



**CONFORMACIÓN Y CONSOLIDACIÓN DE UNA HERRAMIENTA PARA LA  
REVISIÓN DE ENSAYOS E INFORMES REALIZADOS A LOS MATERIALES  
COMPONENTES DE UNA VÍA PARA CUMPLIR CON LOS ESTÁNDARES DE  
CALIDAD IMPUESTOS POR LA NORMA INVIAS**

Andrés Román Cardona

Trabajo de grado  
como requisito para optar al título de:  
Ingeniero Civil.

Asesora  
Claudia Helena Muñoz Hoyos  
Ing. Civil, MSc., PhD. Eng.

Universidad de Antioquia  
Facultad de Ingeniería, Escuela Ambiental  
Pregrado, Ingeniería Civil  
Medellín, Colombia

2023

---

Cita

(Román Cardona, 2023)

---

**Referencia**  
**Estilo APA 7 (2020)**

Román Cardona, A. (2023). *Conformación y consolidación de una herramienta para la revisión de ensayos e informes realizados a los materiales componentes de una vía para cumplir con los estándares de calidad impuestos por la norma INVIAS* [Trabajo de grado profesional]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.

---



Centro de Documentación Ingeniería (CENDOI)

**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 Cesar Saldarriaga Molina.

**Jefe departamento:** Diana Catalina Rodríguez Loaiza.

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.

## **Dedicatoria**

Dedico este proyecto a mi familia, por ser el motor de mi carrera universitaria e inculcarme los valores que debe tener un buen ingeniero. A la Universidad de Antioquia, por todo lo que me brindó y por aportar en el forjamiento de la persona que soy ahora, tanto a nivel personal como a nivel intelectual. A mis amigos, porque siempre han creído en mi potencial y por darme la fuerza para afrontar los retos que tuve durante mi pregrado. A la docente Claudia Helena Muñoz, por aceptar ser mi asesora de prácticas y confiar en la propuesta del proyecto presentado. Finalmente, pero no menos importante, dedicar este trabajo a Devimed S.A., por toda la ayuda e información prestada para hacerlo realidad y esperando que esta herramienta les pueda ser de mucha utilidad en las obras que tengan planificadas para el futuro.

## **Agradecimientos**

Quiero agradecer a mi familia, principalmente a mis padres, por ser siempre ese apoyo incondicional y por ser el motivo que me impulsa a mejorar cada día más. A mis amigos, por estar en todo momento y ayudarme cuando más lo necesitaba. A mis profesores, por brindarme todo su conocimiento de la mejor manera posible. A la profesora Claudia Helena Muñoz, por ser parte fundamental de este proceso, por tenerme paciencia y aconsejarme cuando lo requerí, porque, más que una docente, siempre fue una persona maravillosa conmigo. A Devimed S.A. y su personal, por darme la oportunidad de trabajar, adquirir experiencia y aprender diariamente de cada uno de ellos. Al ingeniero Juan Pablo Ospina, por asesorarme, por enseñarme parte de su conocimiento en obra y por estar constantemente a disposición de ayudarme en cualquier inquietud que tuviese. Por último, agradecer a cada persona que hizo parte de mi práctica académica, por su acompañamiento y por tener una actitud siempre dispuesta para hacer posible este proyecto.

## Tabla de contenido

Resumen	7
Abstract	8
Introducción	9
1 Objetivos	11
1.1 Objetivo general	11
1.2 Objetivos específicos	11
2 Marco teórico	12
2.1. Limos	13
2.2. Afirmado	13
2.3. Base granular	15
2.4. Mezcla asfáltica	18
2.5. Concretos	24
3 Metodología	25
3.1. Revisión y recolección del material bibliográfico	25
3.2. Consolidación de ensayos pertinentes en materiales de vía para la elaboración de la base de datos	25
3.3. Elaboración de la base de datos para la revisión de ensayos hechos en materiales de vía	25
3.4. Programación de la base de datos para la automatización del ingreso y la organización de la información	26
3.5 Pruebas de la base de datos para la identificación de errores y posible adiconamiento de información faltante	26
3.6. Corrección de errores y finalización de la base de datos	26
4 Resultados	27
5 Conclusiones	37
Referencias	38

## Lista de tablas

<b>Tabla 1</b> Franjas granulométricas del material de afirmado	14
<b>Tabla 2</b> Requisitos de los agregados para afirmados	14
<b>Tabla 3</b> Verificaciones periódicas de la calidad del material de afirmado	15
<b>Tabla 4</b> Uso típico de las diferentes clases de base granular	16
<b>Tabla 5</b> Franjas granulométricas del material de base granular	16
<b>Tabla 6</b> Requisitos de los agregados para bases granulares	17
<b>Tabla 7</b> Verificaciones periódicas de la calidad del material de base granular	18
<b>Tabla 8</b> Franjas granulométricas para mezclas asfálticas en caliente de gradación continua	19
<b>Tabla 9</b> Criterios para el diseño preliminar de la mezcla asfáltica en caliente de gradación continua por el método Marshall	20
<b>Tabla 10</b> Requisitos de los agregados para mezclas asfálticas en caliente de gradación continua	21
<b>Tabla 11</b> Ensayos de verificación sobre agregados para mezclas en caliente de gradación continua	22
<b>Tabla 12</b> Tipo de mezcla por utilizar en función del tipo y espesor compacto de la capa	23
<b>Tabla 13</b> Grado de compactación mínimo CGmin	23
<b>Tabla 14</b> Datos generales del proyecto vial-Excel	27
<b>Tabla 15</b> Índice de la base de datos-Excel	28
<b>Tabla 16</b> Nivel de compactación de limos-Excel	28
<b>Tabla 17</b> Granulometría del material de afirmado-Excel	29
<b>Tabla 18</b> Requisitos de los agregados para afirmados-Excel	30
<b>Tabla 19</b> Nivel de compactación de base granular: ejemplo-Excel	32
<b>Tabla 20</b> Análisis de testigos de pavimento-criterios de compactación y espesor: ejemplo-Excel	34
<b>Tabla 21</b> Resistencia de cilindros de concreto a la compresión: ejemplo-Excel	35

## Lista de figuras

<b>Figura 1</b> Diseño de la estructura de pavimento, Mejoramiento de la conexión vial La Ceja-Rionegro	12
<b>Figura 2</b> Informe 132 de densidades-Tramo Bomba Transunidos: 1ra capa de base granular	30
<b>Figura 3</b> Informe 133 de densidades-Tramo Bomba Transunidos: 2da capa de base granular	31
<b>Figura 4</b> Informe DV 09-230011R de núcleos de pavimento-Tramo San Sebastián: 10 de enero de 2023	33
<b>Figura 5</b> Informe DV 09-220767R de cilindros de concreto hidráulico-Tramo Heliconias; estructuras: zapata y vástago de muro de contención	35

## Resumen

La finalidad que tiene este proyecto es la de crear y consolidar una base de datos, con la cual sea posible revisar los informes de calidad correspondientes a algunos de los materiales usados en la construcción de vías, para, de esta manera, hacer más fácil la recopilación y administración de la información referente a la calidad en la obra en la que se esté trabajando. Dicho proyecto, está basado en la forma en la que Devimed S.A. construye sus carreteras, ya que es allí donde se realizan las prácticas académicas.

