CONSULTORÍA SOBRE EL PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DE LA INTERSECCIÓN A DESNIVEL DE LA ROTONDA GARANTIAS SOCIALES EN LA VIA DE CIRCUNVALACION DE SAN JOSE DE COSTA RICA (RUTA N°39)

ANALISIS DE LOS RESULTADOS DE LA EVALUACION FUNCIONAL DEL PAVIMENTO

RESUMEN EJECUTIVO

1. GENERALIDADES

La Oficina de Servicios para Proyectos de las Naciones Unidas (UNOPS por sus siglas en Inglés) tiene la misión de servir a las personas necesitadas mediante el fortalecimiento de las capacidades de las Naciones Unidas, los gobiernos y otros asociados para gestionar proyectos, infraestructuras y adquisiciones de forma sostenible y eficiente.

Dentro de sus tres áreas de conocimientos principales, UNOPS proporciona a sus asociados servicios transaccionales, de asesoramiento e implementación en proyectos que abarcan desde la construcción de escuelas, hospitales e infraestructuras de transportes, hasta la adquisición de bienes y servicios o la formación del personal local.

UNOPS trabaja en estrecha colaboración con los gobiernos y las comunidades para garantizar una mayor sostenibilidad económica, social y ambiental en los proyectos que apoya, con especial énfasis en el desarrollo de la capacidad nacional.

En concordancia con su misión UNOPS firmó el año 2016 un Memorando de Acuerdo con el Ministerio de Obras Públicas y Transportes de Costa Rica (MOPT-CONAVI), por medio del cual llevaría adelante la gestión de contratación de empresas de construcción y supervisión para ejecutar tres proyectos conocidos como las 3 Rotondas, que consisten en tres pasos a desnivel y construcción de una rotonda a nivel para darle continuidad a la Ruta Nacional No 39, o Vía de Circunvalación de San José.

Los pasos a desnivel y rotondas correspondientes son Garantías Sociales, La Bandera y Guadalupe, de las cuales se han concluido la primera y la última, estando en proceso de construcción La Bandera, a la fecha de elaboración de este documento, siendo la Rotonda Garantías Sociales el objeto específico de este informe, cuya construcción concluyó y la puesta en servicio empezó en el mes de marzo del 2020.

El rol de UNOPS en la obra para la construcción del Paso a desnivel Garantías Sociales comprendió la gestión integral del proyecto, habiendo licitado y adjudicado la construcción a la Constructora Meco S.A. Adicionalmente, UNOPS licitó y adjudicó la supervisión a la empresa CACISA. Cabe precisar que, en virtud de un acuerdo anterior, suscrito de igual manera con el CONAVI, UNOPS tuvo a cargo la contratación del diseño correspondiente a las tres rotondas, contrato que fue adjudicado a la firma EUROESTUDIOS.

2. DESCRIPCION DEL PROYECTO

El proyecto objeto del presente informe "Proyecto de la Intersección a Desnivel Garantías Sociales" se ubica políticamente dentro de la Provincia y Cantón de San José, Distrito de Zapote, en la República de Costa Rica. El proyecto forma parte de la vía de Circunvalación de San José que se cataloga como Ruta Nacional Nº 39 de Costa Rica y se considera una autopista urbana según el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras (SIECA 2011).

Previamente a la construcción del proyecto, la Ruta Nº 39 era cruzada a nivel por la Ruta Nº 215 mediante una solución tipo rotonda, en donde la vía constaba de una calzada única con dos carriles por sentido. El proyecto construido en la actualidad ha transformado no solo la ruta principal existente sino el entorno de esta, al crear un conjunto vial con dos calzadas de 864 m de longitud, en el tronco principal de la Ruta Nacional Nº 39 o Vía de Circunvalación – una por cada sentido con dos carriles cada una – que cruza a desnivel la Ruta Nacional Nº 215, deprimiéndose en un tramo de 550 m bajo la rotonda Garantías Sociales que se mantiene, lo que supone una mejora sustancial en el nivel de servicio para el tráfico vehicular y el acortamiento de los tiempos de recorrido.

3. ESPECIFICACIONES TECNICAS PARA LA RUGOSIDAD DEL PAVIMENTO

De acuerdo con las Prescripciones Técnicas Especiales del proyecto elaborado por EUROESTUDIOS, que son una transcripción literal de lo estipulado para el tema por el Manual de especificaciones generales para la construcción de carreteras, caminos en puentes, CR2010, el IRI como promedio de los valores de IRI determinados para secciones de 100 m de longitud (IRI_{100}) no será mayor de 1.85 m/km, y asimismo ningún valor individual de IRI_{100} deberá ser mayor de 3.00 m/km.

Dichas Prescripciones Técnicas Especiales establecen que, no habrá exigencia de cumplir con el Control de Regularidad IRI en las bermas ni en otras ubicaciones en donde existen singularidades, entendiéndose como tales todas aquellas alteraciones del perfil longitudinal del camino que no provengan de fallas constructivas y que incrementen el valor del IRI en el tramo en que se encuentren. Se considerarán como singularidades los cuellos de empalme, accesos, puentes, badenes, cámaras u otros, autorizadas por el Ingeniero de Proyecto.

Finalmente, las Prescripciones Técnicas Especiales indican que, para efectos de la evaluación del pavimento, las singularidades que se pudieran presentar afectarán el tramo completo de 100 metros de la pista en que se encuentren ubicadas, el cual no se incluirá para el análisis. Los tramos de 100 metros que no se consideren en la evaluación por efecto de singularidades, no dividirán el sector homogéneo en que se encuentran.

4. EVALUACION DE LA RUGOSIDAD DEL PAVIMENTO

Como parte de la evaluación ExPost del proyecto se realizó la medición de la rugosidad del pavimento del tramo de 864 m de longitud ubicado sobre la Ruta N°39, denominado Eje 1 para efectos del diseño vial. La medición efectuada en dicho sector considera el cálculo del

Indice de Rugosidad Internacional (IRI por sus siglas en inglés), con el objetivo final de efectuar la evaluación funcional o transitabilidad del pavimento, y el cumplimiento de los límites establecidos por la especificaciones técnicas particulares del proyecto para tal parámetro.

