

Barranquilla, 10 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 de abril al 23 de mayo 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)
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	Apoyo en la elaboración de consecución de permisos para cruce de cauces en tuberías de alcantarillado sanitario
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)
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.

Atentamente,

GABRIEL ALFONSO OYAGA GARCIA

Contratista

ANEXO INFORME DE ACTIVIDADES

CONTRATO NO. 202600868
PRESTACIÓN DE SERVICIOS

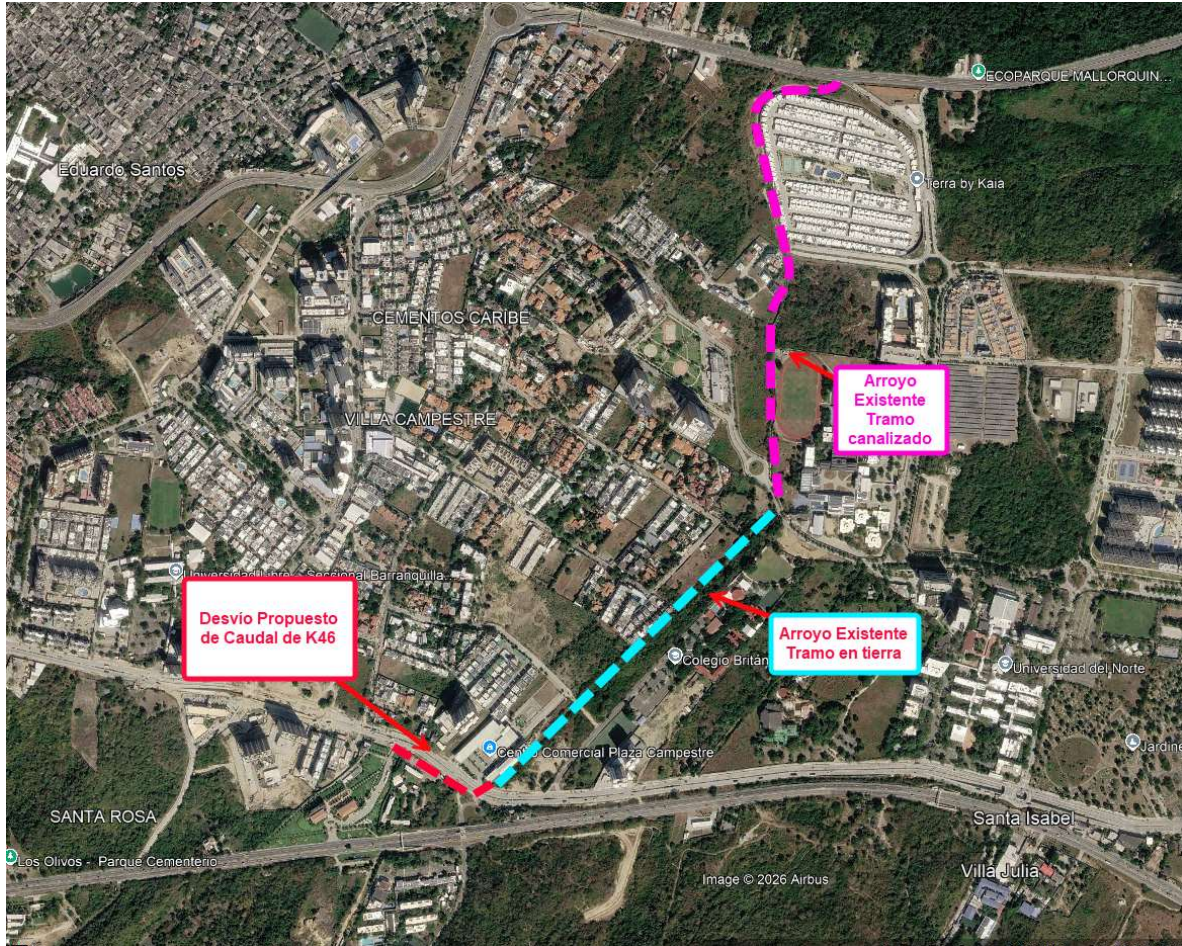
GABRIEL ALFONSO OYAGA GARCIA

PERIODO 24 DE ABRIL A
23 DE MAYO DE 2026

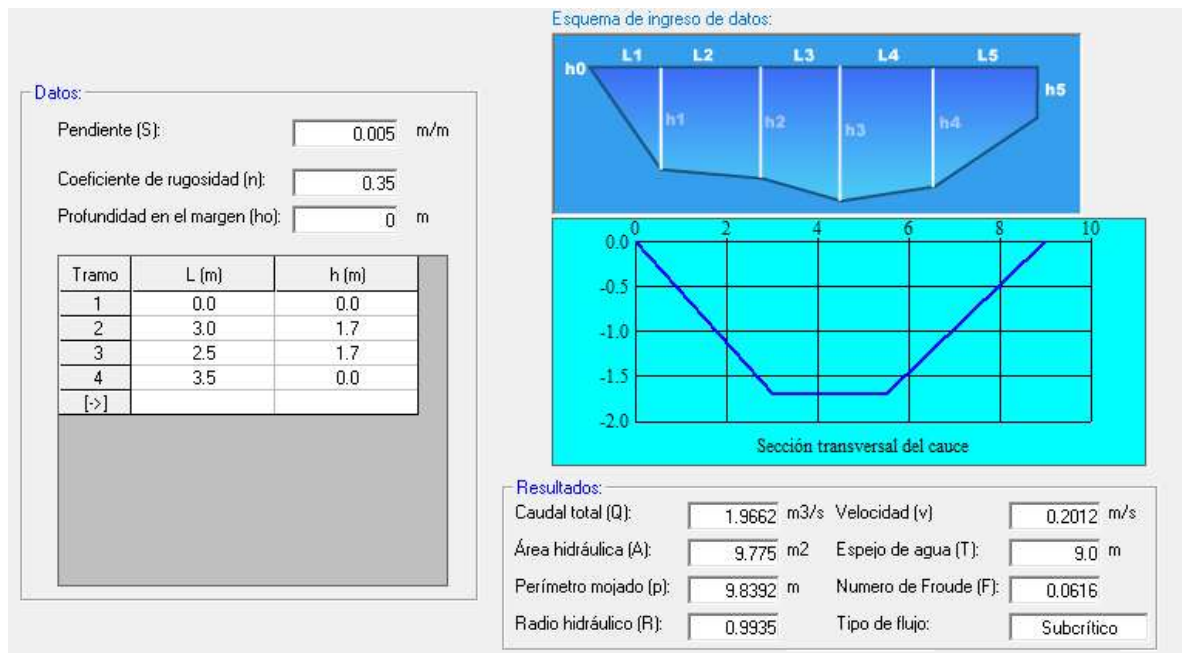
EJECUCIÓN

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

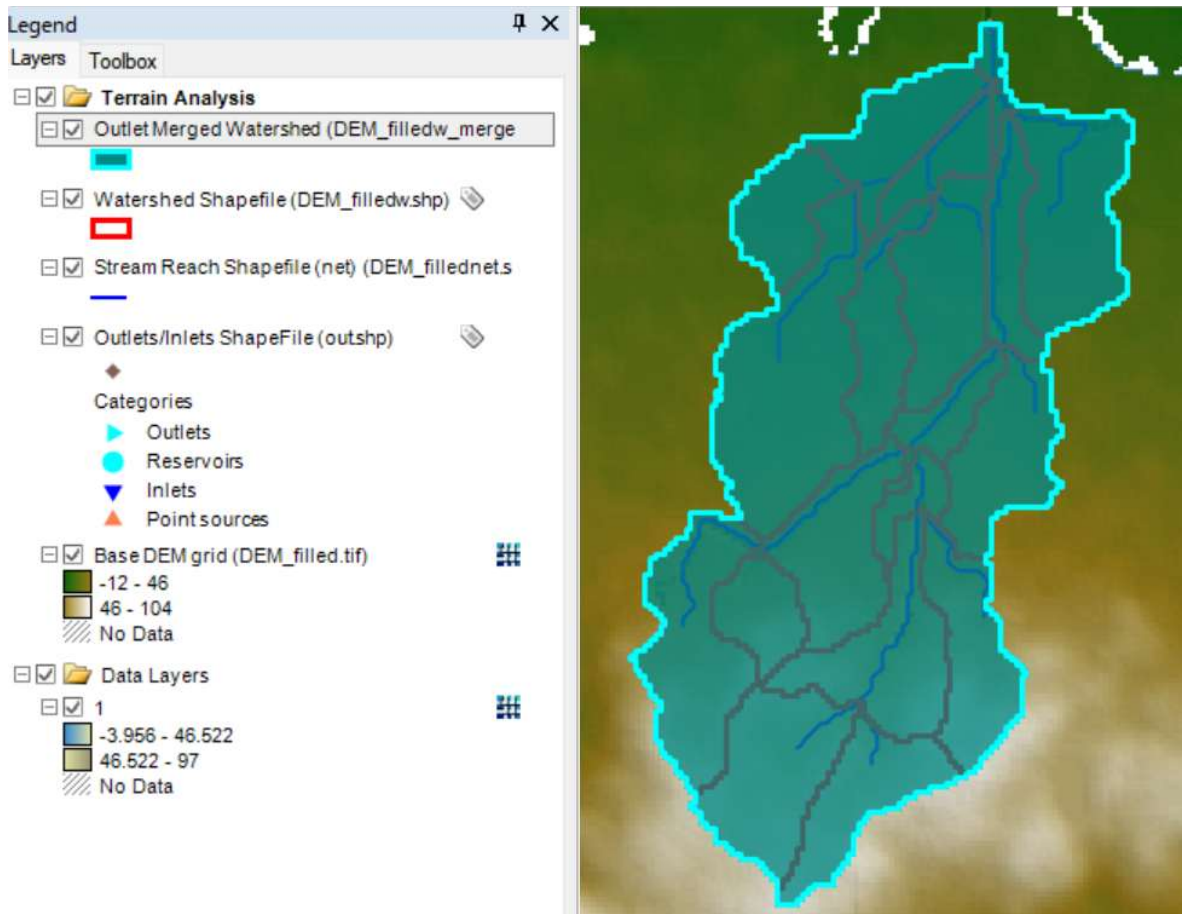
Se realiza un cálculo preliminar de la opción de trasvase de la cuenca de la K46 a canal existente.



La sección del tramo es de tipo trapezoidal con pendiente cercana al 0.5% y talud 1:2,



Los cálculos anteriores son estimadores de la capacidad actual del canal, deberán contrastarse con topografía de detalle para poder realizar las deducciones correspondientes y revisar el caudal transportado actualmente, sin incluir el trasvase.



Se determina un área tributaria, incluyendo la K46, de 151 Ha. Esto amerita un cálculo mediante métodos tipo SCS, no obstante se hace una estimación inicial con el Método racional Modificado

Estimación de Caudales Máximos - Método Racional Modificado (Inglaterra)

INTRODUCCIÓN Y JUSTIFICACIÓN DEL MÉTODO

El presente documento contiene la memoria de cálculo para la determinación del caudal pico de diseño en una cuenca con un área total de **151.33 hectáreas**. Debido a que la extensión de la cuenca se encuentra en el límite superior de validez del Método Racional Clásico, se ha seleccionado el **Método Racional Modificado (versión del Reino Unido / Wallingford)**.

Esta modificación metodológica es técnicamente robusta para este tamaño de área, ya que incorpora un factor de enrutamiento (\$C_r\$) que corrige y compensa los efectos de almacenamiento en la red de canales y la forma del hidrógrama, evitando la subestimación del caudal de diseño que suele presentar el método convencional en áreas mayores a 50 hectáreas.

PARÁMETROS DE DISEÑO Y DATOS DE ENTRADA

A continuación se consolidan los valores hidrológicos e hidráulicos adoptados para el desarrollo del cálculo:

- **Área total de la cuenca (\$A\$):** 151.33 Hectáreas (ha)
- **Coefficiente de escorrentía volumétrico (\$C_v\$):** 0.70 (*Ajustado para zonas semipermeables o de urbanización moderada*)
- **Intensidad de la lluvia de diseño (\$I\$):** 160.00 mm/h
- **Factor de enrutamiento (\$C_r\$):** 1.30 (*Valor estándar de la metodología de Wallingford*)

FORMULACIÓN MATEMÁTICA

La ecuación fundamental del Método Racional Modificado se define de la siguiente manera:

$$Q = \frac{C_v \cdot C_r \cdot I \cdot A}{360}$$

Donde el divisor **360** representa el factor de conversión dimensional para el sistema métrico internacional, permitiendo ingresar el área en hectáreas (ha), la intensidad en milímetros por hora (mm/h) y obtener el caudal directamente en metros cúbicos por segundo (\$m^3/s\$).

4. DESARROLLO DEL CÁLCULO DETALLADO

Sustituyendo los parámetros definidos en la ecuación matemática, se procede paso a paso con la resolución numérica:

Cálculo del Coeficiente de Escorrentía Efectivo Modificado

Se unifican los efectos del coeficiente volumétrico de la superficie y el factor de almacenamiento geométrico del método inglés:

$$C_{\text{efectivo}} = C_v \cdot C_r = 0.70 \cdot 1.30 = 0.91$$

Operación del Numerador Dimensional

Multiplicación del coeficiente efectivo por la intensidad del evento de tormenta y la extensión de la cuenca:

$$\text{Numerador} = 0.91 \cdot 160 \cdot 151.33 = 22,033.648$$