Para el desarrollo de la base de datos, es necesario realizar una selección de los materiales más significativos que son usados en obra, más específicamente en la estructura de las vías (Base granular, afirmado, mezcla asfáltica, etc.), y que son pertinentes para verificar en ellos todo lo relacionado al área de calidad. A partir de allí, se recopilan los ensayos que son necesarios en dichos materiales (Granulometría, densidad, compactación, etc.), según las especificaciones de construcción de carreteras de la norma Invias 2013 (norma con la que actualmente trabaja la empresa). Teniendo presente lo anterior, se construye la base de datos en el programa Excel, por medio de sus funciones y ecuaciones básicas de programación, con la finalidad de obtener una herramienta que, con la información contenida en los informes de laboratorio obtenidos de los ensayos, pueda verificar si cumplen con cada uno de los parámetros de calidad que se deseen conocer. De esta manera, se hace factible una forma más sencilla de concretar la información de calidad en los materiales en un solo documento o archivo.

*Palabras clave:* Base de datos, calidad en la obra, ensayos de laboratorio, informes de laboratorio, materiales de construcción de vías.

### **Abstract**

The Project purpose is to create and consolidate a database, with which it is possible to review the quality of the reports corresponding to some materials used in the construction of roads, so, in this way, the collection and administration of information are easier by referring to the quality of the construction where the work is being done. This project is based on the way in which Devimed S.A. builds its roads since it is there where the internship takes place.

For the development of the database, it is necessary to make a selection of the most significant materials that are used in the construction site, specifically in the structure of the roads (granular base, road-surfacing, asphalt mixture, etc.), and that can be relevant to verify everything related to the quality area from them. Since this part, the necessary tests for those materials (Granulometry, density, compaction, etc.) are compiled, according to the road construction specifications of the Invias 2013 standard (the standard with which the company currently works). Taking into account the above, the database is built in Excel, through its functions and basic programming equations, in order to obtain a tool that can verify if they pass each of the quality parameters that you want to know, with the information obtained from the test's reports of the laboratory. With that, a simpler way of concretizing the quality information on the materials in a single document or file becomes feasible.

*Keywords:* Database, quality in the construction site, laboratory tests, laboratory reports, road construction materials.



## Introducción

Devimed S.A., lugar donde se realiza la práctica académica, es un concesionario vial fundado en 1996, dedicado a la construcción, mantenimiento y mejoramiento de carreteras por diferentes partes del departamento de Antioquia, contando entre ellas con la administración de la autopista Medellín- Bogotá en el tramo que va desde el municipio de Bello hasta el municipio de El Santuario. A pesar de que es una empresa especializada en vías de primera generación, tiene la capacidad para afrontar el desarrollo de vías de cuarta generación.

Con motivo de brindarle a la empresa un instrumento que sirva y ayude en el tema de calidad, se concretó una herramienta con la que es posible revisar y presentar la información de dicha sección de una forma rápida y concisa. Por ello, este informe tiene como propósito exponer y explicar al lector el proyecto de práctica realizado durante el periodo en el que se efectuaron éstas, teniendo total correlación con las funciones hechas en dicho tiempo. Ya que las labores efectuadas en el lapso de los meses trabajados se hicieron, justamente, en el área de calidad en la obra (sección de construcción), se tomó la decisión de construir una herramienta que permita la revisión de los informes de laboratorio resultantes de los ensayos realizados a los materiales más significativos que componen la estructura de una vía, seleccionando los siguientes: limo, afirmado, base granular, mezclas asfálticas y concretos.

A partir de los materiales antes mencionados, se hace una estructuración de la base de datos teniendo en cuenta el diseño de la estructura de pavimento del proyecto de carretera que se esté realizando y los elementos de concreto que sean representativos en esta (andenes, canales, etc.). Para su ejemplificación, evaluación y posterior aceptación, la base de datos se enfoca en la obra mejoramiento vial doble calzada La Ceja-Rionegro (Un proyecto vial en doble calzada de 1,4 kilómetros de longitud y ubicada entre el Centro Comercial Viva La Ceja y la glorieta El Yegüerizo), puesto que fue donde se pasó, casi en su totalidad, el tiempo de la práctica académica. Así pues, se procede a seleccionar los ensayos que se evalúan en la base de datos, teniendo en cuenta sus especificaciones en la normativa colombiana para la construcción de carreteras: INVIAS 2013.; se programa en Excel de forma que se puedan ingresar valores de informes de laboratorio correspondientes a los ensayos realizados y, de manera sencilla, arroje resultados de modo que satisfaga o no la norma aplicada y programada.

Como resultado, se obtiene la base de datos pretendida con la que es posible recopilar y revisar la información de calidad, en materiales para carreteras, mencionada anteriormente, a manera de chequeo y de una forma fácil y automatizada para su uso y, posiblemente, expansión, de ser requerida. Desde el punto de vista de la calidad en la obra, es una manera simplificada de chequear y presentar información de cumplimiento a los ensayos de laboratorio.

## **1 Objetivos**

### **1.1 Objetivo general**

Crear y desarrollar una base de datos que permita revisar y verificar los resultados de los ensayos realizados a los materiales usados para la construcción y/o mejoramiento de carreteras, teniendo como guía la norma colombiana para la construcción de vías (Invias).

