

**ESTUDIO DE CASO Y PROPUESTA DE GUÍA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE
PLACA HUELLAS EN EL DEPARTAMENTO DE BOYACÁ**

ALEXIS FERRO SUÁREZ

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS TUNJA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

TUNJA

2024

**ESTUDIO DE CASO Y PROPUESTA DE GUÍA PARA LA CONSTRUCCIÓN
DE PLACA HUELLAS EN EL DEPARTAMENTO DE BOYACÁ**

ALEXIS FERRO SUÁREZ

**MONOGRAFÍA PARA OBTENER EL GRADO DE
INGENIERO CIVIL**

TUTOR

GERMAN OSWALDO PARADA PEREZ

I.C. ESP MSC©

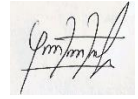
UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS TUNJA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

TUNJA

2024

Nota de Aceptación



GERMAN OSWALDO PARADA PEREZ

Firma presidente de jurado

Firma de jurado

Firma de jurado

Tunja, febrero de 2024

Dedicatoria

Dedico la terminación de mis estudios en primer lugar, a Dios, así como a mis padres: Luz Marina Suárez y Alfonso Ferro por el apoyo en cada uno de mis procesos de formación.

También a mis hermanos por su apoyo y, a mi compañera, por el ánimo para terminar mis estudios.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi familia por su apoyo incondicional para poder cumplir mis metas, dándome motivación, consejos y fortaleza, los cuales me formaron como una persona íntegra y llena de valores. También agradezco a mi novia por acompañarme en este proceso dándome ánimo a terminar mis estudios profesionales, al igual agradezco a cada uno de los docentes que me ayudaron a formar como profesional llenándome de conocimientos y ética para mi profesión.

CONTENIDO

1. RESUMEN	1
2. INTRODUCCIÓN.....	3
3. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	5
4. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN.....	5
5. JUSTIFICACIÓN	6
6. OBJETIVO GENERAL	8
6.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	8
7. MARCO TEORICO	9
8. METODOLOGÍA	16
9. CASO DE ESTUDIO	16
10. GUÍA EN LA CONSTRUCCIÓN DE PLACA HUELLA	26
10.1 CONSTRUCCION	27
10.1.1. Cerramiento de la obra.	27
10.2 ESTRUCTURA DE LA PLACA HUELLA	30
10.2.1. Subrasante.....	31
10.2.2. Afirmado.	34
10.2.3. Subbase	38
10.3 PLACA HUELLA EN CONCRETO REFORZADO	42
10.3.1. Encofrado	42

10.3.2.	Excavaciones manuales.	43
10.3.3.	Amarre y figurado de acero:	44
10.3.4.	Concreto hidráulico	54
10.3.5.	Piedra pegada	59
10.4	Juntas.....	61
10.5	Puesta en servicio.....	64
11.	CONCLUSIONES.....	65
12.	REFERENCIAS	66

1. RESUMEN

La revisión de caso y propuesta de guía para la construcción de placa huellas en el departamento de Boyacá muestra el proceso constructivo para la ejecución de una placa huella, además de los ensayos y cuidados necesarios en el proceso de construcción. Estos procedimientos están basados en la norma técnica colombiana (NTC), guía de diseño de pavimentos con placa huella, Instituto Nacional de Vías (INVIAS) que respalda el desarrollo de cada una de las actividades requeridas para la construcción de las placas huellas. Se proporcionan recomendaciones útiles que pueden facilitar la ejecución del proyecto.

Este trabajo se produce a partir de la observación y estudio presencial en obras como mantenimiento y mejoramiento de vías rurales de Gachantivá y mejoramiento de la malla vial rural en el municipio de Sotaquirá mediante la construcción de placa huella, donde se pudieron evidenciar falencias en su construcción y el manejo dado a los materiales. Por esto, este trabajo se enfoca en dar una solución desde la prioridad de capacitar a los trabajadores en placa huellas que por lo general son de la zona y carecen de conocimientos en construcción.

Así mismo, se concluyó que aún queda mucho por investigar y mejorar en relación con este tema.

Palabras clave: proceso constructivo de placa huella, mejoramiento de vías terciarias, guía de construcción.

ABSTRACT

The case review and proposed guide for the construction of a footprint in the department of Boyacá shows the construction process for the execution of a footprint, as well as the tests and care required in the construction process. these procedures are based on the Colombian technical standard (NTC), guide for the design of pavements with a footprint, National Institute of Roads (INVIAS), which supports the development of each of the activities required for the construction of footprints. Useful recommendations are provided that can facilitate the execution of the project.

This work is based on the observation and on-site study in works such as maintenance and improvement of rural roads in Gachantivá and improvement of the rural road network in the municipality of Sotaquirá through the construction of footprints, where shortcomings in their construction and the handling of the materials could be evidenced. For this reason, this work is focused on providing a solution based on the priority of training the workers in roadbed construction, who are generally from the area and lack knowledge in construction.

Likewise, it was concluded that there is still much to investigate and improve in relation to this issue.

Key words: construction process of roadbed, improvement of tertiary roads, construction guide.

2. INTRODUCCIÓN

La construcción de placas huellas ha aumentado con el paso del tiempo dado que es una de las soluciones más prácticas y eficientes en el mejoramiento de vías de tercer orden, mejorando la calidad de vida para muchas comunidades. Las vías terciarias son necesarias para el desarrollo, conectividad, turismo y productividad agrícola del país, lo que demanda que estudiantes y constructores conozcan detalladamente las obras y el mantenimiento necesarios para el buen funcionamiento de estas vías. Entre estas obras se encuentra la placa huella, una solución para el fortalecimiento de vías de tercer orden debido a su bajo costo, fácil mantenimiento y emplear mano de obra local, siendo la más usada en el territorio nacional debido a que no requiere modificaciones significativas en la geometría existente (INVIAS, 2017). Para esta solución práctica, es fundamental tener claro el proceso de construcción que permita realizar una adecuada supervisión de la placa huella.

Algunos aspectos importantes a tener en cuenta en este proceso son: recubrimiento mínimo, calidad de los materiales, traslapes cortos, entre muchos otros, que se explican más detalladamente en el desarrollo del texto, evitando daños prematuros a la estructura, retrasos en la construcción, sobre costos y otras complicaciones.

Además, la elaboración de este documento del proceso constructivo de placas huellas, se muestra desde cómo inicia el cierre de la vía, con toda la señalización, hasta el curado del concreto, que, aunque parece algo irrelevante, es igual de importante que cada uno de los

procesos en la construcción de placas huella. Estos procesos se explican, teniendo en cuenta algunas de las normas más importantes, ilustrado con imágenes tomadas en campo que muestran las actividades realizadas incorrectamente.

La construcción de esta guía se basa en normas como la "Guía de diseño de pavimentos con placa huella", NTC 500, NTC 630 y NTC 673, entre otras, de las cuales se ha tomado gran parte del procedimiento técnico constructivo para compararlo con los errores frecuentes que se evidenciaron durante la construcción y mantenimiento en la construcción e inspección de estas obras.

3. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

La falta de conocimiento del proceso constructivo y cuidados en placa huellas por parte de trabajadores, genera que muchas de las actividades se ejecuten de forma incorrecta, lo que conlleva a que algunas de las construcciones que ya existen desde hace algunos años, no cumplan con el período de diseño exigido por la norma, que es de 20 años. Estas obras presentan fallas o patologías que se podrían haber evitado con una adecuada supervisión y construcción. Por otra parte, estas patologías se pudieron ver afectadas por errores como la ausencia de juntas, proceso de curado deficiente, falta de hidratación de la subbase antes de la colocación del hormigón, materiales pétreos contaminados, densidades de la estructura bajas, ganchos de los estribos flejados a 90° y no a 135°, incumplimiento del recubrimiento mínimo en las barras de acero, entre muchas otras fallencias que se encuentran en campo y que afectan negativamente a la población de la zona, generando sobrecostos, retrasos en la construcción y mala calidad de la obra.

De esta situación, se evidencia que el problema está relacionado con la falta de capacitación y mejoramiento de prácticas en estas construcciones.

4. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Cómo generar un proceso con el que se pueda reducir los errores durante el desarrollo constructivo de placa huellas en el departamento de Boyacá?

5. JUSTIFICACIÓN

La mayor parte de las vías terciarias se encuentran en afirmado y en el peor de los casos en subrasante, esto conlleva a que el mantenimiento de estas vías se tenga que hacer de manera periódica, extendiendo material de mina o escorias de fábricas lo cual mitiga el problema por un corto tiempo. Esta problemática se ha venido solucionando en el país con la construcción de placa huellas, las cuales se construyen en los sectores más críticos y de mayor pendiente, convirtiéndose en una solución de construcción fácil y duradera.

Aunque su construcción es muy práctica, las placas huella no están exentas de malas prácticas de construcción; por el contrario, es en estas donde se evidencian más errores debido a que se construyen en zonas alejadas donde la mayor parte del trabajo lo realiza personal de la misma comunidad que es posible que no cuente con la destreza ni el conocimiento necesario para llevar a cabo la construcción correctamente. Por esto, es necesario guiar a cada uno de los que conforman el equipo de trabajo, proporcionando información clara y concisa del proceso adecuado.

Además, en la visita a algunas de las placas huellas ya construidas, se pueden apreciar fallas en la estructura tales como desprendimiento de la cuneta y el bordillo por falta de refuerzo en riostras y bordillo; fisuras en la losa de la huella por mal diseño de mezcla o ausencia de refuerzo y desgaste prematuro de piedra pegada, entre otras patologías que se presentan.