Conversión Final a Caudal Pico (Q)

Aplicación del divisor dimensional 360 para la obtención del flujo volumétrico final:

$$Q = \frac{22,033.648}{360} = 61.2045$$

RESULTADO DEL CAUDAL MÁXIMO DE DISEÑO

$$(Q_{\text{pico}}): 61.20 \text{ m}^3/\text{s}$$

- **Interpretación Hidráulica:** Este incremento es prudente y necesario para una cuenca de 151.33 ha. A medida que las cuencas aumentan de tamaño, el tránsito de la onda de crecida y la saturación de los sistemas de transporte generan presiones hidráulicas acumuladas que el método modificado absorbe mediante el coeficiente $C_r = 1.30$.

Nota: Este cálculo asume condiciones de lluvia homogéneas en el tiempo y espacio sobre la extensión de la cuenca. Si existen subcuencas con topografías o cubiertas de suelo drásticamente opuestas, se sugiere validar los resultados mediante una modelación de hidrógrafas unitarios (ej. HEC-HMS).

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)

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

1. Introducción

El presente informe consolida y analiza las observaciones emitidas por el Concepto Técnico Único Sectorial (CTUS) relacionadas exclusivamente con el componente hidrológico, hidráulico, drenaje, socavación y obras de protección del proyecto “Mejoramiento de la Vía 2516AT-05”.

El objetivo es presentar de manera clara, ordenada y técnica los requerimientos que deben ser atendidos por el contratista CODEING INGENIEROS S.A.S. para lograr la viabilización del proyecto ante el Sistema General de Regalías.

2. Requerimientos CTUS asociados al componente hidrológico e hidráulico

A continuación, se presentan únicamente los requisitos del CTUS que contienen observaciones que afectan directamente el estudio hidrológico, hidráulico, de socavación, drenaje y obras de protección.

2.1. Requisito COD R121 – Estudios Hidrológico e Hidráulico

Observación SUIFP: 07102025_R1_JRJO

Especificidad de la observación

El CTUS establece que el estudio hidrológico e hidráulico presentado por CODEING presenta deficiencias en su estructura, contenido técnico, trazabilidad y soporte metodológico. Las observaciones se centran en los siguientes aspectos:

1. **El documento no está firmado** y el memorial de responsabilidad no contiene la frase obligatoria que establece que los estudios no pueden ser modificados sin autorización una vez viabilizado el proyecto.
2. **La caracterización de cuencas y subcuencas es incompleta**, faltando información esencial como:
 - Área de cuenca y subcuencas
 - Longitud del cauce principal
 - Pendiente del cauce
 - Uso actual del suelo
 - Tipo de suelo
 - Grupo hidrológico
 - Número de curva (CN)

- Mapas temáticos de soporte
- 3. **El desarrollo de los cálculos no está documentado**, presentándose únicamente fórmulas y teoría sin mostrar:
 - Datos de entrada
 - Valores adoptados
 - Procedimientos paso a paso
 - Resultados intermedios
 - Justificación de parámetros
 - Trazabilidad de datos utilizados en software especializado
- 4. **No se justifica la ubicación de las alcantarillas** conforme a la cartilla de drenajes de INVIAS.
- 5. **No se presenta la revisión de capacidad hidráulica, estructural y funcional de las estructuras existentes y proyectadas**, incluyendo:
 - Alcantarillas
 - Box culverts
 - Puente
 - Remansos
 - Obstrucción parcial
 - Comportamiento durante la vida útil

Análisis técnico y acciones requeridas

CODEING debe realizar una reconstrucción completa del estudio hidrológico e hidráulico, garantizando trazabilidad, rigor técnico y cumplimiento normativo. Es indispensable que se presenten los cálculos completos, con datos de entrada verificables, procedimientos detallados y resultados reproducibles. La caracterización de cuencas debe ser actualizada con información geoespacial precisa y CN diferenciados por subcuenca.