### **1.2 Objetivos específicos**

- Concretar, según la norma Invias usada, los ensayos necesarios y los materiales incluidos en la construcción de vías para la elaboración de la base de datos.
- Automatizar, por medio de comandos, fórmulas y ecuaciones simples de la herramienta Excel, el ingreso y la evaluación de la información presente en la base de datos.
- Corroborar que la evaluación de los datos ingresados en la base concuerde con el cumplimiento de las especificaciones técnicas presentes en la norma referenciada.
- Explicar de manera concisa la relación entre el proyecto desarrollado y las labores efectuadas en el periodo de prácticas académicas.

## 2 Marco teórico

Inicialmente, para conocer los ensayos que son aplicados en la base de datos de Excel, se muestra gráficamente el diseño de pavimentos en el que se basan los materiales que son incluidos en el archivo, sumándole a estos las estructuras de concreto que se puedan encontrar en la construcción de la vía ejemplificada y mencionada con anterioridad:

### Figura 1

*Diseño de la estructura de pavimento, Mejoramiento de la conexión vial La Ceja-Rionegro*

DISEÑO DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO	ESPESOR
PAVIMENTO MDC- 19	8 cm
PAVIMENTO MDC- 25	8 cm
2DA CAPA BASE GRANULAR	30 cm
1RA CAPA BASE GRANULAR	30 cm
AFIRMADO Y/O ROCA	

*Fuente:* Devimed S.A.

Prosiguiendo con lo anterior, se mencionan a continuación los materiales de construcción de carreteras que son incluidos en la base de datos, teniendo en cuenta la **Figura 1**:

- Limos.
- Afirmado: Tipo A-38 y A-25.
- Bases granulares: de gradación gruesa tipo BG-40 y BG-27, y de gradación fina tipo BG-38 y BG-25.
- Mezclas asfálticas densas en caliente de gradación continua: MDC-19 y MDC-25.
- Concretos, principalmente de resistencias 21MPa y 28MPa.

De esta manera, se exponen y explican brevemente los ensayos que se incluyen en la base de datos para, aplicando la norma INVIAS mencionada, entender cómo es su funcionamiento y comprender la teoría aplicada al archivo.

## 2.1. Limos

Este material, en algunas ocasiones es requerido para capas inferiores a la subrasante, como por ejemplo para muros de tierra armada y/o para alguna capa que se encuentre debajo de determinada capa de afirmado. En este caso, se usa la misma sección del INVIAS 2013 que menciona los aspectos de calidad en el afirmado cuando este es usado en la estructura de la vía en la que se esté trabajando. En los limos se practica el ensayo de densidades, sea con el cono de arena o el densímetro nuclear, para observar el comportamiento del porcentaje de compactación del suelo, verificando que cumpla con las especificaciones de la norma y, de esta manera, poder instalar una capa de afirmado encima de la capa liberada.

Así pues, “se define como “lote”, que se acepta o rechaza, el menor volumen que resulte de emplear los siguientes criterios: 500 metros lineales de capa compactada, 3500 metros cuadrados de capa compactada o la obra ejecutada en una jornada laboral” (Instituto Nacional de Vías [INVIAS], 2013). De este modo, se aceptan los porcentajes de compactación que sean mayores o iguales al 95%, igual que el promedio del total de ensayos realizados, teniendo un mínimo de 5 de estos por lote, como lo especifica la sección 311.5.2.2.2 del artículo 311-13 de la norma. Hay que tener presente que los sitios de ensayo en el tema de densidades, ya sea para limo, afirmado o base granular, son de elección aleatorio para garantizar que el porcentaje de compactación se mantenga uniforme en toda la capa examinada.

## 2.2. Afirmado

Se usa para capas de subrasante, como se puede observar en la **Figura 1**, antes de llegar a las capas de subbase o base granular, según sea el diseño de la estructura de vía. Para este material, también se realiza el ensayo de densidades, usando el mismo método y las mismas especificaciones descritas anteriormente para limo. Por otro lado, cada vez que se hace una caracterización de afirmado, es de vital importancia observar el comportamiento de su granulometría y procurar que sí cumpla los rangos impuestos por la norma, como se puede comprobar en la **Tabla 1**:

**Tabla 1**

*Franjas granulométricas del material de afirmado*

TIPO DE GRADACIÓN	TAMIZ (mm / U.S. Standard)							
	37.5	25.0	19.0	9.5	4.75	2.00	0.425	0.075
	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	No. 4	No. 10	No. 40	No. 200
% PASA								
A-38	100	-	80-100	60-85	40-65	30-50	13-30	9-18
A-25	-	100	90-100	65-90	45-70	35-55	15-35	10-20
Tolerancias en producción sobre la fórmula de trabajo (±)	0 %	7 %		6 %			3 %	

Fuente: Especificaciones INVIAS 2013, Art. 311-13 Tabla 311-2.

Hay que tener presente que se debe ser específico en el tipo de afirmado que se está examinando, puesto que esto influye en las franjas granulométricas y en el cumplimiento de sus requerimientos, según sea A-38 o A-25. Adicionalmente, es importante que los agregados del material cumplan con los ensayos de laboratorio y requisitos contenidos en la **Tabla 2**:

**Tabla 2**

*Requisitos de los agregados para afirmados*

CARACTERÍSTICA	NORMA DE ENSAYO INV	REQUISITO
<b>Dureza (O)</b>		
Desgaste en la máquina de los Ángeles (Gradación A), máximo (%) - 500 revoluciones	E-218	50
<b>Durabilidad (O)</b>		
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfatos, máximo (%) - Sulfato de sodio - Sulfato de magnesio	E-220	12 18
<b>Limpieza (F)</b>		
Límite líquido, máximo (%)	E-125	40
Índice de plasticidad (%)	E-125 y E-126	4 - 9
Contenido de terrones de arcilla y partículas deleznales, máximo (%)	E-211	2
Contracción lineal	E-127 o E-129	Tabla 311 - 3
<b>Resistencia del material (F)</b>		
CBR (%): porcentaje asociado al grado de compactación mínimo especificado (numeral 311.5.2.2.2); el CBR se medirá sobre muestras sometidas previamente a cuatro días de inmersión.	E-148	≥ 15

Fuente: Especificaciones INVIAS 2013, Art. 311-13 Tabla 311-1.