Las actuaciones llevadas a cabo para los fines indicados incluyen:

(1) Ensayos para la medición de la rugosidad efectuados el 26/03/20 por la empresa Ingeniería Técnica de Proyectos S.A. (ITP), por encargo de la empresa contratista Constructora MECO S.A. como parte de su autocontrol, que fueron *reportados* mediante el Informe ITP-GS-IRI-01-2020 de fecha27/03/20, presentados a UNOPS mediante la carta DTP-GS-453-2020 de fecha 30/03/20. Los ensayos se realizaron en una sección de 450 m, ubicada entre el km 0+150 y el km 0+600, coincidente con la zona deprimida debajo de la Rotonda Garantías Sociales.

En sus conclusiones el informe de la empresa ITP indica que, *"en apego a las disposiciones cartelarias, se concluye que el resultado del IRI promedio de cada tramo evaluado cumple con lo estipulado, cuyo valor máximo no debe superar 1.85 m/km en promedio"*. En su carta la empresa MECO S.A. expresa, "*El Contratista indica que no se considera que existen singularidades en el pavimento del deprimido definido entre las estaciones 0+150 a la estación 0+600"*.

(2) Medición de la rugosidad efectuada por la empresa supervisora CACISA, efectuados el 26/03/20, reportados mediante el Informe 2094-2020 de fecha 30/03/20, que fuera presentado a UNOPS mediante la carta SGS-038-2020 de fecha 04/04/20.

El informe contiene los resultados del Índice de Regularidad Internacional (IRI), obtenidos a lo largo de las dos vías y 4 carriles que componen el paso deprimido de la rotonda de Las Garantías Sociales, entre la estación km 0+150 y la estación km 0+600. La medición del perfil y el cálculo del IRI se efectuaron en concordancia con lo establecido por la norma ASTM E950. En base a los resultados obtenidos el informe concluye que todos las secciones evaluadas cumplen con los límites especificados, a excepción del carril interno de la vía del lado derecho, que cumple con el límite del IRI_{100}, pero no con el límite del IRI promedio (2.04 m/km versus 1.85 m/km).

La empresa constructora MECO S.A., mediante la carta DTP-GS-466-2020 de fecha 14/05/20, presenta a UNOPS el Informe GC-213-2020 de fecha 12/05/20 de la empresa ITP, en respuesta a los resultados desaprobatorios presentados por la empresa supervisora CACISA, en donde se indica que los resultados obtenidos de IRI por la empresa supervisora del proyecto, que discrepan con los encontrados previamente por la empresa ITP, pueden ser atribuidos a diferencias en los equipos utilizados o por la falta de coincidencia que se puede presentar en campo sobre la línea donde se toma del perfil longitudinal, dando variaciones no mayores a 0.2-0.3 m/km, que en un proyecto donde la diferencia mínima puede provocar la aceptación o el rechazo de estos datos.

Sin embargo, el argumento principal que se arguye es que el resultado del promedio general de la única sección que no cumple se ha efectuado considerando un valor que no corresponde a un IRI_{100}, sino una sección de solo 50 m, lo que influye en el promedio general de 2,04 m/km, superior al máximo especificado de 1.85 m/km. Como sustento se presentan los resultados del IRI promedio eliminando la sección de 50 m, obteniéndose de esa manera todos los resultados aprobatorios, tanto para el IRI_{prom}= 1.83 m/km (máx. 1.85 m/km), como para los valores individuales de IRI_{100} (máx. 3 m/km).

(3) Medición de la rugosidad efectuados por el Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LANAMME) el 20/04/20, comunicados a la Unidad Ejecutora del Programa de Obras Estratégicas del CONAVI, mediante la carta LM-IC-D-0387-2020 de fecha 14/05/20. Los ensayos se realizaron para la evaluación de la condición funcional de los 4 carriles del pavimento del tronco inferior del paso a desnivel en la intersección de Garantías Sociales, dos en el sentido San Pedro-Paso Ancho y dos en el sentido Paso Ancho-San Pedro. La evaluación del IRI se realizó entre la estación km 0+000 y la estación km 0+800.

En su comunicación el LANAMME señala, en relación a las evaluaciones realizadas por el la empresa ITP, como parte del autocontrol de la empresa contratista MECO, y la empresa supervisora del proyecto CACISA, que estas se limitaron a efectuar ensayos en el tramo comprendido entre las estaciones km 0+150 y km 0+600, por lo que no se consideró la longitud total del proyecto, y en consecuencia no se estaría cumpliendo con lo que establecen los términos de referencia.

En el informe se indica que al efectuarse la comparación de las mediciones de IRI, realizadas por MECO (ITP), CACISA y LANAMME entre las estaciones km 0+100 y km 0+600, se determina la similitud entre los datos evaluados por el LANAMME y la empresa supervisora CACISA, en los carriles en el sentido Paso Ancho-San Pedro, pero no así en los carriles evaluados en el sentido San Pedro-Paso Ancho. Se indica además que se difiere de los resultados de IRI reportados por la empresa ITP, como parte del Autocontrol de la empresa MECO.

De acuerdo con sus conclusiones, el LANAMME recomienda que la ingeniería de proyecto tiene la obligación y responsabilidad de solicitar al contratista la reparación de los tramos que presentaron deficiencias o irregularidades ocasionadas por el proceso constructivo del contratista, y que la omisión de esta responsabilidad generaría la recepción de un proyecto con un estándar de calidad menor al demandado que podría generar una disminución de la vida útil o periodo de diseño de la estructura de pavimento, así como aumentos en los costos de mantenimiento para la Administración.

(4) Medición de la rugosidad efectuada por la empresa Constructora MECO S.A. el 01/06/20, cuyos resultados fueron comunicados a UNOPS mediante la carta DTP-GS-482-2020, de fecha 08/07/20, que adjunta el Informe ITP-PM-357-2020 de fecha 13/07/20.