La modelación hidrológica debe ser recalculada en HEC-HMS con subdivisión de cuencas y análisis de sensibilidad. La modelación hidráulica del puente debe incluir escenarios de obstrucción parcial y verificación de gálibo.

La ubicación de alcantarillas debe justificarse con criterios geomorfológicos y normativos. Finalmente, el documento debe ser firmado y acompañado del memorial de responsabilidad con la frase obligatoria exigida por el CTUS.

2.2. Requisito COD R136 – Estudios y Diseños Definitivos de Estructuras Especiales (Puentes)

Observación SUIFP: 07102025_R1_JRJO

Especificidad de la observación

El CTUS indica que no se presentó el estudio y diseño definitivo de la estructura especial (puente), lo cual afecta directamente el componente hidráulico.

El estudio hidráulico del puente presentado por CODEING no cumple con los requisitos de un diseño definitivo, ya que no incluye:

- Memorias estructurales
- Memorias hidráulicas completas
- Análisis de socavación general y local integrados al diseño
- Verificación de gálibo hidráulico

- Planos estructurales e hidráulicos
- Análisis de estabilidad y funcionalidad

Análisis técnico y acciones requeridas

CODEING debe presentar el diseño definitivo del puente, incluyendo todos los componentes estructurales e hidráulicos. El análisis hidráulico debe ser recalculado en HEC-RAS con escenarios de obstrucción parcial y TR de chequeo. La socavación debe integrarse al diseño de cimentación y protecciones. Los planos deben incluir plantas, perfiles, secciones y detalles constructivos.

El documento debe ser firmado por profesional competente con matrícula vigente.

2.3. Requisito COD R120 – Localización Exacta de la Obra

Observación SUIFP: 07102025_R1_JRJO

Especificidad de la observación

El CTUS exige la presentación de coordenadas geográficas en MAGNA-SIRGAS para:

- Inicio y fin del tramo vial
- Todas las estructuras hidráulicas existentes y proyectadas
- Obras de protección
- Descargas
- Cunetas especiales

El estudio hidráulico no presenta esta información.

Análisis técnico y acciones requeridas

CODEING debe generar un cuadro de coordenadas geográficas para todas las estructuras hidráulicas y obras de protección, acompañado de un plano georreferenciado. Esta información es indispensable para la trazabilidad del diseño y para la verificación de compatibilidad con la cartografía oficial.

2.4. Requisito COD R140 – Certificación de Fuentes de Materiales y Distancias de Acarreo

Observación SUIFP: 07102025_R1_JRJO

Especificidad de la observación

El CTUS señala que no se presentan certificaciones de fuentes de materiales ni distancias de acarreo.

Esto afecta directamente las obras hidráulicas, que requieren materiales específicos como:

- Gaviones
- Colchonetas
- Enrocados
- Concreto hidráulico
- Geotextiles
- Material filtrante

Análisis técnico y acciones requeridas

CODEING debe certificar la disponibilidad, ubicación y distancias de acarreo de todos los materiales utilizados en obras hidráulicas. Esta certificación debe ser emitida por los proveedores y debe ser coherente con el estudio ambiental y el presupuesto.

2.5. Requisito COD G306 – Documento Técnico Soporte (Incluye Análisis de Riesgos)

Observación SUIFP: 07102025_R1_JRJO

Especificidad de la observación

El CTUS exige un análisis de riesgos de desastres que incluya:

- Inundación
- Socavación
- Erosión
- Obstrucción de estructuras
- Fallas de drenaje
- Vulnerabilidad de la vía
- Medidas de mitigación

El estudio hidráulico no incluye este análisis.

Análisis técnico y acciones requeridas

CODEING debe elaborar un análisis de riesgo completo, integrando los resultados de las modelaciones hidrológicas e hidráulicas. Este análisis debe identificar amenazas, evaluar vulnerabilidad y proponer medidas de mitigación. El documento debe ser firmado por profesional competente.

2.6. Requisito COD G317 – Memorial de Responsabilidad Profesional

Observación SUIFP: 07102025_R1_JRJO

Especificidad de la observación

El memorial de responsabilidad presentado por CODEING no incluye la frase obligatoria exigida por el CTUS.

Análisis técnico y acciones requeridas

CODEING debe emitir un nuevo memorial de responsabilidad que incluya la frase completa exigida por el CTUS y que esté firmado por el profesional responsable del estudio hidráulico.

3. Conclusiones

El CTUS identifica deficiencias significativas en el componente hidrológico e hidráulico del proyecto. Para lograr la viabilización, CODEING debe realizar una revisión integral del estudio, complementando la información faltante, recalculando modelaciones, justificando decisiones de diseño, actualizando planos y presupuesto, y presentando documentos firmados y con trazabilidad completa.

El cumplimiento de estos requerimientos es indispensable para garantizar la seguridad hidráulica, la funcionalidad del drenaje y la estabilidad de las estructuras durante la vida útil del proyecto.

COD	Requisito	Estado	Impacto en hidráulica
R121	Estudios hidrológico e hidráulico	✗ No cumple	Afecta TODO el estudio hidráulico
R135	Puntos críticos	⚠ N.A.	Requiere coherencia con R121
R136	Diseño de puentes	✗ No cumple	El CTUS considera que NO se presentó el diseño definitivo
R120	Localización exacta	✗ No cumple	Faltan coordenadas de estructuras hidráulicas
R140	Materiales y acarreo	✗ No cumple	Afecta obras de protección hidráulica
G306	Documento técnico soporte	✗ No cumple	Falta análisis de riesgo hidráulico
G317	Memorial de responsabilidad	✗ No cumple	Memorial del estudio hidráulico no válido

Requisitos generales de subsanación:

Eje CTUS	Exigencia CTUS	Lo que tiene el estudio	Brecha real
1. Datos de lluvia e IDF	Series completas, consistencia, estaciones justificadas, IDF actualizada	Curva IDF construida, prueba de datos dudosos	Falta trazabilidad completa: estaciones, periodos, homogeneidad, representatividad espacial
2. Delimitación de cuencas	Cuencas verificadas con cartografía oficial y MDT	Cuencas delimitadas, pero sin evidencia de MDT ni validación	CTUS exige validación geomorfológica y MDT 12.5 m o mejor
3. Métodos hidrológicos	Justificación técnica del método según área	Método racional y SCS aplicados	No se justifica límite de aplicabilidad del método racional
4. Modelación HEC-HMS	Subcuencas, CN diferenciados, sensibilidad	Un solo CN para cuenca del puente	Simplificación excesiva; CTUS exige desagregación
5. Modelación HEC-RAS	Gálibo, obstrucción, TR mayor, estabilidad	Solo TR=50 años, sin obstrucción	CTUS exige escenarios de riesgo y obstrucción parcial
6. Drenaje longitudinal	Verificación de velocidades y erosión	Cuneta tipo verificada	Falta tabla de velocidades admisibles y análisis de erosión
7. Drenaje transversal	Control de entrada/salida, pérdidas, protección	Se verifica Hw/D	Falta análisis de pérdidas y protecciones en descargas
8. Socavación	General + local + nivel de cimentación	Cálculos Froehlich y HIRE	Falta síntesis y justificación del nivel de cimentación
9. Obras de protección	Deben estar en planos, memorias y presupuesto	Diseñadas (placa talud, gaviones)	No están en el presupuesto (observación crítica del CTUS)
10. Gestión del riesgo	Análisis de amenaza, vulnerabilidad y medidas	No incluido	CTUS exige capítulo completo de riesgo
11. Coherencia diseño-presupuesto	Cantidades deben coincidir	No coinciden	CTUS lo señala como inconsistencia mayor

No	Obligación Contractual	Producto
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	Apoyo en la elaboración de consecución de permisos para cruce de cauces en tuberías de alcantarillado sanitario

Se realiza ajuste de Evaluación de Riesgo para la Tubería

En este escenario de inundación en llanura, la gran área mojada (A) reduce la energía cinética del agua. La tubería, al contar con un recubrimiento de 1.00 m, se encuentra fuera de la zona de influencia de los esfuerzos cortantes generados por el flujo de 211.7 m³/s. El suelo arcilloso compacto (CL) ofrece una resistencia excedente frente a la velocidad de 0.47 m/s.

