



**Optimización del cumplimiento normativo en la construcción de vías urbanas: un enfoque  
en la empresa constructora casas y lotes sas**

Maria Camila Guzmán Sosapanta

Informe de práctica para optar al título de Ingeniero Civil

Asesor

Juan Daniel Rios Arboleda, Ingeniero Civil

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Ingeniería Civil

Medellín, Antioquia, Colombia

2024

---

<b>Cita</b>	(Guzmán Sosapanta, 2024)
<b>Referencia</b>	(Guzmán Sosapanta, 2024). <i>Optimización Del Cumplimiento Normativo En La Construcción De Vías Urbanas: Un Enfoque En La Empresa Constructora Casas Y Lotes Sas</i> , [ Trabajo de grado profesional]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
<b>Estilo APA 7 (2020)</b>	

---



Biblioteca Carlos Gaviria Díaz

**Repositorio Institucional:** <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - [www.udea.edu.co](http://www.udea.edu.co)

**Rector:** John Jairo Arboleda Céspedes

**Decano/Director:** Julio César Saldarriaga Molina.

**Jefe departamento:** Lina María Berrouet Cadavid

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

## Tabla de contenido

Tabla de figuras.....	4
Tabla de tablas.....	5
Resumen.....	7
Abstract.....	8
Introducción.....	9
1 Planteamiento del problema.....	10
2 Objetivos.....	11
2.1 Objetivo General.....	11
2.2 Objetivos Específicos.....	11
3 Marco Teórico.....	12
4 Metodología.....	15
4.1 Técnicas e Instrumentos:.....	15
4.1.1 Revisión Documental:.....	15
4.1.2 Observación Directa:.....	16
4.2 Fases:.....	16
4.2.1 Recopilación de Documentación:.....	16
4.2.2 Observación en Campo:.....	16
4.2.3 Análisis Comparativo:.....	16
4.2.4 Identificación de Oportunidades de Mejora:.....	17

4.2.5	Elaboración de Recomendaciones: .....	17
4.3	Análisis de Datos: .....	17
4.4	Verificación de Resultados: .....	17
4.5	Cronograma de actividades.....	18
5	Resultados y Análisis.....	19
5.1	Ensayos de laboratorio.....	19
5.1.1	Proctor modificado.....	21
5.1.2	Sub-Base .....	22
5.1.3	Base.....	25
5.1.4	Carpeta Asfáltica.....	28
5.2	Procesos constructivos.....	28
6	Conclusiones.....	32
7	Referencias.....	34

## Tabla de figuras

Figura 1 <i>Esquema ilustrativo de puntos de análisis de ensayos de densidad en campo.</i> .	20
Figura 2 <i>Resultado de ensayo de Proctor modificado del material de la Sub-Base granular.</i> .....	21
Figura 3 <i>Resultado de ensayo de Proctor modificado del material de la Base granular.</i>	22
Figura 4 <i>Observación de material compactado de la Base.</i> .....	29
Figura 5 <i>Observación de la compactación final de la Carpeta Asfáltica.</i> .....	31

## **Tabla de tablas**

Tabla 1 <i>Cronograma de actividades</i> .....	18
Tabla 2 <i>Resultado de ensayo de densidad de campo de la Sub-Base</i> .....	23
Tabla 3 <i>Resultado de ensayo de densidad de campo de la Base granular.</i> .....	26

### **Resumen**

Este trabajo presenta un análisis exhaustivo de los procedimientos y resultados de la compactación en la construcción de una vía urbana llevada a cabo por la Constructora Casas y Lotes SAS en Jamundí, Valle del Cauca. El principal objetivo es evaluar la calidad de la compactación del suelo y asegurar que se cumplan las especificaciones técnicas del diseñador, utilizando ensayos de densidad en campo y comparándolos con los resultados del ensayo Proctor modificado.

La metodología incluyó la realización de ensayos de densidad en varios puntos de la vía, la medición de la humedad del suelo, y la observación de las técnicas de compactación aplicadas. Los resultados mostraron que la mayoría de los puntos alcanzaron o superaron el 100% de la densidad del Proctor, lo que indica una compactación adecuada. Sin embargo, dos puntos específicos no cumplieron con los requisitos de compactación, lo cual se atribuye a variaciones en la humedad y posibles deficiencias en el proceso de compactación.

Las recomendaciones incluyen realizar ensayos adicionales para confirmar los resultados iniciales y, de ser necesario, recompactar las áreas problemáticas. También se sugiere implementar un control de calidad más riguroso y capacitar al personal para optimizar las técnicas de compactación y el uso del agua.

En conclusión, el informe subraya la importancia de los ensayos de densidad y humedad para garantizar la calidad de la compactación, la necesidad de adherirse a las especificaciones técnicas y normativas, y la importancia de la mejora continua en las prácticas constructivas para asegurar la durabilidad y funcionalidad de las vías urbanas.

### **Abstract**

This study provides a comprehensive analysis of the procedures and results of soil compaction in the construction of an urban road by Constructora Casas y Lotes SAS in Jamundí, Valle del Cauca. The primary objective is to evaluate the quality of soil compaction and ensure compliance with the designer's technical specifications, utilizing field density tests and comparing them with the results of the modified Proctor test.

The methodology included conducting field density tests at various points along the road, measuring soil moisture, and observing the applied compaction techniques. The results indicated that most points achieved or exceeded 100% of the Proctor density, suggesting adequate compaction. However, two specific points did not meet the compaction requirements, attributed to variations in moisture and potential deficiencies in the compaction process.

Recommendations include conducting additional tests to confirm initial results and, if necessary, re-compacting the problematic areas. It is also suggested to implement more rigorous quality control and train personnel to optimize compaction techniques and water usage.

In conclusion, the report emphasizes the importance of density and moisture tests to ensure compaction quality, the need to adhere to technical specifications and regulations, and the importance of continuous improvement in construction practices to ensure the durability and functionality of urban roads.