Esta investigación es viable pues se cuenta con el acceso a algunas de las construcciones que se encuentran en su proceso constructivo y otras ya construidas. Además, se

tiene el tiempo necesario para el desarrollo de la investigación contando con recursos humanos y económicos para poder llevar a buen fin. Beneficiando principalmente a constructores, estudiantes y docentes, ya que aporta información importante para el buen desarrollo de los proyectos. Del mismo modo, beneficia socialmente a los habitantes cercanos, al entregar obras de calidad construidas con este procedimiento.

6. OBJETIVO GENERAL

Proponer una herramienta con el fin de reducir los errores durante el desarrollo constructivo de placa huellas, mediante la realización de una guía basada en la consulta de normas y visitas de campo.

6.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Revisar las prácticas actuales y sus falencias en la construcción de placas huella a partir de la observación.
- Realizar revisión bibliográfica en normas y libros para consolidarla en un mismo texto.
- Proponer una guía del proceso constructivo para placa huella donde se muestre un adecuado manejo de los materiales.

7. MARCO TEÓRICO

El sistema constructivo de placa huellas se ha venido incrementando en los últimos veinte años, pues cada vez son más utilizadas como una solución en el mejoramiento de vías terciarias del país. Además, el comprender la definición y funcionamiento de estas estructuras, es importante para no incurrir en errores constructivos.

Placa huella: El sistema constructivo con placa huella no es más que un pavimento rígido que está construido de concreto reforzado y lo conforman la huella, riostras, berma cuneta y ciclópeo. Estos elementos se encuentran sobre una capa de subbase compactada a más de 95%. Este sistema brinda beneficios como: duración de servicio prolongado, mano de obra local, aprovechamiento de recursos locales y economía en la construcción. **(INVIAS, 2015)**

La placa huella se compone de distintos elementos los cuales conforman una estructura plana o lisa para una circulación cómoda y segura de vehículos y peatones, construida sobre una estructura resistente.

Subrasante: Se constituye como el terreno encontrado en el sitio a ejecutar la obra y es la que funciona como soporte para todas las capas del pavimento. Según norma INVIAS en los pavimentos la deflexión que aporta la subrasante es de un 70%, de no ser por el requisito del bombeo y de que la superficie sea lisa y limpia, la construcción de la losa se realizaría directamente sobre la subrasante sin necesidad de una subbase. **(INVIAS, 2017, pág. 3)**

Subbase: Para este caso se le denomina subbase a la capa que se encuentra entre la subrasante o capa de afirmado, y la estructura del pavimento (placa huella). En cuanto a la

calidad de la subbase, se debe garantizar los requisitos de la tabla 320-2 de las ESPECIFICACIONES INVIAS 2022.

Para la colocación del material se debe hacer en una longitud no mayor a los mil quinientos metros en un cordón uniforme que permita la inspección de la homogeneidad del material, en el caso que el material necesite humedecer o airear, se debe contar con el equipo adecuado que no altere la composición de la mezcla y le dé una humedad homogénea para una compactación óptima. Luego se extenderá en toda la superficie con un espesor que no requiera manipulación continua para lograr el espesor requerido.

El espesor de cada capa de extendido no deberá ser superior a 20 centímetros ni inferior a 10 centímetros, en el caso de la placa huella, que el espesor sugerido es de 15 centímetros, no hay problema con lo dicho anteriormente. **(INSTITUTO NACIONAL DE VIAS - INVIAS, 2022, pág. 320.4.5)**

Una vez colocado el material, el proceso de compactado se ara de la parte exterior hacia el centro de la vía traslapando la mitad del compactador en cada una de las pasadas. En las zonas con peralte se ara de la parte inferior hasta la parte superior garantizando que la superficie de acabado este completamente lisa. **(INSTITUTO NACIONAL DE VIAS - INVIAS, 2022, pág. 320.4.5)**

Con la subbase se conforma el bombeo a lo largo de la tangente que viene siendo el - 2% por cada lado y el peralte en las curvas de 2%. Además, cumple la función de incrementar la rigidez de la superficie. **(INVIAS, 2017, pág. 12)**

La subbase es una capa de agregados finos y gruesos con una granulometría definida, la cual se extiende a lo largo y ancho de donde se va a construir la estructura, sirve como

soporte de la estructura de placa huella y ayuda a conformar el bombeo y peraltes para el drenaje, su espesor es alrededor de 0,15 metros y se debe extender de una forma homogénea para una adecuada compactación.

Concreto: Esta mezcla homogénea está conformada por cemento, grava, arena y agua, este material es caracterizado por su alta resistencia a la compresión, y también por su durabilidad y bajo costo. Sus características hidráulicas permiten que se moldee de cualquier forma y que después de un tiempo fragüe, conformando una figura sólida y resistente. Es utilizado con mayor frecuencia en la construcción de edificios, puente, carreteras, estructuras de contención, entre muchas otras. **(top, 2023)**

Concreto en obra: Para la preparación de este concreto en obra se debe contar con un diseño de mezcla que debe cumplir con parámetro como durabilidad, resistencia, permeabilidad, fraguado, manejabilidad. La dosificación en obra debe considerar algunas variables como: contenido de cemento, granulometría de los agregados, relación agua cemento, consistencia del concreto que debe estar de 5” a 7” de asentamiento. Aunque la dosificación de los materiales debe hacerse con una báscula calibrada para medir la cantidad exacta en cada mezcla, en obra es muy complejo y se puede hacer por volumen en recipientes que garanticen medidas constantes durante todo el proceso.

Para la adición del agua, también debe hacerse en las mismas dosificaciones de volumen y nunca se deben hacer con la manguera, pues el exceso de agua va a afectar notablemente la mezcla. **(ARGOS, 2023)**

Dado que este material va a estar expuesto al desgaste y a la intemperie, se debe garantizar una buena calidad, que resista al tráfico y a cambios de temperatura. Es por esto

que la guía de diseño especifica que la construcción de estos materiales se haga con una resistencia a la compresión a los 28 días de 21 Map. Para esto, en el diseño de mezcla se debe controlar la calidad de cada uno de los materiales los cuales deben cumplir con lo establecido en la norma vigente.

En el caso del concreto ciclópeo, las especificaciones del INVIAS en el artículo 630, menciona una resistencia del concreto menor a la de los demás elementos, pero dado que el concreto ciclópeo se va a utilizar con fines de exposición y desgaste, la guía de diseño en aras de mantener la resistencia contempla que la resistencia a los 28 días será de 21 Map.

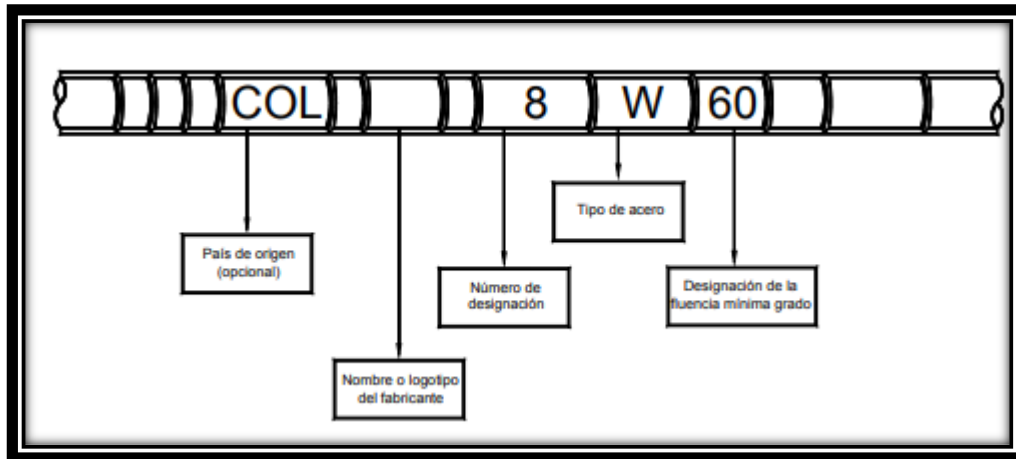
(INVIAS, 2017, pág. 10)

El concreto hidráulico es una mezcla de grava, arena, cemento y agua. La cual puede moldearse a la forma del recipiente en la que este contenida, además es un material que se comporta muy bien en cuanto a esfuerzos de compresión. La realización de esta mezcla se puede hacer en planta o en obra, si es en obra se tiene que cumplir con la dosificación requerida por el diseñador y tener control de asentamiento de 5 a 7 pulgadas.

Acero: La calidad del acero a utilizar debe estar acorde con la norma NTC 2289. Para esto se debe, por lo menos, hacer un ensayo de doblado, propiedades de dimensión, ensayo de tracción, por cada diámetro de una colada. **(NTC, 2012, pág. 2289)**

Ilustración 1

Ejemplo de marcado de barras en sistema inglés



Nota. Tomada de NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC2289

La resistencia del acero se contempla en un mínimo de f_y 4200 Kg/cm² y un máximo de f_y 5200 Kg/cm² (INVIAS, 2017, pág. 37)

Replanteo de una carretera: El replanteo de una carretera comprende la delineación sobre el terreno de los componentes que la conforman, tales como curvas, márgenes de la carretera, bermas o arcenes y cunetas. El objetivo de esta actividad, que se completa tras el trazado de la poligonal de diseño, es ceñirse estratégicamente a las proporciones y geometría dadas en los planos al tiempo que se plasman sobre la poligonal los componentes que conforman una carretera. (“CAPITULO 1 1. INTRODUCCIÓN.”) (ORROLA, 2021)

el replanteo de una carretera se hace con el fin de plasmar lo diseñado en los planos ya en el sitio de trabajo, con el fin de delimitar el área de trabajo y las adecuaciones del terreno.