Cálculo de Socavación General (Método de Lischtván-Lebediev)

Basado en los reportes del Sondeo 7, correspondiente al punto de análisis tenemos que:

- Tipo de Suelo: Arcilla de plasticidad media arenosa (CL)
- Consistencia: Muy compacta a compacta.
- Peso Unitario Seco (γ_d): $\approx 1.69 \text{ ton/m}^3$ (calculado con $\gamma_{sat} = 1.95 \text{ ton/m}^3$ $w = 15$).

Para suelos cohesivos (arcillas), la socavación se calcula mediante el método de Lischtván-Lebediev, comparando la velocidad real del flujo contra la velocidad que el suelo es capaz de resistir sin degradarse.

Velocidad Admisible (V_{adm})

Determinamos la velocidad que no produce erosión para una arcilla compacta con $\gamma_d = 1.69 \text{ ton/m}^3$

$$V(adm) = 1.05 \text{ m/s}$$

Valor ajustado para un tirante de 1.17 m y coeficiente de frecuencia $\alpha = 1.10$

Socavación.

Utilizando la fórmula para suelos cohesivos:

$$H_s = \left[\frac{\alpha \cdot H_o^{5/3}}{0.68 \cdot \gamma_d^{1.18} \cdot \beta} \right]^{\frac{1}{1+z}}$$

Sin embargo, aplicando el criterio simplificado por comparación de velocidades:

Velocidad Actuante (V_{act}): 0.47 m/s

Esfuerzo Cortante Actuante (τ): 3.05 Pa.

Resistencia del Suelo (τ_c):

Para arcillas CL compactas, el esfuerzo crítico de inicio de movimiento es de aproximadamente 8.0 - 12.0 Pa.

Resultado del Cálculo:

Dado que $V_{act} < V_{adm}(0.47 <) y \tau < \tau_{(3.05 < 8)}$, la socavación general por arrastre de partículas en la llanura de inundación es despreciable ($d_s \approx 0.00$ m).

Recomendaciones de Protección

A pesar de que los resultados hidráulicos indican estabilidad, se deben considerar factores constructivos y de mantenimiento para garantizar la vida útil del alcantarillado:

- **Protección contra Socavación Local:** Si bien la socavación general es nula, si existen árboles o cambios bruscos en la sección, se puede generar turbulencia. Se recomienda verificar que no haya obstrucciones sobre el eje de la tubería.
- **Control de Erosión Superficial:** En el punto de cruce, se recomienda que el relleno de la zanja se realice con el mismo material seleccionado, compactado al 95% del Proctor Modificado, para evitar que el agua se infiltre preferencialmente por la zanja de la tubería (efecto "piping").
- **Señalización de Cruce:** Dado que es una zona de inundación recurrente, se debe instalar un hito o señal vertical fuera de la zona de inundación que indique la presencia de la tubería de alcantarillado para evitar excavaciones accidentales durante labores de limpieza del cauce.

Consistencia Hidrológica y Morfométrica

Atenuación por Forma: Las cuencas de los arroyos Hondo ($K_c = 3.49$) y Guanabanal ($K_c = 2.80$) presentan una geometría marcadamente alargada. Esto favorece un tiempo de respuesta lento, evitando picos de crecida instantáneos pero prolongando la duración de los niveles altos de agua.

Escalamiento de Caudales: Existe una consistencia física entre las áreas y los caudales pico calculados:

- **Arroyo Hondo:** Produce $9.67 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ para $Tr = 50$ años ($Q_{max} = 75.1 \text{ m}^3/\text{s}$).
- **Arroyo Guanabanal:** Produce $6.73 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ para $Tr = 100$ años ($Q_{max} = 211.7 \text{ m}^3/\text{s}$).
- Esta diferencia respeta la teoría de que cuencas pequeñas tienen una respuesta más concentrada e intensa por unidad de área.

Vulnerabilidad Crítica en el Cruce Arroyo Hondo

Esta es la zona de mayor riesgo identificada en el estudio:

Se encuentra insuficiencia de recubrimiento: La tubería de alcantarillado sanitario (PVC 12") cuenta con un recubrimiento actual de solo **0.23 m** (Cota corona 3.77 m vs. Cota fondo 4.00 m).

Potencial de Socavación: El análisis mediante el método de Lischtván-Lebediev estima una socavación de entre **1.55 m** y **1.85 m**.

Dado que la socavación proyectada es significativamente mayor al recubrimiento, la tubería quedará totalmente expuesta y "volando" durante el evento de diseño, con un riesgo inminente de falla estructural por impacto de escombros o flexión.

Estabilidad en el Cruce Arroyo Guanabanal

El escenario para la tubería de impulsión (PEAD) es más favorable debido a la dinámica de inundación en llanura:

Control por Expansión: Al desbordarse en una zona plana, la energía cinética se disipa, resultando en velocidades bajas (0.47 m/s) y esfuerzos cortantes mínimos (3.05 Pa).

Seguridad del Diseño: Con un recubrimiento de **1.00 m** (corona a 1.0 m bajo el fondo), la tubería se encuentra por debajo de la zona de influencia erosiva para este escenario de inundación. La arcilla tipo CL compacta resiste adecuadamente estas condiciones.

Recomendaciones Técnicas de Ingeniería

Para garantizar la operatividad del sistema de alcantarillado de Puerto Giraldo, se concluye necesaria la ejecución de las siguientes medidas:

Para Arroyo Hondo: Es obligatorio realizar un encamisado de concreto reforzado que funcione como viga estructural y, adicionalmente, instalar colchones Reno (espesor 0.23m - 0.30m) en el lecho para "congelar" la cota del fondo y evitar la progresión de la socavación.

Para Arroyo Guanabanal: Aunque hidráulicamente es estable, se recomienda el control de erosión superficial mediante la compactación del relleno de zanja al 95% del Proctor Modificado para evitar fallas por infiltración preferencial.

Se debe implementar un protocolo de inspección post-creciente para verificar que no existan obstrucciones (árboles o sedimentos) que generen turbulencias localizadas no previstas en el modelo.

Este análisis confirma que, mientras el cruce de Guanabanal es seguro bajo las condiciones actuales, el cruce del Arroyo Hondo requiere una intervención estructural inmediata para evitar el colapso del sistema sanitario.

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	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)

ACTA DE REUNIÓN DE TRABAJO N° 001-2026

PROYECTO / OBJETO: Formalización de equipo técnico para el ajuste y viabilización del proyecto "Vuelta de Leñas" y proyectos complementarios ante el Ministerio de Transporte.

FECHA: 9 de junio de 2026

HORA: 09:00 AM – 11:30 AM

LUGAR: Sala de Juntas - Secretaría de Infraestructura

1. ASISTENTES / PARTICIPANTES

Nombre Completo	Cargo / Rol	Entidad / Organización
Azael Charris	Secretario de Infraestructura	Secretaría de Infraestructura
Mario Alberto Segura	Subsecretario de Vías	Secretaría de Infraestructura
Jorge Mario de Vivero Toro	Funcionario Técnico	Secretaría de Infraestructura
Luis Fernando Olivares	Ingeniero Contratista	Secretaría de Infraestructura
Henry Castro	Ingeniero Contratista	Secretaría de Infraestructura
Gabriel Oyaga	Ingeniero Contratista	Secretaría de Infraestructura

2. ORDEN DEL DÍA

1. Verificación del quórum e instalación de la mesa de trabajo.
2. Definición del alcance de los ajustes técnicos para el proyecto **"Vuelta de Leñas"** y otros proyectos priorizados.
3. Conformación del equipo interdisciplinario de especialistas.
4. Establecimiento de la agenda de trabajo, cronograma de entregas y reuniones de seguimiento.
5. Propositiones y varios.