Todos los ensayos presentes en la **Tabla 2** son necesarios cuando lo que se requiere es una caracterización completa del afirmado. En la base de datos que se desarrolla, existe la posibilidad de evaluar los ensayos de laboratorio que se hacen por periodicidad, puesto que estos son los que

se deben recopilar y presentar con mayor frecuencia y son los más imprescindibles en el área de calidad en la obra. Dichos ensayos son los siguientes (ver **Tabla 3**):

**Tabla 3**

*Verificaciones periódicas de la calidad del material de afirmado*

CARACTERÍSTICA	NORMA DE ENSAYO INV	FRECUENCIA
Granulometría	E-123	Una (1) vez por jornada
Límite líquido	E-125	Una (1) vez por jornada
Índice de plasticidad	E-125 y E-126	Una (1) vez por jornada
Contracción lineal	E-127	Una (1) vez por semana
Ensayo modificado de compactación	E-142	Una (1) vez por semana

*Fuente:* Especificaciones INVIAS 2013, Art. 311-13 Tabla 311-4.

Por medio de todo lo expuesto anteriormente, se cumple con la calidad del material de afirmado y, del mismo modo, es posible revisar este contenido en la base de datos para poder, entre otras cosas, consolidar la información.

### 2.3. Base granular

Teniendo en mente el diseño de la estructura de pavimentos (**Figura 1**) en la que se basan los materiales que componen la base de datos, se exponen los ensayos que son pertinentes para la base granular y que van incluidos en dicha base:

Primero, como se hace con las capas de afirmado, es necesario conocer el porcentaje de compactación con el que cuenta la base granular una vez esté instalada la capa de interés. Se define el “lote” aceptado o rechazado como ya se hizo en la sección del limo, con la importante diferencia en que el promedio de los porcentajes de compactación de los ensayos hechos debe ser mayor o igual al 98%, procurando que ninguno de ellos tenga un porcentaje de compactación menor al 95%. De igual manera, se hacen mínimo 5 de ensayos por lote, como lo especifica la sección 350.5.2.2.2 del artículo 350-13 de la norma.

Seguidamente, se define la clase de base granular a usar en el proyecto que se esté ejecutando con la siguiente información:

**Tabla 4**

*Uso típico de las diferentes clases de base granular*

CLASE DE BASE GRANULAR	NIVEL DE TRÁNSITO
Clase C	NT1
Clase B	NT2
Clase A	NT3

*Fuente:* Especificaciones INVIAS 2013, Art. 330-13 Tabla 330-1.

Dependiendo del nivel de tránsito que se tenga en la vía trabajada, se escoge la clase de base granular a instalar y, a partir de ahí, se le hacen los ensayos pertinentes al tipo de base que se esté colocando o se vaya a acomodar en la carretera. No es de más aclarar que “cuando se tiene un nivel de tránsito NT3, la base granular usada debe ser de gradación gruesa” (Instituto Nacional de Vías [INVIAS], 2013). Tal como se hace con el afirmado o con la mezcla asfáltica, es necesario que sus agregados lleven un control de su granulometría; estas franjas granulométricas se presentan en la

**Tabla 5:**

**Tabla 5**

*Franjas granulométricas del material de base granular*

TIPO DE GRADACIÓN	TAMIZ (mm / U.S. Standard)							
	37.5	25.0	19.0	9.5	4.75	2.00	0.425	0.075
	1 ½"	1"	¾"	¾"	No. 4	No. 10	No. 40	No. 200
	% PASA							
BASES GRANULARES DE GRADACIÓN GRUESA								
BG-40	100	75-100	65-90	45-68	30-50	15-32	7-20	0-9
BG-27	-	100	75-100	52-78	35-59	20-40	8-22	0-9
BASES GRANULARES DE GRADACIÓN FINA								
BG-38	100	70-100	60-90	45-75	30-60	20-45	10-30	5-15
BG-25	-	100	70-100	50-80	35-65	20-45	10-30	5-15
Tolerancias en producción sobre la fórmula de trabajo (±)	0 %	7 %			6 %			3 %

*Fuente:* Especificaciones INVIAS 2013, Art. 330-13 Tabla 330-3.



La granulometría hace parte de las caracterizaciones que se hacen para llevar un control en la calidad de la base granular. Cuando se requiere una caracterización completa, los ensayos a cumplir, según la base utilizada, son los que se encuentran en la **Tabla 6**:

**Tabla 6**

*Requisitos de los agregados para bases granulares*

CARACTERÍSTICA	NORMA DE ENSAYO INV	BASE GRANULAR		
		CLASE C	CLASE B	CLASE A
<b>Dureza (O)</b>				
Desgaste en la máquina de los Ángeles (Gradación A), máximo (%)	E-218	40	40	35
- 500 revoluciones		8	8	7
- 100 revoluciones				
Degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval, máximo (%)	E-238	-	30	25
Evaluación de la resistencia mecánica por el método del 10 % de finos	E-224			
- Valor en seco, mínimo (kN)		-	70	90
- Relación húmedo/seco, mínimo (%)		-	75	75
<b>Durabilidad (O)</b>				
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfatos, máximo (%)	E-220	12	12	12
- Sulfato de sodio		18	18	18
- Sulfato de magnesio				
<b>Limpieza (F)</b>				
Límite líquido, máximo (%)	E-125	25	-	-
Índice de plasticidad, máximo (%)	E-125 y E-126	3	0	0
Equivalente de arena, mínimo (%)	E-133	30	30	30
Valor de azul de metileno, máximo (Nota 1)	E-235	10	10	10
Contenido de terrones de arcilla y partículas deleznable, máximo (%)	E-211	2	2	2
<b>Geometría de las Partículas (F)</b>				
Índices de alargamiento y aplanamiento, máximo (%)	E-230	35	35	35
Caras fracturadas, mínimo (%)	E-227			
- Una cara		50	70	100
- Dos caras		-	50	70
Angularidad de la fracción fina, mínimo (%)	E-239	-	35	35

*Fuente:* Especificaciones INVIAS 2013, Art. 330-13 Tabla 330-2.

De la misma forma que pasa con el afirmado, la base de datos contiene los ensayos que se hacen por verificaciones periódicas para garantizar la calidad en la base granular, puesto que, como se mencionó anteriormente, son imprescindibles para llevar su control en esa área (ver **Tabla 7**):

**Tabla 7***Verificaciones periódicas de la calidad del material de base granular*

CARACTERÍSTICA	NORMA DE ENSAYO INV	FRECUENCIA
Granulometría	E-123	Una(1) vez por jornada
Límite líquido	E-125	Una(1) vez por jornada
Índice de plasticidad	E-125 y E-126	Una(1) vez por jornada
Equivalente de arena	E-133	Una(1) vez por semana
Valor de azul (si aplica)	E-235	Una(1) vez por semana
Ensayo modificado de compactación	E-142	Una(1) vez por semana

*Fuente:* Especificaciones INVIAS 2013, Art. 330-13 Tabla 330-4.

