

Barranquilla, 24 de junio de 2026

Señor
AZAEI ANTONIO CHARRIS SALAS
SECRETARIO
SECRETARÍA DE INFRAESTRUCTURA
DEPARTAMENTO DEL ATLÁNTICO

REFERENCIA: Informe de actividades correspondiente al contrato No. 202600868, de prestación de servicios.

Mediante el presente, hago entrega del informe de actividades de la prestación de servicios en el marco de mi contrato con el Departamento del Atlántico, correspondiente al **periodo 24 mayo al 23 de junio de 2026**. A continuación, relaciono asunto, actividad y estado de los procesos, conceptos, trámites y demás gestiones que he adelantado en cumplimiento de mis obligaciones contractuales:

No	Obligación Contractual	Producto
1	Apoyar a la secretaría de infraestructura en los proyectos hidrológicos, hidráulicos y de obras civiles	Seguimiento a proyecto de deprimido vial de la 51B, sector Villa Campestre.
2	Apoyar en la supervisión contractual de las diferentes etapas de los proyectos hidrológicos, hidráulicos y de obras civiles	Revisión de requerimientos CTUS relacionados con el componente hidrológico e hidráulico, proyecto de mejoramiento de vía 2515AT 05 (Vuelta de Leñas) y proyecto Manatí - Candelaria
3	Realizar los ajustes y diseños a los proyectos que le sean asignados por la secretaría de infraestructura de acuerdo con los asuntos de su competencia	No se asignó en este periodo
4	Participar en mesas técnicas de trabajo y reuniones de acuerdo con asuntos de su competencia que requiera la Secretaría de infraestructura	Reunión de coordinación de actividades sobre requerimientos CTUS relacionados con el componente hidrológico e hidráulico, proyecto de mejoramiento de vía 2515AT 05 (Vuelta de Leñas) y Manatí - Candelaria
5	Atender y proyectar respuestas a las solicitudes y/o requerimientos de información tanto internos como externos en asuntos de su competencia	No se asignó en este periodo
6	Las demás funciones asignadas por el jefe inmediato y las que sean necesarias para dar cumplimiento a la solicitud recibida	Apoyo en el desarrollo de las condiciones de erosión sobre vía y tubería de conducción a Corregimiento de Gallego, Municipio de Sabanalarga solución planteada.

Atentamente,


GABRIEL ALFONSO OYAGA GARCIA
Contratista

ANEXO INFORME DE ACTIVIDADES

CONTRATO NO. 202600868
PRESTACIÓN DE SERVICIOS

GABRIEL ALFONSO OYAGA GARCIA

PERIODO 24 DE MAYO A
23 DE JUNIO DE 2026

EJECUCIÓN

No	Obligación Contractual	Producto
1	Apoyar a la secretaría de infraestructura en los proyectos hidrológicos, hidráulicos y de obras civiles	Seguimiento a proyecto de deprimido vial de la 51B, sector Villa Campestre



INFORME TÉCNICO PRELIMINAR

Propuesta de Canalización Económica en Tierra y Concreto
Longitud total: 1.400 m**

1. Introducción

El presente documento desarrolla la propuesta técnico-presupuestal preliminar para la canalización de un tramo de 1.400 metros, combinando un canal trapezoidal en tierra y un tramo final en concreto para conexión con el canal existente. El objetivo es plantear la alternativa de menor costo posible,

manteniendo criterios hidráulicos mínimos de estabilidad y capacidad, y tomando como base el cálculo hidrológico suministrado.

Del documento aportado se cita expresamente:

“La sección del tramo es de tipo trapezoidal con pendiente cercana al 0.5% y talud 1:2”
“Q pico: 61.20 m³/s”

Este caudal de diseño gobierna la selección de la sección hidráulica y los materiales.

2. Alcance del informe

El presente informe incluye:

- Definición de la sección hidráulica preliminar.
- Dimensionamiento básico del canal en tierra.
- Dimensionamiento del tramo en concreto para conexión.
- Cálculo aproximado de volúmenes de obra.
- Estimación presupuestal preliminar.
- Advertencias técnicas y limitaciones del nivel de estudio.

No incluye planos, modelación hidráulica avanzada ni topografía de detalle, los cuales son indispensables para la fase de diseño definitivo.