En su carta el contratista indica que se hace entrega de la segunda medición del IRI sobre la longitud completa del Eje 1 del proyecto (Ruta N°39), es decir, entre las estaciones km 0+000 y km 0+864, estableciendo además las zonas consideradas como singularidades, las mismas que se indica que están localizadas entre las siguientes estaciones:

a) Sentido I Griega-San Pedro
   a.1.- km 0+000 al km 0+165 (carril interno y carril externo)
   a.2.- km 0+565 al km 0+765 (carril interno y carril externo)
b) Sentido San Pedro- I Griega
   b.1.- km 0+000 al km 0+165 (carril interno y carril externo)
   b.2.- km 0+565 al km 0+864 (carril interno y carril externo)

En los documentos presentados se concluye que, con la segunda medición del IRI se confirma el resultado obtenido en la primera medición, ratificándose el cumplimiento de los requerimientos cartelarios del proyecto.

Sobre las dificultades que existieron para implementar el proceso constructivo en el Eje 1 del proyecto, en las zonas definidas como singularidades, se reafirma que esto se debió a que se tuvo que trabajar sin interrumpir el tráfico en la Ruta Nacional N°39, lo que no permitió tener un avance continuo y completo en toda la sección de las vías, por sentido de tránsito, generando un proceso muy descontinuo, fraccionado y lento en la ejecución en los tramos intervenidos en los estacionamientos indicados, los que el contratista define como singularidades para efectos de la evaluación del IRI.

Respecto a su comunicación anterior, en relación con la primera medición del IRI, se indica que la mención de la no existencia de singularidades se refería al tramo deprimido debajo de la rotonda Garantías Sociales, en donde se cumplió con el valor del IRI especificado.

(5) Medición de la rugosidad del pavimento llevada a cabo por la empresa supervisora CACISA, el 01/06/20, cuyos resultados fueron presentados a UNOPS mediante el Informe CR-LAB-SR-2020-6941 Rev.1, de fecha 22/07/20.

En su informe la empresa supervisora reporta los resultados encontrados en la medición de la rugosidad del pavimento del Eje 1 del proyecto, entre las estaciones km 0+000 y km 0+864, siguiendo el procedimiento estándar de acuerdo con la norma ASTM E950. Se efectuaron mediciones en los dos carriles de ambas vías, calculándose el IRI cada 100 m (IRI_{100}), y se consideró las singularidades definidas de acuerdo con las especificaciones técnicas, para efectos de la evaluación del IRI. Se reportó que los valores individuales del IRI_{100} y el valor del IRI promedio obtenidos para cada uno de los 4 carriles de circulación, sin considerar las singularidades, cumplen con los valores máximos especificados para el proyecto.

5. INFORME DE AUDITORIA DE LANAMME

El Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales de la Universidad de Costa Rica-LANAMME-UCR, mediante la carta LM-IC-D-0954-2020 de fecha 28/10/20, dirigida a la Unidad Ejecutora del Programa de Obras Estratégicas de Infraestructura Vial, del Consejo Nacional de Vialidad-CONAVI, presentó el Informe LM-INF-IC-D-0010-B-2020 intitulado "Desempeño de la estructura del pavimento y seguridad del proyecto Construcción de Paso a desnivel en intersección Garantías Sociales, Ruta Nacional Nº 39".

En este informe el LANAMME presenta, además de los resultados de la evaluación del IRI, resultados sobre el coeficiente de fricción y la deflectometría en el Eje 1 del proyecto de la Intersección a Desnivel de la Rotonda Garantías Sociales. En cuanto a la evaluación del IRI, el informe no aporta ninguna medición adicional a las reportadas en el Informe LM-IC-D-0387-2020 de fecha 14/05/20, y más bien hace referencia a los que denomina "hallazgos" en lo que se refiere a la evaluación de la rugosidad, los que se puntualizan a continuación.

Hallazgo 1. "Se evidenció la aprobación de singularidades posteriormente a la identificación de incumplimientos en los requerimientos establecidos en el cartel de licitación en relación con el parámetro IRI".

Hallazgo 2. "Se evidenció incumplimiento del valor máximo de media fija de IRI en los cuatro carriles del eje 1 del proyecto, así como la identificación del incumplimiento de dos valores individuales en dos de los cuatro carriles evaluados".

Estos hallazgos se sustentan en la evaluación de resultados efectuados por el LanammeUCR contrastados con las mediciones efectuadas por la empresa ITP que efectúa el autocontrol del contratista MECO S.A. y las mediciones de la empresa supervisora CACISA.

En el informe presentado se deja establecida la posición contraria del LanammeUCR a que se considere la existencia de singularidades posteriormente a la ejecución de mediciones del IRI (Hallazgo 1), lo que al no hacerse trae como consecuencia el incumplimiento de las especificaciones del proyecto respecto al valor evaluado del IRI (Hallazgo 2), es decir, lo primero trae como consecuencia lo segundo.

6. ANALISIS TECNICO SOBRE LA EVALUACION DE LA RUGOSIDAD DEL PAVIMENTO

Desde la perspectiva de las especificaciones técnicas del proyecto, tanto la empresa MECO S.A., el supervisor CACISA y el gerente del proyecto UNOPS han cumplido con las funciones y responsabilidades que les son asignadas.

De acuerdo con la documentación que ha sido revisada y evaluada, y los testimonios recibidos, se encuentra que la empresa contratista ha cumplido con efectuar ensayos de rugosidad y los resultados de las mediciones efectuadas como parte de su autocontrol fueron remitidos de forma oficial al gerente de proyecto UNOPS, dentro del plazo máximo especificado. Por otro lado, la empresa supervisora ha procedido a efectuar la verificación en

forma independiente de las mediciones realizadas por el control de calidad del contratista, en una porción de la superficie estadísticamente representativa de la sección intervenida.

Una vez que se verificó la concordancia estadística de las mediciones del control de calidad del contratista, con las efectuadas por la supervisión, los datos del IRI del autocontrol se emplearon para hacer una preevaluación determinando el valor del IRI promedio, tomando los valores del IRI calculados para diez tramos consecutivos de 100 m (IRI_{100}). Como no fue posible disponer de al menos diez valores consecutivos de IRI_{100}, se consideró como representativos del tramo los valores de IRI_{100} disponibles y se procedió al cálculo del IRI promedio con ellos, el cual se comparó con el valor límite exigido para los promedios (máx. 1.85 m/km), e igualmente se verificó el cumplimiento de cada uno de los valores del IRI_{100} con las exigencias para valores individuales (máx. 3.0 m/km).

