Bogotá D.C., 26 de junio de 2025.

Señores:
HERNANDO JUNIOR MUÑOZ SERRANO
Representante Legal
CONSORCIO CADO
Ciudad.

REFERENCIA: **Mejoramiento y rehabilitación vía Lenguazaque – Ubaté**

ASUNTO: **Informe Técnico de Revisión Hidráulica documento INFORME DEFINITIVO V.0. – Vía Ubaté–Lenguazaque (Tramos K5+440–K5+670, K13+700–K13+950, K14+000–K14+418)**

Respetado Ingeniero,

El presente informe técnico evalúa detalladamente el componente de drenaje del proyecto de mejoramiento y mantenimiento de la vía Ubaté–Lenguazaque, enfocado en los tramos críticos K5+440 a K5+670, K13+700 a K13+950 y K14+000 a K14+418. Se revisa la coherencia técnica de las soluciones propuestas, su cumplimiento con el *Manual de Drenaje para Carreteras INVIAS (2011)*, y la factibilidad constructiva de cada elemento de drenaje diseñado (cunetas, filtros franceses, subdrenes, canales, box culverts, estructuras de disipación, etc.).

La evaluación se basa en el estudio hidráulico definitivo (Informe V0 de Hidráulica) elaborado por el contratista y en el Informe Hidráulico Preliminar de interventoría, contrastando los hallazgos de campo con los diseños propuestos.

A continuación, se presentan los resultados de la revisión estructurados por tramos, seguidos de conclusiones globales.

1. **Tramo K5+440 a K5+670**

Situación actual y problemática:

Este segmento, ubicado en la entrada al casco urbano de Guachetá, presenta condiciones hidrológicas y geotécnicas altamente vulnerables:

- En el costado derecho de la vía existe un canal natural sin revestimiento paralelo al camino, el cual infiltra agua constantemente hacia el terraplén, manteniendo saturado el pie del relleno.
- En el costado izquierdo se localiza un reservorio artificial que impone una humedad permanente en el subsuelo adyacente, generando presión de poros elevada, fenómenos de tubificación y pérdida de capacidad portante del material de relleno. Como consecuencia, la estructura del pavimento ha sufrido deterioro progresivo.
- Adicionalmente, se evidenció el *colapso parcial* de varias alcantarillas tipo box culvert en el tramo, con reducción de su sección hidráulica útil y deficiencias en la captación de aguas lluvias. En suma, la ausencia de un drenaje eficiente (superficial y subterráneo) ha ocasionado infiltraciones laterales no controladas, socavación y patología estructural significativa en este sector.

Soluciones de drenaje propuestas:

El diseño definitivo plantea un conjunto integral de obras hidráulicas para mitigar las problemáticas anteriores y encauzar apropiadamente el agua:

- Cunetas revestidas en concreto hidráulico (ambos costados):

  Se propone la construcción de cunetas laterales de sección trapezoidal o triangular revestidas en concreto, con pendiente longitudinal mínima de 1%. Estas cunetas recogerán la escorrentía superficial de la calzada, conduciéndola fuera del cuerpo vial. Cada cuneta estará conectada a estructuras disipadoras de energía en sus descargas, con el fin de regular el flujo y reducir su velocidad antes de ingresar a las obras de paso (alcantarillas transversales).

  Esta solución es *técnicamente coherente* dado que aislará el agua pluvial del pavimento y taludes, evitando que continúe infiltrándose descontroladamente al terraplén. La selección de cunetas de concreto sigue las directrices normativas: el diseño adopta la *cuneta tipo recomendada* por la cartilla de obras de drenaje vial menor del INVIAS, asegurando dimensiones y forma estandarizadas. Además, el dimensionamiento hidráulico se basó en el método de Manning para canales abiertos, utilizando un caudal de diseño asociado a un período de retorno adecuado (5 años, según lo recomendado por el Manual de Drenaje INVIAS para este tipo de obras). Esto cumple con la normativa vigente, que sugiere emplear periodos de retorno entre 2 y 10 años para cunetas, alcantarillas y drenajes menores en carreteras.

  La velocidad del flujo en las cunetas se mantendrá controlada; de hecho, se verificó que aun en la pendiente más pronunciada de este tramo el caudal a transportar es inferior a la

capacidad máxima de la sección de cuneta seleccionada, existiendo holgura hidráulica suficiente. Adicionalmente, el diseño considera un bombeo transversal (pendiente de corona) mínimo del orden de 2% hacia las cunetas, garantizando que el agua escurra eficientemente desde la superficie de rodadura hacia los costados.

La constructabilidad de estas cunetas es viable, requiriendo trabajos lineales de excavación y conformación a lo largo de la vía. Dado que la vía es existente, se deberá planificar la ejecución por tramos cortos para gestionar el tráfico y contener provisoriamente la escorrentía durante la construcción. No se prevén dificultades mayores en la construcción del revestimiento de concreto, más allá de un control de calidad estricto para asegurar la pendiente mínima continua y un acabado hidráulicamente óptimo (sin irregularidades que puedan atrapar sedimentos).

- Filtros franceses longitudinales (subdrenes) en ambos costados:

Bajo el fondo de las cunetas proyectadas se instalará un sistema de drenaje subterráneo tipo *dren francés*, conformado por grava bien graduada envolviendo una tubería perforada de PVC de alta resistencia, todo envuelto en geotextil no tejido filtrante. La función de estos filtros longitudinales es interceptar el flujo de agua subsuperficial (freático o infiltrado) que esté elevando la saturación del suelo, capturándolo antes de que presurice el terraplén, y conducirlo de forma controlada hasta las alcantarillas transversales de desagüe.

Esta medida es técnicamente justificada por los estudios de suelos: el perfil en la zona contiene arcillas y arenas susceptibles a cambios volumétricos con la humedad, así como a la erosión interna por flujo de agua. Los filtros franceses mitigarán estos procesos al reducir presiones de poro y prevenir la migración de finos del relleno, contribuyendo a estabilizar la base del pavimento. El diámetro de la tubería drenante se ha verificado mediante cálculos de capacidad: con una pendiente mínima estimada de 0.3% (limitada por la topografía del tramo), se determinó necesario un diámetro de al menos 100 mm (4"), que es el especificado en diseño, para evacuar el caudal infiltrado máximo previsto. Este valor concuerda con prácticas habituales de drenaje subsuperficial en vías terciarias y cumple los lineamientos del Manual INVIAS, que resalta la importancia de proveer subdrenaje en zonas con niveles freáticos altos o infiltración lateral persistente.

