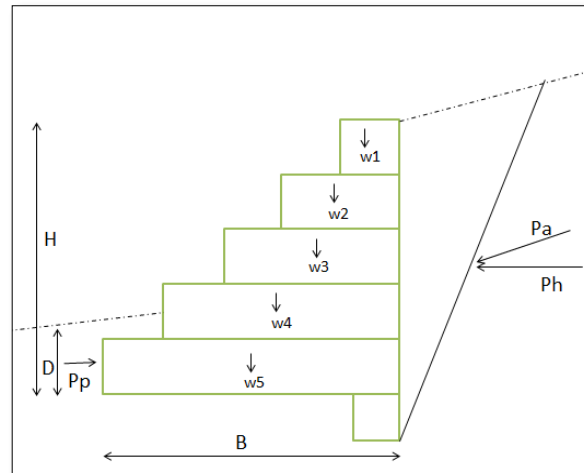
$$W1 = 1 * 1000 = 1000 \text{ kg} \quad (20)$$

Tabla 9. Peso de la lámina de agua

Peso agua parte 1 (w1)	1000.0	kg/m ³
Peso agua parte 2 (w2)	2000.0	kg/m ³
Peso agua parte 3 (w3)	3000.0	kg/m ³
Peso agua parte 4 (w4)	4000.0	kg/m ³
Peso agua parte 5 (w5)	5000.0	kg/m ³
Dist. Hasta c. agua parte 1 (bw1)	1.5	M
Dist. Hasta c. agua parte 2 (bw2)	2.5	m
Dist. Hasta c. agua parte 3 (bw3)	3.5	m
Dist. Hasta c. agua parte 4 (bw3)	4.5	m
Dist. Hasta c. agua parte 5 (bw3)	5.5	m

La figura 11 muestra las fuerzas que actúan sobre el muro en gavión

Figura 11. Fuerzas que actúan sobre el muro en gavión



Ahora bien, con base en la hipótesis de que la presión activa de rankine actúa a lo largo de un plano vertical AB trazado a través del talón, se puede calcular la fuerza de presión activa, teniendo en cuenta la siguiente ecuación²².

$$Pp = \frac{1}{2} \gamma D^2 Kp + 2Cu_2 D \sqrt{Kp} \quad (21)$$

Donde,

γ = peso específico

Kp = coeficiente de la presión pasiva de tierra de Rankine = $\tan^2 (45 + \Phi / 2)$

Cu_2, Φ = cohesión y ángulo de fricción del suelo, respectivamente

D= altura desde la cimentación hasta cota del terreno

$$Kp = \tan^2 \left(45 + \frac{34}{2} \right) = 3.5 \quad (22)$$

²² DAS B. M., *Fundamentos ingeniería cimentaciones*. cengage learning, 2012.

El empuje Pasivo (Pp) fue calculado considerando la cohesión del suelo de cimentación (Cu).

$$Pp = \frac{1}{2} * 2000 * 1^2 * 3.5 + 2 * 1150.6 * 1 * \sqrt{3.5} = 17579.8 \quad (23)$$

Donde,

- ✓ Σ fuerzas verticales (Σv).
- ✓ Contantes $k1 = k2 = 2/3$.
- ✓ Cohesión del terreno (Cu).

En la figura 11 se muestra que la fuerza pasiva Pp tambien es una fuerza horizontal resistente, al igual que la siguiente²³.

$$\Sigma F_e = \left(\left(\Sigma V \right) \tan(k1 \Phi) \right) + (B)(k2)(Cu) + Pp + Pt \quad (24)$$

$$\Sigma F_e = \left((48780.0 * \tan\left(\frac{2}{3} * 34\right) * \right) + (6) \left(\frac{2}{3}\right) (1150.6) + 7865 = 43355.8 \quad (25)$$

Tabla 10. Fuerzas estabilizantes y desestabilizantes.

Fuerzas estabilizantes y desestabilizantes	
Coef. de Empuje pasivo (Kp)	3.537
Fuerza del Empuje Pasivo (Pp) kg	17579.789
Σ fuerzas verticales (Σv) kg	50700.000
Σ fuerzas Estabilizantes kg	43355.8092
Σ fuerzas Desestabilizantes (Σh) kg	23386.19

²³ Ibíd.