3. Marco técnico e hidrológico

El cálculo hidrológico suministrado determina un caudal pico de diseño de 61.20 m³/s, obtenido mediante el Método Racional Modificado (versión Wallingford), adecuado para cuencas del orden de 150 ha. Este valor se adopta íntegramente para el dimensionamiento preliminar.

El documento base establece:

“Los cálculos anteriores son estimadores... deberán contrastarse con topografía de detalle para poder realizar las deducciones correspondientes”

Por tanto, todas las dimensiones y costos aquí presentados corresponden a un nivel de prefactibilidad.

4. Diseño preliminar del canal

4.1. Criterio general

Para minimizar costos:

- Se maximiza la longitud del canal en tierra, que es la solución más económica.
- Se limita el canal en concreto únicamente al tramo de conexión y transición hidráulica con el canal existente.
- Se adopta una sección trapezoidal amplia y poco profunda para reducir velocidades y evitar erosión.

4.2. Sección hidráulica en tierra

- Ancho de fondo: 12 m
- Profundidad: 2.5 m
- Taludes: 1:2
- Pendiente: 0.5%
- Rugosidad Manning: $n = 0.030$

Esta sección permite transportar el caudal de $61.20 \text{ m}^3/\text{s}$ con velocidades aproximadas entre 2.2 y 2.4 m/s, aceptables para un canal en tierra con taludes estables.

4.3. Tramo en concreto

Se proyecta un tramo de 60 m para:

- Empate estructural con el canal existente.
- Control de velocidades.
- Transición hidráulica.

Sección propuesta:

- Ancho de fondo: 6 m
- Profundidad: 2.0 m
- Concreto $f'c = 3000 \text{ psi}$
- Muros laterales o taludes 1:1 según espacio disponible.

5. Cálculo de volúmenes

5.1. Canal en tierra (1.340 m)

Área de excavación:

$$A = 42.5 \text{ m}^2$$

Volumen total:

$$V = 42.5 \text{ m}^2 \times 1,340 \text{ m} = 56,950 \text{ m}^3$$

Superficie de taludes:

$$S \approx 15,000 \text{ m}^2$$

Compactación estimada:

$$\approx 20,000 \text{ m}^3$$

5.2. Canal en concreto (60 m)

Área de recubrimiento:

$$A_c \approx 2.4 \text{ m}^2$$

Volumen de concreto:

$$V_c = 144 \text{ m}^3$$

Excavación estimada:

$$\approx 700 \text{ m}^3$$

6. Estimación presupuestal preliminar

Valores típicos Colombia 2026.

6.1. Canal en tierra

- Excavación: $56,950 \text{ m}^3 \times 25,000 \text{ COP} = 1,424 \text{ M COP}$
- Conformación de taludes: $15,000 \text{ m}^2 \times 12,000 \text{ COP} = 180 \text{ M COP}$
- Compactación: $20,000 \text{ m}^3 \times 18,000 \text{ COP} = 360 \text{ M COP}$
- Bermas y control de erosión: $1,340 \text{ m} \times 150,000 \text{ COP} = 201 \text{ M COP}$

Subtotal canal en tierra: $\approx 2,165$ millones COP

6.2. Canal en concreto

- Excavación: 24.5 M COP
- Concreto 3000 psi: 75 M COP
- Acero de refuerzo: 84 M COP
- Formaleta: 33 M COP
- Transición hidráulica: 30 M COP

Subtotal canal en concreto: ≈ 246 millones COP

7. Costo total del proyecto

Componente	Costo estimado
Canal en tierra	2,165 M COP
Canal en concreto	246 M COP
TOTAL	$\approx 2,410$ millones COP

8. Conclusiones

1. La alternativa combinada de canal en tierra + tramo corto en concreto es la solución más económica para la longitud total de 1.400 m.
2. La sección propuesta permite transportar el caudal de diseño de $61.20 \text{ m}^3/\text{s}$ obtenido del cálculo hidrológico suministrado.

3. El costo total preliminar del proyecto se estima en $\approx 2,410$ millones COP, con una variación esperada de $\pm 30\%$ debido al nivel de información disponible.
4. El tramo en concreto de 60 m garantiza un empate adecuado con el canal existente y controla las velocidades en la transición.

