Análisis De Asentamientos Mediante Topografía Convencional En La Calle De Rodaje Lima Del Aeropuerto Internacional El Dorado.



UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
Acreditación Institucional de Alta Calidad

Autor

Mateo Zárate Moreno
Código: 20211131044

Liliana Lisbeth Jiménez Melo
Código: 20221131031

Tutor

Fabio Nelson Rodríguez Ortega

Universidad Distrital Francisco José de Caldas

Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales

Tecnología en Levantamientos Topográficos

Bogotá, Colombia

2026

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN 6
2. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN 8
2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 8
2.2 FORMULACION DEL PROBLEMA 9
2.3 SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA 9
3. OBJETIVOS 10
3.1 OBJETIVO GENERAL 10
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 10
4. MARCO DE REFERENCIA 11
4.1 LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO 11
5. ANTECEDENTES 14
5.1 MARCO CONCEPTUAL 16
5.1.1 Concepto General de Topografía 16
5.1.2 Topografía Convencional 17
5.1.3 Concepto General de Asentamientos 17
5.1.4 Asentamientos Diferenciales 18
5.1.5 Calle de Rodaje 18
5.1.6 Seguridad Operacional 19
5.1.7 Mezcla Asfáltica tipo P-401 19
5.1.8 Mezcla Asfáltica tipo PG 76-22 20
5.2 ENFOQUE METODOLÓGICO 21
6. AVANCE DE CONOCIMIENTO EN RELACIÓN CON EL PROBLEMA PROPUESTO 22

7. MÉTODOS Y TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN, SISTEMATIZACIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN 25
7.1 RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN 25
7.2 SISTEMATIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN 27
7.3 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN 28
7.4 PARAMETROS TÉCNICOS CALLE DE RODAJE LIMA 30
7.5 ESTUDIOS PREVIOS CALLE DE RODAJE LIMA 35
7.6 LABORES REALIZADOS EN CAMPO 38
7.7 REGISTRO FOTOGRAFICO 46
8. ANALISIS DE DATOS 51
8.1 COMPARACIÓN DISEÑO GEOMÉTRICO ORIGINAL VS. CONTROL NO. 23 (FEBRERO DE 2026) 52
8.2 COMPARACIÓN CONTROL RENIVELACION (SEPTIEMBRE DE 2024) VS. CONTROL NO. 23 (FEBRERO DE 2026) 55
9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 60
10. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS 62

LISTA DE TABLA

Tabla 1 - Cartera topográfica de control de asentamiento calle de rodaje Lima ABSCISA K0+425 38
Tabla 2 - Cuadro de coordenadas, "MET 6" 42
Tabla 3 - Traslado de cota "MET 6" hasta "C#1A" 43
Tabla 4 - Calculo circuito de nivelación 1 44
Tabla 5 - Calculo circuito de nivelación 2 45
Tabla 6 - Perfil Longitudinal topográfico general del diseño geométrico original calle de rodaje Lima 49
Tabla 7 - Perfil Longitudinal topográfico especifico de la zona critica, diseño geométrico calle de rodaje Lima 50
Tabla 8 - Comparación diseño geométrico original Vs. el control de asentamiento No. 23 (mes de febrero de 2026) 52
Tabla 9 - Promedio asentamientos diseño geométrico Vs. control renivelación (septiembre del año 2024) 54
Tabla 10 - Comparación control renivelación (septiembre del año 2024) Vs. control de asentamiento No. 23 (mes de febrero de 2026) 55
Tabla 11 - Promedio asentamientos control renivelación (septiembre del año 2024) Vs. control de asentamiento No. 23 (mes de febrero de 2026) 57
Tabla 12 - Perfil longitudinal, comparación del control tras renivelación (mes de septiembre del año 2024) Vs. el control de asentamiento No. 23 (mes de febrero de 2026) 58
Tabla 13 - Perfil longitudinal, comparación diseño geométrico original Vs. control tras renivelación (mes de septiembre del año 2024) Vs. control de asentamiento No. 23 (mes de febrero de 2026) 59

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 - Localización Calle de rodaje Lima, vista planta Google earth..... 11
Ilustración 2 - Localización General, Aeropuerto Internacional el Dorado – MRIA Aeropuerto El Dorado Zonas de intervención – 22001378 H4 PPZIM – KAPPA 2024..... 12
Ilustración 3 - Localización Especifica calle de rodaje Lima vista planta – MRIA Aeropuerto El Dorado Zonas de intervención – 22001378 H4 PPZIM – KAPPA 2024 13
Ilustración 4 - Deprimido Lima, perspectiva vía deprimido Lima 15
Ilustración 5 - Etapa construcción - Excavación del deprimido Lima. 30
Ilustración 6 - Zona 1, calle de rodaje Lima 31
Ilustración 7 - Zona 2, calle de rodaje Lima 32
Ilustración 8 - Zona 3, calle de rodaje Lima 33
Ilustración 9 - Zona 4, calle de rodaje Lima 34
Ilustración 10 - Pendientes máximas establecidas en calles de rodaje 35
Ilustración 11 - Aeronave Boeing 747- 8 ATLAS AIR. 36
Ilustración 12 - Zona intervenida, renivelación asfáltica septiembre del año 2024..... 37
Ilustración 13 - Nivel topográfico, calle de rodaje Lima 39
Ilustración 14 - Chequeo en campo control topográfico, calle de rodaje Lima 40
Ilustración 15 - Chequeo en campo control topográfico, calle de rodaje Lima 41
Ilustración 16 - Placa de amarre, “MET 6”..... 43
Ilustración 17 - Registro fotográfico, control asentamiento calle de rodaje 46
Ilustración 18 - Registro fotográfico, control asentamiento calle de rodaje Lima..... 46
Ilustración 19 - Nivel topográfico, utilizado para los controles de asentamiento..... 47
Ilustración 20 - Comisiones topográficas, para control de asentamiento 47
Ilustración 21 - Nivelación calle Lima, jornada diurna 48
Ilustración 22 - Comisión topográfica 48

1. INTRODUCCIÓN

Los asentamientos son un movimiento descendente vertical del terreno debido a la aplicación de cargas que causan cambios en las tensiones dentro del terreno. Un caso representativo es en el Aeropuerto Internacional El Dorado en la ciudad de Bogotá, dónde la Aeronáutica Civil construyó la calle de rodaje Lima sobre el antiguo cauce del río Bogotá. Actualmente permite la conexión operativa entre la pista sur (Fontibón) y la pista norte (Engativá) por el costado occidental del aeropuerto, diseñada para el tránsito de aeronaves. Durante su etapa de operación, la calle de rodaje Lima comenzó a presentar asentamientos diferenciales lo que representa un potencial riesgo para la seguridad operacional de las aeronaves y la seguridad de los pasajeros y tripulaciones.

La entidad identificó la necesidad de implementar un monitoreo de asentamientos lo que constituye a una aplicación directa de la topografía como herramienta de análisis geométrico del terreno, esta va vinculada a la geología del suelo. Desde una perspectiva geotécnica, las variaciones altimétricas pueden estar asociadas a procesos de consolidación, cambios en el contenido de humedad generada por asentamientos diferenciales.

Esta investigación se justificó en demostrar que la topografía convencional, mediante la aplicación rigurosa de nivelación geométrica y control sistemático de puntos materializados, puede constituirse en una herramienta precisa y confiable para el seguimiento de asentamientos en cumplimiento de los estándares exigidos por la Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil (UAEAC, 2007).

El estudio se estructurará en diversas fases metodológicas, iniciando con la recopilación de información, que incluirá los registros de los controles topográficos efectuados, los antecedentes técnicos disponibles y la revisión de la normativa aeronáutica aplicable, así como de los lineamientos técnicos relacionados con el control geométrico de superficies de rodaje en infraestructuras aeroportuarias. Posteriormente, se llevará a cabo el procesamiento y organización de los datos obtenidos, con el fin de calcular las variaciones de cotas y las deformaciones verticales registradas entre los distintos periodos de monitoreo y sus puntos más críticos en las abscisas. A partir de esta información, se realizará un análisis de la metodología topográfica implementada, evaluando el procedimiento aplicado y la confiabilidad de las mediciones, considerando la estabilidad y consistencia de los puntos de control establecidos.

Finalmente, con base en el análisis integral de los resultados obtenidos, se formularán las conclusiones del estudio, proporcionando un contexto técnico claro sobre la condición geométrica de la infraestructura y su comportamiento durante el periodo de evaluación.

2. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El Aeropuerto Internacional El Dorado se encuentra ubicado en la ciudad de Bogotá, Colombia. Con el propósito de mejorar su capacidad operativa y optimizar la gestión del tráfico aéreo, la Aeronáutica Civil decidió construir la calle de rodaje denominada Lima, la cual cumple un papel fundamental en la distribución del tráfico aéreo que opera en la terminal, contribuyendo a la descongestión de las demás calles de rodaje existentes. Durante su etapa de operación, la calle de rodaje Lima comenzó a presentar comportamientos diferenciales en la carpeta asfáltica, los cuales se asocian a posibles asentamientos del terreno de fundación.

En este contexto, surgió la necesidad por parte de la entidad de llevar a cabo un monitoreo sistemático que permitiera evaluar las condiciones reales del terreno, con el fin de orientar la toma de decisiones basadas en la seguridad operacional y la durabilidad de la infraestructura aeroportuaria

2.2 FORMULACION DEL PROBLEMA

¿De qué manera el control topográfico en la calle de rodaje Lima permitió evidenciar y documentar el comportamiento de los asentamientos diferenciales a lo largo del tiempo?

2.3 SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA

- ¿Cuáles fueron las condiciones geotécnicas del sector donde se ubica la calle de rodaje Lima que hicieron necesario el control topográfico de asentamientos?
- ¿Cómo aportaran los resultados del control topográfico a la evaluación técnica de la estabilidad de la calle de rodaje Lima?
- Evaluar la precisión y la calidad de los controles realizados.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Analizar las variaciones altimétricas de la calle de rodaje Lima del Aeropuerto Internacional El Dorado, mediante la aplicación de técnicas de topografía convencional, con el fin de identificar deformaciones verticales compatibles con posibles asentamientos.

.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar las variaciones altimétricas de la superficie a partir de mediciones periódicas de nivelación geométrica.
- Comparar las diferenciaciones altimétricas registradas en los diferentes periodos de monitoreo realizados, para identificar patrones de deformación.
- Identificar zonas críticas que presenten deformaciones verticales significativas, asociadas a posibles asentamientos diferenciales.

4. MARCO DE REFERENCIA

4.1 LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO

La calle de rodaje Lima se ubicada en el Aeropuerto Internacional el Dorado este se encuentra localizado a unos 12 km al occidente del Centro Internacional de Bogotá, entre las localidades de Fontibón y Engativá. El mismo ocupa un área aproximada de 6,9 km². El aeropuerto internacional el Dorado, en las localidades de Fontibón y Engativá, de la ciudad de Bogotá D.C, con coordenadas promedio ° 42’ 02.76” N y 74° 09’ 16.47” O. Ahora bien, la Calle de Rodaje Lima que sirve de conexión entre la Pista Sur y Norte, se ubica entre las Calles de Rodaje A y H al costado “NW” de Torre de Control.

Ilustración 1 - *Localización Calle de rodaje Lima, vista planta Google earth*



Fuente: Google earth

El plano corresponde al Aeropuerto Internacional El Dorado y presenta una vista general del aeródromo enfocada en las zonas de intervención. En él se identifican de manera esquemática los principales elementos operativos del aeropuerto, como las pistas, las calles de rodaje, zona de carga y plataforma de pasajeros.

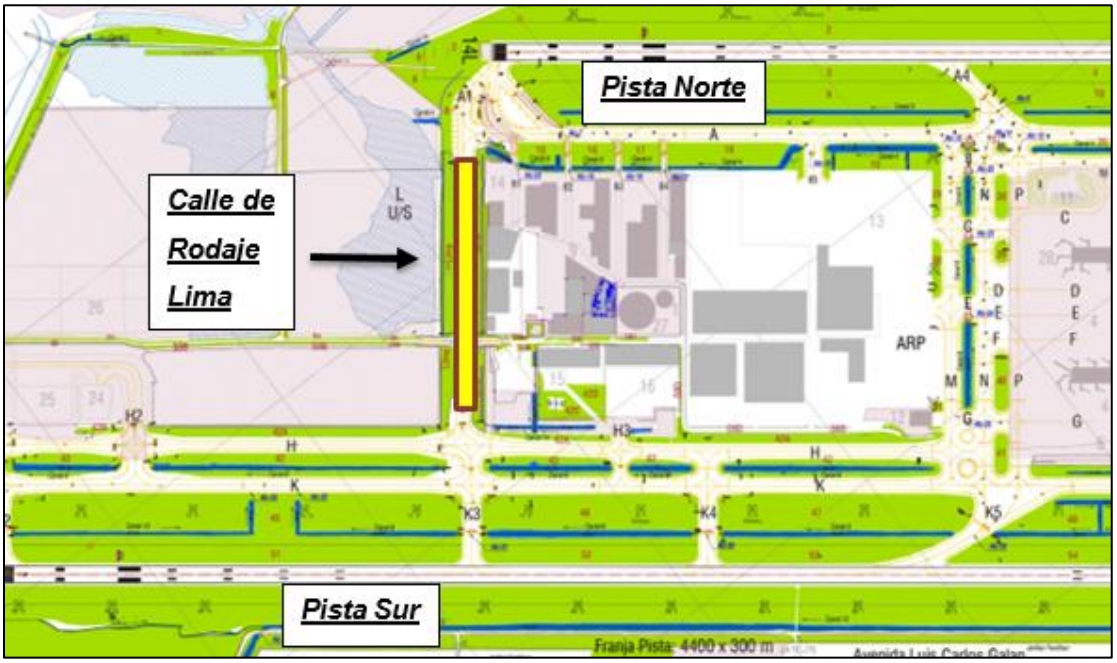
Ilustración 2 - *Localización General, Aeropuerto Internacional el Dorado – MRIA Aeropuerto El Dorado Zonas de intervención – 22001378 H4 PPZIM – KAPPA 2024*



Fuente: CONTRATO No. 24001358 H3 de 2024, CUYO OBJETO ES: "REALIZAR LA INTERVENTORIA INTEGRAL AL MANTENIMIENTO RUTINARIO DE LA INFRAESTRUCTURA AEROPORTUARIA A CARGO DE LA AEROCIVIL EN EL AEROPUERTO INTERNACIONAL EL DORADO DE BOGOTÁ (VF)".