Es importante mencionar que la base de datos en Excel permite el análisis y la revisión de todos los ensayos mencionados en esta sección de bases granulares.

#### **2.4. Mezcla asfáltica**

En este caso, se toma en cuenta la **Figura 1** como guía para saber qué tipo de mezclas asfálticas se tienen presentes en el área de calidad y los ensayos de laboratorio que se practican en estas. Dado que las mezclas usadas en la obra a ejemplificar son MDC-25 y MDC-19, se catalogan como mezclas asfálticas densas en caliente de gradación continua (sus siglas); según su clasificación, se exponen los ensayos a los que son sometidas. Para los materiales que se han venido explicando, no es la excepción que, en las mezclas, los agregados también deben cumplir ciertas franjas granulométricas según su tipo. En la **Tabla 8**, se presenta la granulometría que se debe cumplir:

**Tabla 8**

*Franjas granulométricas para mezclas asfálticas en caliente de gradación continua*

TIPO DE MEZCLA		TAMIZ (mm / U.S. Standard)									
		37.5	25.0	19.0	12.5	9.5	4.75	2.00	0.425	0.180	0.075
		1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No. 4	No. 10	No. 40	No. 80	No. 200
		% PASA									
DENSA	MDC-25		100	80-95	67-85	60-77	43-59	29-45	14-25	8-17	4-8
	MDC-19			100	80-95	70-88	49-65	29-45	14-25	8-17	4-8
	MDC-10					100	65-87	43-61	16-29	9-19	5-10
SEMIDENSA	MSC-25		100	80-95	65-80	55-70	40-55	24-38	9-20	6-12	3-7
	MSC-19			100	80-95	65-80	40-55	24-38	9-20	6-12	3-7
GRUESA	MGC-38	100	75-95	65-85	47-67	40-60	28-46	17-32	7-17	4-11	2-6
	MGC-25		100	75-95	55-75	40-60	28-46	17-32	7-17	4-11	2-6
ALTO MÓDULO	MAM-25		100	80-95	65-80	55-70	40-55	24-38	10-20	8-14	6-9
TOLERANCIAS EN PRODUCCIÓN SOBRE LA FÓRMULA DE TRABAJO (±)		4 %					3 %			2 %	

Fuente: Especificaciones INVIAS 2013, Art. 450-13 Tabla 450-6.

A partir de lo anterior, hay ciertos criterios que se deben cumplir en el diseño de los pavimentos, por lo que es imprescindible hacer una serie de ensayos a las muestras representativas de las mezclas que se vayan a instalar, para verificar la calidad en dicho diseño (ver **Tabla 9**):

**Tabla 9**

*Criterios para el diseño preliminar de la mezcla asfáltica en caliente de gradación continua por el método Marshall*

CARACTERÍSTICA	NORMA ENSAYO INV	MEZCLAS DENSAS, SEMIDENSAS Y GRUESAS			MEZCLA DE ALTO MÓDULO	
		CATEGORÍA DE TRÁNSITO				
		NT1	NT2	NT3		
Compactación (golpes/cara)	E-748 (E-800) (Nota 1)	50	75 (112)	75 (112)	75	
Estabilidad mínima (N)		5,000	7,500 (16,875)	9,000 (33,750)	15,000	
Flujo(mm) (Nota 2)		2.0 a 4.0	2.0 a 4.0 (3.0 a 6.0)	2.0 a 3.5 (3.0 a 5.3)	2.0 a 3.0	
Relación Estabilidad / Flujo (kN/mm)		2.0 a 4.0	3.0 a 5.0 (4.5 a 7.5)	3.0 a 6.0 (4.5 a 9.0)	-	
Vacíos con aire (V <sub>a</sub> ),% (Nota 3)	Rodadura	E-736	3.0 a 5.0	3.0 a 5.0	4.0 a 6.0	NA
	Intermedia	o	4.0 a 8.0	4.0 a 7.0	4.0 a 7.0	4.0 a 6.0
	Base	E-799	NA	5.0 a 8.0	5.0 a 8.0	4.0 a 6.0
Vacíos en los agregados minerales (VAM), % mínimo	T. Máx. 38 mm	E-799	13.0			-
	T. Máx. 25 mm		14.0			14.0
	T. Máx. 19 mm		15.0			-
	T. Máx. 10 mm		16.0			-
Vacíos llenos de asfalto (VFA), %	E-799	65 a 80	65 a 78	65 a 75	63 a 75	
Relación Llenante / Ligante efectivo, en peso	E-799	0.8 a 1.2			1.2 a 1.4	
Concentración de llenante, valor máximo	E-745	Valor crítico				
Evaluación de propiedades de empaquetamiento por el método Bailey	-	Reportar				
Espesor promedio de película de asfalto, mínimo µm	E-741	7.5				

Fuente: Especificaciones INVIAS 2013, Art. 450-13 Tabla 450-10.

De la tabla anterior, cabe destacar que en la base de datos se incluyen los siguientes ensayos: contenido de asfalto (INV E-729-13), densidad, estabilidad, flujo y vacíos con aire sobre briquetas Marshall; siempre teniendo presente el nivel de tránsito de diseño y la capa de mezcla que se esté analizando, sea de rodadura (MDC-19) o intermedia (MDC-25). Adicionalmente, a los agregados de las mezclas también se les debe aplicar caracterización, hecha y entregada generalmente por el proveedor de la mezcla. Es necesario cumplir con los ensayos descritos en la **Tabla 10**, según el nivel de tránsito y la capa que sean requeridos:

**Tabla 10**

*Requisitos de los agregados para mezclas asfálticas en caliente de gradación continua*