3. DESARROLLO DE LA REUNIÓN Y ACUERDOS

El Secretario de Infraestructura, Azael Charris, instaló la sesión manifestando la urgencia e importancia estratégica de radicar los proyectos en mención debidamente corregidos ante el Ministerio. Tras la intervención de los asistentes y la revisión del estado actual de los diseños, se tomaron las siguientes decisiones y compromisos oficiales:

3.1. Conformación del Equipo Técnico Interdisciplinario

Se formaliza de manera inmediata un equipo de trabajo conjunto entre la entidad y las firmas contratistas, el cual estará integrado por especialistas en las siguientes tres áreas clave:

- **Especialidad en Vías (Geometría y Pavimentos)**
- **Especialidad en Tránsito y Seguridad Vial**
- **Especialidad en Hidráulica e Hidrología**

Este equipo tendrá la responsabilidad de revisar, articular y determinar con precisión todos los requerimientos técnicos necesarios para ejecutar el ajuste integral del proyecto **"Vuelta de Leñas"** y demás proyectos anexos.

3.2. Meta de Viabilización Presupuestal y Técnica

El objetivo perentorio del equipo es subsanar, actualizar y estructurar los proyectos bajo los lineamientos y metodologías exigidas por el **Ministerio de Transporte (Vías)**, asegurando su radicación y viabilización final en un plazo **inferior a un (1) mes** a partir de la fecha de la presente acta.

3.3. Agenda de Trabajo y Seguimiento Semanal

Con el fin de garantizar el avance fluido y el cumplimiento estricto del cronograma, se fija una agenda de revisión obligatoria bajo el siguiente esquema:

- **Frecuencia:** Reuniones de seguimiento técnico semanales.
- **Dinámica:** Entrega de avances parciales por especialidad (Vías, Tránsito e Hidráulica) para mesas de co-diseño y mesas técnicas de validación interna antes de la entrega al Ministerio.

4. COMPROMISOS Y RESPONSABLES

Actividad / Compromiso	Responsable	Fecha Límite
Consolidación de observaciones iniciales del Ministerio para el proyecto Vuelta de Leñas.	M. Segura / J.M. de Vivero	3 días hábiles
Cruce de información técnica entre los especialistas de Vías, Tránsito e Hidráulica.	L.F. Olivares / H. Castro / G. Oyaga	Semanal
Primera reunión semanal de revisión de avances de ajuste estructural.	Todos los asistentes	Próxima semana
Radicación del expediente técnico final ante el Ministerio de Vías.	Azael Charris (Secretario)	Menos de 30 días

5. CIERRE

No habiendo más asuntos que tratar, se da por finalizada la reunión siendo las 11:30 AM del día de hoy, firmando el acta los que en ella intervinieron como constancia de los acuerdos alcanzados.

AZael CHARRIS Secretario de Infraestructura
MARIO ALBERTO SEGURA Subsecretario de Vías
JORGE MARIO DE VIVERO TORO Funcionario Técnico
LUIS FERNANDO OLIVARES Contratista
HENRY CASTRO Contratista
GABRIEL OYAGA Contratista

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.

La situación del estudio tanto para la vía como para la tubería es crítica y requiere atención inmediata, especialmente considerando que el Arroyo Gallego es un cuerpo de agua con una dinámica de erosión activa que ya compromete dos servicios esenciales: la movilidad (vía) y el suministro de agua (tubería).

Vista aérea de la problemática analizada.



Basado en las visitas a sitio y los datos técnicos desarrollados, se presenta el siguiente análisis de las zonas críticas y las posibles intervenciones:

Punto de Impacto Directo (Confluencia):

El arroyo tiene un trazado sinuoso. Justo en el punto de análisis se interceptan los ejes del arroyo, la vía y la tubería, convirtiéndose en un **meandro de impacto**. El agua golpea con fuerza el talud exterior de la curva del arroyo, que es precisamente donde se encuentra la infraestructura.

Exposición de la Tubería:

Al estar la tubería entre el arroyo y la vía, actúa como la primera línea de "defensa" ante la erosión, lo cual es peligroso. Una socavación mayor dejaría la tubería suspendida, provocando su rotura por el impacto de escombros arrastrados por la corriente.

Socavación del Talud de la Vía:

La berma de la vía ya se ve comprometida. Con un caudal de 36.2 m³/s, la velocidad del agua en eventos máximos es suficiente para remover material granular rápidamente, lo que podría derivar en la pérdida total de la banca.

Evaluación de condiciones existentes

A continuación se consolida la evaluación hidráulica y el análisis analítico de socavación para la protección de la línea de conducción de agua potable que es afectada por el Arroyo Gallego, en el corregimiento de Gallego, Sabanalarga. A partir de los datos definitivos extraídos del perfil del modelo hidráulico bidimensional en HEC-RAS, desarrollado a partir de topografía realizada en la zona de estudio.

Se identificó un escenario crítico caracterizado por una Velocidad Máxima de 1.90 m/s y una Tensión Cortante Actuante (Shear Stress) de 32.00 Pa en perfil realizado sobre la tubería.

Modelo de elevaciones a partir de topografía en HEC-RAS 2D.



El modelo es cargado con la información de estudios de suelos sobre el lecho y orilla considerando su granulometría para definir el Manning a utilizar. Caracterización Geotécnica de Laboratorio

Los reportes oficiales de laboratorio bajo norma ASTM D6913/D6913M determinan los parámetros físicos del suelo en la zonas de afectación.

Orilla (Muestra 1 - Llanura de Inundación / Talud de Cruce):

- Composición Granulométrica: Grava: 16.90%, Arena: 83.08%, Finos (Pasa Tamiz No. 200): 0.02%. Es un suelo granular limpio, con ausencia total de cohesión plástica (NP).
- Distribución de Tamaños (Curva Granulométrica): Diámetro efectivo $D_{10} = 0.2219$ mm, $D_{30} = 0.3127$ mm, $D_{60} = 0.5263$ mm.

- Índices de Gradación: Coeficiente de Uniformidad $C_u = 2.37$ (menor que 6), Coeficiente de Curvatura $C_c = 0.84$ (fuera del rango entre 1 y 3).
- Clasificación del Sistema Unificado (USCS): SP (Arena mal gradada). El material presenta una distribución granulométrica estrecha y homogénea, caracterizada por una matriz arenosa de grano medio a grueso con presencia subordinada de gravas finas de origen fluvial.

Fondo del canal del Arroyo Gallego (Muestra 2 - Lecho Activo):

- Fracción de Grava: 51.35% (Retenido acumulado en el Tamiz No. 4). Al superar el 50% de la fracción gruesa, define que el comportamiento mecánico principal del suelo está regido por partículas de origen gravoso.
- Fracción de Arena: 48.63% (Pasa Tamiz No. 4 y retenido en Tamiz No. 200), concentrada en su mayoría en los tamaños de arenas finas.
- Contenido de Finos: 0.02% (Pasa Tamiz No. 200). La presencia de lodos, limos o arcillas es prácticamente nula, lo que clasifica al suelo como un material limpio y No Plástico (NP), carente por completo de cohesión intrínseca.
- Clasificación según el Sistema Unificado (USCS): GP - Grava mal gradada (Pobremente gradada). Corresponde a un depósito aluvial activo compuesto por gravas finas a medias de formas subangulares a redondeadas, mezcladas con arenas limpias. El valor anómalo del coeficiente de curvatura ($C_c = 0.53$) evidencia una gradación discontinua o escalonada; es decir, el lecho posee abundancia de gravas gruesas y arenas finas, pero carece de los tamaños intermedios (arenas medias).

Para zona correspondiente al lecho, un valor de Manning $n = 0.03$ es el técnicamente sustentado por la granulometría de gravas presentes.

En la imagen satelital se observa que la llanura no es suelo desnudo; está dominada por coberturas antrópicas y naturales. Aunque el suelo base sea la fricción aquí no la gobernará la arena, sino lo que crece sobre ella.