En términos de factibilidad constructiva, la implementación de los drenes franceses es convencional: implica la excavación de zanjas a lo largo de las cunetas (aprox. 0.5–1.0 m de profundidad), la colocación de la tubería ranurada con pendiente suave, el relleno con grava filtrante y la protección con geotextil. Se debe prestar atención a la correcta compactación de

la zanja y a no dañar el geotextil durante el relleno. No se anticipan problemas mayores, aunque será crucial coordinar su construcción con la de las cunetas superficiales de modo que actúen como un sistema integrado.

- Limpieza, reconformación y estabilización del canal existente (costado derecho):

  El cauce sin revestir ubicado en la margen derecha será intervenido para restaurar su sección y estabilidad. La interventoría recomienda remover los sedimentos, escombros y vegetación invasiva, devolviendo al canal su capacidad hidráulica original. Esta limpieza permitirá inspeccionar detalladamente el estado del lecho y taludes del canal, donde previamente se detectó socavación en la base del terraplén vial por el contacto directo con el flujo**. Tras la reconformación geométrica del canal, se aplicarán medidas de estabilización en los tramos requeridos, tales como técnicas de bioingeniería (vegetación de protección) o refuerzos con geomallas y material granular en el talud del terraplén.

  Esta actividad deberá articularse con el plan de mantenimiento estructural del proyecto, dada su estrecha relación con la estabilidad geotécnica de la vía. Desde el punto de vista técnico, la intervención al canal es coherente: un cauce sin revestir y colmatado genera gradientes hidráulicos adversos hacia la vía, por lo que su rehabilitación (y probable revestimiento con concreto a futuro, acorde a las cunetas) es indispensable para encauzar las aguas de forma segura. En cuanto a la constructabilidad, habrá que trabajar con precaución en la base del terraplén; podrían requerirse muros guía o soporte temporal mientras se excava y limpia, para no desestabilizar el relleno de la carretera. Sin embargo, con metodología constructiva adecuada (trabajos en tiempo seco, por tramos cortos, y uso de maquinaria liviana donde sea posible), es totalmente factible. Es importante prever la disposición final del material extraído (sedimentos y vegetación) y asegurar que el canal terminado tenga la pendiente y sección deseadas para acoplarse a las nuevas obras (cunetas y disipadores).

- Mantenimiento y rehabilitación de alcantarillas tipo *box culvert*:

  Se identificaron al menos dos estructuras de drenaje transversal (box culverts) relevantes en este tramo: una ubicada en el ingreso a Guachetá y otra cerca de la abscisa K5+670. El plan de mejoramiento contempla una limpieza técnica exhaustiva de estas alcantarillas, removiendo sedimentos acumulados, escombros y cualquier obstrucción, con el objetivo de restituir su sección hidráulica original y capacidad de diseño. Adicionalmente, al retirar el material colmatado se podrá evaluar su condición estructural interna; la interventoría hace énfasis en recuperar la capacidad estructural de estas obras y prevenir represamientos que induzcan presiones hidrostáticas sobre el terraplén.

La medida es claramente pertinente, dado que unas alcantarillas obstruidas contribuyen a inundaciones locales y filtraciones indeseadas hacia la estructura de la vía. De hecho, se constató que las colmataciones habían comprometido significativamente la funcionalidad hidráulica del sistema en este tramo. La limpieza y rehabilitación devolverá continuidad al flujo, evitando acumulaciones que generen sobrepresiones o socaven la base del relleno.

En términos de normativa, esta actuación se adscribe a las labores de mantenimiento periódico que el Manual de Drenaje enfatiza para garantizar la vida útil de las obras hidráulicas. Desde el punto de vista de obra, la factibilidad es alta: la limpieza puede realizarse con cuadrillas manuales asistidas por equipos de presión (hidrojet) o succión si fuera necesario, dada la corta longitud de los box culverts en vías terciarias. Si se hallan daños estructurales (recordando el "colapso parcial" indicado en el diagnóstico), podría requerirse la reparación con concreto, refuerzo interno con aros de acero o incluso reemplazo de elementos prefabricados. Estas contingencias deberán manejarse caso a caso; no obstante, el diseño final no reportó la necesidad de sustituir las alcantarillas, lo cual sugiere que se confía en su recuperación mediante limpieza y eventuales refacciones menores.

- Eliminación del reservorio artificial (costado izquierdo):

Como medida excepcional pero crítica, la interventoría propone gestionar la *desecación o remoción* del cuerpo de agua artificial adyacente, en coordinación con el propietario del predio y las autoridades competentes. La presencia continua de este reservorio ha mantenido los suelos del entorno en estado saturado, facilitando la infiltración lateral hacia la vía y alimentando procesos de tubificación y erosión interna del terraplén. La eliminación de esta fuente permanente de humedad se considera esencial para restablecer condiciones estables: su permanencia genera una presión intersticial constante que disminuye la resistencia efectiva del relleno y aumenta el riesgo de falla estructural progresiva.

Desde la óptica técnica, esta acción es absolutamente coherente con los principios de *gestión del riesgo hidráulico-geotécnico*: se está suprimiendo la causa raíz de la saturación anómala del terreno de cimentación del vial. Si bien el Manual de Drenaje de INVIAS no contempla explícitamente un "retiro de cuerpos de agua" como obra de drenaje, sí promueve la protección de la vía contra inundaciones o flujos externos; en este caso, el reservorio actúa a modo de fuente continua de infiltración, análoga a una *laguna incontrolada* que debe ser manejada. La factibilidad de esta labor dependerá de factores extra-técnicos: legalmente requerirá acuerdos con el dueño del terreno y eventualmente obras de compensación (por ejemplo, reubicar el estanque o adecuar un drenaje para evitar su re-formación). Constructivamente, podría implicar drenar el agua (mediante bombeo o canal hacia una quebrada segura) y luego rellenar

el área con material selecto compactado, creando un drenaje subterráneo que impida la acumulación futura.