### **Introducción**

Es ampliamente reconocido que las necesidades de desplazamiento de una población, tanto en términos de espacio como de tiempo, están inherentemente ligadas a diversas variables relacionadas con la demanda de transporte. Estas variables se derivan de las interacciones entre los aspectos socioeconómicos y las actividades urbanas, reflejadas en las actividades cotidianas de la comunidad y en la distribución de los usos del suelo (Escobar García, 2008).

Es en este contexto donde las vías emergen como una respuesta crucial a estas necesidades, proporcionando la infraestructura necesaria para facilitar los desplazamientos y conectar de manera eficiente los diversos puntos de actividad dentro de las áreas urbanas. Estas arterias viales no solo permiten la movilidad de personas y bienes, sino que también influyen en la configuración y el desarrollo de las comunidades, afectando directamente la accesibilidad, la distribución del tráfico y el crecimiento urbano (Maldonado et al., 2019)

Considerando este panorama, las normativas técnicas desempeñan un papel fundamental al garantizar que las vías construidas cumplan con estándares de calidad y seguridad. Estas regulaciones establecen los criterios y requisitos específicos que deben seguirse durante el diseño, la construcción y el mantenimiento de las vías urbanas, asegurando que se utilicen materiales adecuados, se apliquen técnicas de construcción apropiadas y se cumplan los estándares de seguridad vial (INVIAS, 2012a).

En cuanto al desarrollo urbano en Jamundí, Valle del Cauca, la empresa Constructora Casas y Lotes SAS se ha destacado por su compromiso con la calidad y la excelencia en la construcción de vías urbanas. Sin embargo, en un mercado cada vez más regulado, es fundamental asegurar que

## OPTIMIZACIÓN DEL CUMPLIMIENTO NORMATIVO EN LA CONSTRUCCIÓN DE VÍAS URBANAS...

las obras viales cumplan con las normativas locales. Entre estas, se encuentra la regulación del Instituto Nacional de Vías (INVIAS), una agencia encargada de la asignación, regulación y supervisión de los contratos para la construcción y mantenimiento de autopistas y carreteras. Además, es crucial seguir la Norma Técnica Colombiana (NTC) y los estándares de calidad establecidos.

Este trabajo tiene como objetivo mejorar el cumplimiento normativo en la construcción de vías urbanas en proyectos desarrollados por Constructora Casas y Lotes SAS. Se realizará un análisis comparativo entre las regulaciones locales y las prácticas actuales de la empresa para identificar áreas de mejora que garanticen la calidad y conformidad de las obras viales. El estudio abordará la falta de alineación entre las normativas locales y las prácticas empresariales en la construcción de vías urbanas, proponiendo medidas concretas para cerrar estas brechas y optimizar los procesos constructivos. Para ello, se empleará una metodología que incluirá una revisión exhaustiva de las normativas locales y una comparativa técnica con ensayos realizados en obra, como el ensayo de densidad de campo. El objetivo final es identificar oportunidades de mejora y proponer soluciones efectivas.

### **1 Planteamiento del problema**

En el desarrollo urbano de Jamundí, Valle del Cauca, se ha observado una creciente necesidad de mejorar la infraestructura vial para soportar el aumento del tráfico y el crecimiento de la población, incluyendo la necesidad de generar una conexión entre las vías existentes con la expansión poblacional que se presenta en este lugar. La empresa Constructora Casas y Lotes

## OPTIMIZACIÓN DEL CUMPLIMIENTO NORMATIVO EN LA CONSTRUCCIÓN DE VÍAS URBANAS...

SAS, enfrenta desafíos para garantizar que sus proyectos cumplan con las estrictas normativas locales. Este estudio pretende analizar las principales dificultades y las mejores prácticas para asegurar la conformidad con las regulaciones del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) y la Norma Técnica Colombiana (NTC).

### **2 Objetivos**

#### **2.1 Objetivo General**

Analizar y proponer medidas técnicas con el fin de alinear las prácticas constructivas con las normativas locales para optimizar los procesos en la construcción de vías urbanas en Jamundí, Valle del Cauca.

#### **2.2 Objetivos Específicos**

1. Realizar un análisis comparativo entre las normativas locales y las prácticas actuales de la empresa en la construcción de vías urbanas.
2. Identificar áreas de discrepancia entre las normativas locales y las prácticas empresariales que afecten el cumplimiento normativo y la calidad de las obras viales.
3. Proponer medidas específicas para cerrar las brechas identificadas y garantizar el cumplimiento normativo en la construcción de vías urbanas.
4. Establecer procedimientos y protocolos actualizados para la ejecución de obras viales que aseguren la alineación con las normativas locales y los estándares de calidad.

### 3 Marco Teórico

La radiografía de las vías 4G revela una preocupante situación, ya que el 53,3% de los proyectos presenta atrasos (Portafolio, 2024). Este fenómeno refleja la complejidad y los desafíos inherentes a la construcción de infraestructuras viales a gran escala en Colombia. Los retrasos en la ejecución de estos proyectos no solo impactan en la movilidad y conectividad de las regiones involucradas, sino que también plantean interrogantes sobre la eficacia de las estrategias de planificación y gestión implementadas en el sector.

La construcción de vías urbanas es una actividad que está regulada por una serie de normativas y regulaciones locales y nacionales, las cuales establecen los estándares y requisitos que deben cumplirse para garantizar la calidad y conformidad de las obras. En Colombia, estas normativas incluyen leyes municipales, códigos de construcción y normas técnicas colombianas (ICONTEC, 2002) aplicables a la infraestructura vial urbana, las cuales son reguladas principalmente por el Instituto Nacional de Vías (INVIAS, 2012a; Ramoutar, 2023)

La empresa Constructora Casas y Lotes SAS se enfrenta al desafío de cumplir con estas normativas mientras lleva a cabo proyectos de desarrollo urbano que involucran la construcción de vías urbanas. Para optimizar el cumplimiento normativo y mejorar la calidad de las obras viales, es necesario realizar un análisis comparativo entre las normativas locales y las prácticas empresariales actuales de la empresa.