Se debe señalar que en la práctica se ha estado calculando un valor promedio para cada uno de los 4 carriles que existen en el Eje 1 del proyecto, dos por cada una de las vías de circulación, cuando lo exigido por las especificaciones es un valor promedio por "tramo" (no por "carril"), que para efectos del sector bajo evaluación se debe interpretar como un valor promedio para cada una de las vías segregadas del Eje 1.

6.1. EL VALOR ESPECIFICADO DEL IRI Y SU RELACION CON LA SERVICIABILIDAD DEL PAVIMENTO.

El International Roughness Index (IRI) en un parámetro relacionado, a través de un modelo dinámico, con el perfil longitudinal de un pavimento y en general con la superficie de rodadura de un camino, sea que este se encuentre pavimentado o no; cuando el perfil longitudinal es muy regular y llano el valor del IRI es bajo, cuando existen muchos resaltos, hundimientos e irregularidades el valor del IRI es alto. En ese sentido, el IRI también define en forma inversamente proporcional el grado de confort que se percibe al transitar sobre la superficie de un camino, es decir, a menor IRI (perfil muy homogéneo y llano) es mayor el confort y viceversa. Sin embargo, para que el IRI tenga significado objetivo debe estar correlacionado con un parámetro específico que permita calificar el confort al transitar o transitabilidad, y la serviciabilidad.

El concepto de serviciabilidad[1] de un pavimento fue un desarrollo del ensayo vial AASHO, llevado a cabo en EE. UU. a fines de la década de los años 50 del siglo pasado, y que fue introducido en el método de diseño de pavimentos que posteriormente fue adoptado por la Asociación Americana de Oficiales Estatales de Carreteras y Transportes (AASHTO), cuya última versión publicada es la Guía para el Diseño Estructural de Pavimentos AASHTO 1993, que fue el método empleado por la empresa Euroestudios para el diseño del pavimento para la construcción del proyecto de la Intersección a desnivel de la Rotonda Garantías Sociales. Como consecuencia del ensayo vial AASHO fue establecido un algoritmo que definía el valor

[1] Del Inglés "Serviceability"

del denominado Indice de Serviciabilidad Presente (PSI, por sus siglas en inglés) en función de los diversos tipos de deterioros del pavimento.

Durante el ensayo vial también se determinó, en base a la calificación que daban paneles de usuarios, que la escala del PSI va de 0 a 5, en donde "0" corresponde a un nivel de servicio pésimo o intransitable, y "5" a un nivel de servicio muy bueno o excelente. De acuerdo con los criterios establecidos posteriormente por el método, un pavimento nuevo se diseña para brindar un nivel de servicio inicial entre 4 y 5 (Serviciabilidad inicial, ρ_o) y un nivel de servicio final entre 2 y 3 (Serviciabilidad final, ρ_t).

Durante el Experimento Internacional de Rugosidad llevado en Brasil el año 1985[2], patrocinado entre otros por el Banco Mundial, se desarrolló una correlación entre la Rugosidad y la Serviciabilidad del pavimento (Ecuación 1), lo que permitió conjugar los valores de ambos parámetros en función a los requerimientos de diseño.

$$\mathrm{PSI} = \frac{5}{e^{\frac{\mathrm{IRI}}{5.5}}} \quad \ldots (1)$$

ESCALAS

Escala del IRI: 0 – 24 m/km (WBTP-46)
Escala del PSI: 0 – 5 (AASHO Road Test)

LIMITES

PSI Inicial (ρi) = 4.2 – 4.5 ➔ IRI Inicial = 0.6 – 0.9 m/km
PSI final (ρf) = 2.0 – 2.5 ➔ IRI final = 3.8 – 5.0 m/km

Se han desarrollado varias correlaciones entre PSI e IRI con fines de diseño, desde principios de la década de los años 90. Un estudio reportado por Al-Omari & Darter en 1994[3] presenta una formulación para pavimentos asfálticos (Ecuación 2), e igualmente modelos similares empleados EE. UU., cuyas diferencias son mínimas.

$$\mathrm{PSI} = 5 \times e^{-0.21 \times \mathrm{IRI}} \quad \ldots (2)$$

Cualquiera que sea la formulación matemática que se emplee para correlacionar el PSI y el IRI los resultados resultan sensiblemente similares. En general, se puede afirmar que pavimentos asfálticos nuevos, diseñados para alcanzar una Serviciabilidad inicial ρ_o= 4.2-4.5, deben alcanzar un IRI menor de 1.0 m/km en el control de obra sobre el pavimento recién construido.

[2] Sayers, M.W.; Gillespie, T.D.; Queiroz, C.A.V. "The International Road Roughness Experiment. Establishing Correlation and a Calibration Standard for Measurements". World Bank Technical Paper N°45, 1986.

[3] Al-Omari, B; Darter, M.I. "Relationships Between International Roughness Index and Present Serviceability Rating. Transportation Research Record 1435, 1994.