4.2.5 Capacidad de cimentación. Para el cálculo de la capacidad de carga última del suelo (q_u), se utiliza el concepto aplicado por (Terzaghi), el cual esta expresado de la siguiente manera.

$$q_u = C_u * N_c + q * N_q + 0.5 * \gamma * B * N_r \quad (26)$$

Figura 12. Factores de capacidad

ϕ	N_c	N_q	N_r
26	27.09	14.21	9.84
27	29.24	15.90	11.60
28	31.61	17.81	13.70
29	34.24	19.98	16.18
30	37.16	22.46	19.13
31	40.41	25.28	22.65
32	44.04	28.52	26.87
33	48.09	32.23	31.94
34	52.64	36.50	38.04
35	57.75	41.44	45.41
36	63.53	47.16	54.36
37	70.01	53.80	65.27
38	77.50	61.55	78.61
39	85.97	70.61	95.03
40	95.66	81.27	115.31

fuentes: Ing. Cimentaciones Braja M.Das, Séptima edición.

$$q_u = 1150.6 * 52.6 + 3400 * 36.5 + 0.5 * 2000 * 6 * 38.0 = 288807.6 \text{ kg/m}^2 \quad (27)$$

Tabla 11. Cálculo de capacidad portante

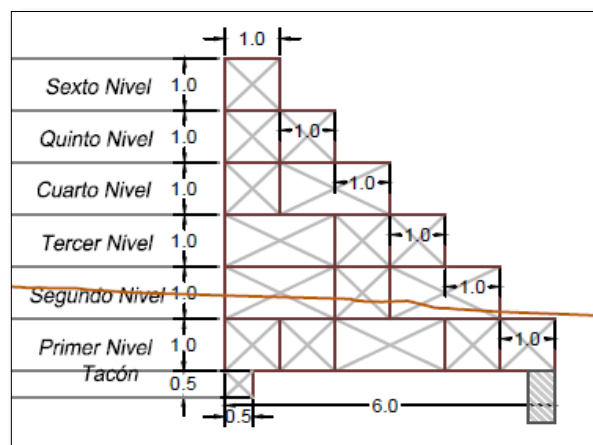
Cálculo de la capacidad portante (q_u)		
Cohesión (C)	1150.6	kg/m ²
Peso Específico del Suelo (γ)	2000	kg/m ³
Profundidad de Cimentación (Df)	1.7	m
Carga del Suelo (q)	3400	kg/m ²
Base del Muro (B)	6	m
Factor de Capacidad (Nc)	52.64	----

Cálculo de la capacidad portante (qu)		
Factor de Capacidad (Nq)	36.5	----
Factor de Capacidad (Ny)	38.04	----

Después de identificadas las cargas generadas en los gaviones (tanto las resistentes como las actuantes) se puede dar paso al chequeo de estabilidad del gavión:

4.2.6 Calculo tipo para muro de h=6.0M A continuación se presenta el cálculo para un tipo de muro en gaviones de 6.0 metros de altura para nivel máximo de agua.

Figura 13. Muro en gaviones, altura 6.0m.



4.2.6.1 Momento hidrostática En esta instancia, se procede al cálculo del momento desestabilizante producido por la presión hidrostática a (Y/3) de la base del muro²⁴. [15]

$$M_W = \frac{Y}{3} * PW \quad (28)$$

Donde,

- ✓ Fuerza por nivel del afluente PW .
- ✓ Altura lámina de agua afluente Y .

$$M_W = \frac{6}{3} * 18000 = 36000.0 \text{ Kg} * m/m \quad (29)$$

4.2.6.2 Momento hidrodinámica Adicionalmente se tiene encuentra el momento estabilizante que se produce a $(0.4*Y)$ de la base del muro²⁵.

$$M_{WE} = 0.4 * Y * PW \quad (30)$$

Donde,

- ✓ Fuerza por nivel del afluente PW .
- ✓ Altura lámina de agua afluente Y .

$$M_{WE} = 0.4 * 6 * 4769.8 = 11447.6 \text{ Kg} * m/m \quad (31)$$

4.2.6.3 Cálculo de la excentricidad. El parámetro de excentricidad se calcula para garantizar que la posición de la fuerza transmitida por el muro gavión se encuentre en un rango determinado, con el objetivo de no ocasionar esfuerzos de tracción sobre el suelo, así²⁶:

$$e = \frac{B}{2} - x < \frac{B}{6} \quad (32)$$

²⁵ DASEL H. Op. Cit.