Dado que esta medida trasciende el derecho de vía, deberá abordarse como parte de un plan integral de estabilización y se recomienda su priorización por el alto impacto positivo que tendría eliminar esta fuente de riesgo.

Evaluación técnica y cumplimiento normativo:

En conjunto, las soluciones previstas para el Tramo K5+440–K5+670 demuestran una coherencia técnica sobresaliente. Cada patología identificada en el diagnóstico tiene una respuesta de ingeniería específica y complementaria: drenaje superficial para las aguas de lluvia (cunetas y disipadores), drenaje profundo para aguas subsuperficiales (filtros franceses), mejoras de cauces existentes (canal derecho) y supresión de fuentes de agua externas (reservorio), además del mantenimiento de estructuras transversales. Este enfoque integral concuerda con las mejores prácticas plasmadas en el Manual de Drenaje INVIAS 2011, el cual indica que el diseño de drenaje vial debe contemplar dispositivos para manejar eficientemente la escorrentía y controlar la infiltración, con el fin de proteger la capacidad estructural del pavimento y la estabilidad de los taludes adyacentes.

Se destaca que el periodo de retorno adoptado (5 años) para el dimensionamiento de las cunetas y descoles está dentro del rango sugerido por la normativa (usualmente 5 años para drenajes menores en vías de este tipo). Igualmente, el estudio hidrológico aplicó el método racional con intensidades de lluvia derivadas de las curvas IDF regionalizadas de INVIAS, habiendo seleccionado una intensidad de diseño conservadora de *213,2 mm/h para 10 minutos* (TR=5 años) según se documenta.

Esto garantiza un margen de seguridad adecuado frente a eventos extremos de precipitación en la zona. En lo que respecta a pendientes, tanto el valor mínimo de 1% en cunetas como el 0.3% en subdrenes cumplen con el criterio de evitar acumulación de sedimentos; el Manual 2011 recomienda asegurar pendientes autolimpiantes en cunetas (generalmente ≥0.5-1% dependiendo del revestimiento) y, cuando esto no es posible, prever mantenimiento frecuente, lineamiento que se ha seguido incorporando estructuras disipativas y planes de limpieza periódica**.

Consideraciones de constructibilidad:

Las intervenciones propuestas en este tramo son *constructivamente factibles* utilizando métodos convencionales de la ingeniería vial, pero requerirán una planificación cuidadosa debido a la confluencia de varias obras en un tramo corto. La simultánea construcción de cunetas y subdrenes a ambos lados implicará movimientos de tierra significativos; se debe asegurar la estabilidad temporal

del terraplén al excavar junto a su pie (especialmente en el costado derecho) y quizá ejecutar los costados de forma alternada para no comprometer el soporte lateral del camino.

La maquinaria involucrada (retroexcavadoras pequeñas, minicarcadores, camiones) puede operar desde la calzada o berma, lo cual demanda implementar gestión de tráfico (paso alternado de vehículos) durante la ejecución. La disposición del concreto para las cunetas requerirá un suministro constante y curado apropiado, más aún en tramos de pendiente variable. El control topográfico será esencial para materializar la pendiente mínima de 1% en un terreno que pudiera tener zonas relativamente planas.

Respecto a la limpieza de alcantarillas y canal, conviene programarlas al inicio, antes de la construcción de nuevas cunetas, para que el sistema existente esté despejado y pueda conducir las aguas mientras duren las obras (evitando inundaciones durante la construcción). Finalmente, la eliminación del reservorio es viable pero debe coordinarse interinstitucionalmente; se sugiere hacerla *antes* o en paralelo a las obras viales, de modo que el terreno circundante alcance a drenar y consolidar en ausencia de dicha carga hidráulica durante la fase constructiva de las nuevas estructuras de drenaje.

2. **Tramo K13+700 a K13+950**

Situación actual y problemática:

Este tramo de 250 metros se ubica en una zona intermedia de la vía que, si bien no fue resaltada como “crítica” en los hallazgos de campo de la interventoría, forma parte del proyecto de mejoramiento por presentar deficiencias de drenaje que potencialmente comprometen la durabilidad del pavimento. Del análisis hidrológico-hidráulico se desprende que en este sector confluyen escorrentías superficiales de una cuenca lateral moderada, con caudales de diseño relativamente pequeños (del orden de 0,004–0,008 m³/s para lluvia de 5 años), pero que, al carecer de obras de drenaje adecuadas, pueden generar encharcamientos y filtraciones.

La topografía de este tramo parece incluir una zona de pendiente reducida (cercana al punto medio, con pendiente longitudinal casi nula según el estudio), lo cual puede haber provocado acumulación de agua sobre la vía y saturación del afirmado. No se reportan en este tramo cuerpos de agua adyacentes prominentes ni canales naturales significativos, por lo que el principal desafío es encauzar el agua de lluvia y evitar su infiltración en la estructura vial, especialmente en zonas planas donde el agua tiende a estancarse.

Soluciones de drenaje propuestas:

Siguiendo el criterio unificado aplicado en toda la vía, el diseño propone implementar también en el Tramo K13+700–K13+950 soluciones de drenaje superficial y subsuperficial para elevar el estándar de la vía a uno sostenible frente al agua:

- Construcción de cunetas laterales:

  Se proyectan cunetas superficiales en los costados de la vía, preferiblemente revestidas en concreto hidráulico al igual que en los otros tramos, con la misma sección tipo de la cartilla INVIAS y pendiente longitudinal mínima en torno a 1%. Dado que este segmento no presentaba cunetas formadas, la adición de estas estructuras garantizará la recolección continua de las aguas de lluvia que escurren por la calzada, previniendo su acumulación.

  La decisión de revestirlas con concreto obedece tanto a criterios hidráulicos (los gradientes pueden aumentar río abajo del tramo y el revestimiento previene erosión) como de mantenimiento (cunetas en concreto requieren menos limpieza de vegetación). No obstante, si la pendiente efectiva en algún subtramo resultase muy baja, se podría considerar una cuneta en césped o mampostería que permita cierta infiltración controlada; esto estaría supeditado a verificar que no cause daño.