CARACTERÍSTICA	NORMA DE ENSAYO INV	NIVEL DE TRÁNSITO		
		NT1	NT2	NT3
Dureza, agregado grueso (O)				
Desgaste en la máquina de los Ángeles, máximo (%) - Capa de: rodadura / intermedia / base, 500 revoluciones - Capa de: rodadura / intermedia / base, 100 revoluciones	E-218	25/35/- 5/7/-	25/35/35 5/7/7	25 / 35 / 35 5/7/7
Degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval, máximo (%) - Capa de: rodadura / intermedia / base	E-238		25/30/30	20/25/25
Resistencia mecánica por el método del 10% de finos, capa de: rodadura / intermedia / base - Valor en seco, mínimo (kN) - Relación húmedo/seco, mínima (%)	E-224			110/90/75 75/75/75
Coefficiente de pulimiento acelerado para rodadura, mínimo	E-232	0.45	0.45	0.45
Durabilidad (O)				
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfato de magnesio, agregados fino y grueso, máximo (%)	E-220	18	18	18
Limpieza, agregado grueso (F)				
Impurezas en agregado grueso, máximo (%)	E-237	0.5	0.5	0.5
Limpieza, gradación combinada (F)				
Índice de plasticidad, máximo (%)	E-125 y E-126	NP	NP	NP
Equivalente de arena, mínimo (%) (Nota 1)	E-133	50	50	50
Valor de azul de metileno, máximo (Nota 1)	E-235	10	10	10
Geometría de las partículas, agregado grueso (F)				
Partículas planas y alargadas, relación 5:1, máximo (%)	E-240	10	10	10
Caras fracturadas, mínimo (%) - Una cara: rodadura / intermedia / base - Dos caras: rodadura / intermedia / base	E-227	75/60/- -/-	75/75/60 60/-	85/75/60 70/-
Geometría de las partículas, agregado fino (F)				
Angularidad de la fracción fina, método A, mínimo (%) - Capa de: rodadura / intermedia / base	E-239	40/35/-	45/40/35	45/40/35
Adhesividad (O)				
- Agregado grueso: Cubrimiento de los agregados con materiales asfálticos en presencia del agua hirviendo (%)	E-757	Reportar		
- Agregado fino: adhesividad de los ligantes bituminosos a los agregados finos (método riedel-weber), índice mínimo	E-774	4		

Fuente: Especificaciones INVIAS 2013, Art. 450-13 Tabla 450-3.

Como se puede observar, la **Tabla 10** ofrece los rangos en los cuales se pueden aceptar los resultados de los ensayos contenidos en dicha tabla. Al igual que, por ejemplo, con la base granular, hay ensayos y verificaciones que son necesarios de hacer periódicamente a los agregados de las mezclas asfálticas y que, precisamente, son los que van incluidos en la base de datos de Excel, para la revisión de estos por medio de sus resultados (ver **Tabla 11**):

**Tabla 11**

*Ensayos de verificación sobre los agregados para mezclas en caliente de gradación continua*

CARACTERÍSTICA	NORMA DE ENSAYO INV	FRECUENCIA
<b>Composición (F)</b>		
Granulometría	E-123	1 por jornada
<b>Dureza, agregado grueso (O)</b>		
Desgaste en la máquina de los Ángeles	E-218	1 por mes
Degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval	E-238	1 por mes
Resistencia mecánica por el método del 10% de finos	E-224	1 por mes
Coefficiente de pulimiento acelerado para rodadura	E-232	Cuando cambie la procedencia de los agregados
<b>Durabilidad (O)</b>		
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfato de magnesio	E-220	1 por mes
<b>Limpieza, agregado grueso (F)</b>		
Impurezas en agregado grueso	E-237	1 por semana
<b>Limpieza, gradación combinada (F)</b>		
Índice de plasticidad	E-125 y E-126	1 por jornada
Equivalente de arena	E-133	1 por semana
Valor de azul de metileno (Nota 1)	E-235	1 por semana
<b>Geometría de las partículas, agregado grueso (F)</b>		
Índices de alargamiento y aplanamiento	E-230	1 por semana
Partículas planas y alargadas, relación 5:1	E-240	1 por semana
Caras fracturadas	E-227	1 por jornada
<b>Geometría de las partículas, agregado fino (F)</b>		
Angularidad de la fracción fina, método A	E-239	1 por jornada
<b>Adhesividad, gradación (O)</b>		
- Agregado grueso: Cubrimiento de los agregados con materiales asfálticos en presencia del agua hirviendo	E-757	Cuando cambie la procedencia de los agregados
- Agregado fino: adhesividad de los ligantes bituminosos a los agregados finos (método Riedel-Weber)	E-739	

*Fuente:* Especificaciones INVIAS 2013, Art. 450-13 Tabla 450-12.

Finalmente, para verificar el porcentaje de compactación y los espesores de las capas de las mezclas ya instaladas, teniendo presente el diseño de la estructura de pavimentos, se hace el ensayo de extracción de testigos de pavimento (INV E-758-13). El número de testigos que se extraen se calcula según los mismos parámetros ya presentados para lo que se define como “lote”. A partir de ahí, con el ensayo y sus resultados ya realizados, se comprueba el criterio de espesores de diseño y, por medio de la **Tabla 12**, que cumpla con la especificación de la norma:

**Tabla 12**

*Tipo de mezcla por utilizar en función del tipo y espesor compacto de la capa*

TIPO DE CAPA	ESPESOR COMPACTO (mm)	TIPO DE MEZCLA
Rodadura	30 – 40	MDC-10
	40 – 60	MDC-19, MSC-19
	> 60	MDC-25, MDC-19, MSC-19
Intermedia	> 50	MDC-25, MSC-25
Base	> 75	MSC-25, MGC-38, MGC-25
Alto módulo	60 - 130	MAM-25
Bacheos	50 – 75	MSC-25, MGC-25
	> 75	MSC-25, MGC-38, MGC-25

*Fuente:* Especificaciones INVIAS 2013, Art. 450-13 Tabla 450-7.

El espesor se rechaza o se acepta conforme al resultado del promedio de los espesores de cada muestra. Acto seguido, se comprueba, de la misma forma, el criterio de grado de compactación mínima de cada una de las capas de mezcla, en este caso capa de intermedia (MDC-25) y capa de rodadura (MDC-19), por medio de la **Tabla 13**:

**Tabla 13**

*Grado de compactación mínimo  $CG_{min}$*

TIPO DE CAPA	GRADO DE COMPACTACIÓN MÍNIMO $GC_{min}, \%$		
	NIVEL DE TRÁNSITO		
	NT1	NT2	NT3
Rodadura	94.0	94.0	93.0
Intermedia	92.0	92.0	92.0
Base	-	91.0	91.0
Alto módulo	-	-	93.0

*Fuente:* Especificaciones INVIAS 2013, Art. 450-13 Tabla 450-14.

Los valores presentados en la **Tabla 13** son para comprobar que se cumpla con el promedio de los porcentajes de compactación de todos los núcleos que se hayan sacado de un mismo lote. De este modo, se cumple con los ensayos a verificar, por medio de calidad, en lo que se refiere al material de mezcla asfáltica.