Este análisis comparativo permitirá identificar las áreas de discrepancia entre las normativas locales y las prácticas empresariales, así como las posibles oportunidades de mejora

## OPTIMIZACIÓN DEL CUMPLIMIENTO NORMATIVO EN LA CONSTRUCCIÓN DE VÍAS URBANAS...

que puedan existir. Al alinear las prácticas empresariales con las normativas locales, Constructora Casas y Lotes SAS podrá asegurar la calidad y conformidad de sus obras viales en proyectos de desarrollo urbano.

Para llevar a cabo este análisis comparativo, es importante considerar una variedad de aspectos, incluyendo la selección de materiales, los métodos de construcción, los estándares de calidad y los procedimientos de control de calidad. Además, es fundamental tener en cuenta las especificidades de las normativas locales y su aplicación práctica en el contexto de los proyectos de construcción de vías urbanas.

Entre los procedimientos de control de calidad, destaca el ensayo de densidad en campo, regulado por la norma NTC 1667. Este ensayo es crucial para garantizar que el material de relleno en la construcción de vías cumple con los requisitos de densidad especificados. La norma NTC 1667 establece los métodos y procedimientos para determinar la densidad y humedad del suelo en el lugar, utilizando equipos de densidad de campo para la implementación del método del cono de arena. La correcta implementación de este ensayo permite asegurar la estabilidad y durabilidad de las estructuras viales, reduciendo el riesgo de asentamientos y fallos estructurales. Por lo tanto, su inclusión en los procedimientos de control de calidad de Constructora Casas y Lotes SAS es esencial para cumplir con las normativas vigentes y asegurar la calidad de las obras viales.

Asimismo, es importante mencionar el ensayo de proctor estándar, que establece la relación entre el contenido de humedad y la densidad seca del suelo compactado en laboratorio. Este ensayo, que también se encuentra regulado por medio de la norma (INVIAS, 2012a), proporciona los parámetros necesarios para alcanzar la máxima densidad del suelo bajo condiciones

## OPTIMIZACIÓN DEL CUMPLIMIENTO NORMATIVO EN LA CONSTRUCCIÓN DE VÍAS URBANAS...

controladas de compactación. La densidad máxima obtenida en el ensayo de Proctor estándar sirve como referencia para los ensayos de densidad en campo. Comparar los resultados obtenidos en campo con los valores de densidad máxima de laboratorio permite evaluar la efectividad de la compactación y asegurar que el suelo cumple con las especificaciones de diseño. Así, la correcta aplicación de ambos ensayos es fundamental para lograr una compactación adecuada y, por ende, la estabilidad y durabilidad de las obras viales.

La verificación del grado de densidad en una vía es de suma importancia debido a su impacto directo en la calidad y longevidad de la infraestructura. Un grado de densidad adecuado garantiza que el suelo tenga la capacidad de soportar las cargas vehiculares y resistir las condiciones ambientales, evitando problemas como la deformación, el agrietamiento y los asentamientos diferenciales (Ramoutar, 2023). Además, una compactación adecuada asegura una mejor resistencia a la erosión y una mayor durabilidad de la superficie de la vía (Dep et al., 2022). En consecuencia, la verificación de la densidad no solo cumple con los requisitos normativos, sino que también contribuye a la seguridad y eficiencia de la red vial, minimizando costos de mantenimiento y reparaciones a largo plazo.

Otra normativa relevante es la INVIAS E 702, que consiste en un ensayo de tracción, en condiciones normalizadas de velocidad y temperatura, definiéndose la ductilidad como la longitud máxima, que se estira la probeta hasta el instante de su rotura (INVIAS, 2012b). La implementación de estos ensayos en los procedimientos de control de calidad de Constructora Casas y Lotes SAS podría asegurar que los materiales utilizados cumplen con los estándares necesarios para soportar el tráfico y las condiciones climáticas, prolongando así la vida útil de las

## OPTIMIZACIÓN DEL CUMPLIMIENTO NORMATIVO EN LA CONSTRUCCIÓN DE VÍAS URBANAS...

vías. Aunque no se contaron con ensayos realizados al asfalto en este trabajo, este es un buen ensayo para asegurar la calidad y cumplir con la exigencia a la cual se encontrará la vía.

En resumen, el cumplimiento de las normativas y la correcta implementación de los procedimientos de control de calidad son esenciales para la construcción de vías urbanas duraderas y seguras. Constructora Casas y Lotes SAS debe seguir estrictamente las normas técnicas colombianas y las especificaciones del INVIAS para asegurar la calidad de sus proyectos y contribuir al desarrollo sostenible de la infraestructura vial en Colombia.

### **4 Metodología**

Mediante la implementación de esta metodología, se busca realizar un análisis comparativo entre las normativas locales y las prácticas empresariales de Constructora Casas y Lotes SAS en la construcción de vías urbanas, con el objetivo de optimizar el cumplimiento normativo y mejorar la calidad de las obras viales en proyectos de desarrollo urbano. Este enfoque se basa en la combinación de elementos cualitativos y cuantitativos para obtener una comprensión completa de la situación actual.

#### **4.1 Técnicas e Instrumentos:**

##### *4.1.1 Revisión Documental:*

Recopilación de normativas locales, códigos de construcción y normas técnicas colombianas aplicables a la infraestructura vial urbana.

## OPTIMIZACIÓN DEL CUMPLIMIENTO NORMATIVO EN LA CONSTRUCCIÓN DE VÍAS URBANAS...

### *4.1.2 Observación Directa:*

Observación directa de obras viales en proceso de construcción para identificar prácticas empresariales en el terreno y su conformidad con las normativas locales.

## **4.2 X Fases:**

### *4.2.1 Recopilación de Documentación:*

Obtención y revisión de normativas locales, documentos y ensayos realizados por parte de la empresa y contratistas.

### *4.2.2 Observación en Campo:*

Visita a obras viales en proceso de construcción para observar prácticas empresariales y su alineación con las normativas.

### *4.2.3 Análisis Comparativo:*

La comparación entre las normativas locales y los ensayos realizados, junto con las prácticas empresariales identificadas, destaca tanto las áreas de congruencia como las de discrepancia.