La ilustración corresponde al sector monitoreado con los controles topográficos donde se identifican las principales calles de flujo de aeronaves se evidencia la Pista Norte y la Pista Sur. Ambas pistas posicionadas de manera paralela y conectadas a través de un sistema de calles de rodaje (LIMA). Estas calles permiten la circulación eficiente de las aeronaves entre las pistas y la llegada a plataforma de carga.

Ilustración 3 - *Localización Especifica calle de rodaje Lima vista planta – MRIA Aeropuerto El Dorado Zonas de intervención – 22001378 H4 PPZIM – KAPPA 2024*



Fuente: CONTRATO No. 24001358 H3 de 2024, CUYO OBJETO ES: "REALIZAR LA INTERVENTORIA INTEGRAL AL MANTENIMIENTO RUTINARIO DE LA INFRAESTRUCTURA AEROPORTUARIA A CARGO DE LA AEROCIVIL EN EL AEROPUERTO INTERNACIONAL EL DORADO DE BOGOTÁ (VF)".

5. ANTECEDENTES

La Calle de Rodaje Lima (L) es una parte importante del Aeropuerto Internacional El Dorado, ya que ayuda a distribuir el movimiento de las aeronaves que llegan y salen dentro del aeropuerto. Sin embargo, esta calle ha presentado ciertos asentamientos diferenciales desde las etapas iniciales de estudio, diseño y construcción, los cuales han continuado durante su funcionamiento. Estos cambios en la superficie afectan el estado del pavimento.

En la gestión de esta infraestructura participan varios actores. La Aeronáutica Civil de Colombia es la encargada de supervisar y garantizar la seguridad operacional. Por su parte, los operadores del aeropuerto se encargan del funcionamiento diario y del mantenimiento de las instalaciones. Además, las empresas constructoras y los diseñadores fueron responsables de la ejecución inicial del proyecto. Finalmente, los equipos de mantenimiento y monitoreo cumplen un papel importante al identificar y controlar los problemas que se presentan, con el fin de mantener en buen estado la infraestructura.

La principal problemática se presenta en la Calle de Rodaje Lima debido a que fue construida sobre un antiguo cauce del río Bogotá. Esta condición ha generado un terreno inestable, lo que facilita la aparición de asentamientos con el paso del tiempo. A pesar de esto, su ubicación es clave dentro del aeropuerto, ya que permite mejorar la movilidad de las aeronaves y contribuir al flujo del tráfico aéreo. Por esta razón, es necesario realizar un seguimiento constante que permita entender su comportamiento y tomar decisiones adecuadas para su mantenimiento.

Los asentamientos comenzaron a evidenciarse desde las primeras etapas del proyecto, incluyendo los estudios, el diseño y la construcción, Actualmente, esta situación persiste, lo que hace necesario mantener un monitoreo constante, así como la implementación de acciones correctivas que eviten un mayor deterioro de la infraestructura.

Esta problemática se origina principalmente por las condiciones geotécnicas del terreno, ya que la zona se encuentra ubicada sobre un antiguo cauce del río Bogotá. Esta condición ha generado un suelo con comportamiento inestable, susceptible a procesos de asentamiento y deformaciones diferenciales con el paso del tiempo. De no implementarse una solución adecuada, esta situación podría afectar de manera significativa la seguridad de las operaciones aeroportuarias e incluso generar interrupciones en el tráfico aéreo.

Ilustración 4 - *Deprimido Lima, perspectiva vía deprimido Lima*



Fuente: propia

5.1 MARCO CONCEPTUAL

5.1.1 Concepto General de Topografía

Tradicionalmente la topografía se ha definido como una ciencia aplicada, encargada de determinar la posición relativa de puntos sobre la Tierra y la representación en un plano de una porción de la superficie terrestre. (Villalba, Vargas, & Vergara, 2017).

En un sentido más general, se puede definir como la disciplina que abarca todos los métodos para reunir información de partes físicas de la Tierra, tales como el relieve, los litorales, los cauces de corrientes hídricas, entre otros, usando para ello los métodos clásicos de medición en terreno, la fotogrametría y los Sensores Remotos. (Villalba, Vargas, & Vergara, 2017).

Si se analiza la palabra topografía desglosándola del griego topo- topos (lugar/ región/sitio) y -grafía graphe (descripción), Topografía significaría el arte o la técnica que se encarga de la descripción detallada de la superficie de un terreno en una determinada región o lugar. (Villalba, Vargas, & Vergara, 2017).

Una definición muy acertada es: topografía es la ciencia por medio de la cual se establecen las posiciones de puntos situados sobre la superficie terrestre, encima y debajo de (Villalba, Vargas, & Vergara, 2017).

5.1.2 Topografía Convencional

La topografía convencional, fundamental en construcción, control, monitoreo de avances y desarrollo de proyectos. Es vital para proyectos en que se requiere de una precisión milimétrica, como para la instalación de vigas, pilares y otros elementos estructurales. Esta práctica combina habilidad y conocimiento para representar gráficamente el entorno, incluyendo tanto elementos naturales como artificiales (AB Surveying Solutions, s.f.).

5.1.3 Concepto General de Asentamientos

En el ámbito de la topografía, los asentamientos se entienden como las variaciones altimétricas que presenta una superficie debido a la acción de cargas, las cuales se evidencian mediante diferencias de nivel entre puntos medidos en distintos momentos. Estas deformaciones verticales pueden ser detectadas y cuantificadas a través de levantamientos topográficos de precisión, permitiendo identificar cambios en la geometría del terreno o de una estructura. (Das, 2015).

El análisis de estos cambios es fundamental para el control y monitoreo de superficies como pavimentos aeroportuarios, donde pequeñas variaciones en cota pueden indicar la presencia de asentamientos diferenciales que afectan la estabilidad y funcionalidad de la infraestructura (Das, 2015).

Las cargas que son transmitidas por la cimentación hacia el suelo proporcionan lugar a su deformación, y este se traduce en asentamientos, desplazamientos horizontales o giros de

la estructura, que, de exceder los parámetros permitidos según norma de cada país, tienen la posibilidad de originar fisuras, agrietamientos, u otras eventualidades (CYPE, 2022).

5.1.4 Asentamientos Diferenciales

El asentamiento del suelo de cimentación es un desplazamiento vertical de la superficie del suelo causado por la carga del edificio. Durante y después de la construcción, el asentamiento de la estructura de cimentación se considera normal y aceptable hasta cierto punto. Sin embargo, los asentamientos diferenciales representan un problema potencial. Los asentamientos diferenciales son asentamientos desiguales de la cimentación que pueden ser resultado de diversas causas (Geotech, s.f.).

5.1.5 Calle de Rodaje

Una calle de rodaje es una superficie definida dentro de un aeródromo destinada al desplazamiento de aeronaves en tierra, permitiendo su conexión entre la pista, la plataforma y otras áreas operacionales. Estas infraestructuras forman parte esencial del sistema aeroportuario, ya que facilitan el tránsito seguro y eficiente de las aeronaves durante las fases de rodaje. (OACI, s. f.).

Desde el enfoque geométrico y topográfico, las calles de rodaje deben cumplir con condiciones específicas de diseño relacionadas con pendientes longitudinales y transversales, así como con la uniformidad de la superficie. Estas condiciones garantizan un adecuado drenaje y una operación segura, evitando acumulación de agua o irregularidades que puedan afectar la estabilidad y maniobrabilidad de las aeronaves. (OACI, s. f.).

En este contexto, las variaciones altimétricas adquieren gran importancia, ya que pequeñas deformaciones pueden generar cambios en la nivelación diseñada. Por ello, el control mediante levantamientos topográficos de precisión permite verificar el cumplimiento de las cotas establecidas y detectar posibles asentamientos o irregularidades en la superficie, contribuyendo al mantenimiento de condiciones óptimas de operación (OACI, s. f.).

5.1.6 Seguridad Operacional

La seguridad operacional se define como el estado en el cual el riesgo de daños a las personas o a la infraestructura se reduce y se mantiene en un nivel aceptable, mediante la identificación de peligros y la gestión continua de riesgos. En el contexto aeroportuario, este concepto es fundamental para garantizar condiciones adecuadas de operación en pistas, calles de rodaje y demás superficies, donde las variaciones geométricas, como cambios altimétricos, pueden afectar la operación segura de las aeronaves (OACI, s. f.).

5.1.7 Mezcla Asfáltica tipo P-401

La mezcla asfáltica tipo P-401 es una mezcla en caliente utilizada en pavimentos aeroportuarios, diseñada conforme a las especificaciones de la Federal Aviation Administration (FAA). Se caracteriza por emplear agregados pétreos de alta calidad y un ligante asfáltico que garantiza resistencia estructural, durabilidad y adecuado desempeño frente a cargas pesadas, como las generadas por aeronaves. Este tipo de mezcla se utiliza principalmente en capas de rodadura y base en pistas y calles de rodaje, cumpliendo exigentes criterios de resistencia a la deformación, fatiga y condiciones ambientales. (FAA)

5.1.8 Mezcla Asfáltica tipo PG 76-22

La mezcla asfáltica tipo PG 76-22 es un tipo de ligante asfáltico clasificado bajo el sistema Performance Grade (PG), el cual define su comportamiento frente a diferentes condiciones de temperatura. Este ligante está diseñado para resistir altas temperaturas de hasta 76 °C sin deformarse y bajas temperaturas de hasta -22 °C sin agrietarse. Generalmente, se trata de un asfalto modificado con polímeros, lo que le permite mejorar su resistencia, durabilidad y desempeño estructural. Por estas características, es ampliamente utilizado en mezclas asfálticas destinadas a pavimentos sometidos a cargas pesadas, como en carreteras de alto tráfico y en infraestructura aeroportuaria (Federal Highway Administration, 2016).

5.2 ENFOQUE METODOLÓGICO

La presente investigación se desarrolló bajo un enfoque cualitativo, orientado a la comprensión e interpretación de las variaciones altimétricas presentadas en la calle de rodaje Lima del Aeropuerto Internacional El Dorado, a partir del análisis de información obtenida mediante técnicas de topografía convencional. Este enfoque permitió interpretar las deformaciones verticales del terreno no solo desde una perspectiva numérica, sino también en función de su comportamiento y posible incidencia en la funcionalidad de la infraestructura.

Desde esta perspectiva, los resultados del levantamiento topográfico no se abordan únicamente como valores numéricos, sino como indicadores del estado geométrico de la infraestructura, permitiendo identificar patrones, irregularidades y posibles deformaciones asociadas a asentamientos. El análisis se centra en la relación espacial de las cotas y en la interpretación de sus variaciones a lo largo del tiempo.

A partir de esta información, se realizó una evaluación de las condiciones geométricas de la superficie, enfocada en la identificación de zonas críticas y su relación con la seguridad operacional con el fin de aportar una visión integral del estado de la superficie desde una perspectiva técnica y aplicada.

6. AVANCE DE CONOCIMIENTO EN RELACIÓN CON EL PROBLEMA PROPUESTO

El análisis de asentamientos en infraestructuras aeroportuarias ha sido un tema recurrente dentro de la ingeniería civil, especialmente por su relación directa con la seguridad operacional. En este tipo de infraestructuras, mínimas variaciones en la superficie pueden generar efectos importantes en la circulación de aeronaves, por lo que el control geométrico resulta fundamental. Según Organización de Aviación Civil Internacional (2018), las superficies de rodaje deben mantener condiciones estrictas de regularidad y estabilidad para garantizar operaciones seguras.

En diferentes investigaciones se ha identificado que los asentamientos diferenciales suelen estar asociados a las características del suelo. Factores como la presencia de suelos blandos, materiales de relleno o cambios en el contenido de humedad pueden influir directamente en el comportamiento del pavimento. De acuerdo con Braja M. Das (2015), los suelos compresibles presentan deformaciones progresivas cuando son sometidos a cargas constantes, lo que explica por qué muchas estructuras empiezan a evidenciar fallas con el paso del tiempo y no inmediatamente después de su construcción.