Criterios de diseño: Para el periodo de diseño se considera que debe mantenerse en condiciones de servicio por lo menos 20 años sin mostrar mayor desgaste. En cuanto al

vehículo de diseño, se adoptó el camión C3 por ser muy parecido en las dimensiones con el camión C2 y por ser los que circulan con los productos agrícolas y mineros. **(INVIAS, 2017)**

La placa huella está construida por módulos que se repiten, el cual lo conforman placas-huella y la riostra, se le llama de esta forma por trabajar en conjunto. Este sistema de módulos se funde de forma monolítica fundiendo la riostra con la placa huella y a la vez con el módulo siguiente. El largo de un módulo de placa huella tiene una longitud máxima de 2.80 m más el ancho de la riostra que es de 0.20 m completando una longitud de 3.00 m y un ancho de 0.90 m. en tangente. El espesor de la losa es de 0,15m y se encarga de soportar los esfuerzos que produce el paso de los ejes de los vehículos, además, canaliza la circulación de estos.

La riostra es un elemento transversal con forma de viga, con un peralte de 0.30m, ancho de 0.20 m y un largo de bordillo a bordillo cada riostra está separada una de otra cada 2.8m, este elemento está reforzado por 2 barras número 4 en la parte superior y dos número 4 en la parte inferior, este acero se entrecruza con el acero de refuerzo de la huella, cuneta y bordillo.

La piedra pegada no es más que un concreto ciclópeo, con un espesor de 0.15 m y cumple funciones muy importantes como disminuir el costo de la vía, canalizar el tránsito sobre la huella dada su rugosidad y darle un diseño estético a la vía.

La berma, la cuneta y el bordillo son tres elementos que están fundidos de forma monolítica en concreto reforzado y cumplen la función de drenaje superficial, además funcionan como estacionamientos en caso de que un vehículo falle o necesite sobrepasar, también funciona como confinamiento de la subbase. **(INVIAS, 2017)**

El diseño y construcción de la placa huella se hace con un periodo de diseño de 20 años en los que la estructura no sufra daños ni un desgaste notable, esta es construida por módulos de no más de 3.0 m, en los que se incluye la riostra de 0.20 m. También son diseñadas con un camión de diseño C3 ya que sus dimensiones son muy parecidas con las de un camión C2. La placa huella está compuesta por una viga transversal llamada riostra, dos huellas de un ancho de 0.90 m y un largo de 2.8 m en concreto reforzado, una sección central de ciclópeo de 0.90 m entre las huellas y a los dos costados de 0.45 m; también la conforman una berma cuneta de 0.50 m y un bordillo de 0.20m.

8. METODOLOGÍA

La metodología implementada en el desarrollo de la investigación fue el método de observación cualitativa, a través de visitas a las construcciones, mantenimientos y mejoramientos de vías rurales de Gachantivá y mejoramiento de la malla vial rural en el municipio de Sotaquirá, mediante la construcción de placa huella, ubicadas en el departamento de Boyacá, municipios Sotaquirá Vereda Angosturas, municipios Arcabuco Vereda Quirvaquirá, municipio Gachantivá Veredas Guitoque y Gachantivá Viejo, logrando analizar algunas actividades que no se estaban ejecutando de manera correcta. Con el fin de registrar los hallazgos en fotografías para luego analizar las causas y consecuencias de cada uno de los casos, tomando como referencia lo dicho en la guía de diseño de placa huellas del INVIAS y otros autores que hacen referencia al tema.

9. CASO DE ESTUDIO

Con base en la visita a campo realizadas en los municipios de Sotaquirá, Gachantivá, Arcabuco y Tunja, se evidencio algunas falencias en el proceso de construcción de la placa huella, los cuales se registraron de forma fotográfica y se plasman a continuación.

Ahuellamiento en la estructura del suelo

Este tipo de deformación se produce por el tráfico vehicular, en zonas sin compactar o de alta presencia de humedad en la estructura de soporte.

Ilustración 2

Ahuellamiento



***Nota.** Falla por ahuellamiento y mal soporte de la rasante. Fotografía propia. imagen tomada en Vereda Angosturas de Sotaquirá Boyacá y Vereda Gachantivá viejo del municipio de Gachantivá.*

Posibles Causas: Falencias en los estudios geológicos y geotécnicos, sobre saturación del suelo por ausencia de filtros o drenajes, baja capacidad portante o demasiada cantidad de materiales finos.

Consecuencia: Baches reflejados en huecos o hundimientos, deterioro prematuro de la estructura, fisura en la estructura y sobre costos en el proyecto ya que se debe airear el material o en el peor de los casos remplazar.

Saturación de la estructura de soporte

Ilustración 3

Saturación del material



Nota. *Material de afirmado y subbase sobre saturado por causa de la lluvia y demoras en la compactación del material. Fotografía propia. imagen tomada en Vereda Angosturas de Sotaquirá, Boyacá y Vereda Gachantivá Viejo del municipio de Gachantivá.*

Posibles Causas: Esto se da por extender el material de afirmado o subbase cuando hay presencia de lluvia o se deja mucho tiempo sin compactar y llueve. Retrasos en la compactación del material cuando hay época invernal e inadecuada programación en el extendido del material.

Consecuencia: Sustitución de material por material que cumpla la húmeda, retrasos en la programación, sobre costos y agrietamiento en las losas de la placa huella.

Almacenamiento de materiales.

En muchas de las obras no se protege el material pétreo ni se deposita en superficies limpias.

Ilustración 4

Acopio de materiales.



***Nota.** Acopio de materiales sin cubrir y en zonas propensas a contaminación. Fotografía propia. Imagen tomada en Vereda Angosturas de Sotaquirá, Boyacá y Vereda Gachantivá Viejo del municipio de Gachantivá.*

Posibles Causas: Los materiales encontrados en la obra no son cubiertos con plástico ni tampoco separados uno del otro, se sabe que en obra es muy difícil disponer de un acopio donde los materiales no se contaminen, ya que se almacenan en el mismo sitio donde se va a ejecutar la actividad, por esta razón los materiales tienden a contaminarse con hojas, pasto y muchas otras impurezas orgánicas que alteran los diseños de mezcla, tampoco se hace un debido seguimiento a la procedencia de aquellos materiales, si cumplen o no con lo dicho en la NTC 174 de ESPECIFICACIONES DE LOS AGREGADOS PARA CONCRETO.

Consecuencia: Baja calidad en la resistencia de los elementos en concreto reforzado, desprendimiento de los bordes de las losas y desgaste prematuro de la superficie de rodadura.

Acero

Ilustración 5

Exposición del acero a la intemperie.



Nota. Fotografía propia. *Imagen tomada en Vereda Angosturas de Sotaquirá, Boyacá e Iglesia El Topo.*

Posibles Causas: En la mayor parte de los casos el motivo de la corrosión es a causa del agua, y algunas de las formas que estas pueden llegar a corroerlo puede ser la exposición a la intemperie, recubrimientos mínimos del acero en las estructuras, calidad del acero, no sellar las juntas y falta de separadores para aislar el acero del piso.

Consecuencia: Deterioro en la superficie del elemento – oxidación, fatiga de la estructura lo cual en muchos de los casos puede llegar a ser irreparable.

Procesos inadecuados en la construcción

En cuanto a los procesos constructivos es muy usual que se realicen de forma inadecuada, pues la mano de obra contratada, en la mayoría de los casos, no es calificada ni capacitada.

Ilustración 6

Mezcla en obra



Nota. *La mezcla se elabora sin recipientes para medir su dosificación. Fotografía propia. Imagen tomada en Vereda Gachantivá Viejo del municipio de Gachantivá.*

En cuanto al uso de los materiales se encontró que en la mayor parte de las obras, la mezcla se realizaba in situ por los mismos trabajadores, los cuales no cuentan con una medida exacta para la dosificación propuesta por el laboratorio, por el contrario, la única forma de medir es por paladas, lo cual no garantiza que se esté agregando la cantidad adecuada para cumplir con la resistencia propuesta por la guía de diseño que vendría siendo de 21 Mpa de resistencia a la compresión a una edad de 28 días (INVIAS, 2015, pág. 09).

Afirmado

En la colocación del afirmado se evidenciaron sobre tamaños y presencia de material orgánico como madera hojas y terrones de material fino.

Ilustración 7

Material de afirmado



Nota. *Material para afirmado con sobre tamaños. Fotografía propia. Imagen tomada en Vereda Güitoke Viejo del municipio de Gachantivá.*

Posibles Causas: La falta de control en la calidad de los materiales, ausencia de estudios de granulometría de los materiales de afirmado, humedad excesiva y materiales inapropiados.

Consecuencia: La presencia de sobre tamaños en el material conlleva a que la compactación del mismo sea deficiente y la cantidad de vacíos sean muchos, si no se reemplaza el material puede que presente fatiga en la placa huella, deformaciones y fisuras.

Subbase

Ilustración 8

Material de subbase



Nota. El material de subbase no cuenta con un espesor mayor a 0.10 m. Fotografía propia. Imagen tomada en la Vereda Gachantivá Viejo, Güitoke del municipio de Gachantivá.

Posibles Causas: La falta de experticia del operador de la moto niveladora hace que las capas de material no cumplan con el espesor suficiente para la compactación, además, compactar excesivamente el material hace que presenten fracturas.

Consecuencias: Las capas muy delgadas hacen que al compactar el material se disgregue o se fracture lo cual conlleva a, daños superficiales, deformaciones, fisuras y fatiga en el pavimento.

Ilustración 9

Instalación del acero de refuerzo



Nota. Como se observa en la imagen, los traslapes se hacen en el mismo lugar y se permite el 50% en un solo módulo. Fotografía propia. Imagen tomada en Vereda Angosturas de Sotaquirá, Boyacá y Vereda Gachantivá Viejo del municipio de Gachantivá.