## OPTIMIZACIÓN DEL CUMPLIMIENTO NORMATIVO EN LA CONSTRUCCIÓN DE VÍAS URBANAS...

### *4.2.4 Identificación de Oportunidades de Mejora:*

Identificación de áreas de mejora en las prácticas empresariales para alinearlas con las normativas locales y garantizar el cumplimiento normativo.

### *4.2.5 Elaboración de Recomendaciones:*

Desarrollo de recomendaciones específicas para mejorar el cumplimiento normativo y la calidad de las obras viales en proyectos futuros.

## **4.3 Análisis de Datos:**

Se realizará un análisis de los ensayos proporcionados por la empresa y los contratistas, complementándolo con un análisis cualitativo cuando sea aplicable. Por ejemplo, se observarán los procesos constructivos que puedan llevar al incumplimiento normativo.

## **4.4 Verificación de Resultados:**

Verificación de los resultados con la normativa local, seguido de la revisión de los procesos constructivos relacionados con los ensayos revisados, para posteriormente realizar las recomendaciones correspondientes a dichos procesos constructivos.

## OPTIMIZACIÓN DEL CUMPLIMIENTO NORMATIVO EN LA CONSTRUCCIÓN DE VÍAS URBANAS...

### 4.5 Cronograma de actividades

El siguiente cronograma de actividades detalla las etapas y tareas principales realizadas durante el período de prácticas, enfocadas en la evaluación de la construcción de una vía desarrollada por la empresa Constructora Casas y Lotes SAS. Las actividades abarcan desde la búsqueda y análisis de información relevante, la observación directa en obras en proceso de construcción, hasta la identificación de discrepancias entre normativas y prácticas empresariales. Además, se incluyen actividades de análisis de documentación de ensayos, comparación de estos ensayos con observaciones directas, y la formulación de recomendaciones basadas en dichas comparaciones. Finalmente, el cronograma contempla la elaboración y presentación del informe final. Este enfoque sistemático asegura una comprensión integral de las prácticas actuales y su alineación con las normativas vigentes, proporcionando una base sólida para mejorar la calidad y eficiencia de los proyectos viales, para observar lo antes mencionado ver Tabla 1.

**Tabla 1**  
*Cronograma de actividades*

Ítem	Actividad	Mes			
		1	2	3	4
1	<i>Búsqueda y análisis de información</i>	█	█	█	█
2	<i>Observación directa en obras viales en proceso de construcción</i>	█	█		

OPTIMIZACIÓN DEL CUMPLIMIENTO NORMATIVO EN LA CONSTRUCCIÓN DE VÍAS URBANAS...

Ítem	Actividad	Mes			
		1	2	3	4
3	<i>Identificación de discrepancias entre normativas y prácticas empresariales</i>				
4	<i>Análisis de la documentación ensayos</i>				
5	<i>Comparación de ensayos con observaciones directas</i>				
6	<i>Recomendaciones basado en las comparaciones</i>				
7	<i>Elaboración de informe</i>				
8	<i>Presentación de informe</i>				

Este cronograma distribuye las actividades a lo largo de 16 semanas, abarcando un periodo de 4 meses

## 5 Resultados y Análisis

### 5.1 Ensayos de laboratorio

Se realizaron ensayos de laboratorio a la subbase, la base y la carpeta asfáltica de la vía urbana diseñada por Constructora Casas y Lotes SAS. Estos ensayos, llevados a cabo por el contratista IngeOmac, incluyeron pruebas de densidad en campo y el ensayo Proctor estándar, con el fin de corroborar el porcentaje de compactación del material. Los ensayos se realizaron en 27

## OPTIMIZACIÓN DEL CUMPLIMIENTO NORMATIVO EN LA CONSTRUCCIÓN DE VÍAS URBANAS...

puntos distribuidos a lo largo de 1150 metros de la vía, incluyendo el lado izquierdo, el derecho y el eje central, en la Figura 1 se puede observar un esquema de lo mencionado anteriormente.

Es crucial considerar que el porcentaje de compactación se determina comparando la densidad medida en campo con los resultados del ensayo Proctor estándar. Esta comparación permite verificar que la resistencia solicitada por el diseñador se ha alcanzado y que el material cumple con los requisitos necesarios para soportar la demanda a la cual se va a someter la vía. Por ejemplo, para la sub-base, el diseñador requiere un porcentaje de compactación mínimo del 95%. De manera similar y se especifican porcentajes mínimos para la base de 100%. No cumplir con estos valores mínimos de compactación puede llevar a problemas graves como deformaciones, agrietamientos y asentamientos diferenciales, afectando la durabilidad y estabilidad de la infraestructura vial.