9. Advertencias técnicas

En coherencia con el documento base:

“Los cálculos anteriores son estimadores... deberán contrastarse con topografía de detalle”

Por tanto:

- La topografía de detalle es obligatoria para validar pendientes, longitudes, volúmenes y la geometría exacta del empate.
- El diseño definitivo deberá incluir modelación hidráulica (HEC-RAS o similar) para verificar velocidades, tirantes y posibles zonas de erosión.
- Los costos presentados corresponden a un nivel de prefactibilidad y no deben usarse para contratación sin un estudio detallado.

No	Obligación Contractual	Producto
2	Apoyar en la supervisión contractual de las diferentes etapas de los proyectos hidrológicos, hidráulicos y de obras civiles	Revisión de requerimientos CTUS relacionados con el componente hidrológico e hidráulico, proyecto de mejoramiento de vía 2515AT 05 (Vuelta de Leñas) y proyecto Manatí - Candelaria

INFORME DE HALLAZGOS Y AJUSTES

Componente Hidrológico e Hidráulico

Proyecto: Mejoramiento Vía 2516AT-04-1 PR 0+00 al PR 11+500 – Manatí–Los Campanos–Sabanalarga

1. Contexto

El CTUS formula varias observaciones sobre el componente hidráulico (drenaje, protecciones, verificación), pero el informe hidrológico–hidráulico sí contiene parte de la información técnica que el CTUS da por ausente o incompleta. En este informe se contrasta lo que el CTUS exige con lo que efectivamente está desarrollado en la memoria hidráulica, para precisar qué falta y qué ya está soportado.

2. Hidrología – Metodología y verificación

CTUS (G303 – análisis técnico de la alternativa):

Se exige especificar longitudes, espesores, abscisas, anchos y parámetros de diseño.

Informe hidráulico:

El documento desarrolla una metodología hidrológica completa:

“La metodología para utilizar es la ofrecida por el Manual de Drenaje para Carreteras. Instituto Nacional de Vías INVÍAS. 2009”

Incluye:

- Curva IDF para estación Los Campanos (Tabla 18, Gráfica 1).
- Análisis de datos dudosos (Tabla 17).
- Coeficientes de escorrentía (Tablas 20–21).
- Características morfométricas de las cuencas (Tablas 22–23).
- Tiempos de concentración (Tablas 24–25).
- Caudales por Método Racional y SCS (Tablas 26 y 28).

Conclusión:

- Sí hay verificación hidrológica detallada (curvas IDF, tiempos de concentración, caudales).
- Lo que falta no es el cálculo, sino la trazabilidad:
 - o Asociar cada cuenca y caudal a una obra específica (culvert, cuneta, protección).
 - o Presentar un cuadro resumen de caudales de diseño vinculado a las estructuras.

Ajuste (Código G303):

- Mantener la metodología existente y agregar una tabla tipo:
 - o Cuenca
 - o Área
 - o Método (Racional/SCS)

- o TR
- o Caudal de diseño
- o Obra hidráulica asociada (ID, PR).

3. Drenaje longitudinal – Cunetas (verificación hidráulica)

CTUS (G301 – verificación y cantidades): Se cuestiona la ausencia de verificación y la falta de identificación de obras hidráulicas en el presupuesto.

Informe hidráulico: El documento sí incluye diseño y verificación de cunetas:

“7.2.2 DIMENSIONAMIENTO DE CUNETAS... Tabla. 31. Resultado Diseño hidráulico Cunetas. Fuente: Propia”

Además:

“Figura. 7. Tipo de Cuneta Propuesta, Fuente: Propia... Figura. 8. Resultado Cuneta Propuesta, Fuente: Flow Master”

La Tabla 31 contiene resultados de diseño (sección, caudal, velocidad, etc.), y las figuras muestran la sección propuesta y la verificación con software hidráulico.