  En cualquier caso, hidráulicamente el diseño es suficiente, pues las simulaciones indicaron que el caudal máximo esperado es mucho menor que la capacidad de transporte de la cuneta incluso con la mínima pendiente disponible. Esto significa que aun en eventuales condiciones de sedimentación, habría margen antes de un desborde. Estas cunetas drenan hacia las obras transversales existentes en los extremos del tramo (o nuevos descoles si se hubiesen previsto). Según la información de diseño, el tramo se conecta aguas abajo con el inicio del Tramo K14, donde hay alcantarillas, por lo que es factible canalizar el flujo hacia allí. La compatibilidad con el Manual de Drenaje es clara y se está dotando a la vía de elementos básicos de drenaje que antes faltaban, cumpliendo con la recomendación de nunca dejar vías sin cunetas en climas lluviosos debido al riesgo de infiltración y deterioro prematuro del pavimento.

- Instalación de subdrenes tipo francés:

  En concordancia con los demás sectores, bajo las cunetas de este tramo se incluyen drenes longitudinales (tubería perforada en grava envuelta en geotextil) para captar aguas subsuperficiales. Aunque no se documentó un problema tan severo de niveles freáticos como

en otros tramos, es una medida preventiva valiosa considerando la cercanía con el tramo K14 (donde sí hay evidencia de suelos saturados) y la posible existencia de filtraciones subterráneas menores. El diseño unificó la solución de filtros franceses a lo largo de todos los tramos (Tramo 1, 2 y 3), por lo que se adopta también aquí un tubo de 4" con pendiente de 0.3% para garantizar continuidad hidráulica.

Estos subdrenes conducirán el agua infiltrada hacia puntos de descarga seguros (posiblemente conectando con alcantarillas transversales ubicadas cerca de K13+700 o K13+950, o salidas controladas en taludes). La implementación de drenes es consistente con el Manual INVIAS, que recomienda drenaje subsuperficial en zonas donde el agua pueda disminuir la capacidad portante de la cimentación de la vía; y si bien la magnitud del problema en este tramo es moderada, la estandarización de la solución agrega robustez al sistema de drenaje global de la carretera.

- Mejoras puntuales de drenaje transversal:

Si bien el informe preliminar de interventoría no hizo mención expresa de alcantarillas en K13+700–K13+950, es razonable asumir que existen descoles naturales o estructuras de cruce en los extremos del tramo (por ejemplo, una alcantarilla en K13+950 que reciba el flujo de la cuneta izquierda hacia el costado derecho, dado que en el Tramo 3 se menciona subdren sólo en el lado izquierdo). El diseño definitivo habría verificado la capacidad de esas obras de paso para manejar los caudales recogidos en las nuevas cunetas. De no ser suficientes, debería contemplarse su ampliación o duplicación; sin embargo, los caudales son bajos, por lo que es muy probable que las alcantarillas existentes (si las hay) tengan capacidad sobrada tras su limpieza.

En cualquier caso, la interventoría destaca la necesidad de limpieza de box culverts en general en los tramos intervenidos, aplicable a este segmento si existe alguno. Esto es importante para el cumplimiento del Manual, que insta a mantener despejadas las estructuras de drenaje para evitar que eventos frecuentes puedan superarlas por obstrucción (un factor de seguridad a menudo ignorado). Técnicamente, se hace énfasis en que todas las nuevas cunetas *deben* desembocar adecuadamente, ya sea en alcantarillas transversales o en descargas controladas con protección (enrocados) en los extremos; permitir que una cuneta simplemente "muera" contra un terraplén sería inaceptable por riesgo de erosión, algo que el diseño explícitamente evitó al recomendar disipadores en cada entrega de cuneta.

Evaluación técnica y cumplimiento normativo:

Las soluciones en el Tramo K13+700–K13+950 se alinean con el enfoque integrado de los otros tramos, lo cual es técnicamente coherente y muestra uniformidad en el criterio de diseño. Aunque este sector no presentaba un caso tan complejo (no hay un canal erosivo ni un reservorio crítico), la provisión de cunetas y subdrenes previene a futuro la aparición de problemas similares a los de los tramos adyacentes.

El cumplimiento del Manual de Drenaje INVIAS se evidencia en varios aspectos:

- Periodos de diseño: se mantuvo la misma filosofía de periodo de retorno (5 años) asegurando que incluso un tramo intermedio sin mayores flujos recibe un estándar de diseño adecuado.
- Pendientes mínimas: el estudio identificó pendientes muy bajas localmente (del orden de 0.05% en parte del tramo, ver tabla hidráulica) y por ello en las recomendaciones del informe se hace hincapié en garantizar pendientes longitudinales mínimas en obra, ajustando cotas si es preciso, para evitar estancamientos. Esto refleja adherencia a las guías: el manual señala que *no debe haber tramos de cuneta planos*, y en caso de ser inevitable, se deben ubicar pozos disipadores o drenajes subterráneos, medidas que aquí se están tomando (subdrenes bajo cuneta y disipadores al final).
- Capacidad hidráulica: la verificación cuantitativa mostró amplio cumplimiento (“CUMPLE”) en todas las subdivisiones de cuenca analizadas para este tramo**, indicando que con el diseño propuesto las obras operarán dentro de rangos seguros sin sobrepasar sus capacidades.

Consideraciones de constructibilidad:

La construcción de las obras en K13+700–K13+950 no reviste mayores complejidades adicionales a las ya descritas para el tramo anterior. De hecho, al no haber elementos extraordinarios (como reservas de agua o canales grandes), se trata principalmente de ejecutar cunetas y subdrenes en terreno relativamente estable. Si la topografía es muy plana en algún punto, el contratista deberá ser particularmente cuidadoso en el replanteo de niveles para lograr una caída continua: podría requerirse excavar ligeramente más profundo a la mitad del tramo para crear pendiente donde naturalmente no la hay, o emplear una alcantarilla transversal intermedia que actúe como descarga central dividiendo el tramo en dos pendientes opuestas (aunque esto último no fue mencionado en el diseño).