Posibles Causas: Personal no calificado, el acero está en contacto con el suelo sin separadores, los traslapes no se intercalan, no se cumple con la longitud de desarrollo, la longitud del refuerzo en las riostras no se alcanza a amarrar con el refuerzo del bordillo, los estribos no cumplen con el ángulo del gancho.

Consecuencia: Corrosión por falta de recubrimiento, dilataciones a la mitad de la losa.

Ilustración 10

Piedra ciclópea



Nota. *Antes de la instalación, se debe de hacer un ensayo de módulo de rotura, para evitar que pase lo que se evidencia en la imagen. Fotografía propia. Imagen tomada en placa huella Vereda Pirgua del municipio de Tunja.*

Posibles Causas: Los bloques de roca no cuentan con ensayos que garanticen la dureza y fragilidad esto puede ser a causa de que en la zona no se cuentan materiales de una mejor calidad y puede ser más costoso transportarlos hasta el sitio de trabajo.

Consecuencia: Generación de baches de las dimensiones de las rocas, provocando accidentes de motocicletas y bicicletas de los transeúntes.

10. GUÍA EN LA CONSTRUCCIÓN DE PLACA HUELLA

Desde la época de los romanos, las vías se convirtieron en el eje central de la economía y el desarrollo de un imperio, hasta la fecha, las grandes potencias como China, Estados Unidos y Rusia se han caracterizado por tener las más grandes autopistas y viaductos del mundo, lo cual las lleva a posesionarse en el lugar que se encuentran. De ahí la importancia de construir vías terciarias de muy buena calidad que le den a los usuarios seguridad, comodidad y un tránsito continuo. Con este texto se podrá instruir sobre buenas prácticas en la construcción de placa-huellas.

Ilustración 11

Placa huella



Nota. Estructura de una placa huella. Fotografía propia. Imagen tomada en Vereda Güitoque Viejo del municipio de Gachantivá.

10.1 CONSTRUCCIÓN

La construcción es el arte de fabricar o crear edificios, carreteras, siguiendo un procedimiento metódico con una serie de pasos para llegar a un fin. En este caso se mostrarán los pasos más relevantes para construir una placa huella.

10.1.1. Cerramiento de la obra.

El cerramiento de la obra es muy importante ya que delimita el lugar del proyecto, además permite señalar los peligros para la seguridad de la comunidad como se observa en la siguiente ilustración (ilustración 12)

Ilustración 12

Barricada de cerramiento



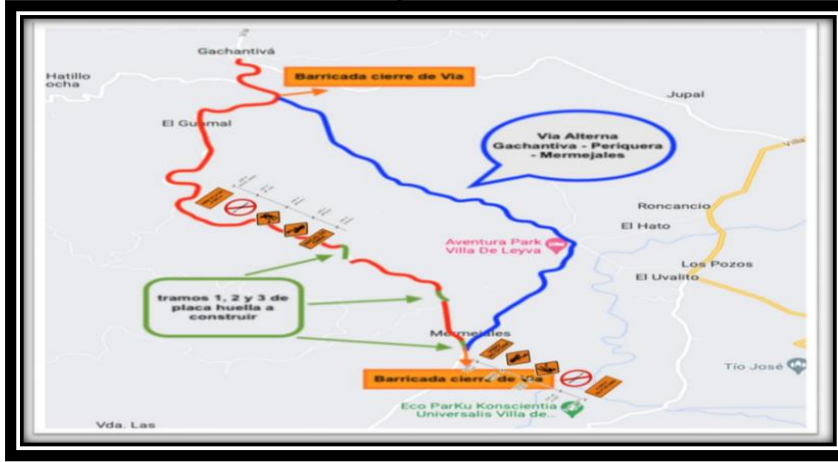
Nota. *La importancia de la barrica está en restringir el paso de vehículos y peatones para evitar accidentes. Fotografía propia. Imagen tomada en Vereda Gachantivá Viejo del municipio de Gachantivá.*

Luego del levantamiento es importante continuar con el cerramiento y manejo del tránsito, ya que esto puede evitar accidentes y problemas con los usuarios. Para el cerramiento, es importante colocar barricadas a 500m de la vía que se va a intervenir, en ambos sentidos. De igual manera, se colocarán cada 100m señales de información de inicio (SIO-02) y fin de obra (SIO-03), maquinaria en la vía (SPO-02), trabajos en la vía (SPO-01), vía cerrada (SRO-01) y aproximación a obra en la vía (SOI-01) como se puede ver en la ilustración 13. Esto brindará un ambiente cómodo, seguro, limpio y ágil a conductores, pasajeros, peatones, personal de obra y vecinos del lugar. Además, el personal de obra deberá prestar auxilios en caso de que se necesite cruzar alguna persona con dificultades.

En cuanto al manejo del tránsito, se reconoce que habrá un impacto negativo frente a la circulación de vehículos, pues para la ejecución de las obras es muy probable que se deba hacer el cierre total de la vía, lo cual se informará con anterioridad y se dispondrán de pasacalles con la información del sitio donde se encuentra el cierre. Asimismo, se dispondrá de una señal de desvío ARO-02 en el sitio mismo donde se necesita tomar el desvío señalado.

Ilustración 13

Localización de señalización y vías alternas



Nota. Tomada del plan de manejo de tránsito (pag.19) Ing. Hector Mauricio Ochoa.

Ilustración 14

Señalización de cierre vial.

	<p>SRO-01 VÍA CERRADA</p>
	<p>SPO-01 TRABAJO EN LA VÍA</p>
	<p>SOP-02 MAQUINARIA EN LA VÍA</p>

	SRO-02 DESVÍO
	SIO-02 INFORMACIÓN DE INICIO DE OBRA
	SIO-03 INFORMACIÓN DE FIN DE OBRA
	SOI-05 DESVÍO

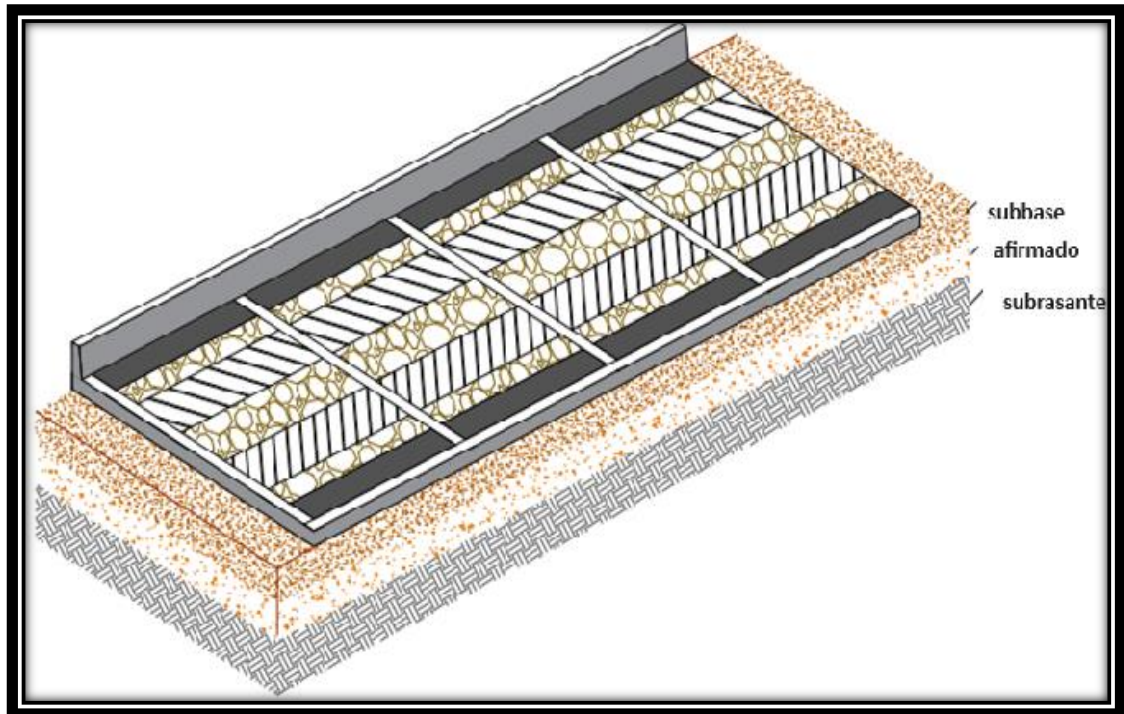
Nota. Esta señalización permite informar al usuario de peligros en la vía. *MANUAL DE SEÑALIZACIÓN VIAL 2015.*

10.2 ESTRUCTURA DE LA PLACA HUELLA

La estructura de la placa huella está conformada por subrasante, afirmado, subbase y losa de hormigón reforzado, estos cuatro conforman la estructura de la placa huella además de las obras de drenaje cuando son necesarias.

Ilustración 15

Capas de la estructura de una placa huella.



Nota. La capa inferior representa la subrasante, la siguiente el afirmado y la siguiente la subbase para terminar en la placa huella. Elaborada por el autor.

10.2.1. Subrasante

Esta capa es el terreno natural encontrado en obra, a la cual se le deben hacer ensayos *In Situ* o en laboratorio para determinar la capacidad de carga del suelo. Algunos de los ensayos recomendados por la norma INVÍAS son: ensayo de penetrómetro dinámico de cono (PDC), ensayo de penetración normal (SPT), relación de soporte del suelo en el terreno (CBR), ensayo de corte en suelos cohesivos usando la veleta de campo, método de penetración cónica estática (CPT) (INSTITUTO NACIONAL DE VIAS INVIAS, 2012, págs. I,N.V.E 100). Esto se realiza con el fin de determinar que los suelos que constituyen la subrasante no sean expansivos, lo cual lo define el ingeniero encargado según los resultados. Para realizar los sondeos se tendrá en cuenta lo siguiente:

Los sondeos deben realizarse con un diámetro que permita la realización de las actividades necesarias para la investigación y con una profundidad mínima de 1,5 metros. Si el subsuelo es homogéneo, cada sondeo debe realizarse a una distancia máxima de 250 metros; en caso contrario, debe realizarse un sondeo por cada unidad de homogeneidad. El perfil del afirmado y el perfil del índice PCD se crean utilizando estos sondeos. (INVIAS, 2015)

Ilustración 16

Ensayo con cono dinámico de penetración, DCP



Nota. Tomada de CM INGENIEROS S.A. CM Ingenieros, S.A. – Más de 50 años sirviendo a Guatemala.