²⁶ . DE LA COMISIÓN S Op. Cit.

$$e = \frac{6}{2} - \frac{149592.8 - 47774}{507000} = 0.992 < \frac{B}{6} \quad (33)$$

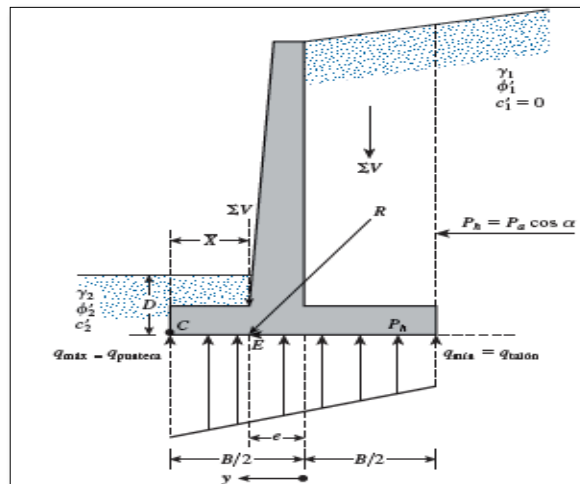
Obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 12. Cálculo de excentricidad.

Calculo de la Excentricidad	
base/6	1.000
Excentricidad e m	0.992

4.2.6.4 Cálculo de los esfuerzos De acuerdo a la figura 12 los esfuerzos verticales máximo y mínimo en la base del gavión siempre ocurre en los extremos de la sección de la punta y del talón, respectivamente. Por tanto, se determinan las magnitudes de q_{punta} y $q_{\text{talón}}$, a partir del siguiente término²⁷.

Figura 14. Esfuerzos verticales



fuentes: Ing. Cimentaciones Braja M.Das, Séptima edición. Fig. 8.11.

$$q_{\text{talón}} = q_{\text{punta}} = \frac{\Sigma V}{B} * \left(1 \pm \frac{6 * e}{B} \right) \quad (34)$$

²⁷ DAS B. M. Op. Cit.

$$q = \frac{50700}{6} * \left(1 \pm \frac{6 * 0.992}{6}\right) \quad (35)$$

Obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 13. Cálculo de los Esfuerzos Máximos y Mínimos

Calculo de los Esfuerzos Maximos y Mínimos	
Esfuerzo $\sigma_{\text{talón}}$ kg/m ²	69.780
Esfuerzo σ_{punta} kg/m ²	8380.220

4.2.6.5 Análisis de estabilidad En esta instancia se procede con el análisis de estabilidad. Es decir que, los empujes anteriormente hallados servirán para comprobar la estabilidad del muro y ver si las dimensiones de este son las adecuadas para que no falle.

También, es necesario garantizar la resistencia y estabilidad del muro, para ello se deben realizar las verificaciones por volteo, deslizamiento y capacidad de carga, las cuales se desarrollarán a continuación:

a. Revisión de estabilidad por deslizamiento a lo largo de la base.

En el chequeo por deslizamiento se analiza el posible movimiento que genera la base del gavión como consecuencia de las fuerzas laterales producidas por la presión de la tierra, puesto que, si presenta presión de agua se debe incluir y precisar que el procedimiento no se aplica para este caso. El factor de seguridad contra el deslizamiento se puede expresar por la ecuación²⁸:

²⁸ DE LA COMISIÓN S. Op. Cit.

$$FS(\text{deslizamiento}) = \frac{\sum F_e}{\sum F_d} > 1.5 \quad (36)$$

$\sum F_e$ = Suma de las fuerzas horizontales resistentes o estabilizantes

$\sum F_o$ = Suma de las fuerzas horizontales de empuje o desestabilizantes

$$FS = \frac{43355.8}{23386.2} = 1.8 \quad (37)$$

Tabla 14. Factor de seguridad por deslizamiento.