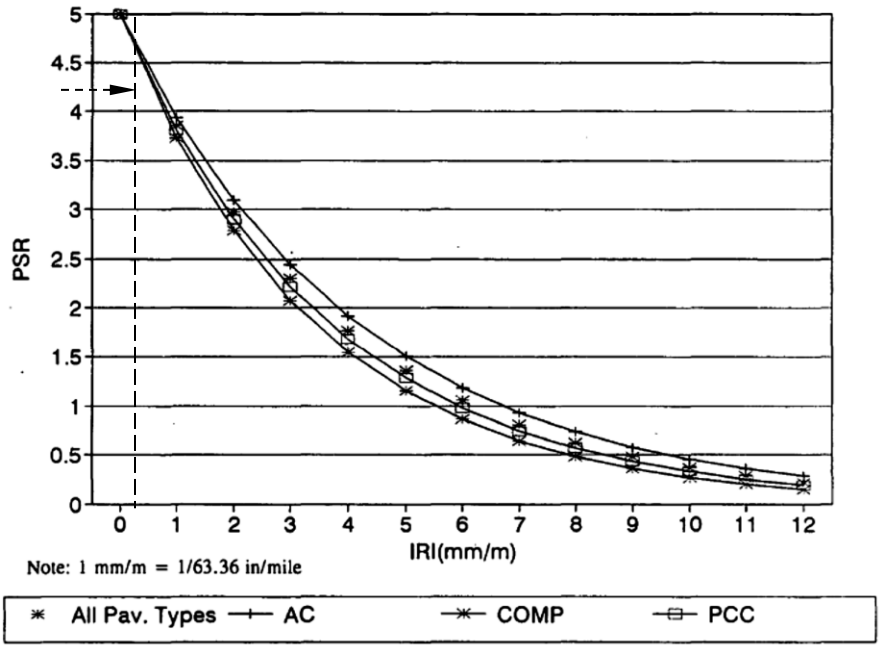


Figura 4. PSR versus IRI por tipo de pavimento (Usando data de todos los Estados)

En la Figura 4 se presenta diversas correlaciones desarrolladas en EE. UU. para varios tipos de pavimentos (cemento asfáltico, compuesto y concreto hidráulico), usando datos combinados de todos los Estados. Hay muy poca diferencia entre estas curvas de ajuste, lo que indica que, para todos los propósitos prácticos, la relación entre IRI y PSR es la misma para los tres tipos de pavimento. *"Estos resultados indican que el modelo desarrollado usando todos los datos disponibles (excluyendo los datos de New Jersey) podría usarse para cualquiera de los tipos de pavimento sin una pérdida significativa de precisión para cualquier tipo de pavimento"*. (op.cit. 5)

Ahora bien, con esto se concluye que los valores del IRI establecidos en las especificaciones técnicas del proyecto, a saber, IRI≤1.8 m/km para los promedios por kilómetro e IRI≤3.0 m/km para los valores del IRI_{100} no tienen una connotación técnica relacionada con el diseño del pavimento. Sin embargo, se debe considerar que el diseño del pavimento elaborado es bastante conservador, lo que ha sido verificado mediante mediciones deflectométricas independientes efectuadas por UNOPS sobre el pavimento construido, y que igualmente las estimaciones sobre pérdida de serviciabilidad se basan en datos que corresponden a pavimentos asfálticos construidos con ligantes convencionales, y no con asfaltos modificados con polímeros, como es el caso del proyecto en cuestión, por lo que se puede inferir que la progresión del IRI seguirá una tendencia mucho más conservadora y por lo tanto, es de esperar, que el nivel de serviciabilidad del pavimento se mantendrá por el lado de la seguridad durante el periodo de servicio considerado.

6.2. MEDICION DE LA RUGOSIDAD Y MANTENIMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL

El concepto de rugosidad fue empleado por el Banco Mundial en la década de los años 70 con la finalidad de evaluar los costos de mantenimiento para las redes viales cuya construcción financiaba, especialmente en los países en vías de desarrollo, lo que iba encadenado con el proyecto visionario que fue el inicialmente denominado Highway Design and Maintenance Standards Model (HDM), cuya primera versión salió a la luz el año 1979 con el apoyo del Massachussets Institute of Technology-MIT de EE. UU. El primer paso hacia la concreción de un modelo de evaluación económica de proyectos viales se había dado en 1968, cuando se elaboró el primer modelo, en respuesta a los términos de referencia de un estudio de diseño de carreteras elaborado por el Banco Mundial en conjunto con el Laboratorio de Investigación de Transporte y Carreteras de Gran Bretaña (TRRL) y el Laboratoire Central des Ponts et Chaussées de Francia (LCPC).

Posteriormente, el Banco Mundial encargó al Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT) que llevara a cabo un estudio en base a la literatura existente y construyera un modelo basado en la información disponible en la época. El Highway Cost Model (HCM) resultante producido por el MIT (Moavenzadeh 1971)[4] fue un avance considerable sobre otros modelos utilizados para examinar las interacciones entre los costos de inversión de las obras viales y los costos de operación vehicular. Sin embargo, el modelo HCM necesitaba más investigación para proporcionar un modelo que fuera más apropiado para los entornos de los países en vías de desarrollo con relaciones adicionales específicas para sus realidades.

Después de esto, TRRL, en colaboración con el Banco Mundial, llevó a cabo un importante estudio de campo en Kenia para investigar el deterioro de las carreteras pavimentadas y sin pavimentar, así como los factores que afectan los costos de operación de los vehículos en un país en desarrollo. TRRL utilizó los resultados de este estudio para producir la primera versión prototipo del Modelo de Inversión en Transporte por Carretera (RTIM) para países en desarrollo (Abaynayaka, 1977). En 1976, el Banco Mundial financió desarrollos adicionales del HCM en el MIT, hasta llegar a la primera versión del modelo Highway Design and Maintenance Standards Model-HDM, ya mencionado (Harral, 1979).

Posteriormente se llevaron a cabo más trabajos en varios países para ampliar el alcance geográfico de los modelos RTIM y HDM. Así se realizó el Estudio del Caribe (por TRRL) que investigó los efectos de la geometría de la carretera en los costos de operación vehicular (Morosiuk y Abaynayaka, 1982; Hide, 1982)[5]. El estudio de la India (por el Instituto de Investigación de la Carretera Central - CRRI), que abordó problemas operativos particulares de las carreteras de la India en términos de aceras estrechas y grandes proporciones de

[4] Moavenzadeh, F.; Stafford, J.H.; Suhbriier, J.; Alexander, J. "Highway design study phase I: the model. IBRD Economics Department, Working Paper No 96. Washington DC: International Bank for Reconstruction and Development, 1971.

[5] Abaynayaka, S.W.; Morosiut, G.; Hide, H. Prediction of road construction and vehicle operating costs in developing countries. Proceedings of the Institution of Civil Engineers, 62 (Part 1), 419-446. 1977.

transporte no motorizado (CRRI, 1982); El estudio de Brasil (financiado por el PNUD), que amplió la validez de todas las relaciones del modelo (GEIPOT, 1982).