Con los datos de los sondeos se determinarán los lugares en los que el nivel freático es inferior a 1,5 metros; en tal caso, habrá que construir filtros longitudinales o subdrenes.

Ilustración 17

Filtro francés



Nota. Este filtro es necesario cuando el nivel freático se encuentra a menos de 1.5 metros, los materiales gruesos no deben contener suciedad. Fotografía propia, imagen tomada en Vereda Angosturas de Sotaquirá, Boyacá y Vereda Gachantivá Viejo del municipio de Gachantivá.

Los resultados de estos estudios también pueden indicarnos si el suelo de apoyo es expansivo, en cuyo caso deberá retirarse al menos un metro por debajo de la subrasante del proyecto (ilustración 19) y substituirse por un material adecuado que cumpla los requisitos del artículo 220-07 (TERRAPLENES) NORMA INVIAS. Sin embargo, si la geometría dicta que es más práctico elevar la subrasante un metro del suelo expansivo, de acuerdo con el artículo 202-07, también se puede hacer terraceo si es posible.

Ilustración 18

Cajeo de subrasante



Nota. No en todos los casos es necesario, nada más en casos de tratarse de suelos expansivos. Fotografía propia. Imagen tomada en Vereda Angosturas de Sotaquirá, Boyacá.

Un estudio de suelos adecuado ofrece a la estructura calidad, seguridad, comodidad y además brinda una idea del costo que puede tener la obra y si es factible el proyecto.

10.2.2. Afirmado.

La mayor parte de las vías terciarias se encuentran en afirmado, esta es una capa de soporte para la subbase cuyo espesor es muy variable dependiendo del estado en el que se encuentre la vía, es decir, se utiliza para corregir pendientes y deformaciones no tan extensas en la vía existente, la calidad y el grado de compactación del afirmado deberá cumplir con lo dicho en el ART 311 de las especificaciones en construcción de carreteras. (INSTITUTO NACIONAL DE VIAS, 2022, págs. 311-3)

Ilustración 19

Acordonamiento de material de afirmado



Nota. *El material de afirmado no debe contener sobre tamaños que impidan un compactado homogéneo en toda la superficie. Fotografía propia. Imagen tomada en Vereda Güitotoque del municipio de Gachantivá.*

Cumpliendo con lo anterior, el material debe colocarse en un cordón de sección consistente (ilustración 20) para poder comprobar su homogeneidad, es decir, no debe contener sobre tamaños, ni material orgánico como madera o capa vegetal y además poder verificar su humedad si es necesario humedecer o airear. Si en dado caso que la subrasante se deba mejorar realizando un cajeo o levantando un terraplén, es necesario que las capas del material con el que se va a remplazar, no se instale en capas superiores a los 0.20m.

Ilustración 20

Humectación y aireado del material



Nota. *Los materiales deben contar con una humedad optima que permita alcanzar una densidad de más de 95%. Fotografía propia. Imagen tomada en Vereda Angosturas de Sotaquirá, Boyacá.*

Para la actividad de compactado es importante que cumpla con una densidad mayor al 95%, la cual se puede tomar con alguno de los métodos (modo del globo de hule, cono y arena, densímetro nuclear), para la toma de densidades es recomendable que se hagan en tiempo seco para que no se alteren los resultados.

Ilustración 21

Toma de densidades con densímetro nuclear en afirmado.



Nota. *la toma de densidades con el densímetro nuclear aporta muchas ventajas, precisión, medición inmediata, más tomas en menos tiempo, portabilidad, entre otras. Fotografía propia. Imagen tomada en Vereda Angosturas de Sotaquirá, Boyacá.*

- La compactación se haga en capas de espesor considerable con el fin de conseguir la compactación máxima, ya que si el espesor es muy grueso no va a compactar muy bien y si por el contrario es muy delgada, la capa se va a fracturar.
- Al realizar la compactación longitudinal, comience por los bordes y avance hacia el centro, traslapando no menos de la mitad de la anchura del rodillo compactador en cada pasada. (“1 RELLENO ROCA MUERTA COMPACTADO CON PISÓN DE MANO - Findeter”)
- Si hay precipitación de lluvias, lo más conveniente es no esparcir el material ya que se puede saturar.
- Se debe restringir el tránsito vehicular en la superficie que se está ejecutando hasta que esté debidamente compactado, ya que esto puede generar ahuellamiento.

- Para favorecer el drenaje de las aguas superficiales, la pendiente transversal debe situarse entre el 3% y el 4%.

10.2.3. Subbase

Esta capa va después de la capa de afirmado o mejoramiento, es la que va a servir de soporte para la losa de la placa huella (ilustración 23), además de dar soporte, nos ayuda a conformar el bombeo entre tangentes que viene siendo de un -2%. Esta capa tiene un espesor de compactado de 0.15 m como mínimo (INVIAS, 2017, pág. 12).

Ilustración 22

Capa de subbase



Nota. *En esta capa se debe dejar el desnivel para el bombeo. Fotografía propia. Imagen tomada en Vereda Angosturas de Sotaquirá, Boyacá y Vereda Gachantivá Viejo del municipio de Gachantivá.*

El material de subbase a utilizar debe cumplir con las especificaciones consignadas en el artículo 320 de subbase granular, además, es importante verificar cada jornada los ensayos de granulometría, límite líquido, índice de plasticidad, desgaste en la máquina de los ángeles,

equivalente de arena, ensayo modificado de compactación, CBR de laboratorio según lo recomienda las especificaciones INVIAS.

10.2.3.1. Extendido de subbase

La colocación del material sobre la capa subyacente debe hacerse en una longitud que no exceda los mil quinientos metros (1.500 m) de las operaciones de extensión, ilustración 23, conformación y compactación del material.

Ilustración 23

Extendido de material de subbase



Nota. *El cereado del material debe cumplir un espesor de tal forma que, al compactar, no quede ni muy delgado ni más grueso. Fotografía propia. Imagen tomada en Vereda Angosturas de Sotaquirá, Boyacá y Vereda Gachantivá Viejo del municipio de Gachantivá.*

El material debe ser colocado en un cordón de sección uniforme, donde el supervisor debe verificar su homogeneidad. (“Subbase granular con agregado siderúrgico - INVIAS”).

Además, debe verificar que el material cumpla con la humedad requerida para su debida compactación; de tener mucha humedad se deberá airear; pero si por el contrario está muy

seco se tendrá que humedecer. Asimismo, este debe ser suficiente para que a la hora de compactar el espesor de la capa no sea menor a 0.1 metros ni mayor a 0.2 m con el fin de garantizar la mayor densidad; en dado caso que la capa de subbase sea mayor a 0.2m el material se deberá disponer en dos capas, de tal forma que no sea más delgada de 10 cm ni que sobrepase los 20cm. ("Gestión de Infraestructura Vial"), luego se continua con la etapa de compactación, la cual es conveniente comenzar de las orillas hacia el centro, traslapando, por lo menos, la mitad del ancho del rodillo compactador, garantizando una superficie lisa que permita continuar con la capa superior; si la estructura cuenta con varias capas de subbase es recomendable humedecer para que funcione como un ligante entre las dos capas.

Por último, para la toma de densidades se debe cumplir, al igual que en el afirmado, con un grado de compactación (GC) de más del 95%. *ESPECIFICACIONES INVÍAS 2022* (pág. 320-10)

Ilustración 24

Toma de densidades en subbase.



Nota. *En el desarrollo del ensayo se debe mantener una distancia prudente ya que el equipo emite irradiación. Fotografía propia. Imagen tomada en la Vereda Gachantivá Viejo del municipio de Gachantivá.*

GRADO DE COMPACTACIÓN (GC)			
GC	\geq 95.0%	ACEPTADO	

GC	< 95.0%	RECHAZADO	
----	------------	-----------	--

10.3 PLACA HUELLA EN CONCRETO REFORZADO

Esta estructura está hecha de un concreto reforzado con un ancho de 0.90 m, 1.35 m o 1.80 m y una longitud entre riostras de 2.80 m, que va apoyada sobre una capa de subbase de 0.15 m y que permite la circulación más rápida del tráfico. Los materiales que la conforman son:

- Acero corrugado de refuerzo 420 MPa
- Concreto 21 MPa

10.3.1. Replanteo del eje de la vía

El replanteo del eje se hace con el fin de localizarlas entre tangentes y el PT y PC de la curva, en este punto se recomienda que entre tangentes se realice un abscisado cada diez metros como máximo, y en la transición de las curvas como máximo cada 5 metros.

10.3.2. Encofrado

Antes de vaciar el concreto, se debe realizar el encofrado, el cual se hará con madera o láminas metálicas (ilustración 25). En caso de que se decida hacerlo con madera, se deberá tener en cuenta que la madera no sea propensa a deformarse; para este caso, la mejor opción será la madera de pino, la cual es muy comercial y no se dobla al contacto con el agua.

Para sostener la tabla en el sitio, se clavarán taches de la misma varilla, espaciados de tal forma que la tabla quede alineada y no se deje moldear por la presión del concreto. La formaleta se debe alinear con respecto al eje, que fue materializado con anterioridad por el topógrafo.

Ilustración 25

Encofrado para huella.