### **Figura 1**

*Esquema ilustrativo de puntos de análisis de ensayos de densidad en campo.*

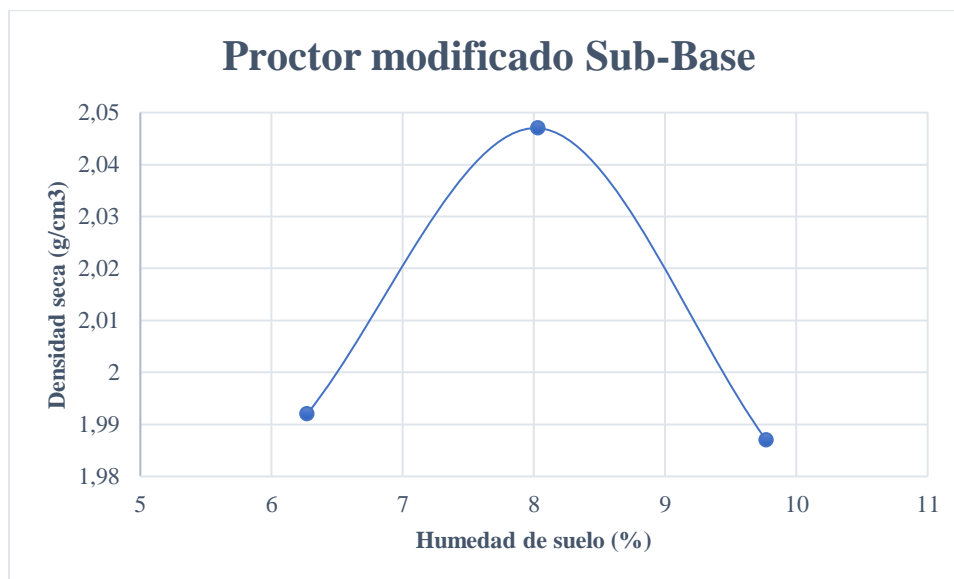


### 5.1.1 Proctor modificado

La gráfica de la Figura 2 del ensayo de Proctor modificado realizado al material utilizado para la Sub-Base granular, muestra una curva típica de compactación del suelo, donde se observa un punto máximo de densidad seca. Este máximo corresponde al contenido óptimo de humedad, que en este caso es aproximadamente 8.03%. A partir de este punto, cualquier incremento o disminución en la humedad del suelo resulta en una disminución de la densidad seca, lo que indica una menor compactación.

#### Figura 2

Resultado de ensayo de Proctor modificado del material de la Sub-Base granular.



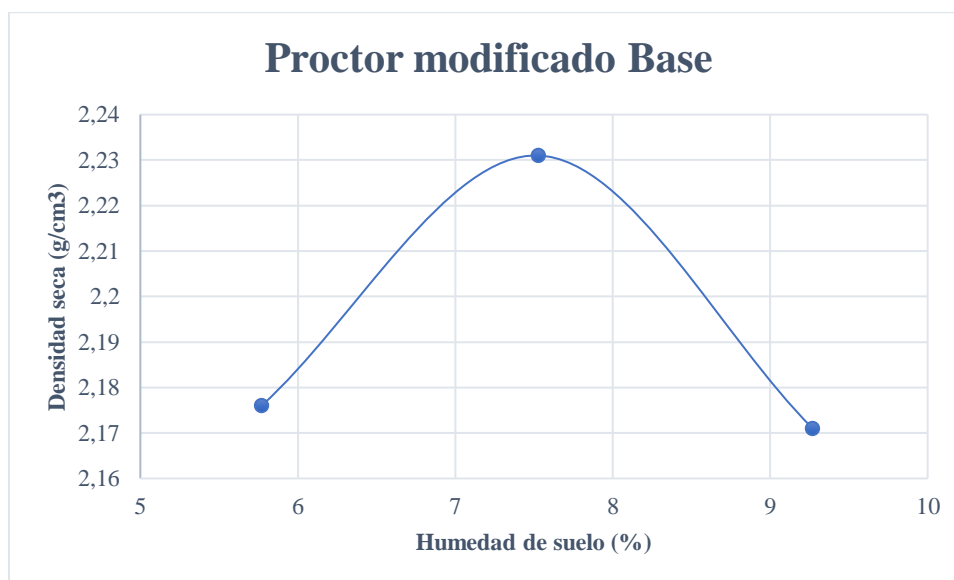
De igual manera se realizaron los ensayos de proctor modificado al material utilizado para la Base granular mostrados en la Figura 3, se logra observar una disminución en el

## OPTIMIZACIÓN DEL CUMPLIMIENTO NORMATIVO EN LA CONSTRUCCIÓN DE VÍAS URBANAS...

porcentaje de humedad óptimo contando con un 7.53% y un incremento de densidad seca máxima a un valor de 2.231 g/cm<sup>3</sup>.

### Figura 3

*Resultado de ensayo de Proctor modificado del material de la Base granular.*



#### 5.1.2 Sub-Base

La Tabla 2 muestra los resultados obtenidos de los ensayos de densidad realizados en diferentes puntos de la vía urbana diseñada por Constructora Casas y Lotes SAS. Se muestra la humedad del suelo, la densidad seca del suelo, la densidad obtenida del ensayo Proctor estándar, el porcentaje de compactación alcanzado y el porcentaje de compactación requerido. Estos datos son fundamentales para evaluar la calidad de la compactación del suelo y asegurar que se cumplan los requisitos especificados por el diseñador.

## OPTIMIZACIÓN DEL CUMPLIMIENTO NORMATIVO EN LA CONSTRUCCIÓN DE VÍAS URBANAS...

**Tabla 2**

*Resultado de ensayo de densidad de campo de la Sub-Base*

<b>Puntos</b>	<b>Humedad del suelo</b>	<b>Densidad seca del suelo</b>	<b>Densidad del Próctor</b>	<b>Porcentaje de compactación</b>	<b>Porcentaje compactación requerido</b>
1	7.6	2.02	2.047	98.6%	95%
2	8.2	2.03	2.047	99.1%	95%
3	8.0	2.02	2.047	98.8%	95%
4	7.4	2.00	2.047	97.6%	95%
5	8.6	2.05	2.047	100.2%	95%
6	7.8	2.04	2.047	99.6%	95%
7	8.4	2.01	2.047	98.2%	95%
8	7.6	2.00	2.047	97.6%	95%
9	8.8	1.98	2.047	96.8%	95%
10	8.0	2.01	2.047	98.2%	95%
11	7.8	2.00	2.047	97.8%	95%
12	8.4	2.02	2.047	98.6%	95%
13	7.7	2.03	2.047	99.1%	95%
14	8.5	2.01	2.047	98.3%	95%
15	8.8	1.96	2.047	95.8%	95%
16	8.6	1.99	2.047	97.3%	95%
17	8.0	1.98	2.047	96.8%	95%
18	8.2	2.02	2.047	98.6%	95%
19	7.8	2.00	2.047	97.8%	95%
20	8.5	2.01	2.047	98.2%	95%
21	8.6	1.98	2.047	96.8%	95%
22	7.8	2.00	2.047	97.8%	95%
23	8.6	2.01	2.047	98.1%	95%
24	8.0	1.99	2.047	97.2%	95%
25	8.8	2.04	2.047	99.6%	95%
26	8.5	2.02	2.047	98.6%	95%
27	8.4	2.01	2.047	98.0%	95%

Nota. La densidad seca del suelo y la densidad del Proctor se presenta en  $\text{g/cm}^3$ . Los puntos 2, 5, 8, 11, 14, 17, 20, 23 y 26 corresponden a puntos de ensayo ubicado en el lado izquierdo, los puntos 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24 y 27 corresponden a puntos de ensayo ubicado en el lado derecho y los puntos 1, 4, 7, 10, 13, 16, 19, 22 y 25 corresponden a puntos de ensayo ubicado en el eje.