En este contexto, la topografía juega un papel fundamental, ya que permite medir, controlar y analizar con alta precisión los cambios que se presentan en la superficie de las obras aeroportuarias. A través de técnicas como la nivelación geométrica, es posible detectar variaciones altimétricas milimétricas que no son perceptibles a simple vista, pero que pueden

ser indicativas de procesos de asentamiento. De acuerdo con Paul R. Wolf y Charles D. Ghilani (2012), la nivelación de precisión es una de las herramientas más confiables para el monitoreo de deformaciones verticales, especialmente cuando se requiere un alto nivel de exactitud en los resultados.

En el caso específico del Aeropuerto Internacional El Dorado, se han desarrollado diferentes intervenciones orientadas a mejorar su capacidad operativa, dentro de las cuales se encuentra la construcción de nuevas calles de rodaje. Sin embargo, debido a las condiciones geotécnicas de la Sabana de Bogotá, caracterizadas por la presencia de suelos de origen lacustre, se han presentado fenómenos de asentamiento en algunas zonas de la infraestructura.

Frente a este tipo de condiciones, el control topográfico se convierte en una herramienta clave dentro de la gestión de obras aeroportuarias. No solo permite identificar la magnitud de los asentamientos, sino también hacer seguimiento a su evolución en el tiempo, lo cual es fundamental para la toma de decisiones técnicas. Aunque actualmente existen tecnologías como GNSS o escáner láser, la nivelación geométrica continúa siendo el método más preciso para el control vertical en este tipo de estudios, especialmente cuando se requiere detectar variaciones muy pequeñas. En este sentido, Barry F. Kavanagh (2010) destaca que la precisión en la medición es un factor determinante en la confiabilidad de los análisis de deformaciones.

A pesar de los avances en el campo, se evidencia que muchos estudios se han centrado en fases de diseño o en análisis teóricos, dejando de lado el seguimiento detallado durante la

etapa de operación. Esto representa un vacío importante, ya que es precisamente durante el uso de la infraestructura donde se pueden observar los efectos reales de las cargas y las condiciones del terreno.

En este sentido, el presente trabajo se enfoca en el análisis de la calle de rodaje Lima, donde se han identificado posibles comportamientos diferenciales en la carpeta asfáltica. A partir de la aplicación de técnicas de topografía convencional, específicamente mediante nivelación geométrica, se busca obtener información precisa sobre las variaciones altimétricas en distintos periodos de tiempo.

De esta manera, la topografía no solo se utiliza como una herramienta de medición, sino como un elemento fundamental para la interpretación del comportamiento de la infraestructura. Los datos obtenidos permiten identificar patrones de asentamiento y evaluar la estabilidad de la superficie, aportando información clave para su mantenimiento y operación.

7. MÉTODOS Y TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN, SISTEMATIZACIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

7.1 RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN

La recolección de la información se llevó a cabo mediante un proceso estructurado, orientado a la obtención de datos confiables y relevantes para el análisis del comportamiento altimétrico de la calle de rodaje Lima del Aeropuerto Internacional El Dorado. Este proceso se direcciono en la recopilación de información primaria y secundaria proveniente de diversas fuentes técnicas.

En primer lugar, se recolectó información primaria a partir de los registros de campo obtenidos mediante la ejecución de controles topográficos basados en nivelación geométrica. Estas mediciones fueron realizadas de manera periódica sobre puntos de control previamente materializados a lo largo de la calle de rodaje, lo que permitió obtener datos precisos de elevación en distintos tiempos. Dichos registros constituyen la base fundamental para la determinación de variaciones altimétricas y el análisis de posibles asentamientos.

Adicionalmente, se recopiló información secundaria proveniente de documentos técnicos, tales como informes de interventoría, memorias de diseño, planos constructivos y reportes asociados a la ejecución y mantenimiento de la infraestructura. Esta información permitió contextualizar las condiciones iniciales del proyecto, los procesos constructivos implementados y las intervenciones realizadas en la estructura del pavimento.

De igual manera, se realizó la revisión de normativa técnica aplicable, incluyendo lineamientos establecidos por entidades aeronáuticas y especificaciones relacionadas con el control geométrico en infraestructuras aeroportuarias. Esta revisión permitió establecer criterios de referencia para la evaluación de la calidad de las mediciones y el comportamiento de la superficie.

Asimismo, se incorporó información geotécnica del sector, relacionada con las características del suelo de fundación, antecedentes de construcción sobre el antiguo cauce del río Bogotá y procesos de mejoramiento del terreno, como la implementación de precargas y sistemas de drenaje. Estos datos fueron fundamentales para comprender las causas asociadas a los asentamientos observados.

Finalmente, se utilizaron registros fotográficos y evidencia de campo como complemento de la información recopilada, permitiendo documentar visualmente el estado de la infraestructura y apoyar la interpretación de los resultados obtenidos. En conjunto, este proceso de recolección permitió contar con una base de información integral, necesaria para el desarrollo del análisis técnico del proyecto.

7.2 SISTEMATIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN

Se desarrolló mediante un proceso de clasificación y estructuración de los datos recopilados es campo, con el propósito de facilitar su manejo y realizar un respectivo análisis. Inicialmente, la información obtenida a partir diferentes informes técnicos, memorias de diseño, planos constructivos y registros fotográficos fue revisada y seleccionada, garantizando su pertinencia y confiabilidad para el desarrollo del estudio.

Posteriormente, los datos fueron organizados en tablas utilizando herramientas digitales, lo que permitió consolidar la información de manera clara y ordenada. Esta organización incluyó la identificación de variables relevantes como características del pavimento (zonas críticas), diseño geométrico original y controles llevados a cabo con su respectivo histórico.

Adicionalmente, se estableció una clasificación espacial de la información basada en la sectorización de la calle de rodaje en diferentes puntos (Zona 1, Zona 2, Zona 3 y Zona 4), esto con el fin de facilitar el análisis comparativo entre los distintos tramos del proyecto y sesgar de manera efectiva la abscisa y la ordenada donde se encuentra la mayor afectación en la carpeta asfáltica.

De igual manera, se incorporaron recursos gráficos como perfiles, tablas comparativas y registros fotográficos, con el fin de complementar la información y mejorar su interpretación.

7.3 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Se analizó la información de los datos obtenidos a partir de las mediciones periódicas de nivelación geométrica realizadas en la calle de rodaje Lima del Aeropuerto Internacional El Dorado, con dicho propósito de evaluar su comportamiento altimétrico y determinar la presencia de deformaciones verticales.

En primera instancia, se procedió al cálculo de las variaciones altimétricas mediante la comparación de las cotas obtenidas en un control tomado como base inicial, diferente a el control realizado en la etapa de diseño geométrico de la calle de rodaje Lima, con esto en ciertos tiempos periódicos se continuaba con dicho monitoreo para así poder hacer una comparación real del estado de la carpeta asfáltica.

Este proceso permitió cuantificar los cambios en elevación en cada uno de los puntos de control materializados en campo, evidenciando variaciones en la superficie del pavimento. A partir de estos resultados, se logró cumplir con el objetivo de determinar las variaciones altimétricas de la superficie, estableciendo una base cuantitativa para el análisis del comportamiento del terreno.

Posteriormente, se realizó un análisis comparativo de las diferenciaciones altimétricas registradas en el tiempo, apoyado en tablas, gráficas y perfiles longitudinales. Este procedimiento permitió identificar de forma más clara tendencias de deformación, tales como asentamientos progresivos entre distintos tramos de la calle.

De manera complementaria, se integró la información geotécnica disponible del sector, considerando que la calle de rodaje Lima fue construida sobre un antiguo cauce del río Bogotá, lo que implica la presencia de suelos compresibles y con alta susceptibilidad a procesos de consolidación. Esta condición permitió explicar las deformaciones observadas y responder a la interrogante relacionada con las causas geotécnicas que hizo necesario implementar un monitoreo topográfico.

Continuamente, se llevó a cabo la identificación de zonas críticas, destacando sectores donde se registraron mayor deformación vertical. Estas abscisas y ordenadas fueron asociadas a los asentamientos diferenciales evidenciados, lo que permitió establecer áreas de mayor vulnerabilidad dentro de la infraestructura, evaluar su impacto en la estabilidad de la calle de rodaje y su seguridad ante la constante operación de las aeronaves.

Por otra parte, el análisis permitió evidenciar el aporte del control topográfico como herramienta fundamental para la evaluación técnica de la estabilidad de la infraestructura aeroportuaria. Los resultados obtenidos a partir del monitoreo continuo proporcionaron información precisa sobre el comportamiento de la superficie, contribuyendo a la toma de decisiones técnicas orientadas al mantenimiento y conservación de la infraestructura.

Finalmente, se realizó una evaluación de la precisión y calidad de los controles topográficos, mediante la verificación de cierres de nivelación, consistencia entre mediciones y estabilidad de los puntos de control. Con esto se garantizó la confiabilidad de los datos recopilados y analizados para validar que los resultados obtenidos son representativos del comportamiento real de la estructura del pavimento.

7.4 PARAMETROS TÉCNICOS CALLE DE RODAJE LIMA

La calle de rodaje ha sido diseñada para el tránsito de aeronaves categoría Foxtrot (Airbus 380 / Boeing 747-8), para lo cual se construyó una estructura de soporte de 1,23 m de espesor conformada por varias capas de material granular y una rodadura con asfalto especial PG 76-22 que cumple con la normatividad FAA. La calle tiene un ancho de 44 m de acuerdo a las especificaciones del RAC-14 y una longitud de 900 m con la cual se espera atender el 30% de las operaciones del aeropuerto El Dorado, conectando la pista Sur con la pista Norte por el costado occidental del Aeropuerto Internacional El Dorado. (GISAICO S.A., 2023)

Ilustración 5 - *Etapa construcción - Excavación del deprimido Lima.*

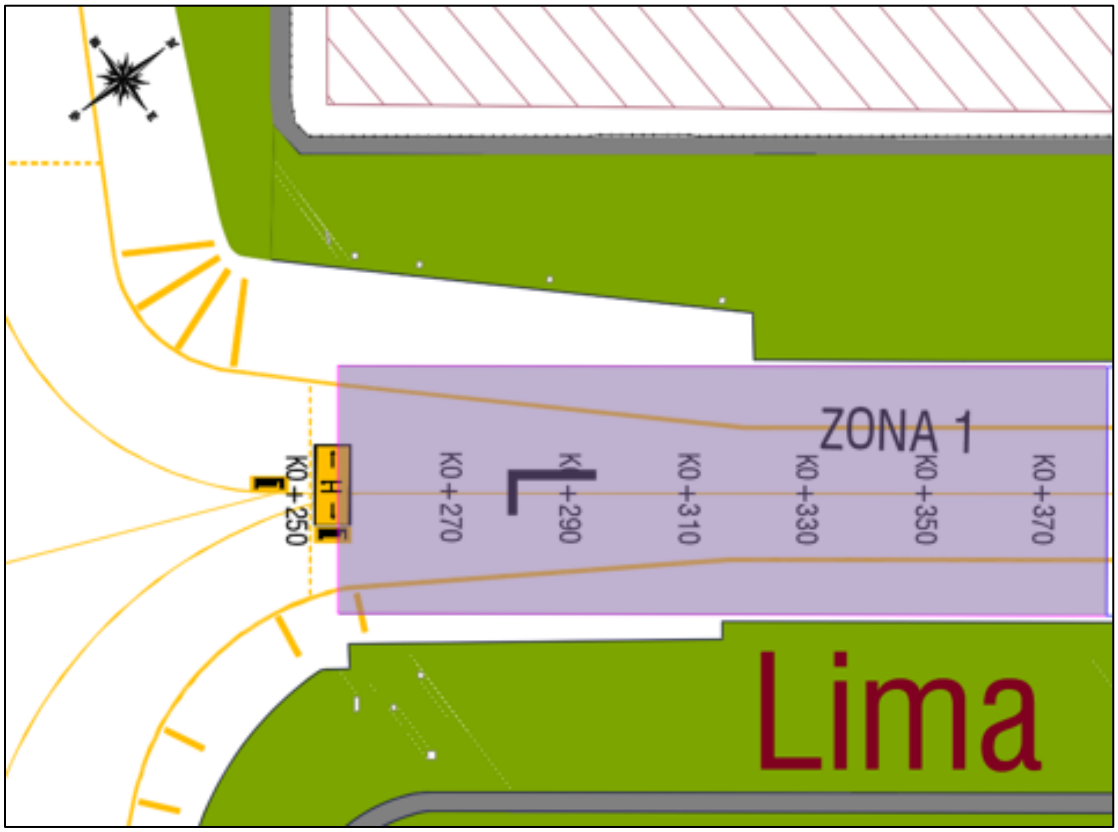


Fuente: Tomado de Construcción de la calle de rodaje Lima - Aeropuerto El Dorado Bogotá, por GISAICO S.A., 2023.