En caso de encontrarse el nivel freático alto durante la excavación de subdrenes (posible en temporada húmeda), se deberá bombear temporalmente el agua para instalar adecuadamente los filtros; esta es una actividad rutinaria en construcción de drenajes. Es clave también la coordinación con el Tramo 3 contiguo: las cunetas y drenes de K13+700 – K13+950 deben conectarse limpiamente

con las del tramo K14+000, sin saltos ni discontinuidades, lo cual implica trabajar en el traslapo de ambos segmentos de manera unificada. Dado que la vía en este tramo seguramente permanecerá en servicio durante las obras, habrá que señalizar y canalizar el tránsito local con las debidas precauciones, pero el ancho de la carretera y bermas debería permitir los trabajos lateralmente sin cortes totales prolongados.

En síntesis, la intervención prevista dotará a este tramo intermedio de un sistema de drenaje completo donde antes no lo había, con lo cual se elevará su capacidad de servicio y se reducirá la vulnerabilidad ante lluvias intensas o condiciones de saturación prolongada.

3. Tramo K14+000 a K14+418

Situación actual y problemática:

Este segmento final (aproximadamente 418 m de longitud) presenta las condiciones más críticas en términos de estabilidad hidráulica y estructural. Durante la evaluación de campo, se encontró un canal revestido existente en el costado derecho, el cual fue construido en contacto inmediato con el borde de la calzada y sin cuneta de por medio ni barrera drenante alguna. Esta configuración inapropiada, sumada a la pendiente longitudinal muy pronunciada de la vía en esta zona, ha ocasionado que las aguas desciendan a gran velocidad junto al pavimento, infiltrándose lateralmente hacia la subrasante del camino. La ausencia total de cunetas superficiales y de drenaje subsuperficial en este tramo ha derivado en humedad permanente en la base del terraplén, aumento de presiones intersticiales y deformaciones diferenciales del pavimento (hundimientos, fisuras y asentamientos) observadas in situ.

Por otro lado, el canal existente, si bien revestido, carece de mantenimiento, se verificó acumulación de sedimentos y material vegetal obstruyendo parcialmente los box culverts (alcantarillas) a las que descarga, generando un estado de colmatación que compromete la funcionalidad hidráulica del sistema de drenaje transversal. En conjunto, estos factores configuran un escenario de inestabilidad severa: el flujo superficial no controlado causa erosión en sectores puntuales (por la falta de disipadores) y la infiltración constante socava la capacidad de soporte del relleno, habiéndose identificado fenómenos de tubificación y pérdida de finos similares a los del tramo del kilómetro 5. La estructura de la vía en este tramo ha evidenciado un patrón de deterioro concordante con estos procesos (grietas, deformaciones transversales), confirmando la necesidad de una intervención profunda.

Soluciones de drenaje propuestas:

Para remediar los problemas mencionados, el proyecto plantea en el Tramo K14+000–K14+418 un esquema multidisciplinario de obras, combinando drenaje superficial, drenaje subsuperficial y medidas de aislamiento hidráulico del terraplén:

- Cunetas revestidas en concreto hidráulico en ambos costados:

  Al igual que en tramos previos, se construirán cunetas laterales trapezoidales/triangulares de concreto, a lo largo de todo el segmento, garantizando pendiente ≥1% y continuidad hasta las estructuras de salida.

  Estas cunetas cumplirán varias funciones vitales:

  - Captar eficientemente la escorrentía superficial de la vía y también parte del flujo que actualmente lleva el canal, conduciéndolos de forma ordenada.
  - Minimizar la erosión en la faja vial, al encauzar el agua en un curso definido y revestido en vez de permitir escurrimientos descontrolados por los taludes.
  - Evitar el *contacto prolongado del agua con los taludes del terraplén*, es decir, aislar hidráulicamente la estructura vial del flujo constante, previniendo la saturación de los suelos de cimentación.

  Para ello, el diseño indica que las cunetas de este tramo se integrarán con estructuras disipadoras de energía en los puntos necesarios, dado lo pronunciado de la pendiente. Es decir, se incorporarán disipadores (p. ej. cuencos de concreto, trampas de energía con enrocado, o cambios d-e sección) que reduzcan la velocidad del agua en tramos de gran pendiente o antes de su entrega a alcantarillas, evitando daños por socavación.

  Esta es una clara aplicación de las recomendaciones del Manual INVIAS, que sugiere el uso de pozos disipadores, saltos o colchones de energía cuando la velocidad en cunetas revestidas puede exceder valores críticos para la estabilidad de la estructura (típicamente de 3 m/s para cunetas en concreto, umbral que podría alcanzarse en una pendiente fuerte). Con las cunetas propuestas, la coherencia técnica es evidente: se colmata la brecha que existía en el drenaje superficial (antes no había cuneta alguna), proporcionando una vía dedicada al agua lejos del pavimento.

  Al dimensionarse con el mismo criterio de 5–10 años de periodo de retorno, se asegura uniformidad de diseño; incluso, dada la criticidad, podría haberse optado por 10 años en este tramo para mayor seguridad, valor que está dentro de lo recomendado para obras de drenaje mayores.

El estudio no explicita en el texto qué TR tomó para las alcantarillas de este tramo, pero al unificar criterios es probable que haya utilizado 10 años, lo que sería adecuado conforme a la norma. Constructivamente, hacer cunetas en este tramo requerirá movimientos de suelo en laderas empinadas: habrá que excavar en el costado derecho entre la calzada y el canal existente, y en el costado izquierdo en el talud de relleno, procurando no debilitar los taludes; quizá sea necesario ejecutar muros o bordillos de confinamiento en algunos tramos para que la cuneta tenga soporte (especialmente donde el ancho disponible es escaso). No obstante, la construcción es *viable* usando métodos convencionales; se debe extremar la precaución en la estabilización provisional de los taludes durante la excavación.

El aprovechamiento del canal derecho actual como parte de la cuneta puede ser considerado: por ejemplo, tras su limpieza, podría funcionar como cuneta revestida si su alineamiento es paralelo a la vía, complementándolo con la barrera drenante vertical que se describe más adelante.

- Instalación de geodren vertical en talud derecho (barrera drenante):

Una de las soluciones más innovadoras en este tramo es la colocación de un geodren planar vertical a lo largo del costado derecho, interpuesto entre el canal/cuneta y el terraplén de la vía. Se trata de un prefabricado drenante compuesto por un núcleo sintético de alta capacidad de flujo, envuelto en geotextil filtrante, que al disponerse verticalmente contra el talud actúa como una barrera permeable: permite drenar el agua que se filtra lateralmente, pero a la vez interrumpe la migración de la humedad hacia el interior del terraplén.