Factor de Seguridad por Deslizamiento	
Σ fuerzas Estabilizantes (Fe)kg*m	43355.8
Σ fuerzas Desestabilizantes (Fd)kg*m	23386.2
Factor de Seguridad (FS)	1,8

b. Estabilidad por capacidad de cimentación.

Los esfuerzos verticales son transmitidos al suelo mediante la cimentación del muro de retención, por tanto, es necesario verificar que este valor sea menor a la capacidad de carga última del suelo, de lo contrario se debe considerar ampliar el área de la base del gavión, así, se disminuye la fuerza por unidad de área que evita una falla en el terreno. El factor de seguridad contra la falla por capacidad de carga se determina así²⁹:

$$FS_{\text{capacidad de carga}} = \frac{q_u}{q_{\text{max_ó_mín}}} > 2.0 \quad (38)$$

²⁹ DAS B. M.

Donde

- ✓ q_u = Capacidad de carga última del material existente debajo de la cimentación.
- ✓ q_{max} = Esfuerzo vertical máximo que generará la estructura de contención.

$$FS = \frac{288807}{8380} = 34.5 \quad (39)$$

Tabla 15. Cálculo de capacidad portante

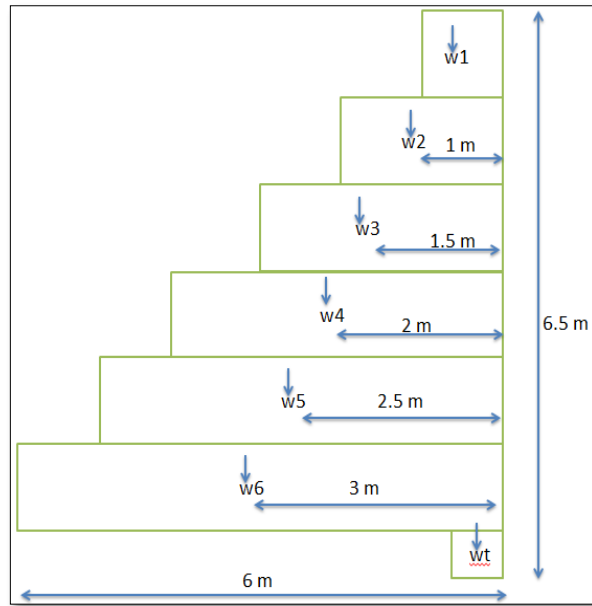
Calculo de la capacidad portante (qu)	
Capacidad Portante del Suelo kg/m2	288807.584
Esfuerzo maximo kg/m2	8380.220
Factor de seguridad cap de carga)	34.463

c. Revisión de estabilidad por volcamiento

El volcamiento se refiere a una tendencia de la estructura de volcarse cuando gira sobre su propia base, este parámetro es la relación entre la suma de las fuerzas estabilizantes (M_r) y las fuerzas desestabilizantes (M_o) sobre la estructura³⁰.

³⁰ Ibíd.

Figura 15. Momento Estabilizante generados por el paso del gavion (Mr).



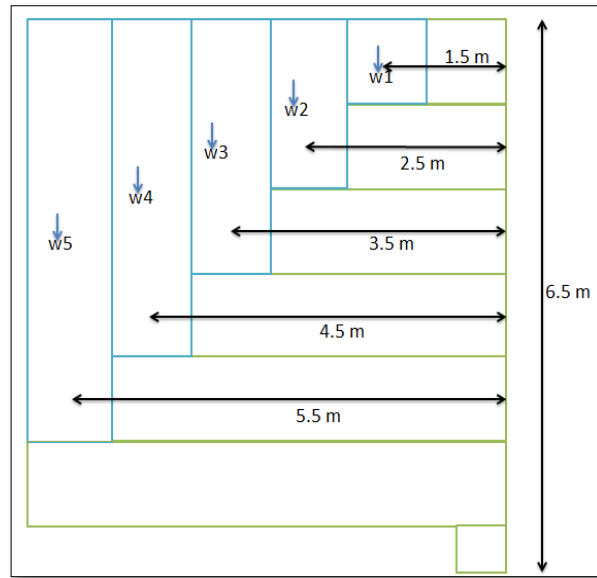
Las fuerzas estabilizantes se componen por la sumatoria de fuerzas, que tienden a resistir el volcamiento del muro, multiplicadas por la distancia que hay entre el punto de aplicación y la cimentación.