La calle de rodaje Lima fue segmentada en cuatro zonas para su intervención.

La **Zona 1**, comprendida entre las abscisas K0+240 y K0+380, había sido objeto de trabajos en contratos previos; sin embargo, presentaba un bajo Índice de Condición del Pavimento (PCI). Debido a esta situación, fue necesario realizar la demolición parcial de la estructura existente y llevar a cabo su rehabilitación mediante la incorporación de una capa de mezcla asfáltica tipo P-401 modificada con polímeros.

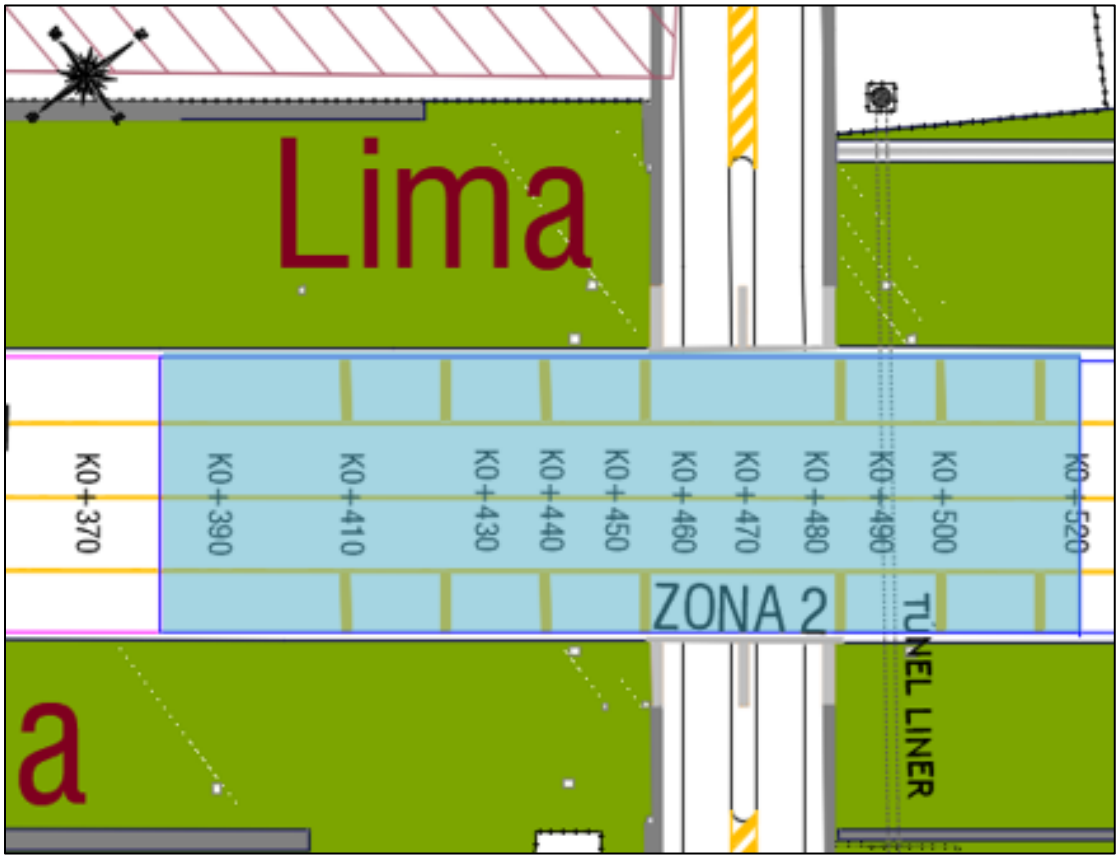
Ilustración 6 - *Zona 1, calle de rodaje Lima*



Fuente: tomado de Máster en Aeropuertos: Diseño, Construcción y Mantenimiento Análisis de asentamientos en el pavimento y estructura metálica del deprimido en calle de rodaje l (lima) dentro del aeropuerto internacional el dorado, Bogotá Colombia. (p. 18), realizado por ing. Juan David Aldana Colmenares, 2025

La **Zona 2**, comprendida entre las abscisas K0+380 y K0+520, corresponde al sector influenciado por la estructura del deprimido. Esta área presenta una condición particular, ya que no fue sometida a un proceso de precarga. Lo anterior se debe a la presencia de la antigua vía de servicio en uno de sus costados y, en el otro, a la ubicación de la estructura del túnel tipo liner, lo que limitó la aplicación de dicho procedimiento.

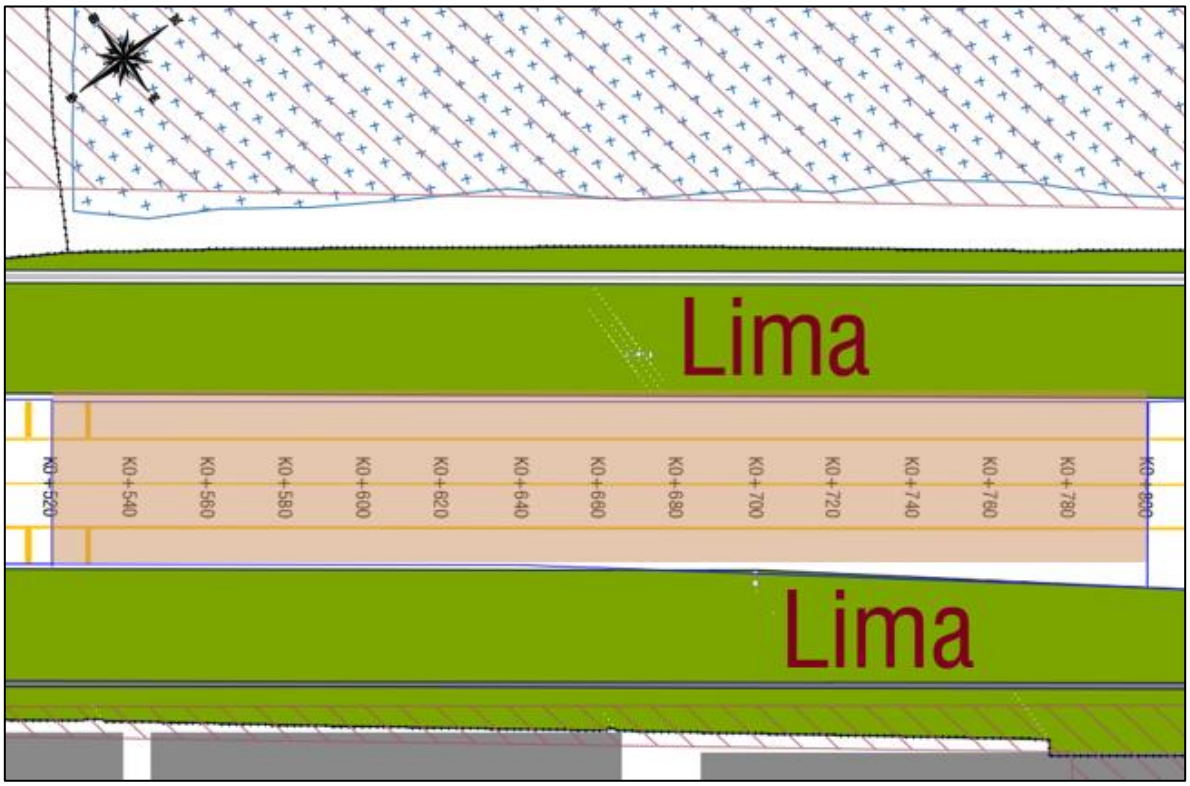
Ilustración 7 - *Zona 2, calle de rodaje Lima*



Fuente: tomado de Máster en Aeropuertos: Diseño, Construcción y Mantenimiento Análisis de asentamientos en el pavimento y estructura metálica del deprimido en calle de rodaje l (lima) dentro del aeropuerto internacional el dorado, Bogotá Colombia. (p. 18), realizado por ing. Juan David Aldana Colmenares, 2025

La **Zona 3**, comprendida entre las abscisas K0+520 y K0+800, corresponde a un sector que no fue intervenido directamente. En esta área se mantuvieron las condiciones de precarga y la instalación de drenes tipo mecha durante el periodo comprendido entre 2017 y 2021, con el propósito de lograr la pre-consolidación del terreno de fundación destinado a la construcción de la calle de rodaje.

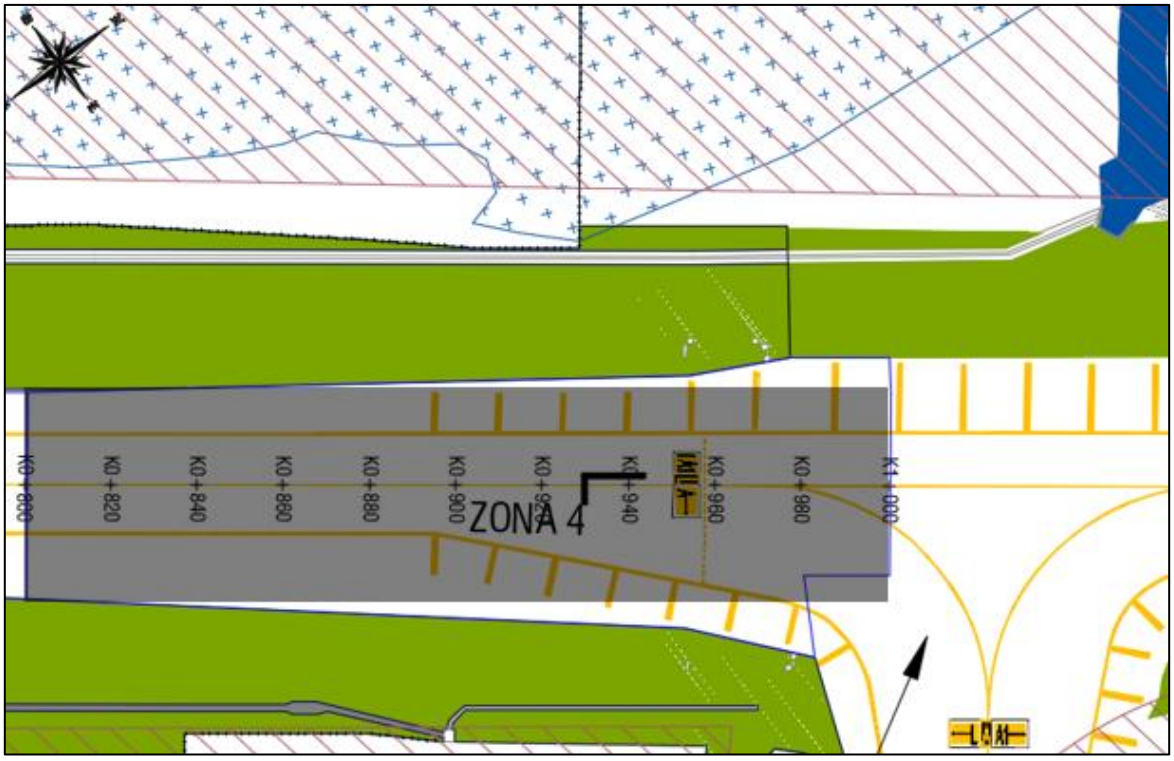
Ilustración 8 - *Zona 3, calle de rodaje Lima*



Fuente: tomado de Máster en Aeropuertos: Diseño, Construcción y Mantenimiento Análisis de asentamientos en el pavimento y estructura metálica del deprimido en calle de rodaje l (lima) dentro del aeropuerto internacional el dorado, Bogotá Colombia. (p. 19), realizado por ing. Juan David Aldana Colmenares, 2025

El tramo comprendido entre las abscisas K0+800 y K1+000 **Zona 4,** corresponde a un sector que fue pavimentado en contratos anteriores hasta nivel de base asfáltica. Sin embargo, esta área no presentaba cotas definidas ni concordancia con el diseño geométrico establecido para la calle de rodaje.

Ilustración 9 - *Zona 4, calle de rodaje Lima*



Fuente: tomado de Máster en Aeropuertos: Diseño, Construcción y Mantenimiento Análisis de asentamientos en el pavimento y estructura metálica del deprimido en calle de rodaje l (lima) dentro del aeropuerto internacional el dorado, Bogotá Colombia. (p. 19), realizado por ing. Juan David Aldana Colmenares, 2025

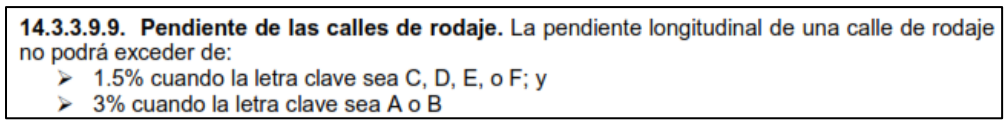
7.5 ESTUDIOS PREVIOS CALLE DE RODAJE LIMA

En enero del año 2023 se dio al servicio operacional (tras la construcción) la calle de rodaje Lima, tras su puesta en servicio, la Aeronáutica Civil entidad encargada, decidió realizar controles en la infraestructura de manera periódica para determinar posibles asentamientos. Es así como en octubre del año 2023 se ejecuta el primer monitoreo en la estructura de pavimento flexible, el cual arrojo un asentamiento de 0.312 m en su punto con mayor afectación **(K0+425)**.