El refinamiento de la simulación hidráulica bidimensional integró la rugosidad espacial del cauce mediante capas de uso de suelo (Land Cover), distribuyendo los coeficientes de rugosidad de Manning (n) conforme a las características morfológicas observadas en el Arroyo Gallego:

- Canal Principal / Lecho Activo ($n = 0.03$). Asignado a la zona principal de corriente donde se concentra el flujo permanente y semipermanente. Este valor modela de manera precisa un canal natural excavado en materiales aluviales (arenas y gravas mal gradadas según Muestra 2), limpio, recto y con mínima resistencia por fricción de fondo, lo que favorece el desarrollo de velocidades altas y flujos de alta energía.
- Zona de Pastizales ($n = 0.04$). Corresponde a la llanura de inundación adyacente y las bermas superiores estabilizadas por vegetación baja y densa. El flujo que desborda hacia esta zona experimenta una resistencia moderada al avance, disipando energía de forma gradual sin generar remolinos severos, pero manteniendo tirantes de agua significativos durante el pico de la avenida.
- Zona de Vegetación Riparia / Arbustos Densos ($n = 0.07$). Establecida en los bordes inmediatos del arroyo y en los taludes de las márgenes donde se ubica el alineamiento de la tubería. Las formaciones arbóreas, raíces expuestas, troncos y ramas generan una obstrucción severa al flujo, induciendo procesos de turbulencia local y pérdida severa de energía hidrodinámica. Esta fricción perimetral fuerza al agua a desacelerarse localmente, elevando los niveles de agua aguas arriba y

redirigiendo las líneas de corriente hacia zonas adyacentes, lo que concentra esfuerzos tangenciales elevados en la interfase de la orilla.

Asignación de coberturas y Manning.



Esfuerzo cortante crítico (τ_c) del suelo

En el talud de la orilla, las partículas experimentan fuerzas gravitacionales laterales debido a la pendiente del terreno, pero simultáneamente se benefician de la traba mecánica secundaria que aporta el 16.90% de grava fina dispersa en la matriz de arena gruesa.

Para mezclas aluviales típicas con esta conformación compacta y fricción intergranular, la práctica de ingeniería hidráulica y los manuales de drenaje validan que el parámetro adimensional de Shields corregido por confinamiento se eleva, situando la tensión crítica en el rango empírico de 2.0 a 5.0 N/m² (Pa).

Con el fin de estructurar un diseño seguro y apto para soportar auditorías institucionales, se adopta el límite intermedio de resistencia de 3.5 Pa

Desarrollo Técnico y Análisis 2D

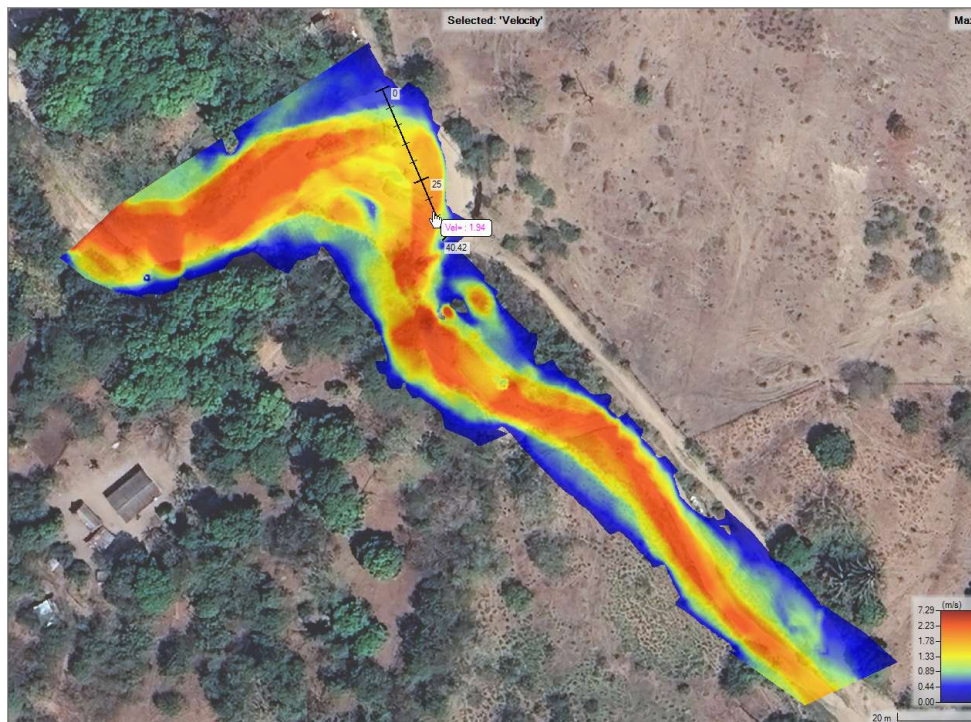
El mapa de velocidades en planta (Ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) exhibe un gradiente térmico de flujo que delimita con precisión el comportamiento del agua durante el evento de avenida extraordinaria ($T_r = 50$ años):

- Comportamiento del Canal Activo ($n = 0.03$): Se observa una banda central de altas velocidades (tonalidades rojas y naranjas) que serpentea a lo largo del eje del arroyo. El flujo encuentra la menor resistencia en el lecho limpio, lo que eleva la energía cinética y estabiliza el vector de velocidades en el rango de 1.50 a 1.9 m/s en el punto de cruce de la tubería.
- Efecto de la Vegetación Riparia ($n = 0.07$): En los bordes inmediatos del arroyo (zonas verdes y azules), la velocidad disminuye drásticamente a rangos inferiores a 0.50 m/s. Esto demuestra físicamente cómo la densidad de troncos y arbustos frena el agua en las márgenes externas, forzándola a concentrarse en la franja del lecho menor y generando un gradiente de corte hidráulico severo justo en la orilla sobre la zanja de la tubería.

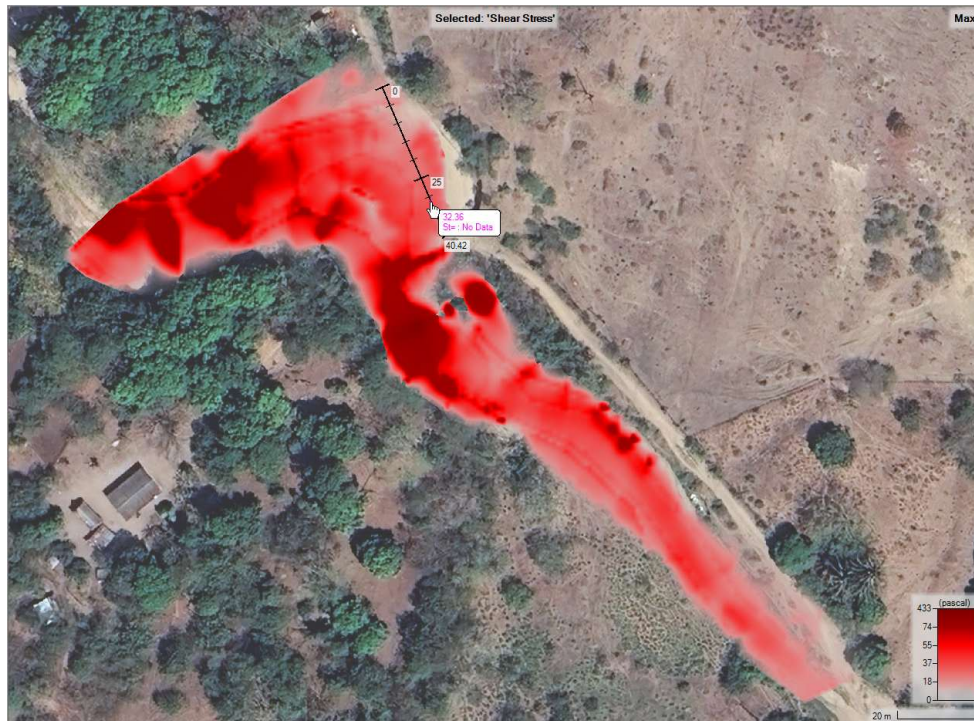
Por otro lado, el mapa de esfuerzo cortante (Ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) cartografía las fuerzas tangenciales por unidad de área que el flujo transmite mecánicamente hacia el subsuelo aluvial:

- Concentración de Esfuerzos sobre la Tubería: La zona de coloración roja más intensa interseca perpendicularmente la línea trazada para la conducción. En este sector, el esfuerzo cortante alcanza su pico definitivo de 32.00 Pa.
- Trazabilidad con la Rugosidad: La distribución espacial del esfuerzo de corte guarda relación directa con los cambios de sección y rugosidad. Justo en las transiciones donde el canal pasa del lecho liso ($n = 0.03$) a la obstrucción de la vegetación de orilla ($n = 0.07$), se incrementa la turbulencia local y el gradiente hidráulico, elevando los valores de tensión cortante por encima de la capacidad de resistencia al arrastre de la arena mal gradada SP (Muestra 1) y de la grava GP (Muestra 2).