$$Mr = w1 * x1 + w2 * x2 \dots + Pp * 0.6 \quad (40)$$

$$Mr = 1680 * 0.5 + 3360 * 1 \dots + 17579.8 * 0.6 = 87092.8 \text{ kg} * \text{m} \quad (41)$$

Para lo cual se determina un momento estabilizante de 87092.8 kg * m producido por el peso del gavión, como se muestra en la figura 13.

Figura 16. Momento Estabilizante generado por la lamida del agua (Mr).



Adicionalmente se deben considerar las fuerzas que pueden producirse por la lámina del agua, ya que, estas ayudan a contrarrestar el volcamiento que puede producirse en el muro.

$$Mr = w1 * x1 + w2 * x2 ... \quad (42)$$

$$Mr = 1000 * 1.5 + 2000 * 2.5 = 62500 \text{ kg*m} \quad (43)$$

En secuencia, el momento estabilizante producido por la lámina de agua es de 62500 kg*m.

$$Mrt = 87092.8 + 62500 = 149592.8 \text{ kg * m} \quad (44)$$

Mientras que, las fuerzas desestabilizantes se componen del peso del muro y el brazo de cimentación (distancia horizontal desde la punta al centro de gravedad del muro).

$$M_o = Pa * \frac{h}{3} + Ph\Delta ae * 0.6 * h + M_W + M_{WE} \quad (45)$$

$$M_o = 366 * \frac{1.2}{3} + 250 * 0.6 * 1.2 + 36000 + 11447 = 47774.2 \text{ kg} * m \quad (46)$$

De acuerdo a la norma NSR-10, el factor de seguridad contra volteo en la punta, es decir, respecto a un punto “c”, se puede expresar como³¹:

$$FS(volteo) = \frac{\sum M_r}{\sum M_o} > 2.0 \quad (47)$$

Dónde:

- $\sum M_R$ = Suma de los momentos de las fuerzas que tienden a voltear el muro (pared del gavión) respecto al punto c.
- $\sum M_R$ = Suma de los momentos de las fuerzas que tienden a resistir el muro (pared del gavión) respecto al punto c.

$$FS = \frac{149592.8}{47774.2} = 3.1 \quad (48)$$

³¹ DE LA COMISIÓN S.

Obteniendo un resultado favorable para las condiciones de estabilidad por volcamiento por punta:

Tabla 16. Factor de seguridad por volcamiento.

Factor de Seguridad por Volcamiento	
Momento Estabilizante (Me) kg*m	149592.8
Momento Desestabilizante (Mo) kg*m	47774.2
Factor de Seguridad (FS vol)	3.131

5. PLANOS

El desarrollo de la pasantía se apoyó en la elaboración de los planos constructivos de los muros en gavión, en ellos se incluyó la ubicación, los detalles, los planos de secciones transversales y los planos de localización general, además de un dimensionamiento con precisión.

A continuación, se presentan los pasos para la digitación de los planos:

- Ordenar información suministrada (Levantamiento topográfico).
- Importar información en AutoCAD (secciones topográficas).
- Definir cimentación.
- Definir sistema constructivo.
- Aprobar las dimensiones (basado en los factores de seguridad, excentricidad y capacidad portante).
- Realizar cantidades de obra de la estructura.
- Ordenar presentación de planos.
- Impresión de planos.