Conclusión:

- *Sí existe verificación hidráulica de cunetas (sección, capacidad, comportamiento).*
- *El CTUS tiene razón en que no se ve reflejado en cantidades ni en MGA, pero no puede afirmarse que no haya verificación técnica.*

Ajuste (Código G301):

- *Conservar la Tabla 31 y las figuras de cunetas.*
- *Agregar:*
 - o *Tabla de longitudes de cunetas por tramo (PR inicio–fin).*
 - o *Cuadro de cantidades (m lineales, volumen de concreto, etc.).*
 - o *Referencia explícita en el documento: “Las cunetas diseñadas se verifican hidráulicamente en la Tabla 31 y Figuras 7 y 8”.*

4. Obras transversales – Box culverts (verificación hidráulica)

CTUS (G301/G303 – obras hidráulicas no identificadas):

Se indica que las obras hidráulicas no se identifican claramente en el presupuesto y que falta especificación técnica.

Informe hidráulico:

“9. DISEÑO HIDRÁULICO... 9.1. BOX CULVERTS... Tabla. 29 Resultado del Cálculo de Box Culverts Existentes. Fuente: Propia... Tabla. 30 Resultado del Cálculo de Box Culverts Existentes. Fuente: Propia”

Estas tablas contienen:

- *Caudales de diseño.*
- *Secciones de los box culverts.*
- *Resultados de capacidad hidráulica.*

Conclusión:

- *Sí hay verificación hidráulica de los box culverts existentes.*
- *Lo que falta es:*
 - o *Diferenciar claramente entre obras existentes y obras propuestas.*

- o Vincular cada culvert a su ubicación (PR, coordenadas) y a su ítem presupuestal.
- o Incluir una tabla de capacidad vs demanda (caudal de diseño vs capacidad calculada).

Ajuste (Código G303):

- Mantener Tablas 29 y 30.
- Agregar:
 - o Columna de PR/abscisa.
 - o Columna de coordenadas MAGNA-SIRGAS.
 - o Columna "Condición": OK / Requiere ampliación / Nueva obra.

5. Protecciones de talud y cauce – Socavación

CTUS (G301 – obras hidráulicas no identificadas): Se menciona que no se identifican en el presupuesto las protecciones de talud y cauce.

Informe hidráulico:

*"9.1.1. PROTECCIONES DE TALUD... Tabla. 32. Protección de Taludes. Fuente: Propia...
1.1.1. PROTECCION CAUCE ARROYO... Tabla. 33. Protección Contra Arroyo. Fuente: Propia"*

Además, el título del documento incluye:

"DISEÑO HIDROLÓGICO, HIDRÁULICO Y DE SOCAVACIÓN"

Conclusión:

- *Sí existe diseño de protecciones (talud y cauce) y se han calculado parámetros de socavación.*
- *El CTUS tiene razón en que no se ve reflejado en el presupuesto ni en la MGA, pero no en que no haya diseño.*

Ajuste (Código G301):

- Mantener Tablas 32 y 33.
- Agregar:
 - o Descripción del modelo de socavación utilizado.
 - o Justificación de longitudes y dimensiones de protección.
 - o Cuadro de cantidades (m² de protección, volumen de enrocado, etc.).
 - o Vincular cada protección a un ítem presupuestal.

6. Diagnóstico hidráulico y registro fotográfico (G306)

CTUS (G306):

"Se debe presentar el respectivo diagnóstico de los tramos a intervenir con registro fotográfico."

Informe hidráulico:

"Visitas de Campo... Estudios Topográficos del sector evaluado."

Pero no se incluye un capítulo explícito de diagnóstico hidráulico ni fotografías georreferenciadas.

Conclusión:

- *Aquí el CTUS sí señala un vacío real:*

- o Falta diagnóstico del estado actual del drenaje.
- o Falta registro fotográfico georreferenciado.

Ajuste (Código G306):

- Incorporar un capítulo “Diagnóstico hidráulico del corredor”:
 - o Estado de cunetas, alcantarillas, puntos de inundación, erosiones.
 - o Fotografías con coordenadas.
 - o Relación entre problemas observados y soluciones de diseño.