## OPTIMIZACIÓN DEL CUMPLIMIENTO NORMATIVO EN LA CONSTRUCCIÓN DE VÍAS URBANAS...

En la Tabla 2 se observa que los puntos 2, 5 y 12 tienen humedades del suelo de 8.2%, 8.6% y 8.4%, respectivamente, con porcentajes de compactación superiores al 99%. Esto sugiere que, aunque están cerca o ligeramente por encima del contenido de humedad óptimo, la compactación es eficiente. Es probable que estos puntos se encuentren cerca del contenido de humedad óptimo determinado por el ensayo de Proctor, lo que facilita la compactación y resulta en densidades secas elevadas. Si la humedad aumenta o disminuye respecto a este punto óptimo, la densidad del suelo disminuye, lo que resulta en una reducción del porcentaje de compactación.

En la Figura 2 se observa el resultado del ensayo de Proctor modificado, en el cual se obtuvo un porcentaje de humedad óptimo de 8.03%. Estos resultados del ensayo se obtuvieron al realizar tres puntos para obtener la curva mostrada en la Figura 2. Sin embargo, los resultados del ensayo de densidad en campo muestran que se pueden obtener mayores densidades con un incremento de humedad, lo cual sugiere que el ensayo de Proctor modificado requiere más cantidad de puntos para determinar con mayor precisión este porcentaje de humedad óptimo. En general, la relación entre la humedad del suelo y el porcentaje de compactación muestra que una humedad adecuada es crucial para lograr la compactación óptima del suelo. Sin embargo, también es evidente que la compactación efectiva depende de una combinación de factores, incluyendo la técnica de compactación y la calidad del material utilizado. La variación en los porcentajes de compactación sugiere que, mientras una mayor humedad puede facilitar la compactación, no garantiza por sí sola resultados óptimos sin una correcta ejecución de los métodos de compactación.

En el presente trabajo, se realizaron dos estudios del material de la Base granular y de la Sub-Base utilizados para realizar el ensayo de Proctor modificado para obtener la curva de



## OPTIMIZACIÓN DEL CUMPLIMIENTO NORMATIVO EN LA CONSTRUCCIÓN DE VÍAS URBANAS...

compactación del suelo utilizado en la construcción de la vía urbana de la Constructora Casas y Lotes SAS. Las Figura 2 y Figura 3 presentan los resultados de estos ensayos, mostrando cómo varía la densidad seca del suelo en función de diferentes contenidos de humedad.

En los puntos analizados previamente (Puntos 2, 5 y 12), se observó que con humedades del suelo de 8.2%, 8.6% y 8.4% respectivamente, se alcanzaron porcentajes de compactación superiores al 99%. Esto sugiere que, aunque estos valores están ligeramente por encima del contenido óptimo de humedad, la compactación sigue siendo eficiente. Este fenómeno puede explicarse por la proximidad de estos valores al punto óptimo determinado por el ensayo de Proctor.

Es importante notar que la correcta determinación del contenido óptimo de humedad es crucial para lograr la máxima densidad del suelo en campo. Sin embargo, los resultados de densidad en campo mostraron que se pueden obtener mayores densidades con un incremento de humedad, lo que sugiere la necesidad de realizar más puntos en el ensayo de Proctor modificado para obtener una curva más precisa y representativa.

### 5.1.3 Base

La Tabla 3 presenta los resultados del ensayo de densidad de campo realizada a la Base granular, estos datos muestran la humedad del suelo, la densidad seca del suelo, la densidad del ensayo de Proctor, el porcentaje de compactación y el porcentaje de compactación requerido en 14 puntos diferentes de la vía urbana construida por la Constructora Casas y Lotes SAS.

## OPTIMIZACIÓN DEL CUMPLIMIENTO NORMATIVO EN LA CONSTRUCCIÓN DE VÍAS URBANAS...

**Tabla 3***Resultado de ensayo de densidad de campo de la Base granular.*

Puntos	Humedad del suelo	Densidad seca del suelo	Densidad del Proctor	Porcentaje de compactación	Porcentaje compactación requerido
1	9.6	2.26	2.231	101.1%	100%
2	9.2	2.25	2.231	100.8%	100%
3	8.2	2.25	2.231	100.9%	100%
4	8.4	2.24	2.231	100.3%	100%
5	8.6	2.25	2.231	100.8%	100%
6	9.8	2.24	2.231	100.2%	100%
7	9.5	2.24	2.231	100.5%	100%
8	7.6	2.20	2.231	98.6%	100%
9	9.2	2.24	2.231	100.6%	100%
10	9.6	2.24	2.231	100.4%	100%
11	9.3	2.23	2.231	100.0%	100%
12	8.2	2.24	2.231	100.2%	100%
13	8.4	2.22	2.231	99.3%	100%
14	8.8	2.28	2.231	102.4%	100%

Nota. La densidad seca del suelo y la densidad del Proctor se presenta en  $\text{g/cm}^3$ . Los puntos 2, 5, 8, 11 y 14 corresponden a puntos de ensayo ubicado en el lado izquierdo, los puntos 3, 6, 9 y 12 corresponden a puntos de ensayo ubicado en el lado derecho y los puntos 1, 4, 7, 10 y 13 corresponden a puntos de ensayo ubicado en el eje.