Seguidamente, la elaboración de los planos planta, los de perfil y los de secciones transversales se realizaron en el programa AutoCAD, el cual está diseñado para elaborar dibujos de precisión y facilitar la realización de estos. Es de mencionar que, el programa cuenta con numerosas herramientas que permiten un trabajo sencillo, pero también con exactitud, a partir de coordenadas y parámetros.

5.1 DISTRIBUCIÓN DE PLANOS PLANTA Y PERFIL

El diseño de los planos planta y perfil se encuentra en el anexo 1.

5.2 PLANOS DE SECCIONES TRASVERSALES

El diseño de los planos de secciones transversales se encuentra en el anexo 2.

6. VALOR AGREGADOS

Para finalizar, se presentan aquí un muro en gavión ya existente en la zona de ejecución del proyecto, el cual está en buen estado y no presenta problemas de socavación. No obstante, de acuerdo con el modelo hidráulico se determinó que para un periodo de retorno de 100 años se encuentra por debajo del nivel entre 1.5 a 1.7 metros, debido a esto, es recomendable realizar un realce en el muro.

Figura 17. Vista general de muro existente.



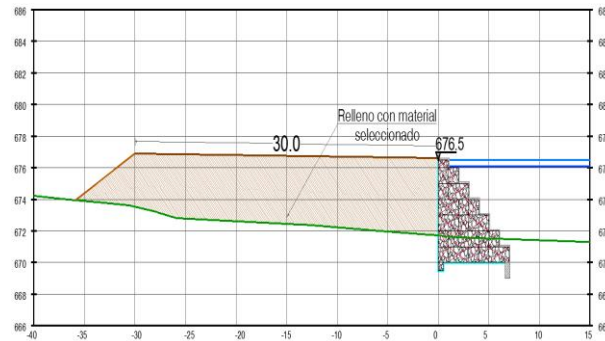
Fuente: Equipo técnico Grupo de Investigación Geomántica UIS

6.1 PRIORIZACIÓN DE OBRAS

Durante la ejecución del proyecto se plantean dos etapas constructivas que se dividen en obras de intervención inmediata y en obras de intervención a largo plazo, en ambas intervenciones se hace un análisis para un periodo de retorno de 500 años, este análisis muestra como resultado niveles muy elevados en comparación con la cota del terreno. En este sentido, debe proponerse una solución con muros en gavión.

6.1.1 Obras de intervención inmediata Las obras de intervención inmediatas son los sectores en que el nivel del agua, para un periodo de retorno de 100 años, sobrepasa el terreno natural mientras ocasiona desborde del agua y afectaciones en los terrenos aledaños al río.

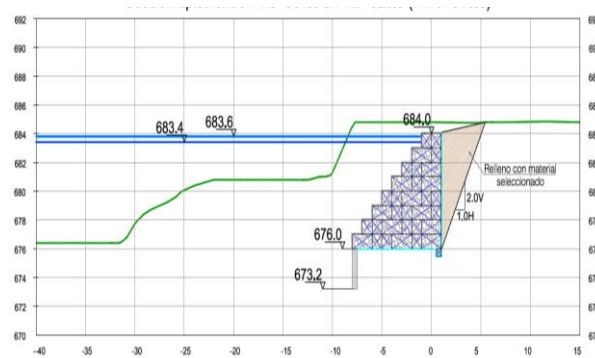
Figura 18. Sección típica de obras de intervención inmediatas.



Fuente: Equipo técnico Grupo de Investigación Geomántica UIS

6.1.2 Obras de intervención a largo plazo Las obras de intervención a largo plazo son aquellas donde el terreno natural encauza el río actualmente y no existe riesgo de inundación inmediata, sin embargo, se proyectan estructuras que garanticen el alineamiento y ancho del canal, cuya construcción depende del proceso erosivo del río.

Figura 19. Obras de canalización con intervención a largo plazo



Fuente: Equipo técnico Grupo de Investigación Geomántica UIS

7. CONCLUSIONES

En el transcurso de las actividades de campo se apoyó el levantamiento topográfico del suelo, a través del escáner laser terrestre 3D en el área de riesgo analizada, que corresponde a una franja de 50 metros en el tramo de 2.3 km. Se debe mencionar que, en la longitud del tramo en estudio se elaboró una nivelación tradicional que constó de 10 mojones y 320 estaciones para lograr un cubrimiento de 360° con un alto detalle topográfico de la zona.