Los resultados de los estudios TRRL se utilizaron para desarrollar el modelo RTIM2 (Parsley y Robinson, 1982)[6], mientras que el Banco Mundial desarrolló un modelo más completo incorporando los hallazgos de todos los estudios anteriores y esto condujo al Modelo HDM-III (Watanatada et al., 1987)[7]. Ambos modelos fueron diseñados originalmente para operar en computadoras centrales y, a medida que avanzaba la tecnología informática, la Universidad de Birmingham (Kerali et al., 1985)[8] produjo una versión para microcomputadora del programa RTIM2 para el TRRL. Posteriormente, el Banco Mundial produjo el programa HDM-PC, una versión para microcomputadora a nivel de usuario del modelo HDM-III (Archondo-Callao y Purohit, 1989)[9]. Los desarrollos adicionales de ambos modelos continuaron con el TRRL produciendo RTIM3 en 1993 para proporcionar una versión fácil de usar del software que se ejecuta como una hoja de cálculo (Cundill y Withnall, 1995)[10], y en 1994, el Banco Mundial produjo dos versiones más de modelo HDM, el icónico HDM-Q, que incorporó los efectos de la congestión del tráfico en el programa HDM-III (Hoban, 1987)[11], y el Administrador de HDM para DOS, que proporcionó una interfaz basada en menús para HDM-III (Archondo-Callao, 1994)[12].

En la actualidad, el proyecto se denomina Highway Development and Management Model y ha sido concesionado a un consorcio internacional denominado HDM Global que se encarga de administrar el desarrollo del software, dar capacitación y servicios de consultoría. La versión actual del modelo es HDM-4 Version 2.11.

Una red de transporte por carretera eficazmente administrada es un factor importante para el desarrollo económico y social de un país. La construcción y el mantenimiento de infraestructura vial consumen una gran proporción de los presupuestos nacionales y los

[6] Parsley, L.; Robinson, R. The TRRL, road investment model for developing countries (RTIM2). TRRL Laboratory Report 1057. Transport and Road Research Laboratory, Crowthorne, UK. 1982.

[7] Watanatada, T.; Harral, C.G.; Paterson, W.D.O.; Dhareswar, A.M.; Bhandari, A.; Tsunokawa, K. The Highway Design and Maintenance Standards Model. Volume 1 - Description of the HDM-III Model. World Bank Publications. Washington, D.C. 1987.

[8] Kerali, H.R.; Parsley, L.L.; Robinson, R.; Snaith, M.S. Development of a microcomputer based model for road investment in developing countries. In: CIVILCOMIP. Proceedings of the Second International Conference on Civil and Structural Engineering Computing, London, December 1985. London: Institution of Civil Engineers.

[9] Archondo-Callao, R.; Purohit, R. HDM-PC: User's Guide. The Highway Design and Maintenance Standards Series. The World Bank, Washington D C. 1989.

[10] Cundill, M.A.; Withnall, S.J. Road transport investment model RTIM3. TRB. Sixth International Conference on Low-Volume Roads, Conference Proceedings 6, Volume 1. Washington DC: National Academy Press, 187-192. 1995.

[11] Hoban, C.J. Evaluating traffic capacity and improvements to geometry. Technical Paper Number 74. The World Bank, Washington DC, USA. 1987.

[12] Archondo-Callao, R. H11M Manager Version 3.0. Transportation Division, Transportation, Water & Urban Development Department. Washington DC: The World Bank. 1994.

costos que solventan los usuarios por la operación y depreciación de sus vehículos son aún mayores. Por tanto, es de vital importancia que se apliquen políticas que minimicen los costos totales de transporte, ya sea para las carreteras alimentadoras o de enlace, o para la red de carreteras en su conjunto. Para esto se requiere la capacidad de cuantificar y predecir el comportamiento de la infraestructura, y los costos para el análisis. Para ello uno de los parámetros más potentes que facilita realizar estimaciones comparativas de costos y evaluaciones económicas de diferentes opciones de construcción y mantenimiento, a lo largo del ciclo de vida de los proyectos de infraestructura en general es la rugosidad.

Aunque no se ha visto alguna evaluación económica en el estudio de alternativas del proyecto de la Rotonda Garantías Sociales que elaboró la empresa Euroestudios, es de suponer que debe existir o deberá elaborarse un programa de mantenimiento multianual de toda la infraestructura vial, pero fundamentalmente del pavimento. Este plan deberá desarrollarse considerando diversas alternativas para la conservación y empleando una herramienta como el programa HDM-4 que pueda modelar el comportamiento del pavimento en base a modelos de deterioro, y en particular para la rugosidad, estableciéndose criterios para gatillar diversas intervenciones a lo largo del tiempo y los costos involucrados. En base a este análisis técnico-económico, y trayendo todo a valor presente se podrá decidir por la alternativa más viable.

6.3. IDENTIFICACION DE SINGULARIDADES

La medición de la rugosidad es mas bien y tiene mayor sentido para proyectos lineales de gran longitud, carreteras de conexión o redes viales, cuyas longitudes no tienen escala humana, y en donde la identificación de singularidades solo se puede dar después de efectuada una primera medición de la rugosidad, con lo que es posible identificar puntos de disrupción sin asociación constructiva, que de otra manera no sería posible identificarlos. Conviene aclarar que las variaciones del perfil longitudinal del camino que inciden en el valor del IRI pueden tener longitudes de onda y magnitudes no perceptibles por la vista humana.

Por las grandes longitudes y debido al efecto acumulativo, en esos casos los valores elevados de rugosidad pueden tener una incidencia significativa en los tiempos de viaje y en los costos de operación vehicular, al igual que en el confort de los usuarios, aunque para el caso en estudio el tema de la serviciabilidad está descartado. Es en esas condiciones que la identificación de singularidades, a no ser que sean tan evidentes como la existencia de puentes, badenes, tachas reflectivas, transiciones de bombeo a peralte o viceversa, pintura termoplástica, etc., deben ser identificadas luego de una primera medición de la rugosidad. Además, estos tramos son de tal longitud que bien sería posible establecer secciones homogéneas en función al valor de la rugosidad, y de esa manera proceder a un estudio más discretizado de las singularidades.