## **2.5. Concretos**

El manejo de este material en el tema de calidad es relativamente sencillo, ya que se hace cuando se tienen estructuras de concreto en el proyecto vial. Se les practica control de calidad por medio de cilindros de concreto hidráulico, por lo que se sacan muestras representativas, cada que sea necesario, de determinado elemento que se esté construyendo o vaciando y, por medio del ensayo INV E-410-13 de la norma, se fallan en laboratorio para saber si se cumple con la resistencia requerida del concreto suministrado. Cabe aclarar que son necesarias 6 ejemplares de cilindros cada vez que se saque un muestreo de determinada estructura, 4 de ellos se llevan a laboratorio, en el que se fallan 2 cuando los cilindros ya tengan 7 o 14 días de “vida” y se fallan los 2 restantes cuando se cumpla una “edad” de 21 o 28 días, en los que se debe llegar a la resistencia objetivo. Los 2 cilindros faltantes se dejan como testigos para ser fallados en caso de tener inconvenientes con los demás ejemplares.



### **3 Metodología**

La metodología por seguir para este proyecto se basa en el cumplimiento de los objetivos propuestos, describiendo las tareas y actividades que se realizaron de manera cronológica:

#### **3.1. Revisión y recolección del material bibliográfico**

Se hace la búsqueda necesaria de la información pertinente para la realización del proyecto pretendido, apoyándose de la misma que pueda ofrecer Devimed S.A. (como diseños e informes de obra) e indagaciones que se hagan por medio de fuentes externas, como lo pueden ser los informes presentados por los laboratorios, proveedores de material y contratistas que trabajan con y para el concesionario, como, por ejemplo, lo son: Suelos y Pavimentos Ltda., Troches Ingeniería, Pavimentar S.A., etc. También se hace revisión de las especificaciones técnicas para la construcción de carreteras, la norma INVIAS 2013 (norma que actualmente utiliza la empresa para sus proyectos viales), para entrar en contexto, según los materiales normalmente usados en la construcción de vías, de lo que puede contener la base de datos.

#### **3.2. Consolidación de ensayos pertinentes en materiales de vía para la elaboración de la base de datos**

Con la información tomada de las distintas fuentes nombradas anteriormente, se hace la selección de los materiales que se revisan, relacionados con la información contenida en los informes de laboratorio, en concordancia con el diseño de la estructura de pavimentos respectiva del proyecto ejemplificado en cuestión. Posteriormente, se realiza un consolidado de los ensayos que se practican en dichos materiales y que son imprescindibles para cumplir con sus correspondientes parámetros de calidad y su debido funcionamiento.

#### **3.3. Elaboración de la base de datos para la revisión de ensayos hechos en materiales de vía**

En este punto, se procede a usar el programa Microsoft Excel para la elaboración de la base de datos, con el apoyo de la información seleccionada y organizada a la mano y las simplificaciones que ofrece el programa, tales como funciones simples y fórmulas de celdas para un mayor orden en el ingreso de los datos que se quieren programar y revisar.

### **3.4. Programación de la base de datos para la automatización del ingreso y la organización de la información**

Como se menciona en el punto 3.3., se simplifica lo máximo posible el ingreso de la información correspondiente a los ensayos en materiales de vía hechos en obra y ensayos de laboratorio, así como también los informes de calidad de estos mismos para, finalmente, darle entrada a estos datos conseguidos y generar el estado de cumplimiento de la norma INVIAS 2013 de dichos materiales por medio de la base de datos.

### **3.5 Pruebas de la base de datos para la identificación de errores y posible adicionamiento de información faltante**

Se llevan a cabo pruebas de ensayo y error para observar el comportamiento de la base de datos y poder identificar los posibles errores e información que pueda faltar y que impida dar los resultados esperados para su optimización, mejoramiento y su debida finalización; esto último para la entrega final de dicha herramienta y su posterior uso.

### **3.6. Corrección de errores y finalización de la base de datos**

Se corrige todo lo correspondiente al punto anterior, teniendo presente siempre las especificaciones técnicas de la norma, y se le da finalización a la base de datos para su entrega final.

## 4 Resultados

Como resultado, se pudo lograr lo esperado desde un principio, obteniendo la base de datos pretendida, en la que se pueden consignar y corroborar los valores presentes en los informes correspondientes a los ensayos practicados en los materiales descritos en el marco teórico. Para presentar esta sección, se efectúa una ejemplificación por medio de datos e informes reales de obra con los que se pueda comprobar la utilidad de la herramienta creada, teniendo en cuenta el proyecto vial en el que se trabajó: Mejoramiento de la conexión vial La Ceja del Tambo-Rionegro. Para cada material, se tiene presente uno de los ensayos incluidos en la base de datos. En la hoja inicial, se encuentra una tabla simple en la que se agregan los datos más generales de la obra:

**Tabla 14**

*Datos generales del proyecto vial-Excel*

DATOS GENERALES	
Nombre de la obra	Mejoramiento de la conexión vial-doble calzada La Ceja del Tambo-Rionegro
Concesión vial	Obras Complementarias Devimed (OCDE)
Ubicación (Municipio)	La Ceja del Tambo
Abcisado de la obra	K0+620-K1+940
Duración del proyecto vial	6 meses
Norma usada	INVIAS versión 2013
Encargado gestión de calidad	Andrés Román Cardona

*Fuente:* Elaboración propia.