Distribución Espacial de Velocidades Máximas en HEC-RAS 2D



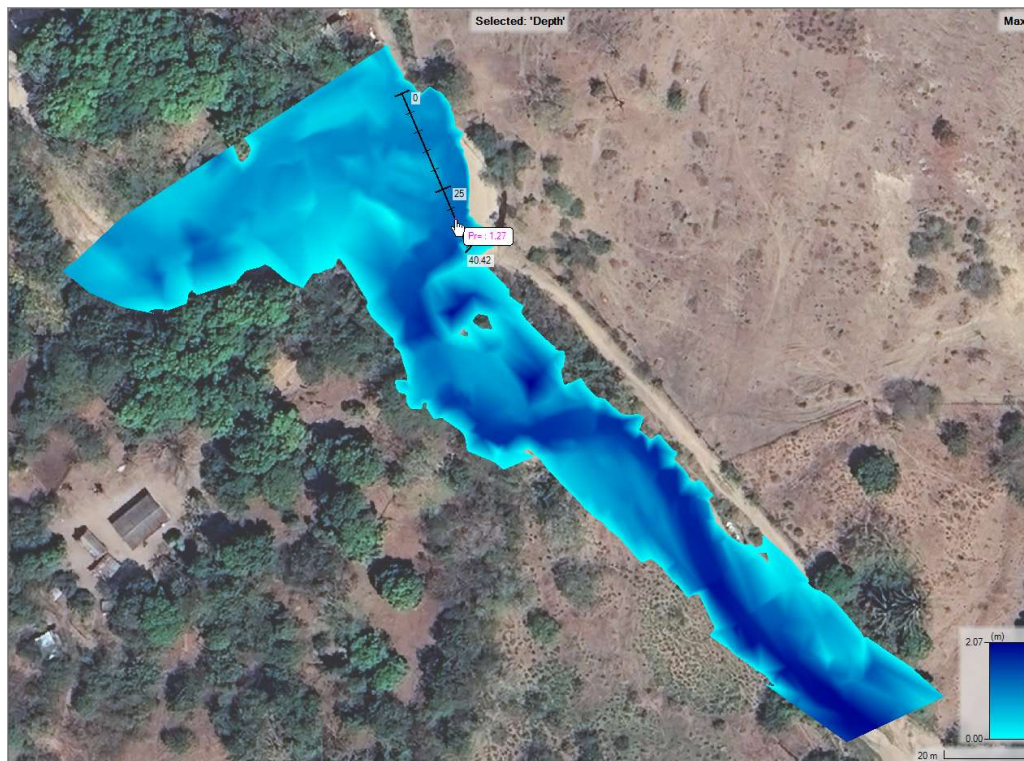
Mapa de esfuerzo cortante en HEC – RAS 2D



El mapa de profundidad de agua (Ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) representa el espesor de la lámina líquida acumulada sobre la topografía del cauce para condición máxima, permitiendo sectorizar el comportamiento del flujo:

- Canal Menor / Lecho Activo (Tonalidades Azules Intensas): El mapa identifica una franja central continua de color azul oscuro que marca la zona de mayor profundidad del arroyo. Justo en la intersección con la línea del alineamiento de la tubería, el tirante se estabiliza de forma nominal en 1.85 metros. Este confinamiento hídrico representa el eje de concentración del caudal de diseño.
- Llanuras de Inundación / Bermas Laterales (Tonalidades Azules Claras): Hacia las márgenes del cauce, las profundidades disminuyen gradualmente a rangos de 0.30 m a 0.80 m. Esta dispersión lateral coincide con la zona de pastizales ($n = 0.04$), demostrando que el arroyo desborda controladamente en sus márgenes altas, pero mantiene la carga hidráulica severa concentrada sobre el prisma donde se aloja la infraestructura.

Mapa de profundidades de agua en HEC-RAS 2D

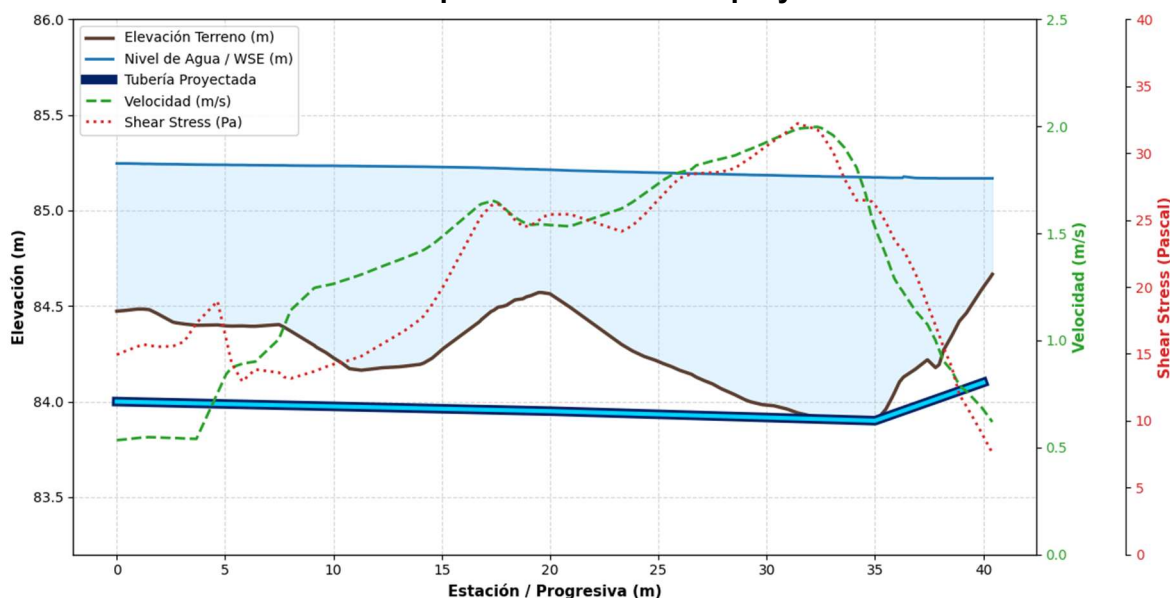


Se ha generado un perfil para el análisis de la orilla, sobre el trazado de la tubería. Los resultados del perfil (Ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) reafirman las condiciones de alta energía que actúan directamente sobre la zona de enterramiento de la conducción de agua potable, registrando una Velocidad Máxima de 1.90 m/s, una Tensión Cortante (*Shear Stress*) Máxima de 32.0 Pa y una Profundidad de Agua Máxima de 1.85 metros.

La correlación espacial de las curvas del perfil demuestra que los picos de velocidad y esfuerzo tangencial se concentran en las zonas de mayor gradiente y contracción geométrica del talud:

- La topografía del perfil de la orilla (línea negra del terreno natural) muestra una geometría irregular con una depresión central bien definida que actúa como el canal secundario de la orilla durante eventos de crecidas.
- La velocidad del flujo (curva de color azul con marcadores) presenta un comportamiento variable condicionado por la fricción geométrica del talud.
- La curva de esfuerzo cortante (línea de color rojo) calca espacialmente los cambios de energía cinemática de la velocidad. El *Shear Stress* inicia en valores moderados en las zonas altas de la berma y se eleva de manera abrupta en la zona de mayor velocidad y profundidad, consolidando su máximo de 32.00 Pa.
- Comportamiento Dinámico Reajustado: La coincidencia espacial de los picos de velocidad (1.90 m/s) y tensión (32.00 Pa) justo sobre el sector donde se emplaza la tubería a proteger demuestra que la zanja estará sometida de forma simultánea a la máxima fuerza tractiva del agua y al mayor arrastre hidrodinámico

Perfil hidráulico completo de la orilla con proyección de tubería



Verificación de erosión del material natural

Para arenas-gravas típicas, la **tensión crítica de inicio de movimiento** τ_c se encuentra en el rango:

$$\tau_c = 3.5 \text{ N/m}^2$$

Comparación:

$$\tau_{\max} = 32 \text{ N/m}^2 \gg \tau_c$$

Interpretación:

El esfuerzo cortante generado por la avenida de diseño supera ampliamente la tensión crítica del material del lecho y del pie de talud.