Se hace obvio que el caso del Eje 1 de la Intersección a desnivel de la Rotonda Garantías Sociales es una excepción a la regla, es decir, se trata de un tramo de escasamente 864 m de longitud, con un trazo en planta prácticamente recto, y que a una velocidad de 80 km/h puede ser recorrido en apenas 40 segundos. En la práctica, si fuera posible, se podría caminar sobre

el tramo identificando todos los eventos disruptivos que, debido a un proceso constructivo con serias afectaciones, podrían considerarse como singularidades, como sería el caso de las juntas transversales o las deformaciones originadas por la detención de la pavimentadora o el estacionamiento de los rodillos metálicos sobre la mezcla fresca. Pero eso sería crear un procedimiento especial que no está contemplado en las especificaciones, ya que estas no han sido establecidas para casos tan especiales como es la intersección a desnivel de la Rotonda Garantía Sociales, y menos aún para las condiciones singularmente complicadas en que se desarrolló el proceso constructivo. Por lo general las especificaciones de rugosidad se establecen para proyectos lineales regulares, como son las carreteras.

6.4. PLAN DE DESVIO DE TRAFICO

El contrato de construcción del Intercambio a Desnivel de la Rotonda Garantías Sociales, indica en la cláusula **4. EL CONTRATISTA**, numeral **4.12. Condiciones físicas imprevisibles**, literal (a) *"Se considerará que el Contratista habrá obtenido toda la información necesaria sobre los riesgos, contingencias y otras circunstancias que puedan influir o afectar la ejecución de las Obras, incluyendo los datos del sitio y las condiciones del sitio. En la misma medida, el Contratista habrá inspeccionado y examinado, o se considerará que así lo ha hecho, el Sitio, sus zonas aledañas, los Datos del sitio, las Condiciones del sitio y demás información disponible, y que ha realizado las pruebas e investigaciones adicionales necesarias para su conformidad, antes de la Fecha del contrato en cuanto a todos los asuntos y condiciones relevantes en conexión con el Sitio, incluidos los Datos del sitio y todas las Condiciones del sitio*".

Asimismo, en la misma clausula, numeral **4.13 Derechos de paso e instalaciones**, literal (b) "*Si el Contratista no logra proporcionar o mantener las desviaciones para caminos y servicios de acuerdo con el Contrato después de recibir notificación por escrito por el Empleador, el Empleador tendrá derecho a emplear y pagar a otras personas para realizar las obras requeridas y todos los Costos directos y razonables incurridos por el Empleador que surjan o se relacionen con dicho incumplimiento, y se podrán recuperar del Contratista por el Empleador o podrán ser deducidos por el Empleador de los importes adeudados o pagaderos al Contratista. Asimismo, el Contratista pagará al Empleador la suma por día establecida en la Lista de detalles (si procede) como daños por demora debidos a dicho incumplimiento por cada día que transcurra entre la notificación por escrito del Empleador sobre dicho incumplimiento hasta el momento en que dicho incumplimiento se rectifique o hasta que ya no se requiera la desviación*". El subrayado es del autor.

Es decir, debido a que no había alternativa, el contrato obligó al Contratista a programar trabajos durante todas las fases de construcción del Eje 1, con pase de tráfico vehicular en forma permanente, en particular para las zonas de las rampas de acceso y salida en donde nunca se interrumpió el tráfico, no así para la zona central del paso deprimido, en donde se pudo trabajar sin ninguna interferencia vehicular a todo lo ancho de las vías (ambos carriles). Según se advierte en la cláusula 4.13 (a), había una penalidad si no se cumplía con dicho

requisito. Esta condición se produjo para todas las fases de construcción de las calzadas y redes de servicios del proyecto.

En el documento, "Plan General de Manejo de Tránsito" para la construcción del Intercambio de la Rotonda Garantías Sociales, elaborado por la empresa RQ Ingeniería de Tránsito, se presentan todos los diseños de desvíos y manejo de flujo vehicular que se implementaron para la construcción del Eje 1 del proyecto, para garantizar buenas condiciones de seguridad y de circulación de los usuarios durante la intervención en la vía. El plan presenta el diseño de las estrategias, alternativas y actividades que fueron necesarias para minimizar el impacto generado a las condiciones habituales de movilización y desplazamientos vehiculares y peatonales por la ejecución de la obra, de la misma manera que se definieron y dieron solución a temas como la seguridad de los peatones, conductores y trabajadores, además de garantizar la fluidez del tráfico en las zonas con trabajos de construcción simultáneos.

Para el caso de los trabajos de pavimentación asfáltica en las rampas de entrada y salida del Eje 1 del proyecto, se debe considerar las limitaciones de espacio que debió existir al tener que trabajar con pase vehicular en forma simultánea, más aún cuando los "trenes de asfaltado" requieren de amplitud no solamente a todo lo largo sino también a lo ancho, a fin de albergar al equipo de pavimentación, equipo de transferencia de mezcla, camiones con carga de mezcla asfáltica en caliente en la parte frontal, rodillos metálicos vibratorios y rodillos neumáticos en la parte posterior, además del personal de operarios, capataces, personal del contratista, personal del autocontrol y de la supervisión, a ambos lados de la franja en construcción que no se puede invadir.

Obviamente que, bajo las circunstancias y limitaciones explicadas, las condiciones de trabajo no deben haber sido fáciles, lo que a la luz de la experiencia seguramente ha producido todo tipo de eventos disruptivos y deformaciones en la superficie asfáltica, que finalmente se han visto reflejados en los valores de rugosidad. Al tratarse de hechos realmente ocurridos, con sustentación contractual y obedeciendo a planes y diseños específicos aprobados por la administración del proyecto, la necesidad de su registro mediante documentación, bitácoras, fotografías, etc., resulta por lo demás innecesaria e irrelevante.