Los controles de asentamientos diferenciales en la estructura de pavimento flexible continuaron de manera mensual y para el mes de julio del año 2024 este arrojó un asentamiento de 0.542 m **(K0+425)** con respecto a las condiciones de diseño originales de la calle de rodaje (enero 2023). Y con respecto al primer control de asentamiento llevado a cabo en octubre de 2023, se tenía un asentamiento de 0.230 m **(K0+425)**.

Tras el asentamiento presentado, la entidad decidió realizar una intervención de la calle de rodaje Lima con el fin de mejorar las condiciones geométricas de la misma, dichas condiciones están reglamentadas bajo el RAC 14 (Reglamentos Aeronáuticos de Colombia), en el capítulo "14.3.3.9.9. Pendiente de las calles de rodaje", establece la pendiente longitudinal máxima permitida para calles de rodaje cuando la letra clave sea C, D, E o F.

Ilustración 10 - *Pendientes máximas establecidas en calles de rodaje*


14.3.3.9.9. Pendiente de las calles de rodaje. La pendiente longitudinal de una calle de rodaje no podrá exceder de:

- 1.5% cuando la letra clave sea C, D, E, o F; y
- 3% cuando la letra clave sea A o B

Fuente: Tomado de Reglamento Aeronáutico de Colombia (RAC 14), sección 14.3.3.9.9, por Aeronáutica Civil de Colombia (s.f.)

Aeronave de gran envergadura tipo Boeing 747-8 de la compañía Atlas Air, en operación de rodaje a lo largo de la calle de rodaje Lima, con destino a la pista Norte, cabecera 14L del Aeropuerto Internacional El Dorado para su salida. evidenciando la importancia de esta infraestructura dentro de la conectividad operativa del aeropuerto y su capacidad para soportar el tránsito de aeronaves de gran tamaño.

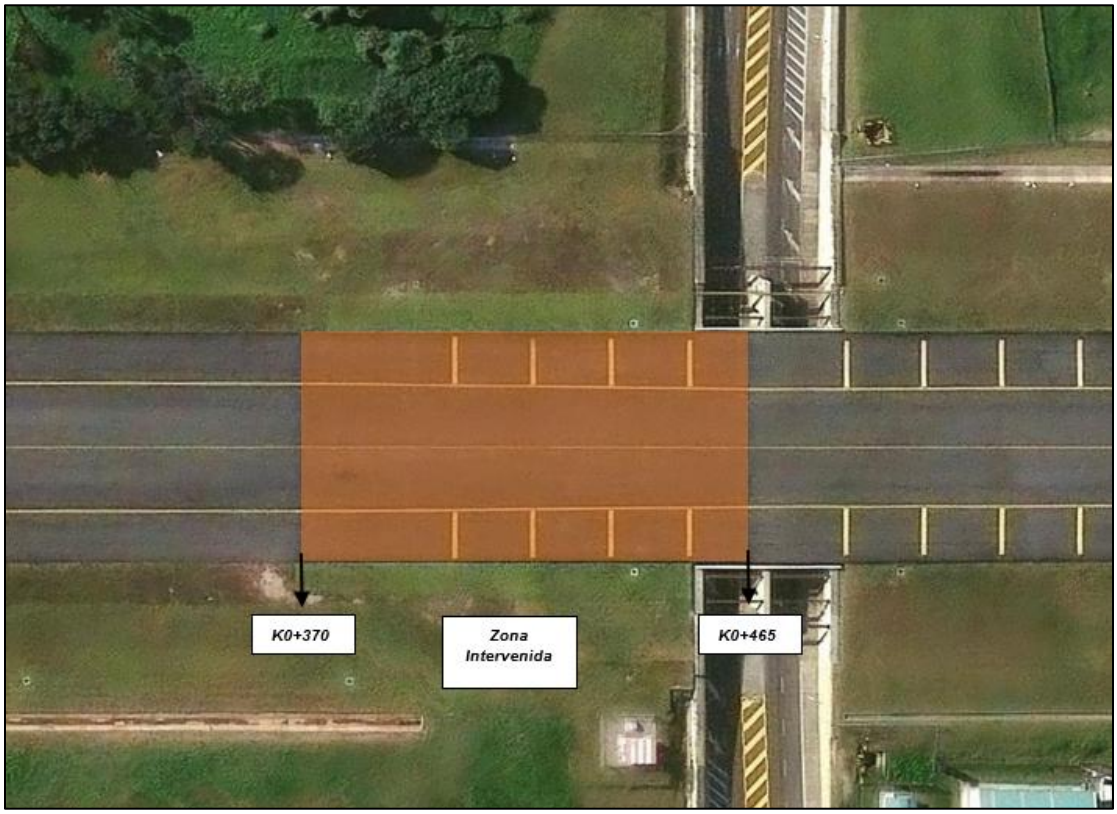
Ilustración 11 - *Aeronave Boeing 747- 8 ATLAS AIR.*



Fuente: Propia

Con dicho análisis la entidad tomo la decisión de para el mes de septiembre del año 2024 ejecutar una renivelación en mezcla asfáltica P-401 en la calle de rodaje Lima entre el K0+370 a K0+465.

Ilustración 12 - *Zona intervenida, renivelación asfáltica septiembre del año 2024*



Fuente: Google earth

Tras este contexto los controles de asentamiento continuaron de forma periódica hasta la fecha de corte febrero de 2026, A continuación, una descripción de la metodología usada en el monitoreo topográfico que se llevó a cabo.

7.6 LABORES REALIZADOS EN CAMPO

En la calle de rodaje Lima se continuo la metodología previamente establecida en contratos anteriores donde se efectuó una grilla de puntos fijos repartidos estratégicamente a lo largo y ancho de la calle de rodaje Lima. Dicha grilla se divide en abscisas de forma longitudinal iniciando desde la K0+190, hasta la K1+060 y de forma trasversal se encuentran las ordenadas que se distribuyeron según el ancho de la calle de rodaje el cual es de 44 metros lineales. Contando así con ordenadas de -22.00, -18.50, -11.50, -4.000, 0.000 (eje de la calle de rodaje) y 4.000, 11.50, 18.50, 22.00.

Tabla 1 *- Cartera topográfica de control de asentamiento calle de rodaje Lima ABSCISA K0+425*

	CUADRO COMPARATIVO ENTRE NIVELACIÓN INICIAL HASTA CONTROL # 23 CALLE DE RODAJE LIMA									
ABSCISA	CONTROLES	ORDENADAS								
		-22,000	-18,500	-11,500	-4,000	0,000	4,000	11,500	18,500	22,000
K0+425	Control 9 / Nivelacion tras renivelacion (18/09/2024)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Control 13 (23/02/2025)	2545,983	2546,012	2546,094	2546,184	2546,221	2546,183	2546,098	2546,010	2545,971
	Control 14 (23/03/2025)	2545,959	2545,985	2546,069	2546,157	2546,193	2546,158	2546,071	2545,985	2545,948
	Control 15 (23/04/2025)	2545,951	2545,976	2546,056	2546,148	2546,183	2546,147	2546,061	2545,976	2545,943
	Control 16 (22/05/2025)									
	Control 17 (12/08/2025)	2545,893	2545,919	2545,999	2546,084	2546,122	2546,086	2546,002	2545,920	2545,887
	Control 18 (20/09/2025)	2545,875	2545,900	2545,981	2546,066	2546,101	2546,065	2545,980	2545,900	2545,868
	Control 19 (20/10/2025)									
	Control 20 (20/11/2025)									
	Control 21 (20/12/2025)	2545,838	2545,861	2545,941	2546,002	2546,056	2546,021	2545,936	2545,857	2545,826
	Control 22 (20/01/2026)	2545,826	2545,849	2545,929	2546,010	2546,044	2546,010	2545,927	2545,849	2545,819
	Control 23 (20/02/2026)	2545,808	2545,828	2545,908	2545,987	2546,023	2545,988	2545,905	2545,828	2545,798

Fuente: INTERVENTORIA CONTRATO No. 24001358 H3 de 2024, CUYO OBJETO ES: "REALIZAR LA INTERVENTORIA INTEGRAL AL MANTENIMIENTO RUTINARIO DE LA INFRAESTRUCTURA AEROPORTUARIA A CARGO DE LA AEROCIVIL EN EL AEROPUERTO INTERNACIONAL EL DORADO DE BOGOTÁ (VF)".

De esta manera, en la madrugada del 20 de febrero de 2026 se efectuó el traslado de la cota hasta el cambio “C#1A”, definido como punto de inicio para la nivelación de la grilla correspondiente a la calle de rodaje Lima, en el marco del Control N.º 11. Posteriormente, durante la madrugada del día 21 de febrero de 2026, se llevó a cabo la nivelación completa de la grilla, garantizando la continuidad y precisión del proceso de control de asentamientos.

Ilustración 13 - *Nivel topográfico, calle de rodaje Lima*



Fuente: INTERVENTORIA CONTRATO No. 24001358 H3 de 2024, CUYO OBJETO ES: “REALIZAR LA INTERVENTORIA INTEGRAL AL MANTENIMIENTO RUTINARIO DE LA INFRAESTRUCTURA AEROPORTUARIA A CARGO DE LA AEROCIVIL EN EL AEROPUERTO INTERNACIONAL EL DORADO DE BOGOTÁ (VF)”.

Ilustración 14 - *Chequeo en campo control topográfico, calle de rodaje Lima*



Fuente: INTERVENTORIA CONTRATO No. 24001358 H3 de 2024, CUYO OBJETO ES: "REALIZAR LA INTERVENTORIA INTEGRAL AL MANTENIMIENTO RUTINARIO DE LA INFRAESTRUCTURA AEROPORTUARIA A CARGO DE LA AEROCIVIL EN EL AEROPUERTO INTERNACIONAL EL DORADO DE BOGOTÁ (VF)".

Ilustración 15 - *Chequeo en campo control topográfico, calle de rodaje Lima*



Fuente: INTERVENTORIA CONTRATO No. 24001358 H3 de 2024, CUYO OBJETO ES: "REALIZAR LA INTERVENTORIA INTEGRAL AL MANTENIMIENTO RUTINARIO DE LA INFRAESTRUCTURA AEROPORTUARIA A CARGO DE LA AEROCIVIL EN EL AEROPUERTO INTERNACIONAL EL DORADO DE BOGOTÁ (VF)".

Coordenadas de la placa conocida “MET6”, para el traslado de cota hasta el “C#1A”.

Tabla 2 - *Cuadro de coordenadas, “MET 6”*

COORDENADAS AEROPUERTO EL DORADO EPOCA 2018					
	COORDENADAS GEOGRAFICAS		CARTESIANAS BOGOTA		
Nombre	WGS84 Latitude	WGS84 Longitude	Grid Northing (m)	Grid Easting (m)	Elevation (m) Geométrica
MET6	4°42'26.55740"N	74°09'20.95196"W	112.295,814	91.310,620	2.545,66466

Fuente: INTERVENTORIA CONTRATO No. 24001358 H3 de 2024, CUYO OBJETO ES: “REALIZAR LA INTERVENTORIA INTEGRAL AL MANTENIMIENTO RUTINARIO DE LA INFRAESTRUCTURA AEROPORTUARIA A CARGO DE LA AEROCIVIL EN EL AEROPUERTO INTERNACIONAL EL DORADO DE BOGOTÁ (VF)”.

Los datos registrados durante las diferentes jornadas de nivelación fueron consignados en la libreta de campo, conforme a los procedimientos topográficos establecidos.

Posteriormente, dicha información fue procesada y calculada en una hoja de cálculo electrónica (Microsoft Excel), con el fin de obtener los valores ajustados y garantizar la trazabilidad y precisión de los resultados. A continuación, se presentan los cálculos correspondientes a la nivelación geométrica realizada para el Control N.º 11 del presente contrato y el No. 23 a nivel histórico de la calle de rodaje Lima, en el cual se consignan de manera detallada los registros obtenidos durante la ejecución de las mediciones.

La siguiente tabla presenta el traslado de cota de la placa conocida como “MET 6”, hasta el cambio “C#1A”, este se encuentra ubicado en la viga de amarre del cerramiento interno de la calle de rodaje Lima.

Tabla 3 - *Traslado de cota “MET 6” hasta “C#1A”*

TRASLADO DE COTA DESDE MET 6 HASTA C#1A (Viga del cerramiento LIMA) CONTROL # 11 FECHA: 20 FEBRERO 2026 CONSORCIO PISTA EL DORADO 2024						
PUNTO	Vat(+)	Vi(-)	Vad(-)	h. INSTR	COTA	O.B.S.
MET 6	1,073			2546,728	2545,655	PLACA BM MET 6
C # 1A			1,020	2545,708	2545,708	VIGA CERRAMIENTO LIMA

Fuente: INTERVENTORIA CONTRATO No. 24001358 H3 de 2024, CUYO OBJETO ES: “REALIZAR LA INTERVENTORIA INTEGRAL AL MANTENIMIENTO RUTINARIO DE LA INFRAESTRUCTURA AEROPORTUARIA A CARGO DE LA AEROCIVIL EN EL AEROPUERTO INTERNACIONAL EL DORADO DE BOGOTÁ (VF)”.