En esencia, este geodren evita que el agua del canal derecho (o cuneta) penetre la estructura vial, capturándola inmediatamente en la interfaz y conduciéndola hacia abajo (posiblemente conectando con los subdrenes o con descargas inferiores). Esta solución está alineada con los principios de *aislamiento hidráulico estructural* que, si bien no son comunes en todos los manuales, representan mejores prácticas en tramos donde la cercanía de una fuente de agua al pavimento es inevitable. El informe de interventoría recalca que con el geodren se busca controlar el gradiente hidráulico desde el canal hacia la vía, reduciendo la presión intersticial y frenando procesos de tubificación y pérdida de finos.

Desde el punto de vista normativo, la medida no contradice ninguna especificación INVIAS; más bien es un complemento de ingeniería geotécnico-hidráulica que potencia el desempeño del drenaje. Su *coherencia técnica* es alta, ya que soluciona elegantemente la falta de "espacio" para cunetas anchas o berma entre el canal y la calzada: donde no cabe un buen cunetón separador, se inserta este panel drenante. En términos de factibilidad de obra, la

instalación de un geodren vertical requerirá excavaciones estrechas pero profundas (a lo alto del talud derecho). Probablemente se deba abrir una zanja vertical o inclinada de varios metros de altura, colocar el panel drenante y rellenar con material granular. Esto implica trabajar manualmente o con máquinas pequeñas en un talud empinado, lo cual es ejecutable con personal especializado en estabilidad de taludes.

Será crucial garantizar la unión entre geodren y subdrenes/cunetas para que el agua captada tenga salida. Cabe destacar que la durabilidad del geodren dependerá de una correcta instalación (evitando daños al geotextil) y de que el material de relleno no lo colmate; afortunadamente, su mantenimiento es pasivo (no requiere intervención si se instala bien). Esta técnica, aunque inusual en proyectos pequeños, refleja un nivel avanzado de diseño orientado a la resiliencia de la vía, al atacar de raíz el problema de la infiltración lateral**.

- Filtro francés longitudinal en costado izquierdo:

En la margen opuesta (izquierda) del tramo, el diseño incorpora un drenaje francés longitudinal similar a los de tramos anteriores. Este subdren se compone de grava, tubería perforada de PVC y geotextil, con el fin de captar aguas subsuperficiales que provengan del terraplén izquierdo o desde la calzada misma. La necesidad de este filtro se explica porque el costado izquierdo correspondía, según el diagnóstico, a un terraplén de relleno sin drenaje interno, donde se habían detectado aumentos de presión de poros, asentamientos y reducción de la vida útil estructural por saturación; dicho de otro modo, la base del relleno estaba húmeda y sin alivio.

El dren longitudinal interceptará el flujo freático ascendente o lateral desde esa zona, reduciendo la saturación y preservando la estabilidad del relleno. Además, complementa al geodren derecho: mientras este bloquea la entrada de agua, el subdren izquierdo recoge la que pudiera estar ya presente o venir desde abajo, logrando entre ambos costados un adecuado manejo de aguas subsuperficiales. La tubería drenante seguirá siendo de 4” y desembocará probablemente en una caja de inspección conectada a la alcantarilla más próxima, o mediante salida controlada en talud al final del tramo.

Esta obra de drenaje subsuperficial está totalmente acorde con las especificaciones del manual que subrayan la importancia de proteger los terraplenes altos o suelos finos de la saturación prolongada. De hecho, la ausencia de subdren en este costado fue señalada como causante de incremento de presiones y desplazamientos, por lo que su incorporación es correcta. Constructivamente, el procedimiento es estándar: zanja a pie de talud, instalación del dren en coordinación con la cuneta superficial, y recubrimiento. Se debe tener cuidado de

no alterar el pie del terraplén más de lo necesario al excavar; sin embargo, una zanja de dren, bien ejecutada, tenderá luego a mejorar la estabilidad al aliviar el nivel freático.

- Limpieza y rehabilitación de alcantarillas (box culverts):

  Para restablecer el funcionamiento pleno del drenaje transversal en este tramo, se llevará a cabo una limpieza técnica de todas las alcantarillas existentes, removiendo sedimentos, lodos y vegetación que ocasionaron la colmatación avanzada observada. Esto incluye los *box culverts* ubicados a lo largo del tramo (posiblemente uno principal cerca del K14+418 y otros menores si existen). Con la limpieza se recuperará la sección hidráulica original de las obras de paso y se evitará que actúen como cuellos de botella que respaldan el agua en las cunetas.

  Adicionalmente, se inspeccionará su integridad estructural; cualquier daño en los muros o losas deberá repararse para garantizar su vida útil remanente. La intervención propuesta por la interventoría enfatiza que esta limpieza permitirá mantener un flujo continuo y controlado, previniendo acumulaciones que generen presiones indeseadas sobre el terraplén.

  En la práctica, esta actividad es muy factible: se deberá programar preferiblemente antes de la temporada de lluvias y una vez despejada la cuneta derecha, para poder acceder a los sumideros de entrada de las alcantarillas. Dado que el tramo es pendiente fuerte, se tendrá que asegurar que los operarios trabajen con seguridad al retirar escombros de los conductos. Tras la limpieza, se podría considerar revestir los fondos de las alcantarillas con mortero o instalar rejillas de malla aguas arriba para retardar futura colmatación, siguiendo lineamientos de mantenimiento preventivo del Manual de Drenaje (el cual recomienda inspecciones periódicas y limpiezas antes del periodo de lluvias en estructuras de drenaje).

- Rehabilitación del canal del costado derecho:

  El canal existente, que funciona como colector principal en el costado derecho, será objeto de limpieza, reconformación y estabilización, similar a lo descrito para el tramo K5. Esto incluye retirar residuos y sedimentos para restaurar su capacidad, y evaluar detalladamente la socavación causada al pie del terraplén por su flujo adyacente. Se debe verificar si la base del talud ha sufrido pérdida de material o vacíos; de ser así, se estabilizará con relleno compactado, rajón o concreto, y se protegerá mediante técnicas de bioingeniería o geomalla, según convenga.