Nota. *Se replantea el eje para poder iniciar con el encofrado. Fotografía propia. Imagen tomada en Vereda Güitoque del municipio de Gachantivá.*

10.3.3. Excavaciones manuales.

Las excavaciones manuales que se realizan son para las riostras y la berma cuneta; estas se efectúan luego de la compactación y replanteo del eje de la vía. La excavación de la riostra se hace perpendicular al eje de la vía, con un ancho de 0.2m y una longitud del ancho de la vía más las dos cunetas; su profundidad de excavación es de 0.15m (ilustración 26). La excavación del bordillo va paralela al eje de la vía. La herramienta más conveniente para utilizar es una pica y un palín que no sobrepase los 18 cm para que la excavación no exceda

los 0.20 m de la riostra, esto ayuda a que al momento de fundir no aumente el volumen del concreto ya calculado.

Ilustración 26

Excavación manual para riostras.



Nota. *La profundidad de la excavación debe ser suficiente para que el hierro cumpla con el recubrimiento requerido. Fotografía propia. Imagen tomada en Vereda Angosturas de Sotaquirá,, Boyacá y Vereda Gachantivá Viejo del municipio de Gachantivá.*

El solado de limpieza en las riostras es una de las actividades que muchos constructores omiten, pero es muy importante ya que el acero de las riostras va dispuesto directamente sobre el suelo, el espesor de este solado es de 3 cm y su resistencia a la compresión puede ser de 18 Mpa.

10.3.4. Amarre y figurado de acero:

El acero que se utiliza en este tipo de construcción es el acero corrugado, el cual presenta relieves transversales llamados resaltos, que permiten restringir el desplazamiento

longitudinal dentro de la estructura de concreto que la rodea. Este debe cumplir con las especificaciones del artículo 6409 del INVIAS. El grado de fluencia mínimo para el acero utilizado es de 420 MPa (60.000 psi), el cual se designa como grado 420 (60).

El acero de debe acopiar en una zona donde no se encuentre expuesto a agentes corrosivos dispuesto sobre camillas de madera que lo aíslen del suelo.

Riostra: Las riostras (viga) son elementos perpendiculares al eje de la vía, estas están conformadas por un refuerzo longitudinal de 4 barras de acero #4 y estribos en varilla #2 cada 15cm (INVIAS, 2017).

Ilustración 27

Acero de riostras.

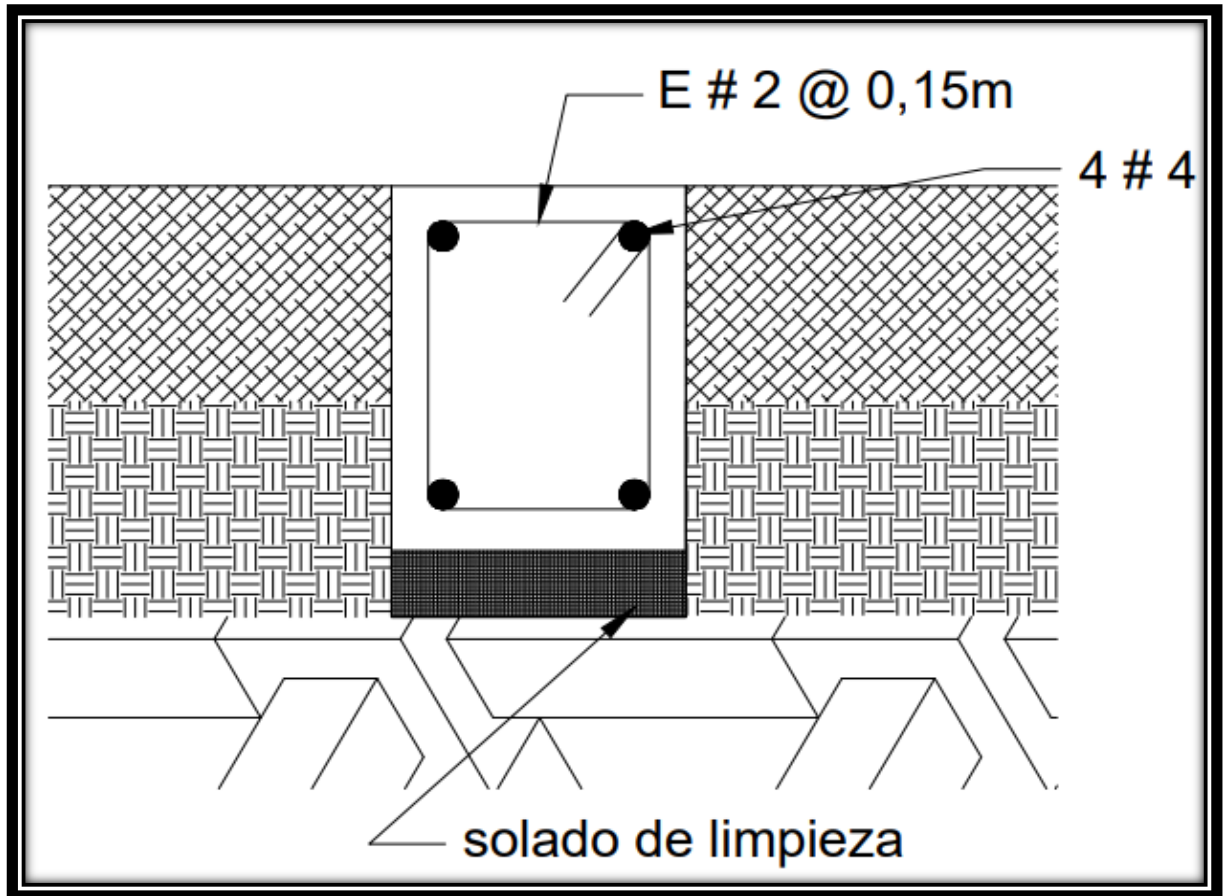


Nota. Aunque la riostra se funde monolítica con la huella, se deben realizar las dilataciones en fresco. Fotografía propia. Imagen tomada en Vereda Angosturas de Sotaquirá, Boyacá y Vereda Gachantivá viejo del municipio de Gachantivá.

Es importante que el acero longitudinal de la riostra lleque a entrelazarse con el acero de refuerzo de la cuneta y el bordillo, esto con el fin de que el bordillo no quede suelto y corra el riesgo de volcarse.

Ilustración 28

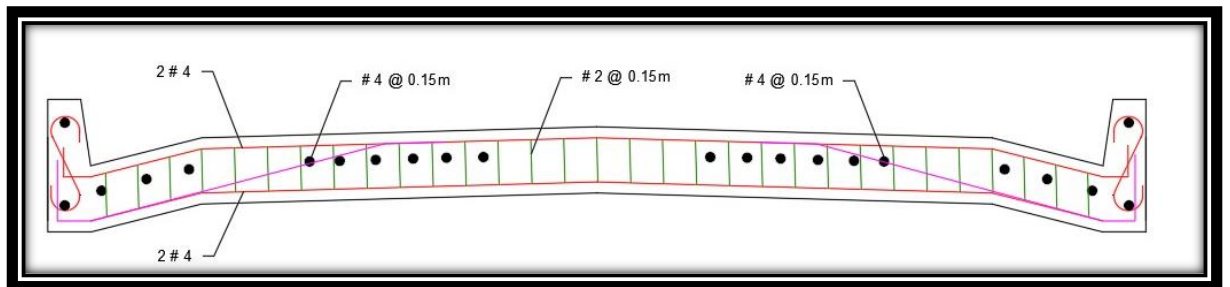
Detalle del corte transversal de riostra.



Nota. La importancia del gancho del estribo. Modificado de la GUÍA DE DISEÑO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE PLACA HUELLAS DEL INVIAS.

Ilustración 29

Detalle de acero de riostra



Nota. *El acero del bordillo debe descansar sobre el acero de la riostra. Fotografía propia.*

Los estribos tendrán unas dimensiones de 15 cm de ancho por 15 cm de alto y sus ganchos tendrán un doble de 135° apuntando al núcleo del concreto quedando anclados a este (ilustración 30).