Ilustración 16 - *Placa de amarre, “MET 6”*



Fuente: propia

La siguiente tabla presenta el circuito de nivelación y contra nivelación, realizado desde el cambio "C#1A" (ubicado en la viga de amarre de cerramiento interno calle de rodaje), hasta el cambio "C#2B", (ubicado en intersección de calles de rodaje Lima con Hotel), dicho circuito dio como resultado un error de 0,001 m.

Tabla 4 - *Calculo circuito de nivelación 1*

CONTROL # 11 FECHA: 20 FEBRERO 2026 CONSORCIO PISTA EL DORADO 2024								
CIRCUITO DE NIVELACIÓN 1 - C#1A - C#2C								
PUNTO	**Vat(+)**	**Vi(-)**	**Vad(-)**	**h. INSTR**	**COTA**	**Compensación**	**COTA COMPENSADA**	**O.B.S.**
C#1A	1,813			2547,521	**2545,708**		**2545,708**	BM - EN VIGA CERRAMIENTO
C#2B`	1,338		1,366	2547,493	2546,155	0,0005	2546,156	Cambio en Abscisa K0+330 ordenada +22.00
C#1A			1,786	2545,707	**2545,707**	0,0010	2545,708	BM - EN VIGA CERRAMIENTO
					0,001		0,0000	
C#2B`	0,947			2547,103	2546,156		2546,156	Cambio en Abscisa K0+330 ordenada +22.00
C#2C	1,539		1,493	2547,149	2545,610	-0,0005	2545,610	Cambio en Abscisa K0+250 ordenada +18.50
C#2B`			0,994	2546,155	**2546,155**	-0,0010	2546,156	Cambio en Abscisa K0+330 ordenada +22.00
					-0,001		0,0000	
Diferencias	**5,637**		**5,639**	**Err. Obten=**	**0,000**			**OK**

Error kilométrico del nivel X Raíz de longitud tramo

2mm	LONGITUD	0,42 Km

TOLERANCIA	2mm X Raíz de Longitud=	0,001 m

Fuente: INTERVENTORIA CONTRATO No. 24001358 H3 de 2024, CUYO OBJETO ES: "REALIZAR LA INTERVENTORIA INTEGRAL AL MANTENIMIENTO RUTINARIO DE LA INFRAESTRUCTURA AEROPORTUARIA A CARGO DE LA AEROCIVIL EN EL AEROPUERTO INTERNACIONAL EL DORADO DE BOGOTÁ (VF)".

La siguiente tabla presenta el circuito de nivelación y contra nivelación, realizado desde el cambio "C#1A" (cambio ubicado en la viga de amarre de cerramiento interno calle de rodaje), hasta el último cambio establecido como "C#8" (ubicado en la abscisa K1+020, en la ordenada +18.50), dicho circuito dio como resultado un error de 0,002 m.

Tabla 5 - *Calculo circuito de nivelación 2*

CIRCUITO DE NIVELACIÓN 2 C#1A - C#8								
PUNTO	**Vat(+)**	**Vi(-)**	**Vad(-)**	**h. INSTR**	**COTA**	**Compensación**	**COTA COMPENSADA**	**O.B.S.**
C#1A	1,313			2547,021	**2545,708**		2545,708	BM - EN VIGA CERRAMIENTO
C#4	1,253		1,224	2547,050	2545,797	0,0005	2545,798	Cambio en Abscisa K0+560 ordenada +18.50
C#1A			1,343	2545,707	**2545,707**	0,0010	2545,708	BM - EN VIGA CERRAMIENTO
					0,001		0,0000	
C#4	1,067			2546,865	**2545,798**		2545,798	Cambio en Abscisa K0+560 ordenada +18.50
C#5	1,545		1,513	2546,897	2545,352	-0,0005	2545,352	Cambio en Abscisa K0+680 ordenada +18.50
C#4			1,098	2545,799	**2545,799**	-0,0010	2545,798	Cambio en Abscisa K0+560 ordenada +18.50
					-0,001		0,0000	
C#5	1,333			2546,685	**2545,352**		2545,352	Cambio en Abscisa K0+680 ordenada +18.50
C#6	1,267		1,188	2546,764	2545,497	0,0005	2545,498	Cambio en Abscisa K0+760 ordenada +18.50
C#5			1,413	2545,351	**2545,351**	0,0010	2545,352	Cambio en Abscisa K0+680 ordenada +18.50
					0,001		0,0000	
C#6	1,240			2546,738	**2545,498**		2545,498	Cambio en Abscisa K0+760 ordenada +18.50
C#7	1,672		1,628	2546,782	2545,110	-0,0005	2545,109	Cambio en Abscisa K0+900 ordenada +22.00
C#6			1,283	2545,499	**2545,499**	-0,0010	2545,498	Cambio en Abscisa K0+760 ordenada +18.50
					-0,001		0,0000	
C#7	1,393			2546,502	**2545,109**		2545,109	Cambio en Abscisa K0+900 ordenada +22.00
C#8	1,128		1,148	2546,482	2545,354	0,0000	2545,354	Cambio en Abscisa K1+020 ordenada +18.50
C#7			1,373	2545,109	**2545,109**	0,0000	2545,109	Cambio en Abscisa K0+900 ordenada +22.00
					0,000		0,0000	
Diferencias	13,211		13,211	Err. Obten=	0,000			OK

Error kilométrico del nivel X Raíz de longitud tramo

2mm	LONGITUD	1,22 Km

TOLERANCIA	2mm X Raíz de Longitud=	0,002 m

Fuente: INTERVENTORIA CONTRATO No. 24001358 H3 de 2024, CUYO OBJETO ES: "REALIZAR LA INTERVENTORIA INTEGRAL AL MANTENIMIENTO RUTINARIO DE LA INFRAESTRUCTURA AEROPORTUARIA A CARGO DE LA AEROCIVIL EN EL AEROPUERTO INTERNACIONAL EL DORADO DE BOGOTÁ (VF)".

7.7 REGISTRO FOTOGRAFICO

Registro fotográfico de controles de asentamientos topográficos en la carpeta asfáltica, llevados a cabo en la calle de rodaje Lima, en distintos periodos y distintas jornadas (nocturna y diurna), dependiendo de los permisos y las respectivas autorizaciones por parte de la torre de control para llevar a cabo la actividad.

Ilustración 17 - *Registro fotográfico, control asentamiento calle de rodaje*



Fuente: propia

Ilustración 18 - *Registro fotográfico, control asentamiento calle de rodaje Lima*



Fuente: propia

Ilustración 19 - *Nivel topográfico, utilizado para los controles de asentamiento*



Fuente: propia

Ilustración 20 - *Comisiones topográficas, para control de asentamiento*



Fuente: propia

Ilustración 21 - *Nivelación calle Lima, jornada diurna*



Fuente: propia

Ilustración 22 - Comisión topográfica

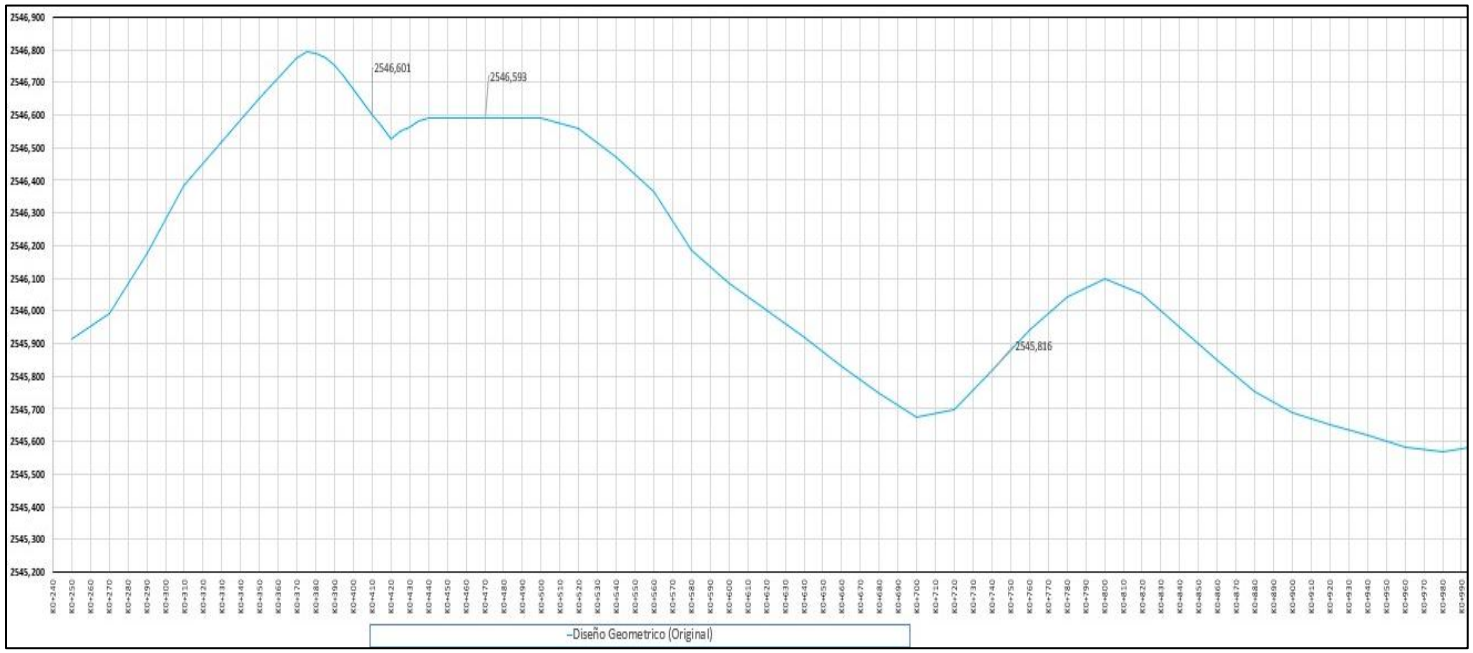


Fuente: INTERVENTORIA CONTRATO No. 24001358 H3 de 2024, CUYO OBJETO ES: "REALIZAR LA INTERVENTORIA INTEGRAL AL MANTENIMIENTO RUTINARIO DE LA INFRAESTRUCTURA AEROPORTUARIA A CARGO DE LA AEROCIVIL EN EL AEROPUERTO INTERNACIONAL EL DORADO DE BOGOTÁ (VF)".

ANTES - PERFIL LONGITUDINAL GENERAL DEL DISEÑO GEOMETRICO LLEVADO ACABO EN LA CALLE DE RODAJE LIMA

El perfil topográfico corresponde a las cotas de diseño geométrico llevado a cabo en la calle de rodaje Lima en su etapa constructiva, en el perfil se aprecia las cotas en función de las abscisas iniciando en la abscisa K0+240 a K1+000.

Tabla 6 - *Perfil Longitudinal topográfico general del diseño geométrico original calle de rodaje Lima*

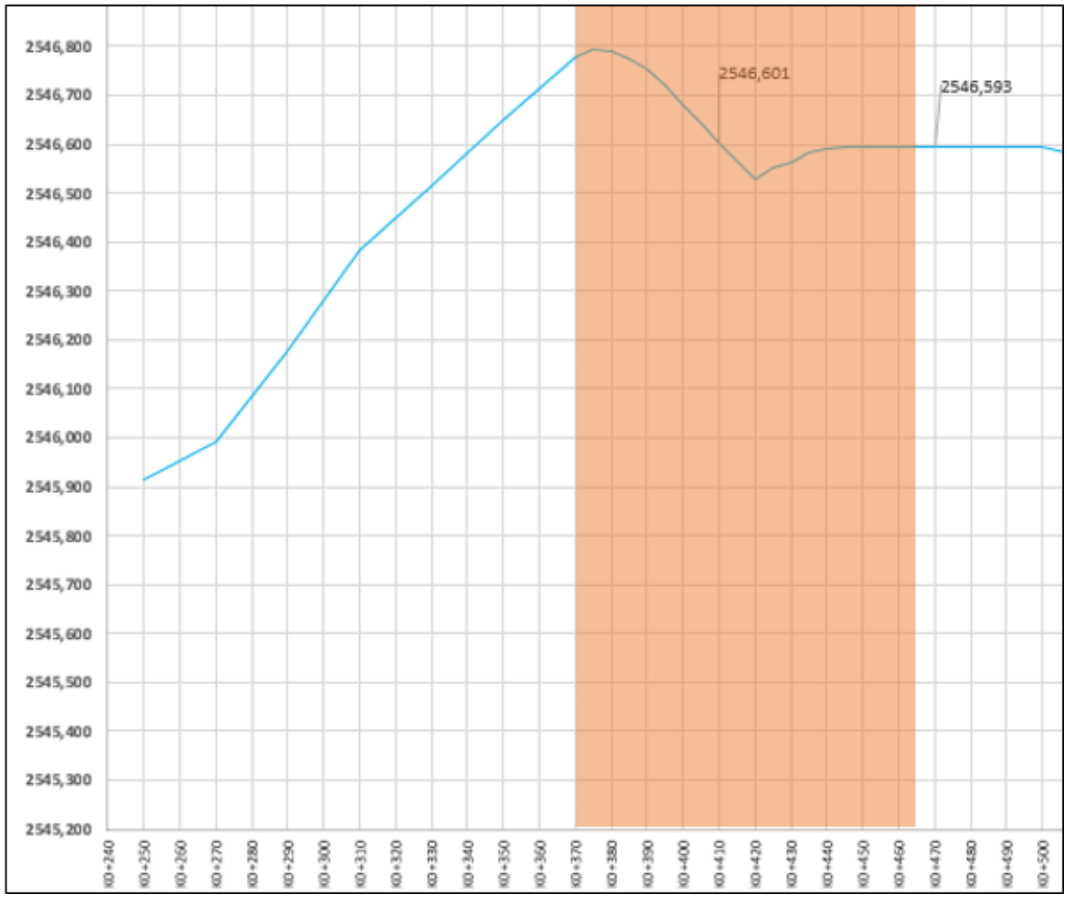


Fuente: INTERVENTORIA CONTRATO No. 24001358 H3 de 2024, CUYO OBJETO ES: "REALIZAR LA INTERVENTORIA INTEGRAL AL MANTENIMIENTO RUTINARIO DE LA INFRAESTRUCTURA AEROPORTUARIA A CARGO DE LA AEROCIVIL EN EL AEROPUERTO INTERNACIONAL EL DORADO DE BOGOTÁ (VF)".