También, se planteó un procedimiento para el diseño de los muros en gaviones, en el que se tienen en cuenta factores como deslizamiento, volcamiento, capacidad portante, excentricidad y el empuje dinámico del agua. Esto con el fin de cumplir con los parámetros de seguridad, estabilidad, funcionalidad y optimización de recursos para las estructuras.

Finalmente, este proyecto se apoyó en la elaboración de los planos de secciones transversales y despieces del muro por tramos según la necesidad, estos planos se realizaron en el software AutoCAD donde se tuvo en cuenta la cimentación y se realizó una secuencia del proceso constructivo.

BIBLIOGRAFÍA

BANCO MUNDIAL, “¿Cómo ganarle la pelea a la sequía en América Latina?,” 2017. [En línea]. Disponible en: <https://www.bancomundial.org/es/news/feature/2017/12/06/escasez-agua-america-latina>. [Citado el: 13-Nov-2018].

BANCO MUNDIAL, “Análisis de la gestión del riesgo de desastres en Colombia: un aporte para la construcción de políticas públicas.,” Sist. Nac. Inf. para la Gestión del Riesgo Desastr., p. 438, 2012

BANCO MUNDIAL, “Seguros climáticos,” 2017. [En línea]. Disponible en: <https://www.bancomundial.org/es/results/2017/12/01/climate-insurance>. [citado el: 13-Nov-2018].

CAMPOS A. et al., “Análisis de la gestión del riesgo de desastres en Colombia BANCO MUNDIAL COLOMBIA Coordinadores y editores Fondo Mundial para la Reducción y Recuperación de Desastres.”

DAS B. M., Fundamentos ingeniería cimentaciones. cengage learning, 2012

DASEL H., presas pequeñas de concreto. mexico: limusa, 1978

DE LA COMISIÓN S., “Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial Viceministerio de Vivienda y Desarrollo Territorial Dirección del Sistema Habitacional República de Colombia Comision asesora permanente para el regimen de construcciones sismo resistentes (Creada por la Ley 400 de 1997) NSR-10 TÍTULO H-ESTUDIOS GEOTÉCNICOS

GONZÁLEZ Esteban, “Nosotros | EGV Ingeniería.” [e]. Available: <https://www.egv.cl/nosotros/>. [Accessed: 20-Nov-2018].

HAGBRINK Isabel, “Agua: Panorama general.” [En línea]. Disponible en: <https://www.bancomundial.org/es/topic/water/overview>. [citado el: 13-Nov-2018]

I. UNIVERSITARIA COLEGIO MAYOR DE ANTIOQUIA, Manual de gestión para obras en construcción. 2010

MARTINES Contanza, “Mundo Gavión,” 2015. [en línea]. Disponible en: <http://mundogavion.blogspot.com/2015/06/ventajas-y-desventajas-de-los-muros.html>. [Citado el: 16-Nov-2018]

NOVILLO LOPEZ Daniel, “El riesgo de inundación. Medidas estructurales y medidas no estructurales. Herramientas para la cuantificación.” 2012. [en línea]. Disponible en: <https://www.eoi.es/blogs/danielnovillo/2012/04/26/el-riesgo-de-inundacion-medidas-estructurales-y-medidas-no-estructurales-herramientas-para-la-cuantificacion/>. [citado: 11-Dec-2018].

PACHAS R. .-L. and - Academia-Trujillo-Venezuela Topográfico, “El levantamiento topográfico: uso del gps y estación total Surveying: Use of GPS and Total Station.”

SUAREZ J., “Eventos históricos de grandes inundaciones en el Río de Oro.” [en línea]. Disponible en: <http://www.erosion.com.co/efectos-del-agua-en-deslizamientos/43-deslizamiento-e-inundacion-en-giron-santander.html?showall=1&limitstart=>

VENEGAS PIÑAR R., “Proyecto de construcción de un muro de gaviones de 960 m 3,” 2008