Con una humedad del suelo de 7.6%, la densidad seca es de  $2.20 \text{ g/cm}^3$ , resultando en un porcentaje de compactación de 98.6%, que está por debajo del requerido 100%. Esto sugiere que, aunque la humedad es cercana al punto óptimo de 7.53% determinado por el ensayo de Proctor modificado, otros factores pueden estar afectando la eficacia de la compactación. Adicionalmente, el punto 13 también muestra un porcentaje de compactación inferior al necesario, con una humedad

## OPTIMIZACIÓN DEL CUMPLIMIENTO NORMATIVO EN LA CONSTRUCCIÓN DE VÍAS URBANAS...

de 8.4%, ligeramente por encima del óptimo. Esto puede indicar que una mayor incorporación de agua reduce la eficiencia de la compactación.

Por otro lado, el punto 14, con una humedad de 8.8% y una densidad seca de 2.28 g/cm<sup>3</sup>, logra un porcentaje de compactación del 102.4%, el más alto en la tabla. Este resultado destaca que una humedad ligeramente superior al óptimo puede resultar en una compactación excepcionalmente buena, probablemente debido a una combinación efectiva de humedad y técnica de compactación.

Tal como se observó en la Tabla 3, hubo dos puntos que no cumplieron con el porcentaje de compactación requerido por el diseñador. Inicialmente, esta falta de cumplimiento no debería relacionarse directamente con el porcentaje de humedad, dado que, en general, todos los puntos presentan humedades incluso superiores al óptimo. Las causas más probables están relacionadas con el proceso de compactación. El punto 8 se encuentra en el lado izquierdo de la vía, mientras que el punto 13 está en el eje de esta. Analizando la ubicación de estos puntos, una posible causa de la falta de compactación en el punto 8 podría ser su ubicación. En cuanto al punto 13, la causa más probable podría ser un error en la elaboración del ensayo.

Ni la Norma Técnica Colombiana (NTC) ni las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras (INVIAS) especifican qué hacer cuando una muestra no cumple con las especificaciones de porcentaje de compactación recomendada por el ingeniero diseñador. Por lo tanto, se realizarán recomendaciones basadas en observaciones y sugerencias del ingeniero diseñador.

#### *5.1.4 Carpeta Asfáltica*

Debido a que la norma NTC 1667 está diseñada específicamente para suelos y no para el asfalto, este ensayo no se puede realizar directamente sobre la carpeta asfáltica. Sin embargo, se pueden realizar otros ensayos para evaluar la calidad del asfalto, tales como el análisis de estabilidad y flujo (Marshall o Hveem). Estos ensayos evalúan la resistencia y deformabilidad de la mezcla asfáltica. Por ejemplo, la estabilidad Marshall mide la resistencia al flujo plástico, lo cual es crucial para prevenir deformaciones y ahuellamientos en el pavimento (Cho et al., 2019).

Aunque no se disponga de los ensayos mencionados, se pueden tomar algunas precauciones importantes para asegurar la calidad de la carpeta asfáltica. Entre estas precauciones se encuentran implementar un riguroso control de calidad durante la colocación y compactación de la mezcla asfáltica, asegurando que se sigan las especificaciones técnicas y los procedimientos recomendados. Además, es fundamental la capacitación del personal involucrado en la construcción. Es importante asegurarse de que el personal esté adecuadamente capacitado y familiarizado con las técnicas y procedimientos recomendados para la colocación y compactación de la mezcla asfáltica. Esto contribuirá significativamente a la calidad y durabilidad de la vía.

## **5.2 Procesos constructivos**

En el proceso de construcción de la vía urbana por parte de la Constructora Casas y Lotes SAS, se observaron varios aspectos críticos de la compactación. Uno de los puntos destacados fue la adición de agua al suelo. Como se mencionó anteriormente, la humedad del suelo desempeña un papel fundamental para alcanzar la densidad de compactación máxima o requerida. Durante las

## OPTIMIZACIÓN DEL CUMPLIMIENTO NORMATIVO EN LA CONSTRUCCIÓN DE VÍAS URBANAS...

observaciones, se notó que el humedecimiento del suelo se realizó sin una medida precisa, aunque no se evidenció la presencia de un exceso de agua ni que el material estuviera en un estado seco o con evidencia de fácil desprendimiento de material fina, tal como se observa en la Figura 4.

### **Figura 4**

*Observación de material compactado de la Base.*



Por otro lado, es crucial controlar la cantidad de pasadas del equipo de compactación. Si se realizan menos pasadas de las necesarias, no se logrará la densidad requerida, comprometiendo la calidad de la vía. Sin embargo, un exceso de pasadas puede llevar a la segregación de los materiales, como señala (Chen et al., 2020). La sobrecompactación puede ser identificada por la separación visible entre los materiales finos y gruesos, lo que no solo afecta la estructura del

## OPTIMIZACIÓN DEL CUMPLIMIENTO NORMATIVO EN LA CONSTRUCCIÓN DE VÍAS URBANAS...

pavimento, sino que también genera sobrecostos debido al uso excesivo de maquinaria de compactación.

Como se observa en la

Figura 5, la compactación final de la Carpeta Asfáltica muestra un material monolítico sin signos de segregación, lo que indica una compactación adecuada. Además, los ensayos de densidad realizados previamente confirman que el porcentaje de compactación supera los requisitos establecidos por el diseñador. Esto asegura que la densidad de la carpeta asfáltica es adecuada para soportar las cargas vehiculares y las condiciones ambientales a las que estará sometida la vía urbana. Mantener estos estándares de compactación es crucial para garantizar la durabilidad y la calidad de la infraestructura vial, minimizando la necesidad de futuras reparaciones y mantenimiento. La correcta ejecución de la compactación no solo cumple con los requisitos normativos, sino que también contribuye a la eficiencia y seguridad del tráfico vehicular en la vía.

**Figura 5**

*Observación de la compactación final de la Carpeta Asfáltica.*



Al observar los resultados del ensayo de densidad en campo realizados a la base granular, presentados en la Tabla 3, se identificaron los puntos 8 y 13 como aquellos que no cumplieron con el porcentaje de compactación requerido por el ingeniero diseñador. A pesar de esto, durante el proceso constructivo no se observaron irregularidades visuales que pudieran indicar problemas, según las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras de INVIA (INVIA, 2012a; Mancera, 2017).