ANTES - PERFIL LONGITUDINAL ESPECIFICO ZONA CRITICA DEL DISEÑO GEOMETRICO LLEVADO ACABO EN LA CALLE DE RODAJE LIMA

El perfil topográfico corresponde de igual forma que el anterior al diseño geométrico llevado a cabo en la calle de rodaje Lima en su etapa constructiva, teniendo la particularidad de que se muestra la zona mayor mente afectada actualmente, esta zona está comprendida entre los tramos K0+370 a K0+465, (demarcado en color naranja).

Tabla 7 - *Perfil Longitudinal topográfico especifico de la zona critica, diseño geométrico calle de rodaje Lima*



Fuente: INTERVENTORIA CONTRATO No. 24001358 H3 de 2024, CUYO OBJETO ES: "REALIZAR LA INTERVENTORIA INTEGRAL AL MANTENIMIENTO RUTINARIO DE LA INFRAESTRUCTURA AEROPORTUARIA A CARGO DE LA AEROCIVIL EN EL AEROPUERTO INTERNACIONAL EL DORADO DE BOGOTÁ (VF)".

8. ANALISIS DE DATOS

El control topográfico en la calle de rodaje Lima permitió evidenciar y documentar el comportamiento de los asentamientos diferenciales a lo largo del tiempo. Para ello, se emplearon registros obtenidos y recopilados mediante la entidad encargada (Aeronáutica Civil), y se continuaron con las respectivas nivelaciones geométricas en distintos periodos, los cuales constituyeron la base para efectuar el análisis de las variaciones altimétricas que presenta la carpeta asfáltica.

Se resalta que dicho análisis se efectuó en toda la calle de rodaje, pero principalmente teniendo en cuenta los antecedentes presentados en la infraestructura se enfocó en la zona mayormente afectada denominada como critica, esta área se encuentra comprendida entre las abscisas K0+370 a K0+465.

A continuación, se presentan los cuadros comparativos con los resultados obtenidos en el control de asentamiento No. 23 (acumulado) y el control de asentamiento No. 11 de la calle de rodaje Lima llevado a cabo el mes de febrero del año 2026 Vs. el diseño original de la calle de rodaje y la renivelación de la calle Lima realizada en el mes de septiembre del año 2024.

8.1 COMPARACIÓN DISEÑO GEOMÉTRICO ORIGINAL VS. CONTROL NO. 23 (FEBRERO DE 2026)

En la presente tabla se muestra la comparación del diseño geométrico original Vs. el control de asentamiento No. 23 (mes de febrero del año 2026). Zona denominada "critica" en color rosado, los datos son tomados de la ordenada 0,000 (eje).

Tabla 8 - *Comparación diseño geométrico original Vs. el control de asentamiento No. 23 (mes de febrero de 2026)*

Abscisa	Diseño Geométrico (Original)	Control # 23 (20/02/2026)	Diferencia Diseño Original vs. Control No. 23 (febrero de 2026)
K1+000	2545,585	2545,348	0,237
K0+980	2545,567	2545,259	0,308
K0+960	2545,583	2545,274	0,309
K0+940	2545,617	2545,288	0,329
K0+920	2545,650	2545,289	0,361
K0+900	2545,687	2545,273	0,415
K0+880	2545,754	2545,316	0,439
K0+860	2545,851	2545,422	0,430
K0+840	2545,952	2545,550	0,403
K0+820	2546,052	2545,680	0,373
K0+800	2546,098	2545,766	0,333
K0+780	2546,041	2545,757	0,285
K0+760	2545,943	2545,699	0,244
K0+740	2545,816	2545,612	0,204
K0+720	2545,699	2545,513	0,186
K0+700	2545,676	2545,503	0,173
K0+680	2545,747	2545,573	0,175
K0+660	2545,832	2545,647	0,186
K0+640	2545,917	2545,716	0,202
K0+620	2546,001	2545,761	0,241
K0+600	2546,086	2545,809	0,278
K0+580	2546,187	2545,863	0,325
K0+560	2546,366	2545,988	0,378
K0+540	2546,473	2546,030	0,443
K0+520	2546,558	2546,031	0,527

Abscisa	Diseño Geométrico (Original)	Control # 23 (20/02/2026)	Diferencia Diseño Original vs. Control No. 23 (febrero de 2026)
K0+500	2546,593	2546,045	0,548
K0+490	2546,593	2546,123	0,470
K0+480	2546,593	2546,232	0,361
K0+470	2546,593	2546,314	0,279
K0+465	2546,593	2546,283	0,310
K0+460	2546,593	2546,263	0,330
K0+455	2546,593	2546,228	0,365
K0+450	2546,593	2546,180	0,413
K0+445	2546,593	2546,110	0,483
K0+440	2546,590	2546,073	0,517
K0+435	2546,583	2546,060	0,523
K0+430	2546,563	2546,044	0,519
K0+425	2546,550	2546,023	0,527
K0+420	2546,528	2546,048	0,480
K0+415	2546,568	2546,071	0,497
K0+410	2546,601	2546,120	0,481
K0+405	2546,643	2546,169	0,474
K0+400	2546,680	2546,228	0,452
K0+395	2546,718	2546,290	0,428
K0+390	2546,753	2546,343	0,410
K0+385	2546,775	2546,401	0,374
K0+380	2546,790	2546,440	0,351
K0+375	2546,795	2546,477	0,318
K0+370	2546,777	2546,501	0,276
K0+350	2546,649	2546,409	0,240
K0+330	2546,517	2546,284	0,233

Abscisa	Diseño Geométrico (Original)	Control # 23 (20/02/2026)	Diferencia Diseño Original vs. Control No. 23 (febrero de 2026)
K0+310	2546,385	2546,174	**0,212**
K0+290	2546,177	2545,981	**0,196**
K0+270	2545,991	2545,821	**0,170**
K0+250	2545,916	2545,653	**0,263**
K0+230	2545,730	2545,532	**0,198**

Fuente: INTERVENTORIA CONTRATO No. 24001358 H3 de 2024, CUYO OBJETO ES: "REALIZAR LA INTERVENTORIA INTEGRAL AL MANTENIMIENTO RUTINARIO DE LA INFRAESTRUCTURA AEROPORTUARIA A CARGO DE LA AEROCIVIL EN EL AEROPUERTO INTERNACIONAL EL DORADO DE BOGOTÁ (VF)".

Promedio de asentamientos por abscisas

El mayor promedio de asentamiento se encuentra entre el tramo comprendido entre las abscisas K0+490 y K0+560 con un asentamiento promedio de 0.454 m, (el punto de mayor asentamiento K0+500 = 0.548 m).

Tabla 9 - *Promedio asentamientos diseño geométrico Vs. control renivelación (septiembre del año 2024)*

Tramo		Asentamiento Promedio (m)
K0+230	K0+370	0,224
K0+375	K0+450	0,453
K0+455	K0+480	0,321
K0+490	K0+560	0,454
K0+580	K0+800	0,236
K0+820	K1+000	0,360
K1+010	K1+060	0,067

Fuente: INTERVENTORIA CONTRATO No. 24001358 H3 de 2024, CUYO OBJETO ES: "REALIZAR LA INTERVENTORIA INTEGRAL AL MANTENIMIENTO RUTINARIO DE LA INFRAESTRUCTURA AEROPORTUARIA A CARGO DE LA AEROCIVIL EN EL AEROPUERTO INTERNACIONAL EL DORADO DE BOGOTÁ (VF)".

8.2 COMPARACIÓN CONTROL RENIVELACION (SEPTIEMBRE DE 2024) VS. CONTROL NO. 23 (FEBRERO DE 2026)

De igual forma que la tabla anterior la presente tabla muestra la comparación de control de asentamiento No. 23 (mes de febrero del año 2026) Vs. El control realizado tras la renivelación (mes de septiembre del año 2024), la zona catalogada como "critica" se encuentra señalada en color rosado, asimismo la presente se basó en los datos obtenidos de la ordenada 0,000 (eje).

Tabla 10 - Comparación control renivelación (septiembre del año 2024) Vs. control de asentamiento No. 23 (mes de febrero de 2026)

Abscisa	Control tras Renivelación (18/09/2024)	Control # 23 (20/02/2026)	Diferencia Renivelación Sept 2024 Vs. Control 23 (febrero 2026)
K1+000	2545,405	2545,348	0,057
K0+980	2545,338	2545,259	0,079
K0+960	2545,364	2545,274	0,090
K0+940	2545,387	2545,288	0,099
K0+920	2545,401	2545,289	0,112
K0+900	2545,391	2545,273	0,119
K0+880	2545,440	2545,316	0,125
K0+860	2545,545	2545,422	0,124
K0+840	2545,668	2545,550	0,119
K0+820	2545,793	2545,680	0,114
K0+800	2545,867	2545,766	0,102
K0+780	2545,846	2545,757	0,090
K0+760	2545,780	2545,699	0,081
K0+740	2545,683	2545,612	0,071
K0+720	2545,579	2545,513	0,066
K0+700	2545,566	2545,503	0,063
K0+680	2545,641	2545,573	0,069
K0+660	2545,714	2545,647	0,068
K0+640	2545,789	2545,716	0,074
K0+620	2545,844	2545,761	0,084
K0+600	2545,904	2545,809	0,096
K0+580	2545,974	2545,863	0,112
K0+560	2546,117	2545,988	0,129
K0+540	2546,184	2546,030	0,154
K0+520	2546,206	2546,031	0,175

Abscisa	Control tras Renivelación (18/09/2024)	Control # 23 (20/02/2026)	Diferencia Renivelación Sept 2024 Vs. Control 23 (febrero 2026)
K0+500	2546,227	2546,045	0,182
K0+490	2546,285	2546,123	0,162
K0+480	2546,362	2546,232	0,130
K0+470	2546,421	2546,314	0,107
K0+465	2546,412	2546,283	0,129
K0+460	2546,403	2546,263	0,140
K0+455	2546,394	2546,228	0,166
K0+450	2546,385	2546,180	0,205
K0+445	2546,371	2546,110	0,261
K0+440	2546,358	2546,073	0,285
K0+435	2546,353	2546,060	0,293
K0+430	2546,347	2546,044	0,303
K0+425	2546,365	2546,023	0,342
K0+420	2546,383	2546,048	0,335
K0+415	2546,401	2546,071	0,330
K0+410	2546,419	2546,120	0,299
K0+405	2546,446	2546,169	0,277
K0+400	2546,472	2546,228	0,245
K0+395	2546,499	2546,290	0,209
K0+390	2546,526	2546,343	0,184
K0+385	2546,545	2546,401	0,144
K0+380	2546,563	2546,440	0,124
K0+375	2546,582	2546,477	0,105
K0+370	2546,601	2546,501	0,101
K0+350	2546,493	2546,409	0,182

Abscisa	Control tras Renivelación (18/09/2024)	Control # 23 (20/02/2026)	Diferencia Renivelación Sept 2024 Vs. Control 23 (febrero 2026)
K0+330	2546,358	2546,284	0,085
K0+310	2546,240	2546,174	0,075
K0+290	2546,045	2545,981	0,067
K0+270	2545,884	2545,821	0,064
K0+250	2545,706	2545,653	0,063
K0+230	2545,696	2545,532	0,053

Fuente: INTERVENTORIA CONTRATO No. 24001358 H3 de 2024, CUYO OBJETO ES: "REALIZAR LA INTERVENTORIA INTEGRAL AL MANTENIMIENTO RUTINARIO DE LA INFRAESTRUCTURA AEROPORTUARIA A CARGO DE LA AEROCIVIL EN EL AEROPUERTO INTERNACIONAL EL DORADO DE BOGOTÁ (VF)".