  Dado que en este caso el canal ya está revestido en gran parte, la labor se centrará en reparar tramos dañados del revestimiento (grietas, socavaciones bajo la losa) y asegurar que el canal

quede hidráulicamente compatibilizado con las nuevas cunetas/disipadores. Es posible que parte del canal actué ahora como tramo de cuneta; por tanto, su pendiente y sección deberán empatar con las obras nuevas. Este canal es crucial porque recoge aguas de la ladera; eliminarlo no es viable, así que rehabilitarlo es la mejor estrategia.

La coherencia técnica es clara, pues no se deja ningún elemento existente sin integrar al nuevo sistema de drenaje, y la conformidad con estándares se refleja en que un canal revestido medianamente funcional se lleva a un estado óptimo con limpieza y mantenimiento, tal acción está totalmente en línea con el capítulo de mantenimiento del manual, que indica conservar y mejorar las estructuras de drenaje existentes antes de construir nuevas.

La factibilidad constructiva es alta, requiriendo mano de obra manual para descolmatar y equipos pequeños para concreto. Se debe planificar trabajar en tramos cortos del canal para no dejarlo expuesto completamente (podría llover y escurrir agua mientras se interviene). Eventualmente, podrían requerirse desvíos provisionales del agua (por bombeo o canaletas temporales) durante la reconstrucción de alguna sección, garantizando que la obra no sea socavada durante su ejecución.

Evaluación técnica y cumplimiento normativo:

Las medidas adoptadas en el Tramo K14+000–K14+418 demuestran un *cumplimiento cabal de los lineamientos técnicos vigentes* y una estrategia robusta frente a las condiciones adversas del sitio. En primer lugar, se atiende el drenaje superficial deficitario: dotar de cunetas y disipadores a un tramo sin ellos corrige una desviación importante respecto a las normas, pues ninguna vía de montaña debería carecer de cunetas dada la concentración de escorrentía que ocurre en pendientes fuertes.

La solución de cunetas cumple con los criterios de la normativa colombiana tanto en diseño (se adopta la tipología y pendientes recomendadas) como en operación (se garantizan velocidades controladas mediante disipación). En segundo lugar, se incorpora drenaje subsuperficial y aislamiento donde el manual probablemente lo hubiese sugerido de haber existido un caso tipo: el uso de subdrenes y geodrenes en este tramo es coherente con el principio general de que *"no debe permitirse la infiltración continua en los rellenos de una vía"*. Si bien el Manual de Drenaje 2011 no menciona explícitamente geodrenes verticales (tecnología más reciente), sí establece la importancia de barreras impermeables o filtros en taludes para evitar flujo no controlado bajo la calzada.

En ese sentido, la solución adoptada equivale a proveer un tapón drenante entre la fuente de agua y el terraplén, satisfaciendo la intención de la norma de proteger la infraestructura de la saturación lateral. Asimismo, se observa la adherencia a parámetros de diseño adecuados: por ejemplo, el

estudio utilizó las curvas IDF y coeficientes de escorrentía pertinentes a la zona (tomados de estaciones IDEAM cercanas y bibliografía nacional), garantizando que el dimensionamiento de cunetas y alcantarillas se basa en condiciones climáticas reales y conservadoras.

Los cálculos hidráulicos presentados muestran que para este tramo las cunetas y canal propuestas pueden evacuar el caudal de diseño sin exceder la capacidad (todas las comprobaciones aparecen como *CUMPLE* en las tablas de chequeo hidráulico), lo cual brinda tranquilidad respecto a la suficiencia de las secciones transversales elegidas. En suma, técnicamente el proyecto en este tramo se apega a las buenas prácticas de *ingeniería de drenaje resiliente*, atacando tanto causas como efectos de la problemática hídrica.

Consideraciones de constructibilidad:

La ejecución de las obras en K14+000–K14+418 será probablemente la más desafiante del proyecto por las pendientes y la complejidad del sistema propuesto. Sin embargo, es factible con planificación rigurosa. Se debe priorizar la estabilización temporal de taludes: al excavar para cunetas y colocar geodrenes, existe riesgo de deslizamientos locales, por lo que se podrían requerir andamiajes o entibados en zanjas profundas y una secuencia de trabajo de arriba hacia abajo (por ejemplo, instalar primero secciones superiores del geodren y cuneta, luego descender). El acceso de maquinaria al costado derecho puede ser limitado; quizás se deba realizar manualmente gran parte de la zanja del geodren o usar equipos especiales tipo spider excavators en taludes.

La coordinación de múltiples actividades en un espacio reducido (limpieza de canal, excavación de cuneta, instalación de geodren, colocación de subdren) demandará una programación detallada para evitar interferencias y garantizar que, por ejemplo, el canal esté limpio y desaguando mientras se construyen las nuevas cunetas, así no fluirá agua donde se está trabajando. Otro punto crítico es la disposición del material excavado: dado el volumen de suelo que se removerá de cunetas y zanjas, habrá que transportarlo fuera del sitio o reutilizarlo convenientemente (posiblemente para tapar el geodren o conformar banquinas). El tránsito vehicular en este tramo podría requerir cortes parciales significativos, incluso con paso alternado controlado por paleteros o semáforos temporales, ya que trabajar en ambos costados reduce la calzada disponible; la seguridad vial y de los trabajadores debe ser máxima en estas condiciones.

Por último, la implementación de disipadores de energía deberá hacerse con atención a los detalles: si son colchones de enrocado, asegurar el tamaño de piedra y espesor adecuados; si son cajas disipadoras, construirlas robustamente ancladas al terreno. Estas estructuras son pequeñas pero cruciales para el desempeño; el informe final ya sugiere dimensiones para un disipador típico de

enrocado (0,70 m de ancho, 3,0 m de largo, 0,15 m de espesor) en sitios donde la cuneta descargue libremente, lo cual sirve de guía en obra para construirlas correctamente.

En definitiva, aunque complejo, el plan constructivo en este tramo es realizable con el apoyo de personal especializado en estabilización de taludes y drenajes, y su resultado traerá beneficios sustanciales en la longevidad de la vía.