Ilustración 30

Gancho de los estribos para riostras

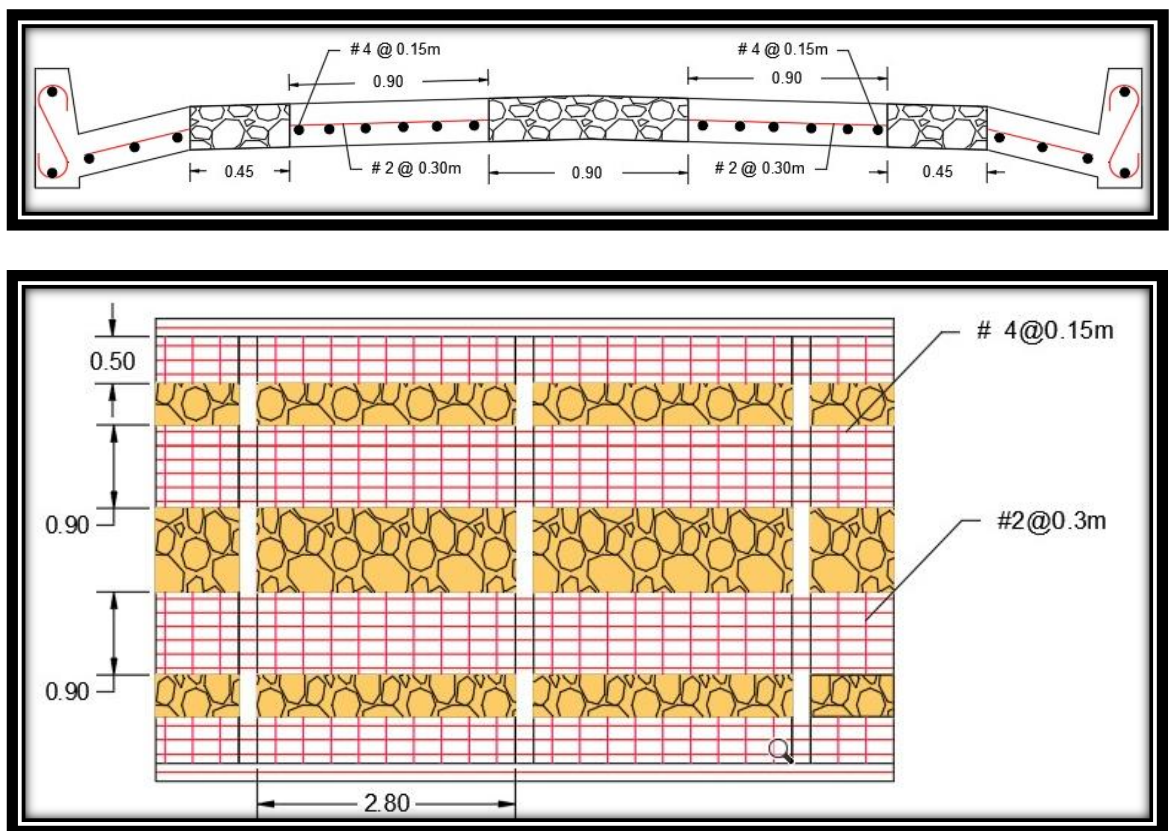


Nota. *Es importante que en el armado de la riostra los ganchos de los estribos vayan alternados en forma de espiral. Fotografía propia. Imagen tomada en Vereda Angosturas de Sotaquirá, Boyacá y Vereda Gachantivá Viejo del municipio de Gachantivá.*

Acero longitudinal y transversal de huella: El refuerzo longitudinal se dispone sobre la sub-base, paralelo al eje de vía, con una separación entre barras #4 de 0.15 m según el diseño asumido; de igual forma, el refuerzo transversal se dispone una barra #2 cada 30 m INVIAS,2017

Ilustración 31

Corte transversal de detalle de acero.



Nota. El acero de la cuneta y huella se deben encontrar en la mitad del espesor de la losa. Modificada de la GUÍA DE DISEÑO.

Estas barras se amarran de tal forma que no haya riesgo de que se corran. La malla formada entre los dos refuerzos se alejará de la rasante de la sub-base con separadores de este

concreto donde esta tendrá un espesor de tal forma que quede en la mitad de la losa, esto ayudará a que soporte esfuerzos negativos y positivos. (INVIAS, 2017, pág. 39)

En cuanto a los traslapes, lo que sugiere la norma es manejar los traslapes en la segunda o tercera parte entre riostras, también sugiere que máximo el 50% de los traslapos queden en la misma sección. (INVIAS, 2017)

Ilustración 32

Amarrado del acero

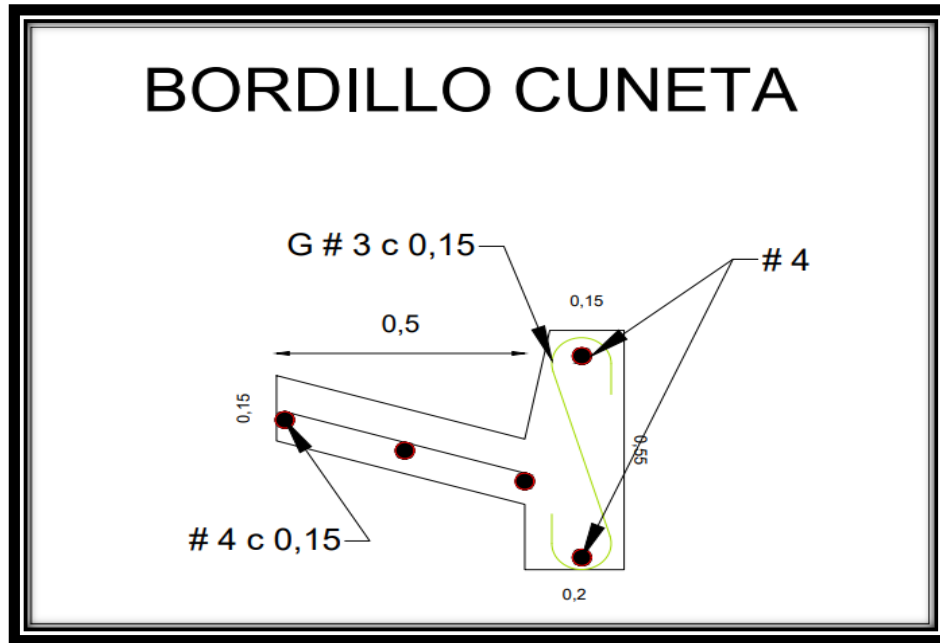


Nota. *El amarrado del acero debe de hacerse de tal forma que con algún movimiento no se suelte o se corra. Fotografía propia. Imagen tomada en Vereda Güitoke Viejo del municipio de Gachantivá.*

Acero de cuneta y bordillo: Estos elementos no son menos importantes que la placa huella, ya que la cuneta permite que el vehículo también se estacione permanentemente por fallas mecánicas o para permitir el paso de otro, debido a esto, el refuerzo no debe ser menos inferior al de la placa huella.

Ilustración 33

Corte transversal de cuneta y bordillo.



Nota. Ilustración modificada de la GUÍA DE DISEÑO DE PLACA HUELLA.

Para la cuneta se coloca un refuerzo longitudinal $\# 4$ cada $0,15$ m y un refuerzo transversal $\# 2$ cada $0,30$ m, (INVIAS, 2017)

Para el refuerzo longitudinal de los bordillos se colocan dos barras $\# 4$ a cada extremo de un fleje tipo S, que servirá como el refuerzo vertical, este refuerzo va en acero $\# 3$ cada $0,15$ M.

Ilustración 34

Acero del bordillo.



Nota. *El acero del bordillo también se debe encontrar separado de la subbase, manteniendo el recubrimiento mínimo. Fotografía propia. Imagen tomada en Vereda Angosturas de Sotaquirá, Boyacá y Vereda Gachantivá Viejo del municipio de Gachantivá.*

Es necesario disponer de separadores para garantizar que el acero quede ubicado en el centro (ilustración 35).

Ilustración 35

Separadores del acero



Nota. Las imágenes anteriores son un ejemplo de cómo se puede separar el acero de la superficie del suelo. Fotografía propia. Imagen tomada en Iglesia del Topo.

El traslape de las barras corrugadas, es una forma de prolongar el acero a lo largo de un elemento, este puede realizarse con un conector mecánico o en su defecto traslapado que es la forma más común en la que se hace. La longitud de este traslape va en función a muchas variables, aunque en la construcción de placa huellas por manejarse un acero de ½” se adoptó un traslape de 0.60m. En cuanto al sitio del traslape, es recomendable que no se efectúen más del 50% en un mismo lugar.

10.3.5. Concreto hidráulico

Ilustración 36

Concreto hidráulico



Nota. Material mezclado en obra. Fotografía propia. Imagen tomada en Vereda Angosturas de Sotaquirá, Boyacá.

Es una mezcla de cemento portland, grava, arena y agua, su resistencia varia según la necesidad y su dosificación, “calidad de los materiales y tiempo de fraguado, entre otros”

Antes de iniciar el proceso de fundido, se debe hacer un diseño de mezcla con los materiales que se van a utilizar, el cual nos dará la dosificación necesaria para alcanzar la resistencia requerida.

En caso de querer cambiar algún material, se debe de realizar un nuevo diseño de mezcla que cumpla con las especificaciones requeridas.

Los materiales pétreos por utilizar tienen que estar cubiertos y acopiados de forma tal que no sufran ninguna contaminación de materiales vegetales ni se mezcle la arena con la grava. Dicho árido debe producirse en su mayor parte por trituración de roca o grava, o por una combinación de ambas; sus trozos estarán exentos de partículas planas, alargadas, blandas o desintegrables en exceso y serán limpios, resistentes y duraderos. Debe estar desprovisto de cualquier material indeseable que pueda perjudicar la calidad de la mezcla, como suciedad, trozos de arcilla o polvo. Su granulometría debe estar sujeta a lo dicho en la *NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS* (pag.500-4)

En lo posible, la grava y arena no deben estar mezclados en forma de mixto pues es muy difícil cuantificar cada uno de los materiales.

Si por alguna razón el cemento ha fraguado parcialmente o contiene terrones del producto endurecido, no podrá ser utilizado. Tampoco se permitirá el empleo de cemento extraído de bolsas usadas en jornadas anteriores. (INVIAS, 2012, págs. 500-1,2)

El cemento es un material que requiere mucho cuidado y no se puede exponer al agua ni a la humedad mientras se esté almacenando; por esto, es importante contar con un campamento o bodega cerca de la obra.

Ilustración 37

Campamento para almacenar materiales.



Nota. *Los materiales como el cemento deben ponerse sobre camillas que aíslen la humedad. Fotografía propia. Imagen tomada en Vereda Gachantivá Viejo del municipio de Gachantivá.*

Si la mezcla es realizada en obra, los encargados de esta actividad deben contar con herramienta que permitan medir de manera muy exacta cada uno de los materiales, pero si por la mezcla es pedida de planta, el encargado tendrá que cubicar de manera muy exacta para no tener desperdicios ni hacer falta.

Ya que el mixer no puede llegar hasta el punto de vaciado, se dispondrá de un botadero donde no se contamine la mezcla.

Antes de vaciar el concreto, se deberá humedecer la superficie y enseguida se coloca el concreto, iniciando por la huella y riostras de ser posible, con el fin de ganar tiempo en el

curado. Este concreto se deberá vibrar de una forma adecuada para que se eliminen los vacíos que se encuentran dentro, luego de esto se revoca con un listón metálico de tal forma que se tenga una superficie lisa.