Para abordar esta situación, se recomienda realizar ensayos adicionales que corroboren el valor inicial de compactación obtenido. Estos ensayos permitirán verificar la validez de la primera lectura y confirmar si los puntos en cuestión efectivamente no alcanzan el porcentaje de

## OPTIMIZACIÓN DEL CUMPLIMIENTO NORMATIVO EN LA CONSTRUCCIÓN DE VÍAS URBANAS...

compactación requerido. Si los ensayos adicionales confirman que los valores iniciales son correctos y los puntos 8 y 13 no cumplen con las especificaciones, se debería proceder a una recompactación de las zonas afectadas.

La recompactación puede incluir el uso de maquinaria adicional o un ajuste en las técnicas de compactación para alcanzar la densidad requerida. Este enfoque no solo garantiza que la base granular cumpla con los estándares de calidad necesarios, sino que también previene posibles problemas estructurales futuros en la vía. Además, es esencial asegurar que se sigan estrictamente las especificaciones técnicas y los procedimientos recomendados durante todo el proceso de compactación para evitar discrepancias y asegurar la durabilidad y estabilidad de la infraestructura vial.

En resumen, la implementación de ensayos adicionales y la recompactación, cuando sea necesario, son pasos cruciales para asegurar que los puntos que no cumplen con los requisitos de compactación sean adecuadamente tratados, garantizando así la calidad y la longevidad de la vía construida.

### **6 Conclusiones**

A través del análisis comparativo entre las normativas locales y las prácticas actuales de la Constructora Casas y Lotes SAS, se identificaron áreas significativas de discrepancia que afectan la calidad y el cumplimiento normativo de las obras viales. En particular, los ensayos de densidad en campo y los valores obtenidos en los puntos críticos revelaron que ciertos tramos no cumplen con los requisitos de compactación establecidos por el diseñador. Esto subraya la necesidad de



## OPTIMIZACIÓN DEL CUMPLIMIENTO NORMATIVO EN LA CONSTRUCCIÓN DE VÍAS URBANAS...

revisar y ajustar las técnicas de compactación, así como de incrementar el control durante la realización de los ensayos de densidad en campo.

Estos ensayos de densidad en campo, junto con el ensayo Proctor estándar, son esenciales para asegurar la estabilidad y durabilidad de las estructuras viales. La correcta implementación y seguimiento de estos ensayos permiten verificar que los materiales utilizados cumplen con los estándares requeridos, minimizando el riesgo de fallos estructurales. Aunque la mayoría de los tramos cumplen con los criterios, los resultados obtenidos indican que algunos puntos específicos necesitan re-evaluación y potencial recompactación para garantizar la calidad y conformidad.

Para cerrar las brechas identificadas entre las prácticas empresariales y las normativas locales, es fundamental establecer un protocolo riguroso de verificación y control de calidad. Este protocolo debe incluir una observación directa y continua en el campo, la implementación de un sistema exhaustivo de revisión documental y la capacitación constante del personal en las normativas vigentes y las mejores prácticas de construcción. La identificación de oportunidades de mejora en tiempo real permitirá ajustes inmediatos y contribuirá a la optimización de los procesos constructivos.

El cumplimiento estricto de las normativas y la mejora en las técnicas de construcción no solo asegura la durabilidad y seguridad de las vías urbanas, sino que también tiene un impacto positivo en la movilidad y el desarrollo urbano de Jamundí, Valle del Cauca. Vías bien construidas y mantenidas facilitan el desplazamiento, reducen costos de mantenimiento a largo plazo y mejoran la calidad de vida de los habitantes al proporcionar una infraestructura confiable y segura.

## 7 Referencias

- Chen, F., Jelagin, D., & Partl, M. N. (2020). Vibration-induced aggregate segregation in asphalt mixtures. *Materials and Structures/Materiaux et Constructions*, 53(2), 1–14.  
<https://doi.org/10.1617/S11527-020-01459-Y/FIGURES/12>
- Cho, B. H., An, J., Youn, H., & Nam, B. H. (2019). An Optimized Data Interpretation for Marshall Flow and Stability Test. *Sustainable Civil Infrastructures*, 119–130.  
[https://doi.org/10.1007/978-3-319-95792-0\\_10](https://doi.org/10.1007/978-3-319-95792-0_10)
- Dep, L., Troxler, R. E., & Troxler, W. F. (2022). A New Low-Activity Nuclear Density Gauge for Compaction Control of Asphalt, Concrete, Soil, and Aggregate Layers in Road Construction. *Sustainable Civil Infrastructures*, 3–18. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-79801-7\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-030-79801-7_1)
- Escobar García, D. A. (2008). *Instrumentos y metodología de planes de movilidad y transporte en las ciudades medias colombianas*. <http://hdl.handle.net/10803/6624>
- ICONTEC. (2002). *NORMA TÉCNICA NTC COLOMBIANA 1667*.
- INVIAS. (2012a). *Sección 100-SUELOS E-142*.  
<https://www.invias.gov.co/index.php/informacion-institucional/139-documento-tecnicos/4570-especificaciones-generales-de-construccion-de-carreteras>
- INVIAS. (2012b). *Secciones 700 y 800-MATERIALES Y MEZCLAS ASFÁLTICAS Y PROSPECCIÓN DE PAVIMENTOS E-702*.

OPTIMIZACIÓN DEL CUMPLIMIENTO NORMATIVO EN LA CONSTRUCCIÓN DE VÍAS URBANAS...

Maldonado, R., Alberto, P., Mesta, U., & Nicolás, Y. (2019). *FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL.*

Mancera, A. (2017). *INSTRUCTIVO DEL PROCESO CONSTRUCTIVO DE UNA VÍA EN PAVIMENTO FLEXIBLE.*

Ramoutar, L. (2023). *Importance of soil compaction in Construction | TTCA.*  
<https://ttca.com/importance-of-soil-compaction-in-construction/>