7. Tabla resumen de ajustes (con contravención explícita)

Código CTUS	Lo que dice el CTUS	Lo que muestra el informe hidráulico	Ajuste requerido
G301	No se identifican obras hidráulicas en presupuesto	Hay Tablas 29–33 con culverts, cunetas y protecciones calculadas	Crear cuadro resumen de obras + cantidades y vincular al presupuesto
G301	No se incluye verificación hidráulica de obras	Existen tablas de diseño y verificación (cunetas, culverts, protecciones)	Mantener tablas y explicitar su rol como verificación hidráulica
G301	No se identifican protecciones de talud y cauce	Tablas 32 y 33 detallan protecciones de talud y arroyo	Incorporar cantidades y vincular a ítems presupuestales
G303	Falta especificar longitudes, abscisas y ubicación	El informe tiene PR 0+00 al PR 11+500, pero no abscisas por obra	Agregar tabla de ubicación (PR, coordenadas) para cada estructura
G303	Falta análisis técnico detallado	El informe desarrolla IDF, SCS, Racional, tiempos de concentración y caudales	Añadir cuadro resumen de caudales y vincularlos a cada obra
G306	Falta diagnóstico con registro fotográfico	Solo se menciona “Visitas de Campo”, sin diagnóstico ni fotos	Crear capítulo de diagnóstico hidráulico con fotos georreferenciadas

No	Obligación Contractual	Producto
4	Participar en mesas técnicas de trabajo y reuniones de acuerdo con asuntos de su competencia que requiera la Secretaría de infraestructura	Reunión de coordinación de actividades sobre requerimientos CTUS relacionados con el componente hidrológico e hidráulico, proyecto de mejoramiento de vía 2515AT 05 (Vuelta de Leñas)) y proyecto Manatí - Candelaria

Proyecto : Mejoramiento de la Vía 2516AT-05

Contratista : CODEING INGENIEROS S.A.S.

Revisor : Gabriel Alfonso Oyaga García

Entidad : Gobernación del Atlántico – Secretaría de Infraestructura

Fuente : Concepto Técnico Único Sectorial – CTUS

Resumen de reuniones y plan de trabajo – Componente Hidráulico (incluye tramo Manatí – Candelaria)

1. Reunión del 9 de junio

En esta sesión se revisó el avance general de las actividades asociadas al componente hidráulico del proyecto, incluyendo expresamente el tramo Manatí – Candelaria, que hace parte del alcance técnico sujeto a revisión y ajuste.

Se verificó el estado de los modelos en HEC-HMS y HEC-RAS, confirmando que ya se encuentran implementados y operativos. Se identificaron ajustes pendientes en la parametrización, documentación de soporte y escenarios de análisis, especialmente los relacionados con obstrucción parcial y periodos de retorno de verificación.

La supervisión reiteró la entrega de documentos que siguen pendientes:

- Memorial de responsabilidad con la formulación exigida.
- Cuadro de coordenadas MAGNA-SIRGAS para todas las estructuras del tramo, incluyendo Manatí – Candelaria.
- Certificaciones de materiales y distancias de acarreo.
- Capítulo de análisis de riesgo.

En cuanto a las actividades asignadas al revisor técnico, se definió:

- Ajustar los títulos y la estructura del informe de diseño hidráulico.
- Revisar y depurar detalles técnicos en la memoria de diseño en formato Word.
- Elaborar el cálculo de riesgo por obstrucción para integrarlo al análisis de riesgo.

Se dejó constancia de que no se cuenta con el archivo original en Word donde se habían consignado los ajustes solicitados, por lo que será necesario reconstruirlo a partir de las actas y del CTUS.

2. Reunión del 16 de junio

En esta reunión se revisaron nuevamente los modelos en HEC-HMS y HEC-RAS, verificando avances en la delimitación de cuencas, actualización de parámetros y ajustes preliminares en las estructuras de drenaje. Se reiteró que los análisis deben cubrir todo el

tramo en estudio, incluyendo Manatí – Candelaria, tanto en hidrología como en hidráulica y socavación.

Quedó pendiente la incorporación de escenarios de obstrucción parcial y la integración del análisis de socavación al diseño del puente.

Se entregó la lista consolidada de estructuras de paso (alcantarillas, box culverts y puente) para programar la visita de inspección técnica a cargo del ingeniero estructural, incluyendo las estructuras ubicadas en el tramo Manatí – Candelaria.

En cuanto a las actividades internas, se ratificó la responsabilidad de continuar con la revisión del informe de diseño, ajustar los títulos conforme a la estructura requerida y finalizar el cálculo de riesgo por obstrucción. También se reiteró la necesidad de depurar la memoria de diseño en formato Word.