4. Conclusiones

Tras el análisis detallado por tramos, se concluye que el proyecto de mejoramiento y mantenimiento de la vía Ubaté–Lenguazaque ha incorporado un diseño hidráulico integral, coherente con la problemática diagnosticada y en consonancia con la normativa técnica vigente. Los segmentos evaluados evidenciaban, previo a la intervención, un claro desequilibrio hídrico-geotécnico manifestado en infiltraciones laterales descontroladas, presiones de poro elevadas, socavación y colmatación de drenajes.

Las soluciones propuestas abordan estas causas raíz mediante una combinación de drenaje superficial (cunetas revestidas, canales restaurados), drenaje subsuperficial (filtros franceses, geodrenes verticales) y dispositivos de disipación de energía en concordancia con principios de *ingeniería resiliente* recomendados para la infraestructura vial actual.

Se destaca positivamente que el diseño cumple con las recomendaciones del *Manual de Drenaje para Carreteras – INVIAS 2011* en cuanto a criterios de diseño (periodos de retorno, metodologías de cálculo hidrológico e hidráulico, secciones tipo de cunetas y alcantarillas). La adopción uniforme de un periodo de retorno de 5 años para las obras longitudinales (y hasta 10 años en transversales, según se infiere) es adecuada para una vía de esta categoría, proporcionando un nivel de servicio seguro ante eventos de lluvia frecuentes.

Asimismo, el empleo de fórmulas y parámetros del manual (ej. método racional simplificado de INVIAS, coeficientes regionales, etc.) garantiza que los caudales de diseño han sido estimados con rigor y conservadurismo técnico. En cuanto a las estructuras específicas, el uso de cunetas en concreto con pendientes controladas y disipadores en descargas concuerda plenamente con las guías de INVIAS para zonas de montaña, evitando velocidades erosivas y asegurando la estabilidad de taludes y la calzada frente al flujo de agua. La incorporación de subdrenes y filtros es consistente con las mejores prácticas para preservar la capacidad portante del pavimento, evitando saturación de la subrasante; su diseño (materiales granulométricos, diámetros, pendientes) se basó en estudios geotécnicos e hidráulicos satisfactorios.

Desde la perspectiva de la interventoría, las acciones propuestas son técnicamente fundamentadas y se soportan en evidencia de campo y normativa. No se identifican incoherencias mayores entre la problemática diagnosticada y las soluciones: por el contrario, hay una correspondencia directa que denota un diseño bien concebido. Por ejemplo, allí donde existía saturación por un reservorio, la solución es eliminar la fuente; donde había un canal erosionando, se canaliza y aísla; donde faltaban cunetas, se construyen y se refuerzan con subdrenes; donde las alcantarillas estaban colmatadas, se limpian y rehabilitan. Esta alineación causa-efecto refleja un alto nivel de competencia técnica por parte del diseñador, validado posteriormente por la interventoría.

Además, la consideración de medidas de *sostenibilidad operativa* como la necesidad de mantenimiento periódico (explicitada en el informe definitivo) y la coordinación institucional (p.ej. gestión para la eliminación del reservorio con entidades competentes) muestra una visión integral del proyecto más allá del diseño en papel, anticipando las acciones requeridas para la durabilidad en el tiempo.

En materia de factibilidad constructiva global, el conjunto de obras es perfectamente ejecutable con los medios de la ingeniería civil actual. Si bien existen retos constructivos (taludes pronunciados, manejo de agua durante la obra, confinamiento de trabajos en zonas reducidas), todos ellos son abordables con técnicas conocidas. Será esencial la supervisión especializada en *hidráulica y geotecnia* durante la construcción, tal como se recomienda, para garantizar que cada elemento se construya según la especificación y que se tomen las medidas preventivas necesarias.

La interventoría deberá velar porque se mantenga la secuencia lógica: primero asegurar que los drenajes provisionales funcionen, luego ejecutar movimientos de tierra controlados, y finalmente rematar con las estructuras disipativas y acabados que garanticen el correcto funcionamiento hidráulico sin causar erosión ni impactos ambientales negativos.

En conclusión, los tramos K5+440–K5+670, K13+700–K13+950 y K14+000–K14+418 presentaban condiciones hidráulicas y estructurales críticas que amenazaban la seguridad y vida útil de la vía. El proyecto de mejoramiento ha respondido a estos desafíos con un diseño técnicamente sólido y normativamente conforme, que al implementarse permitirá restituir la estabilidad funcional del corredor, reducir su vulnerabilidad frente a eventos hidrometeorológicos extremos y consolidar una infraestructura más resiliente y duradera.

Las soluciones integrales propuestas (drenaje efectivo superficial/subsuperficial y estabilización de taludes) abordan de manera simultánea los fenómenos de socavación, saturación y colapso

progresivo que se habían manifestado, minimizando los riesgos asociados a la interacción agua-estructura. Como recomendaciones finales, se subraya la importancia de ejecutar las obras con estricto apego a las especificaciones técnicas revisadas, mantener una vigilancia continua de su desempeño durante y después de las obras, y establecer un plan de mantenimiento rutinario posterior a las obras que incluya la limpieza periódica de cunetas y alcantarillas, la inspección de los drenes instalados y la verificación después de la temporada de lluvias de los taludes protegidos. Solo mediante esta visión integral de *construcción más mantenimiento* se garantizará que los objetivos de rehabilitación y mitigación de riesgo en estos tramos se sostengan en el largo plazo, asegurando así la funcionalidad, seguridad y servicio de la vía Ubaté–Lenguazaque para la comunidad.

La Interventoría deja constancia de que el presente informe técnico ha sido elaborado con fundamento en los principios de ingeniería hidráulica vial, conforme a los lineamientos establecidos por el Manual de Drenaje del INVIAS (edición 2011) y tomando como insumos el estudio hidráulico definitivo y los documentos de diseño entregados. En este sentido, se reitera la disposición del equipo técnico para atender cualquier requerimiento, aclaración o solicitud de información adicional que surja en el marco de los procesos de coordinación interinstitucional, seguimiento técnico o decisiones de validación por parte de las entidades competentes.

Atentamente;



Juan Camilo Torres Zapata
Ingeniero Civil
Magister en Ing. Civil – Recursos Hidráulicos y Medio Ambiente
Mat. Prof. No. 5202141120 CND