Ilustración 38

Vibrado del concreto.



Nota. *El vibrado del concreto garantiza mayor resistencia. Fotografía propia. Imagen tomada en Vereda Angosturas de Sotaquirá, Boyacá.*

Luego del revoque se inicia con el terminado, que puede ser un estriado que vaya con caída hacia la cuneta para ayudar a drenar el agua, además, permite que las ruedas de los vehículos tengan más agarre.

Ilustración 39

Terminado del concreto.



Nota. Es importante hacerlo inmediatamente después del raseo. Fotografía propia. Imagen tomada en Vereda Angosturas de Sotaquirá, Boyacá.

Luego de esto se continúa fundiendo la cuneta y el bordillo, el cual se hará de forma monolítica para evitar la junta entre cuneta y bordillo, con el fin de evitar que por la junta ingrese agua y afecte la estructura del suelo produciendo volcamientos del bordillo.

Ilustración 40

Fundido de cuneta y bordillo



Nota. *Se funde primero la cuneta y sin esperar tanto se funde el bordillo. Fotografía propia. imagen tomada en Vereda Angosturas de Sotaquirá, Boyacá y Vereda Gachantivá Viejo del municipio de Gachantivá.*

10.3.6. Piedra pegada

La piedra pegada, no es más que un concreto ciclópeo compuesto por un 40% de áridos y un 60% de hormigón, deberá tener las mismas características que el hormigón utilizado para la huellas y cunetas. El tamaño máximo para el árido grueso es entre ocho y doce centímetros (0,08 y 0,12 m). Y debe cumplir la prueba de desgaste en la máquina de los Ángeles.

Ilustración 41

Colocación de la piedra pegada



Nota. *En el proceso de fundido del ciclópeo, evitar manchar la huella. Fotografía propia. Imagen tomada en Vereda Angosturas de Sotaquirá, Boyacá y Vereda Gachantivá Viejo del municipio de Gachantivá.*

El agregado ciclópeo consistirá en roca triturada o cantos rodados de alta calidad. Lo ideal es que el árido sea anguloso y tenga tendencia a la forma cúbica. La dimensión de la piedra no debe sobrepasar el grosor de la losa ni tampoco llevar rocas muy pequeñas.

Todo el material a utilizar en el ciclópeo no debe presentar un desgaste mayor al 50% al ensayo de los ángeles grado E según la norma de ensayo INV E-219 (VÍAS, 2012, págs. 630-7)

Para su colocación, una vez fundidas y fraguadas las losas, la riostra y la cuneta circundante, se colocará la piedra aglomerada sobre la subbase granular.

El extendido del ciclópeo o piedra pegada, se hace sobre una capa de hormigón de no más de 0.05 metros, el cual se hace piedra a piedra a mano. A continuación, se verterá el hormigón liso restante y, por último, se añadirá el agregado ciclópeo. En cualquier caso, la capa debe ser siempre lo más uniforme posible.

Las juntas o dilataciones se pueden crear en concreto fresco o en concreto endurecido. En el primer caso se puede utilizar un equipo con cuchillas vibratorias o dispositivos para la inserción de tiras continuas de plástico, en el caso de que el concreto ya haya alcanzado la edad de curado, las juntas se deben realizar con cortadoras y discos diamantados de corte (INVIAS, 2012, págs. 500-19,20)

Las juntas deben ser selladas para evitar el ingreso de materiales y de agua, esto se debe hacer con sello de silicona o sello de aplicación en caliente.

Ilustración 43

Construcción de junta sobre concreto fresco.



Nota. *La profundidad de la junta depende de lo fresco que este el concreto.
Fotografía propia. imagen tomada en Vereda Gachantivá Viejo del municipio de Gachantivá.*

Es importante, después de terminar todo el proceso de alistado del concreto de la huella, cubrir muy bien toda la superficie de concreto para prevenir daños por la lluvia,

insolación directa, el viento y demás factores en las primeras horas de fraguado. Esto se puede hacer también antes con un toldillo, como se muestra en la imagen.

Ilustración 44

Toldillo para proteger el concreto del agua.



Nota. *El toldillo puede proteger el acabado final del concreto del agua, pues puede dañarlo. Fuente anónima.*

Curado del concreto: La selección del tipo de curado, así como el momento adecuado para su aplicación, dependerán de las características específicas del proyecto, tales como las condiciones ambientales y el tipo de mezcla (INVIAS, 2012, pág. 38)

Ilustración 45

Hidratación en el proceso de fraguado.



Nota. *Es importante estar hidratando constantemente. Tomado de INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN*

Cuando el concreto empieza a perder su brillo, es momento de iniciar con el curado, debe dejarse curar durante un mínimo de siete (7) días y, si es factible, durante un máximo de diez (10) días en todas las superficies libres, incluidos los bordes de las losas. No obstante, a la luz de los resultados de las muestras del hormigón utilizado para construir el pavimento, el Examinador podrá modificar este plazo. (INVIAS, 2012, pág. 38)

10.5 Puesta en servicio

Con el curado del concreto se termina el proceso constructivo de la placa huella. Antes de ponerla en servicio, es necesario realizar el debido aseo y retirar la rebaba de concreto en elementos donde se presente. También es importante resaltar que el tráfico de vehículos no

será posible hasta que todos los elementos hayan completado el período de curado, que es de 28 días y no hay ningún aditivo para acelerar el proceso.

11. CONCLUSIONES

Cotejando la información consultada con lo observado en campo se pudo concluir que los procesos constructivos como, la realización de la mezcla, instalación del acero, curado del concreto entre otros, se vienen ejecutando de forma inadecuada.

La indagación realizada en la guía de diseño de pavimentos con placa huellas, no se encontró ningún espacio dedicado al manejo de los materiales ni al proceso constructivo.

Se puede concluir que la mayor parte de las patologías que se presentan en las placas huellas se dan por errores constructivos y no por diseño.

Este documento servirá de apoyo para la capacitación del personal que no tiene los conocimientos técnicos para la construcción de placas huellas.

12. REFERENCIAS

ARQUITECTUTRA, I. Y. (19 de JULIO de 2022). Obtenido de <https://postgradoingenieria.com/topografia/>

Cárdenas, Y. A. (2000). *Tratamiento de agua Coagulación y floculación* . Lima.

CEMEX. (29 de JUNIO de 2023). Obtenido de <https://www.cemexcolombia.com/cotizar>

CEMIX. (2023). Obtenido de <https://www.cemix.com/arena-para-construccion-que-es/>

COLOMBIA, T. (21 de FEBRERO de 2019). Obtenido de TODA COLOMBIA.: <https://www.todacolombia.com/departamentos-de-colombia/boyaca/economia.html>

CONCREPLUS. (24 de ABRIL de 2020). Obtenido de <https://www.concreplus.com.mx/pavimento-concreto-hidraulico/#:~:text=El%20concreto%20hidr%C3%A1ulico%20es%20un,otros%20componentes%20dependiendo%20del%20proyecto.>

CONTRERAS AVILA, J. F., & GARCÍA GARCÍA, A. E. (2019). *CORRELACIÓN DEL PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO (P.D.C.) CON*. bogota d.c.

DANE, G. (28 de MARZO de 2023). *DANE*. Obtenido de <https://www.dane.gov.co/index.php/component/search/?searchword=boyac%C3%A1&searchphrase=any&ordering=newest&limit=30&start=0>

DEACERO. (9 de JUNIO de 2022). Obtenido de <https://blog.deacero.com/que-varilla-necesito-para-mi-construccion>

DEFINICION.DE. (2008). Obtenido de <https://definicion.de/localizacion/>

Equipos, T. (2023). *TERRA EQUIPOS.* Obtenido de <https://terraequipos.com/recomendaciones-vibrado-del-concreto/#:~:text=Un%20correcto%20vibrado%20del%20concreto%20es%20primordial%20para%20eliminar%20las,mejor%20acabado%2C%20durabilidad%20y%20resistencia.>

Gobernación de Boyacá . (2012). *www.boyaca.gov.co.* Obtenido de <https://www.boyaca.gov.co/localizacion/#:~:text=Boyac%C3%A1%20cuenta%20con%2023.189%20Km2,de%20la%20regi%C3%B3n%20Andina%20Colombiana.&text=El%20Departamento%20de%20Boyac%C3%A1%20se,consiguiente%2C%20su%20latitud%20es%20norte.>

INSTITUTO NACIONAL DE VIAS . (2022). *ESPECIFICACIONES GENERALES DE CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS.*

INVIAS. (NOVIEMBRE de 2012). PAVIMENTO DE CONCRETO HIDRÁULICO ART. 500. COLOMBIA.

INVIAS. (30 de OCTUBRE de 2017). GUÍA DE DISEÑO DE PAVIMENTOS CON PLACA HUELLA. COLOMBIA.

NORMA TÉCNICA COLOMBIANA. (23 de SEPTIEMBRE de 2015). NTC 2289. *BARRAS CORRUGADAS Y LISAS DE ACERO DE BAJA ALEACIÓN, PARA REFUERZO DE CONCRETO.* COLOMBIA.

ORROLA, H. (2021). Obtenido de
<https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/4877/1/7646.pdf>

RUBIBLOG. (11 de OCTUBRE de 2022). *RUBIBLOG*. Obtenido de
<https://www.rubi.com/es/blog/cemento-portland-que-es/>

VÍAS, I. N. (2012). ARTICULO 630-13. COLOMBIA.

WIKIPEDIA. (22 de junio de 2023). *WIKIPEDIA la encicloedia libre*. Obtenido de
https://es.wikipedia.org/wiki/Boyac%C3%A1#cite_note-8