Se acordó que el componente hidráulico completo deberá estar finalizado al cierre del mes, incluyendo hidrología, hidráulica, socavación, análisis de riesgo, planos y documentos firmados.

3. Plan de trabajo actualizado

Actividades a cargo del revisor técnico

Fecha límite: 30 de junio

1. Ajustar los títulos y la estructura del informe de diseño hidráulico, siguiendo la organización requerida por los requisitos CTUS.
2. Revisar y depurar la memoria de diseño en formato Word, verificando coherencia entre texto, tablas y anexos.
3. Elaborar el cálculo de riesgo por obstrucción, considerando diferentes niveles de bloqueo y sus efectos sobre remanso, sobrepaso y estabilidad.
4. Reconstruir el documento de requerimientos en Word, con base en las actas y en el CTUS.
5. Verificar que todos los ajustes y revisiones incluyan el tramo Manatí – Candelaria, tanto en la memoria como en los anexos técnicos.

Actividades a cargo del contratista

- Ajustes finales en los modelos de HEC-HMS y HEC-RAS para todo el tramo, incluyendo Manatí – Candelaria.
- Complementación del análisis de socavación y su integración al diseño del puente.
- Justificación técnica de las estructuras de drenaje.
- Entrega de documentos pendientes: memorial, coordenadas, certificaciones y análisis de riesgo.

Actividades de la supervisión

- Programación y acompañamiento de la visita técnica a las estructuras de paso del tramo completo, incluyendo Manatí – Candelaria.
- Seguimiento semanal de avances y consolidación de entregables.

4. Hitos próximos

Fecha	Actividad	Responsable
20–25 junio	Ajustes finales en modelos HMS y RAS	Contratista
26 junio	Entrega del cálculo de riesgo por obstrucción	Revisor técnico
27 junio	Visita técnica a estructuras de paso	Ingeniero estructural
30 junio	Entrega final del componente hidráulico	Contratista y revisor
1–3 julio	Revisión final para viabilización	Supervisión

No	Obligación Contractual	Producto
6	Las demás funciones asignadas por el jefe inmediato y las que sean necesarias para dar cumplimiento a la solicitud recibida	Apoyo en el desarrollo de las condiciones de erosión sobre vía y tubería de conducción a Corregimiento de Gallego, Municipio de Sabanalarga.

MEMORIA DE DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE PROTECCIÓN LONGITUDINAL – ARROYO GALLEGO

El presente documento desarrolla la memoria de diseño correspondiente a la estructura de protección requerida en la margen donde se encuentra la conducción de agua potable que cruza el Arroyo Gallego, en jurisdicción del municipio de Sabanalarga, Atlántico. El diseño se fundamenta en los resultados del estudio hidrológico e hidráulico, así como en los análisis granulométricos y el reporte de suelos obtenidos en campo. La estructura propuesta corresponde a un sistema de **gaviones con colchón Reno y enrocado de pie**, concebido para resistir las solicitaciones hidráulicas del evento de diseño, garantizar la estabilidad frente a la socavación y asegurar la integridad de la tubería existente.

1. Condiciones hidráulicas de diseño

El análisis hidráulico realizado mediante modelación numérica permitió identificar el comportamiento del flujo en el tramo crítico donde se localiza la tubería. En el perfil longitudinal extraído sobre el eje de la conducción se registró una **velocidad máxima del orden de 1.90 m/s** y una **tensión cortante actuante de 32 Pa**, valores que representan el escenario más exigente para la estabilidad del talud y de cualquier estructura de protección. En el mismo punto se determinó un **tirante máximo cercano a 1.85 m**, lo cual define la magnitud del empuje hidrostático que debe ser considerado en el diseño.

Estas condiciones hidráulicas son consistentes con el caudal de avenida adoptado en el estudio, correspondiente a **$Q = 36.2 \text{ m}^3/\text{s}$** , y permiten establecer los parámetros de sollicitación que gobiernan el dimensionamiento del muro de gaviones y de los elementos de protección del lecho.