Promedio de asentamientos por abscisas

La presente tabla muestra la zona con mayor promedio de asentamiento la cual se encuentra entre el tramo comprendido entre las abscisas K0+375 y K0+450 con un asentamiento promedio mayor de 0.246 m. (El asentamiento promedio total que presenta la tabla #11 es de 0.144 m)

Tabla 11 - *Promedio asentamientos control renivelación (septiembre del año 2024) Vs. control de asentamiento No. 23 (mes de febrero de 2026)*

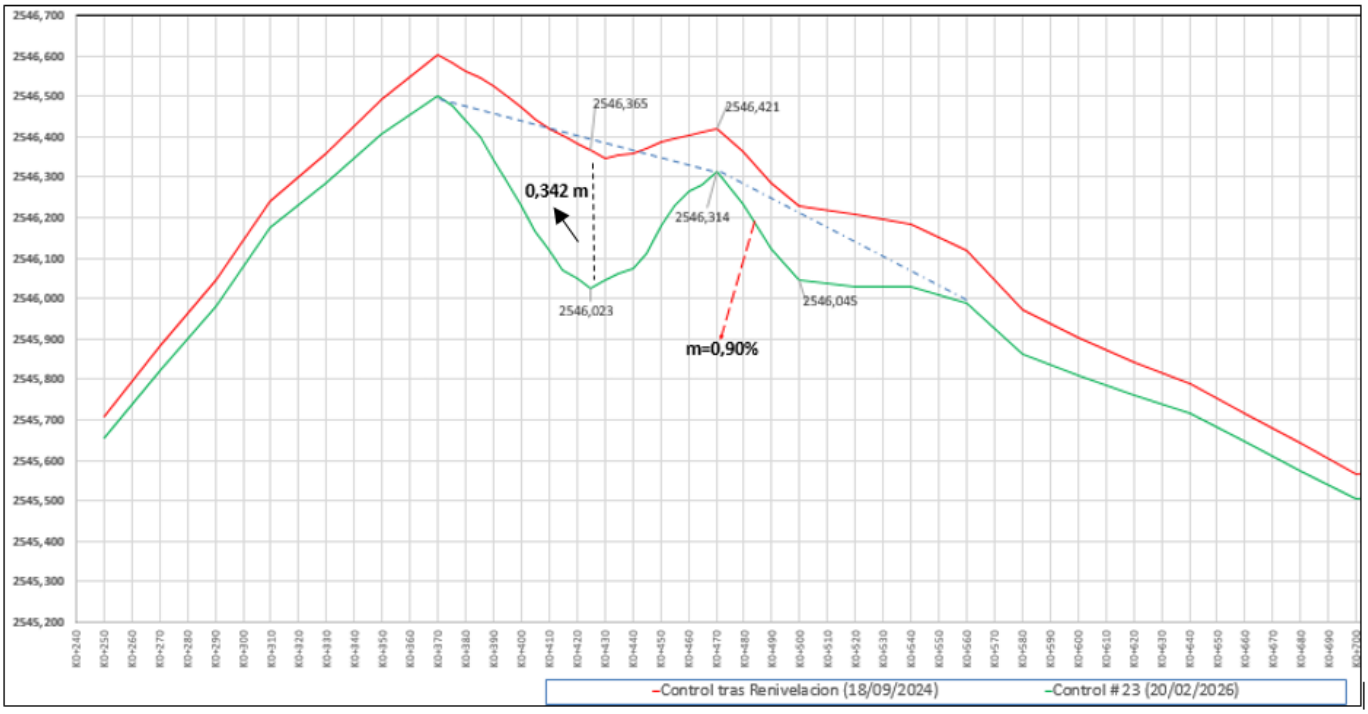
Tramo		Asentamiento Promedio (m)
K0+230	K0+370	0,086
K0+375	K0+450	0,246
K0+455	K0+480	0,134
K0+490	K0+560	0,160
K0+580	K0+800	0,078
K0+820	K1+000	0,102
K1+010	K1+060	0

Fuente: INTERVENTORIA CONTRATO No. 24001358 H3 de 2024, CUYO OBJETO ES: "REALIZAR LA INTERVENTORIA INTEGRAL AL MANTENIMIENTO RUTINARIO DE LA INFRAESTRUCTURA AEROPORTUARIA A CARGO DE LA AEROCIVIL EN EL AEROPUERTO INTERNACIONAL EL DORADO DE BOGOTÁ (VF)".

Perfil longitudinal

El perfil topográfico a presentar muestra la zona de mayor asentamiento presentado haciendo la comparación del control tras renivelación (mes de septiembre del año 2024) Vs. el control de asentamiento No. 23 (mes de febrero de 2026), se tiene un asentamiento igual a 0.342 m en la abscisa K0+425.

Tabla 12 - *Perfil longitudinal, comparación del control tras renivelación (mes de septiembre del año 2024) Vs. el control de asentamiento No. 23 (mes de febrero de 2026)*

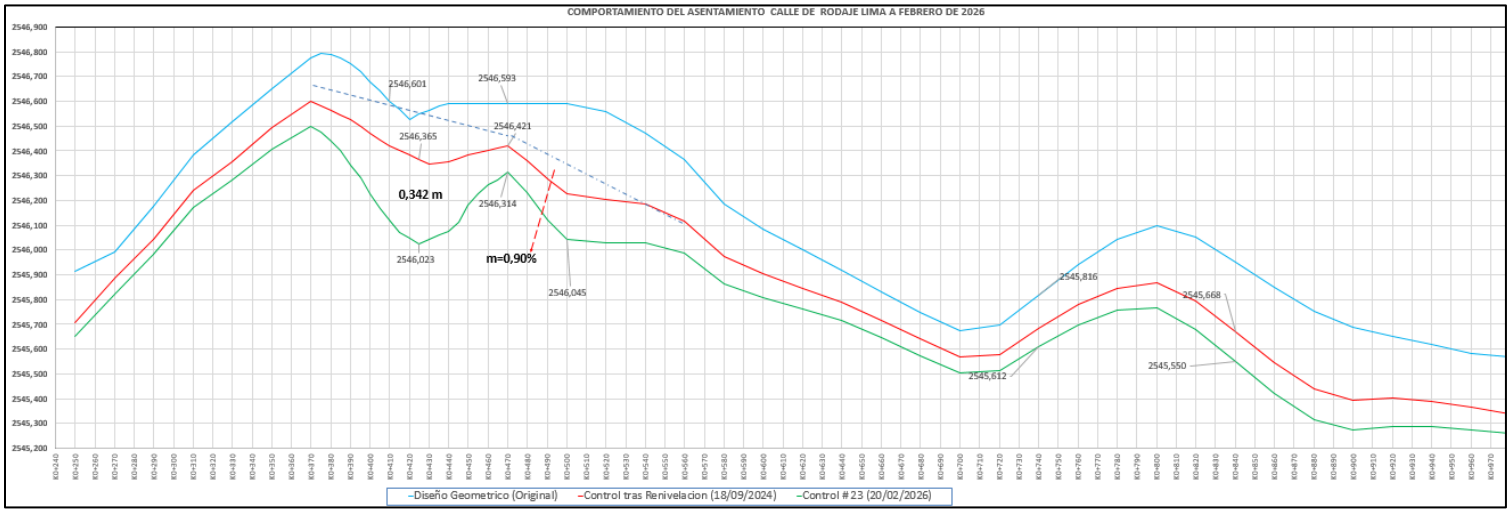


Fuente: INTERVENTORIA CONTRATO No. 24001358 H3 de 2024, CUYO OBJETO ES: "REALIZAR LA INTERVENTORIA INTEGRAL AL MANTENIMIENTO RUTINARIO DE LA INFRAESTRUCTURA AEROPORTUARIA A CARGO DE LA AEROCIVIL EN EL AEROPUERTO INTERNACIONAL EL DORADO DE BOGOTÁ (VF)".

Perfil longitudinal

El perfil topográfico a presentar detalla la estructura haciendo la comparación de las tres fases de los datos recopilados, obtenidos en campo y analizados. Dicho perfil compara inicialmente el diseño geométrico original (línea color azul), control tras renivelación mes de septiembre del año 2024 (línea color rojo) y control de asentamiento No. 23 mes de febrero de 2026 (línea color verde).

Tabla 13 - *Perfil longitudinal, comparación diseño geométrico original Vs. control tras renivelación (mes de septiembre del año 2024) Vs. control de asentamiento No. 23 (mes de febrero de 2026)*



Fuente: INTERVENTORIA CONTRATO No. 24001358 H3 de 2024, CUYO OBJETO ES: "REALIZAR LA INTERVENTORIA INTEGRAL AL MANTENIMIENTO RUTINARIO DE LA INFRAESTRUCTURA AEROPORTUARIA A CARGO DE LA AEROCIVIL EN EL AEROPUERTO INTERNACIONAL EL DORADO DE BOGOTÁ (VF)".

9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A partir del análisis de las mediciones obtenidas mediante nivelación geométrica, se logró determinar que la calle de rodaje Lima presenta variaciones altimétricas significativas a lo largo de su eje longitudinal. Estas diferencias evidencian la presencia de asentamientos en la superficie, los cuales no se distribuyen de manera uniforme, sino que presentan un comportamiento diferencial en distintos tramos.

Teniendo en cuenta el diseño geométrico original Vs. el control de asentamiento No. 23 (mes de febrero de 2026), se tiene un asentamiento promedio igual a 0.342 m, evidenciado en el perfil longitudinal. El mayor promedio de asentamiento se encuentra entre el K0+490 y K0+560 con asentamiento promedio de 0.454 m (el punto de mayor asentamiento K0+500=0.548 m).

En cuanto a la comparación entre el control No. 23 febrero de 2026 y la renivelación a la calle de rodaje concluida durante el mes de septiembre de 2024, se tiene un asentamiento promedio de 0,246 m, (tabla 11). El mayor promedio de asentamiento se encuentra entre el K0+375 y K0+450 con asentamiento promedio de 0.144 m (el punto de mayor asentamiento K0+425=0.342 m). Encontrando entre las abscisas K0+370 a K0+600 la mayor deformación del perfil longitudinal de diseño vs. el perfil longitudinal actual.

La calle de rodaje Lima aún no muestra un punto de equilibrio donde haya consolidación del terreno y el control No. 23 demuestra que aún continúa asentándose respecto al diseño geométrico original y al control llevado a cabo tras la renivelación. De continuar el asentamiento, se verá nuevamente afectada la pendiente longitudinal de la calle donde sobrepasará lo estipulado en el RAC 14.

El control topográfico demostró ser una herramienta eficaz para evidenciar y documentar el comportamiento de los asentamientos a lo largo del tiempo. La aplicación sistemática de la nivelación geométrica permitió obtener datos precisos y confiables, facilitando la identificación de tendencias y la evaluación del estado actual de la infraestructura.

10. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Administración Nacional de Aviación Civil (ANAC). (s. f.). *TR164*. https://www2.anac.gov.br/anacpedia/esp-por/tr164.htm

AB Surveying Solutions. (s. f.). *Topografía convencional*. https://abssolutions.cl/servicios/topografia-convencional/

Bunge, M. (1993). *La investigación científica*. Editorial Ariel.

CYPE. (2022, noviembre 8). *En el sector de la construcción: ¿Qué es un asentamiento en estructuras?* https://www.cype.pe/blog/en-el-sector-de-la-construccion-que-es-un-asentamiento-en-estructuras/

Das, B. M. (2015). *Principles of geotechnical engineering* (8th ed.). Cengage Learning. https://openlibrary.org/books/OL1398176M/Principles_of_geotechnical_engineering

Federal Aviation Administration. (2018). *Standard specifications for construction of airports (Item P-401 Asphalt Mix Pavement)*. https://www.faa.gov/airports/engineering/specifications/

Federal Highway Administration. (2016). *Performance graded asphalt binder specification and testing*. https://www.fhwa.dot.gov/pavement/asphalt/

GISAICO S.A. (2023, mayo 3). *Construcción de la calle de rodaje Lima - Aeropuerto El Dorado Bogotá*. https://gisaico.com/2023/05/03/construccion-de-la-calle-de-rodaje-lima-aeropuerto-el-dorado-bogota/

González Vergara, C. J., Rincón Villalba, M. A., & Vargas Vargas, W. E. (2017). *Topografía: conceptos y aplicaciones*. Ecoe Ediciones.

Infante, C. (2010). *Guía para la presentación de proyectos de investigación*. Universidad Nacional de Colombia.

Méndez, E., & Vélez, R. (2009). *Metodología: Diseño y desarrollo del proceso de investigación*. McGraw-Hill.

Organización de Aviación Civil Internacional (OACI). (s. f.). *Seguridad operacional*. https://www.icao.int/es/safety

Repositorio Universidad Nacional de Colombia. (s. f.). *[Documento en repositorio]*. https://repositorio.unal.edu.co/items/61639aa7-9f4f-464f-8605-a0f9d07cd41a

Repositorio Universidad Distrital Francisco José de Caldas. (s. f.). *[Documento en repositorio]*. https://repository.udistrital.edu.co/items/a3f7beba-5dae-41a5-9545-9a166bae12be

GeoSec. (s. f.). *Asentamiento del terreno*. https://www.geosec.es/mejora-de-terreno/asentamiento-del-terreno/