Se confirma que el cauce y el talud en el punto crítico son susceptibles a erosión y socavación significativa durante eventos de avenida.

Socavación de diseño en el punto crítico

Se adopta una socavación total de diseño que combina:

Socavación general del lecho y_g

Datos en el punto crítico:

- Tirante de agua de avenida de diseño = $h \approx 1.5 \text{ m}$
- Pendiente del cauce en el tramo de la tubería: baja (comportamiento más bien de valle, no torrencial).

Para cauces naturales con material granular suelto (arenas-gravas), se adopta un coeficiente α que relaciona la socavación general con el tirante:

$$y_g = \alpha \cdot h$$

Para pendientes bajas y material granular suelto, es razonable usar $\alpha = 0.6-0.7$ (HEC-20, 2012; CSU, 1999)

Tomando un valor intermedio:

$$\alpha = 0.65$$

Entonces:

$$y_g = \alpha \cdot h = 0.65 \cdot 1.5 = 0.975 \text{ m}$$

Se adopta:

$$y_g = 1.00 \text{ m}$$

Socavación Lateral / de Orilla y_l

La socavación lateral se evalúa mediante la relación entre el esfuerzo cortante actuante y el esfuerzo cortante crítico del material:

$$y_l = k \left(\frac{\tau_{\max}}{\tau_c} - 1 \right) h$$

Donde:

$$\tau_{\max} = 40 \text{ Pa}$$

$$\tau_c = 4 \text{ Pa (arenas-gravas sueltas; Shields, 1936; HEC-18, 2016)}$$

$$h = 1.5 \text{ m}$$

$$k = 0.06 \text{ (valor recomendado para cauces naturales de pendiente baja con talud erosionable; Odgaard, 1987)}$$

Cálculo:

$$\frac{\tau_{\max}}{\tau_c} = \frac{40}{4} = 10$$

$$y_l = 0.06 \cdot (10 - 1) \cdot 1.5$$

$$y_l = 0.06 \cdot 9 \cdot 1.5 = 0.81 \text{ m}$$

Se adopta 0.65 m

Socavación Total de Diseño y_{total}

$$y_{\text{total}} = y_g + y_l = 1.00 + 0.65 = 1.65 \text{ m}$$

Dado:

- La alta erodabilidad del material.
- La presencia de infraestructura crítica (tubería + vía).
- La incertidumbre en la evolución futura del cauce.

Los manuales de FHWA (HEC-18, HEC-20 y HEC-23) insisten en que el diseño de contramedidas frente a socavación debe considerar:

- Scour de cálculo + margen de seguridad,
- Profundidades de embedment de las obras por debajo del lecho potencialmente degradado,
- Incertidumbre en la evolución geomorfológica del cauce y en la estimación de esfuerzos cortantes.

En particular, HEC-20 y HEC-23 recomiendan que las contramedidas (muros, enrocados, guías, etc.) se funden por debajo de la profundidad de socavación estimada, añadiendo un margen que suele estar en el orden de 0.5–1.0 m según la criticidad de la infraestructura protegida

Considerando lo anterior se adopta un valor conservador:

$$y_{\text{diseño}} = 2.50 \text{ m}$$

Este valor se utiliza para:

- Profundidad de fundación del muro de gaviones.
- Extensión del colchón Reno.
- Espesor y longitud del enrocado de pie de talud.

Esta profundidad de diseño se mide desde el lecho actual en el punto de máxima tensión cortante, sobre la margen donde se ubica la tubería.

Alternativas de solución

Se presentan las siguientes opciones de intervención, bajo la meta de que la obra de protección debe enfocarse en reencauzar o blindar:

- **Opción A: Protección con Gaviones:**

Instalar una estructura de protección longitudinal a lo largo del talud afectado. Los gaviones son flexibles y se adaptan a los asentamientos del terreno.

- **Opción B: Canalización en Concreto (Sección en U o Trapezoidal):**

Canalizar ese tramo específico del arroyo para asegurar que el flujo sea laminar y no impacte lateralmente la vía. Esto protegería definitivamente la tubería.

Recomendación Prioritaria: Antes de la obra mayor, se debería realizar un relleno de protección (bolsacreto o suelo-cemento) sobre la tubería expuesta para evitar su falla inminente.

Alternativa	Intervención	Impacto en cauce	Flexibilidad y adaptación	Costo/constructibilidad
A. Protección con gaviones + enrocado	Muro de gaviones, colchón Reno y enrocado en la margen crítica	Baja: mantiene cauce natural, actúa solo en la orilla	Alta: sistema flexible, admite asentamientos y ajustes	Moderada, ejecutable por etapas
B. Canalización rígida en concreto	Sección en U/trapezoidal revestida en todo el tramo	Alta: transforma el arroyo en canal artificial	Baja: estructura rígida, sensible a socavación en extremos	Alta, requiere obras mayores y desvíos

Solución adoptada: Protección longitudinal en la margen donde se ubica la tubería, compuesta por:

- **Muro de gaviones de 3.0 m de altura**, base de 1.50 m y ancho superior de 1.00 m, relleno con roca 0.20–0.40 m.
- **Colchón Reno de 0.50 m de espesor** bajo el muro, extendido hacia el cauce.

- **Enrocado permanente** en el pie de talud, con $D_{50} = 0.30$ m y espesor de 0.60 m.
- **Geotextil no tejido** (300–400 g/m²) bajo Reno y enrocado, como filtro frente al suelo granular suelto.

Esta protección se diseña para una **socavación total de 2.5 m**, fundando el sistema por debajo del lecho potencialmente degradado y cubriendo el talud hasta por encima del nivel máximo de agua y de la tubería.

La solución escogida posee las siguientes ventajas:

- **Respeto la dinámica del arroyo:** La canalización en concreto “endereza” y rigidiza el cauce, eliminando su capacidad natural de disipar energía y trasladando problemas de erosión aguas arriba y aguas abajo. La protección con gaviones y enrocado actúa **solo donde es necesario** (margen de la tubería), manteniendo el comportamiento natural del arroyo.
- **Compatibilidad con los suelos existentes:** Los estudios de suelo muestran depósitos Qt de arenas–gravas sueltas y Tubará fracturable. Una canalización rígida apoyada sobre suelos poco competentes es más vulnerable a asentamientos diferenciales y fisuras. Los gaviones y el enrocado son **estructuras flexibles**, capaces de adaptarse a asentamientos sin perder estabilidad.
- **Gestión de la socavación:** La solución escogida se diseña explícitamente para una **socavación de 2.5 m**, con fundación profunda y protección del pie de talud. En una canalización, la socavación se concentra en los extremos (entradas/salidas) y en las transiciones, generando nuevos puntos críticos.
- **Menor impacto ambiental y paisajístico:** La canalización transforma el arroyo en un canal artificial, reduciendo hábitat y conectividad ecológica. Los gaviones y el enrocado permiten mantener el cauce como elemento natural, con vegetación en la margen no intervenida.
- **Flexibilidad de ejecución y ampliación:** La protección con gaviones puede ejecutarse **por fases**, ampliarse o reforzarse según se observe el comportamiento del cauce. Una canalización exige una intervención integral del tramo, con mayores costos, tiempos y afectación de la vía y la comunidad.

En síntesis, la protección escogida resuelve el problema donde realmente existe el riesgo (margen de la tubería), se adapta mejor a los suelos y a la hidráulica del arroyo, y evita los efectos secundarios y el costo elevado de una canalización rígida de todo el tramo.