2. Caracterización geotécnica del sitio

Los estudios de suelos realizados en la zona de intervención muestran que el material predominante en la orilla corresponde a una **arena mal gradada (SP)**, con un contenido de arena del 83.08 %, grava del 16.90 % y prácticamente ausencia de finos. El lecho del arroyo, por su parte, está constituido por una **grava mal gradada (GP)** con 51.35 % de grava y 48.63 % de arena. Ambos materiales carecen de cohesión y presentan un comportamiento típicamente granular, lo cual implica que la estabilidad de la estructura depende fundamentalmente del peso propio y de la fricción interna.

La literatura geotécnica para suelos SP–GP en estado suelto indica valores de capacidad portante admisible entre **120 y 150 kPa**, con ángulos de fricción interna entre **30° y 34°**.

Para efectos de diseño se adopta un valor conservador de $\phi = 32^\circ$ y un peso unitario del suelo de **18 kN/m³**, coherente con los materiales observados en campo.

3. Socavación esperada y profundidad de fundación

El análisis de socavación realizado en el estudio hidráulico concluyó que la combinación de socavación general y socavación lateral produce un valor total aproximado de **1.65 m**. Sin embargo, con el fin de garantizar un margen de seguridad adecuado frente a eventos extraordinarios y a la variabilidad natural del cauce, se adoptó una **profundidad de diseño de 2.50 m**, la cual debe ser considerada como la cota mínima de fundación del muro de gaviones y del colchón Reno.

Esta decisión se sustenta en el criterio de que la estructura debe permanecer estable incluso si el lecho experimenta erosión adicional durante eventos extremos. La profundidad adoptada permite que la base del muro quede completamente por debajo de la zona activa de socavación, evitando fenómenos de socavación regresiva o pérdida de apoyo.

4. Geometría de la estructura propuesta

La solución estructural seleccionada consiste en un **muro de gaviones de 3.0 m de altura**, con un ancho de base de 1.50 m y un ancho superior de 1.00 m. Esta geometría responde a la necesidad de proporcionar un peso suficiente para resistir el empuje hidrostático y, al mismo tiempo, mantener una sección estable frente a deslizamiento y volteo. El muro se complementa con un **colchón Reno de 0.50 m de espesor**, extendido 2.0 m hacia el cauce, y un **enrocado de pie** con un tamaño medio de roca $D_{50} = 0.30 \text{ m}$, dispuesto para disipar energía y evitar la erosión localizada en la base.

La flexibilidad inherente a los gaviones y al colchón Reno resulta especialmente adecuada para los suelos granulares del sitio, ya que permite que la estructura se adapte a pequeños asentamientos diferenciales sin perder funcionalidad.

5. Cálculo del peso propio del muro

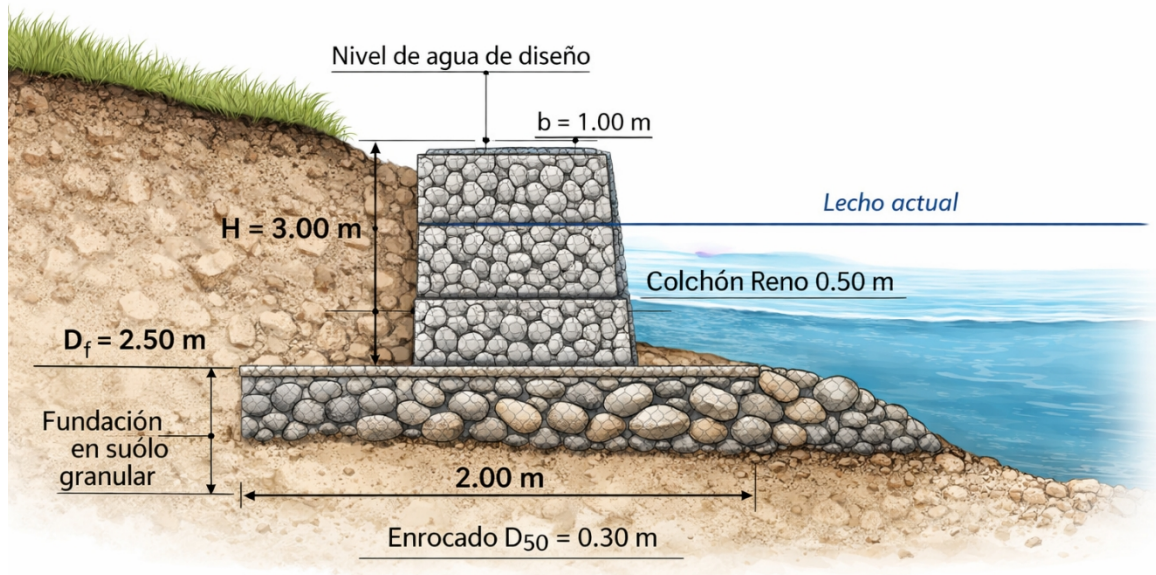
El volumen por metro lineal del muro se obtiene considerando su sección trapezoidal. El cálculo se realiza mediante la expresión:

$$\left[V = \frac{(B + b)}{2} \cdot H \right]$$

donde B es el ancho de base (1.50 m), b el ancho superior (1.00 m) y H la altura (3.0 m). El volumen resultante es de **3.75 m³ por metro lineal**. Utilizando un peso unitario de la roca de **22 kN/m³**, el peso propio del muro se estima en:

$$W = 3.75 \cdot 22 = 82.5 \text{ kN} / \text{m}$$

Este valor constituye la fuerza estabilizante principal frente a los empujes hidráulicos.



6. Empuje hidrostático sobre la estructura

El empuje hidrostático se calcula con la expresión clásica:

$$\left[P_h = \frac{1}{2} \gamma_w h^2 \right]$$

donde γ_w es el peso específico del agua (9.81 kN/m^3) y h el tirante máximo (1.85 m). El empuje resultante es de **16.8 kN/m**, actuando a un tercio de la altura desde la base. Este valor representa la fuerza desestabilizante principal y se utiliza en las verificaciones de deslizamiento y volteo.

7. Verificación frente a deslizamiento

La resistencia al deslizamiento se obtiene multiplicando el peso del muro por el coeficiente de fricción entre la base del gavión y el suelo granular, para el cual se adopta un valor de **0.55**, coherente con la interacción roca-geotextil-arena.

$$R = W \cdot \mu = 82.5 \cdot 0.55 = 45.4 \text{ kN} / m$$

El factor de seguridad se calcula como:

$$\left[F S_{des} = \frac{R}{P_h} = \frac{45.4}{16.8} = 2.70 \right]$$

El resultado supera ampliamente el mínimo recomendado de **1.5**, lo que confirma que la estructura no presenta riesgo de deslizamiento.

8. Verificación frente a volteo

El momento estabilizante se obtiene multiplicando el peso del muro por el brazo correspondiente a la mitad de la base:

$$\left[M_s = W \cdot \frac{B}{2} = 82.5 \cdot 0.75 = 61.9 \text{ kN}\cdot\text{m} \right]$$

El momento volcador se calcula como:

$$\left[M_v = P_h \cdot \frac{h}{3} = 16.8 \cdot 0.62 = 10.4 \text{ kN}\cdot\text{m} \right]$$

El factor de seguridad es:

$$\left[F S_{vol} = \frac{M_s}{M_v} = 5.95 \right]$$

Este valor es muy superior al mínimo exigido de **2.0**, lo que demuestra que el muro posee una estabilidad adecuada frente al volteo.

9. Verificación de capacidad portante

La tensión transmitida al terreno se calcula dividiendo el peso del muro entre el ancho de la base:

$$\left[\sigma = \frac{W}{B} = \frac{82.5}{1.50} = 55 \text{ kPa} \right]$$

Comparando este valor con la capacidad portante admisible del suelo granular (120–150 kPa), se concluye que la estructura trabaja con un amplio margen de seguridad y no se prevén asentamientos significativos.

10. Conclusiones del diseño

El análisis integral de las condiciones hidráulicas, geotécnicas y geométricas demuestra que la solución basada en un muro de gaviones con colchón Reno y enrocado de pie es adecuada para las condiciones del Arroyo Gallego. La estructura cumple holgadamente con los factores de seguridad requeridos frente a deslizamiento, volteo y capacidad portante, y su profundidad de fundación garantiza la protección frente a la socavación prevista en el estudio hidráulico. La flexibilidad del sistema lo hace especialmente apropiado para los suelos granulares del sitio, reduciendo el riesgo de fallas por asentamientos diferenciales.