7. CONCLUSIONES SOBRE EL TEMA DE LA RUGOSIDAD

Como resultado de todo lo actuado se presentan las siguientes conclusiones sobre la rugosidad del pavimento del Eje 1, del proyecto de construcción del Intercambio a Desnivel Garantías Sociales:

(1) Como toda obra de infraestructura vial urbana, la construcción del paso a desnivel de la Rotonda Garantías Sociales no ha estado exenta de interferencias provenientes de infraestructura de servicios, y restricciones originadas por los flujos de tráfico vehicular que, para una vía principal en servicio, son de apreciable volumen e imposible de ser interrumpidos. Así las cosas, la remodelación de un proyecto como la Rotonda Garantías Sociales dista mucho de ser una tarea regular, simple, lineal, sino que siempre tiene complicaciones, muchas de las cuales no son predecibles y que deben solucionarse

buscando la mejor alternativa dentro de lo posible, considerando aspectos técnicos, económicos y sociales.

(2) Dentro del contexto del estado del arte y la práctica ingenieril en Costa Rica, y en base a la documentación revisada, se concluye que no se encuentran elementos para dudar de la calidad de la obra construida, sin embargo, esto deberá ser refrendado por los resultados que se obtengan del programa de ensayos que viene desarrollando UNOPS como parte de su política de calidad de los proyectos en donde participa.

(3) El parámetro de la rugosidad, expresada en términos de IRI, no es un tema que debe llevar a preocupación. Es más, por los límites establecidos por la especificaciones técnicas se trata eminentemente de requisito legal y de ninguna manera técnico, ni relacionado con el diseño del pavimento. Por lo tanto, como corolario, se debe decir que no se puede establecer ni inferir ningún tipo de conclusión respecto a la durabilidad o comportamiento del pavimento a futuro en base a dicho parámetro.

(4) Por otro lado, se debe indicar que el IRI no es un parámetro que permite evaluar la serviciabilidad de un pavimento, aun cuando exista una relación entre las irregularidades de la superficie de un pavimento y el grado de confort que brinda al usuario que transita sobre este, el parámetro que permite evaluar objetivamente la calidad de servicio de un pavimento es el Indice de Serviciabilidad Presente (PSI, por sus siglas en inglés), y que además se emplea para el diseño del pavimento.

Entonces, dentro de las actividades de evaluación ExPost de un pavimento correspondería evaluar el PSI inicial del pavimento, a través del IRI, siempre y cuando los límites especificados de este se hayan establecido considerando el nivel de transitabilidad deseado al inicio de su vida de servicio, tal como se ha efectúa cuando el pavimento se diseña con el método AASHTO 1993, como es el caso del proyecto.

(5) Se puede concluir que durante todas las fases del proceso constructivo del Eje 1, y en particular durante la construcción del pavimento, se dieron condiciones críticas para la ejecución de los trabajos en los extremos del paso a desnivel, al inicio y al final de este, debido a que son zonas en donde existen rampas de ingreso y salida, en las dos calzadas del tronco principal, por donde transcurrió tráfico vehicular permanente.

La situación de trabajar con tráfico vehicular permanente, lo que además era una condición contractual que obligó a la elaboración de planes de canalización y seguridad vial, sin duda cambió la concepción de un trabajo que debió efectuarse a un ritmo normal, lineal y continuo, a un proceso con muchas restricciones, interrupciones, cortes, desplazamientos, retrasos, paralizaciones, que sin duda causaron irregularidades notables en el acabado final de las capas asfálticas, que no obedecen a defectos constructivos sino a las condiciones restrictivas de trabajo que se dieron, por lo que dichas zonas deben considerarse como singularidades.

(6) Por lo tanto, la existencia de singularidades, en el contexto de la evaluación de la rugosidad del pavimento, está plenamente justificada y no requiere de mayor sustentación, por lo que debe actuarse en consecuencia al tratamiento que establecen las especificaciones técnicas particulares del proyecto al respecto.

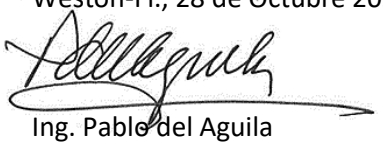
(7) Por otro lado, la existencia de singularidades es un hecho tangible que no depende de la oportunidad de identificación, es decir, no por el hecho de efectuar previamente la medición de la rugosidad la existencia de una singularidad debe ser descartada, todo lo contrario, según se ha explicado, no deja de tener lógica que la medición previa de la rugosidad puede contribuir a la identificación de singularidades, mas aún si se trata de un evaluador independiente que desconoce los aspectos o historial constructivo del pavimento, quién luego de efectuados los ensayos, deberá investigar sobre las circunstancias del mismo, que puedan explicar los resultados obtenidos.

(8) Las especificaciones técnicas del proyecto, o, como se denominan, prescripciones técnicas particulares, en su apartado ***401.16 Control de regularidad (IRI) en carpetas de mezclas asfálticas en caliente***, son copia literal de lo establecido para el mismo ítem en el Manual **de especificaciones generales para la construcción de carreteras, caminos en puentes, CR2010**. De su lectura se encuentra que son incompletas, confusas y ambiguas, lo que conlleva a la ocurrencia de controversias respecto al tema de la rugosidad del pavimento, tal como ha sucedido con el proyecto en cuestión.

Como ejemplo, se tiene el tema de las singularidades, las especificaciones del proyecto no indican la oportunidad de identificación de estas, si antes o después de las mediciones de la rugosidad. Hay singularidades que de por si son obvias, como un puente o un badén, pero existen otras singularidades que no lo son, como por ejemplo una sección de transición de bombeo a peralte, en un curva de radio reducido, que solo pueden ser detectadas después de efectuada la medición de la rugosidad.

Asumir que las singularidades solo pueden declararse previamente a la realización de los ensayos de rugosidad, que en si es una interpretación arbitraria de la especificación, puede conllevar a que un evento disruptivo, tal como el descrito, no ligado a un deficiente proceso constructivo, no sea considerado como singularidad, con lo que se podría afectar injustificadamente el cumplimiento de la especificación. Caso contrario sucedería si es que por error o descuido se omite declarar previamente una singularidad evidente, como sería el caso de una alcantarilla o un badén; siguiendo la lógica de la interpretación, después de la medición ya no se podría considerar dichos elementos como singularidades, lo que a todas luces sería un grave error.

Weston-Fl., 28 de Octubre 2021



Ing. Pablo del Aguila
Asesor Regional Senior en Infraestructura de Transportes