Se agregan los datos que se deseen incluir como generales y representativos del proyecto. Seguidamente, en la hoja siguiente se encuentra el índice de la herramienta de Excel, en el que están consignados todos los ensayos que contiene la base de datos y, por medio de hipervínculos, es posible llegar a los ensayos de interés sin tener que buscar la hoja de trabajo en la parte inferior del documento (ver **Tabla 15**):

**Tabla 15**

*Índice de la base de datos-Excel*

ÍNDICE DE LA BASE DE DATOS
1. LIMO: Nivel de compactación.
2.1 AFIRMADO: Nivel de compactación; INV Art. 311-13 311.5.2.2.2 y Granulometría del material; INV Art. 311-13 Tabla 311-2.
2.2 AFIRMADO: Requisitos de los agregados; INV Art 311-13 Tabla 311-1.
3.1 BASE GRANULAR: Nivel de compactación; INV Art. 330-13 330.5.2.2.2 y Granulometría del material; INV Art. 330-13 Tabla 330-3.
3.2 BASE GRANULAR: Requisitos de los agregados; INV Art 330-13 Tabla 330-2.
4.1 MEZCLA ASFÁLTICA: Análisis de testigos de pavimento asfáltico. Norma: INV E 731-13 e INV E 734-13; Criterios de Espesor; INV Art. 450-13 Tabla 450-7 y Compactación mínima; INV Art. 450-13 Tabla 450-14.
4.2 MEZCLA ASFÁLTICA: Granulometría de los agregados. Norma INV E-782-13; Contenido de asfalto. Norma INV E-729-13; Densidad (INV E-733-13), Estabilidad, Flujo (INV E-748-13) y Vacíos con aire (INV E-736-13) sobre briquetas Marshall.
4.3 MEZCLA ASFÁLTICA: Requisitos de los agregados para mezclas asfálticas en caliente de gradación continua; INV Art 450-13 Tabla 450-3.
5. CONCRETO: Resistencia de cilindros de concreto a la compresión. INV E-410-13.

Fuente: Elaboración propia.

Pasando ahora a lo primordial, que son las tablas para rellenar los datos de los informes de ensayos, como primer ítem, se tiene el nivel de compactación del limo. A modo de ejemplo, en este primer material, se ponen valores aleatorios para ejemplificar que la herramienta funciona de manera adecuada (ver **Tabla 16**):

**Tabla 16**

*Nivel de compactación de limos-Excel*

Nivel de compactación-Limos					
Tramo por liberar	Bomba Transunidos-Calzada Derecha	Ancho aprox. vía (m)	7,5	¿Cumple?	Observación
Abscisado	K1+500-K1+590	Metros lineales (m)	90	Sí	
		Área del lote (m <sup>2</sup> )	675	Sí	
Capa por liberar	Informe(s) del ensayo-Laboratorio(s)	Resultado		¿Cumple?	Observaciones
		Abscisa	Valor		
1ra y única capa		K1+510	96,3%	Sí	Cumple con el valor global del porcentaje de compactación promedio del lote
		K1+530	94,4%		
		K1+550	95,4%		
		K1+570	96,1%		
		K1+585	94,8%		
Fecha	10/09/2022	Global	95,4%		

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede comprobar, la tabla funciona perfectamente teniendo en cuenta la información y las especificaciones del marco teórico para limos.

Para la base de datos, fue necesario utilizar ecuaciones simples de Excel como lo son: funciones tipo SI, SI. CONJUNTO, Y; para poder satisfacer todo lo relacionado a la norma INVIAS 2013 incluido en el documento. También se hizo uso de herramientas como listados en validación de datos para crear listas desplegables y formatos condicionales para que todo quedara lo más entendible y conciso posible.

Prosiguiendo con el afirmado y omitiendo el tema de compactación, puesto que la tabla de este material está compuesta prácticamente igual que la del limo, se ejemplifican las secciones de granulometría del material (para un afirmado A-38) y los requisitos de los agregados para afirmados, poniendo valores aleatorios para presenciar que dichas tablas funcionan de manera correcta (ver **Tabla 17** y **Tabla 18**):

**Tabla 17**

*Granulometría del material de afirmado-Excel*

Fecha		15/09/2022	Informe; Laboratorio				
Tipo de Afirmado		A-38	Proveedor				
Granulometría del material; INV Art. 311-13 Tabla 311-2.							
No. Muestra 1	Tamiz (No.)	Apertura (mm)	Rangos: Tabla 311-2		Porcentaje que pasa (%)	¿Cumple?	Observaciones
			Superior (%)	Infeior (%)			
Gravas	1 1/2"	37,500	100	100	100	SÍ	
	1"	25,400	100	100	98,6	NO	
	3/4"	19,050	100	80	88,3	SÍ	
	3/8"	9,525	85	60	82,6	SÍ	
Arenas	No.4	4,750	65	40	57,4	SÍ	
	No.10	2,000	50	30	39,2	SÍ	
	No.40	0,425	30	13	17,4	SÍ	
Finos	No.200	0,075	18	9	10,2	SÍ	

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 18**

*Requisitos de los agregados para Afirmados-Excel*

Requisitos de los agregados para Afirmados; INV Art 311-13 Tabla 311-1.											
Fecha		15/09/2022		Informe; Laboratorio				Proveedor			
ENSAYOS											
Dureza			Limpieza								
Desgaste en la máquina de los ángelos (500 rev)		Límite líquido		Índice de plasticidad				Contenido de terrones de arcilla y partículas deleznales		Contracción lineal (% de contracción lineal) x (% pasa tamiz No. 40)	
Máx (%)	35%	Máx (%)	40%	Máx (%)	9%	Mín (%)	4%	Máx (%)	2%	Máx	240
Resultado (%)	27,0%	Resultado (%)	10,8%	Resultado (%)		3,99%		Resultado (%)	1,8%	Resultado (%)	245
¿Cumple?	SÍ	¿Cumple?	SÍ	¿Cumple?		NO		¿Cumple?	SÍ	¿Cumple?	NO

Fuente: Elaboración propia.

Las tablas se comportan tal y como se espera, respetando los límites en los ensayos y notificando si se cumple o no con cualquiera de los puntos que se evalúen.

Para la base granular, se revisan los porcentajes de compactación de informes reales de obra, para examinar sus resultados, puesto que el diseño de la estructura de pavimentos está compuesto por 2 capas de base. Los informes por utilizar se resumen a modo de figuras (ver **Figura 2** y **Figura 3**):

**Figura 2**


*Informe 132 de densidades-Tramo Bomba Transunidos: 1ra capa de base granular*

TROCHES INGENIERÍA Laboratorio de Suelos, Pavimentos y Concretos.		Densidad y peso unitario del suelo en el terreno por el método del cono y la arena.					NORMA I.N.V - E 161 2013
Nombre o razón social :		Devimed S.A			Obra o Proyecto : Via la Ceja - Transunidos		
Localización :		La Ceja, Antioquia			Responsable : Ingeniero, Luis Eduardo		
Orden de servicio :		Fecha : lunes, 29 de agosto de 2022					
Descripción Material : Proctor Base,2316 Humedad optima % 6,2- Primera capa .							
Ensayo No		1	2	3	4	5	
Localización Ensayo:		K1+850	K1+820	K1+780	K1+760	K1+660	
Fecha de ejecución del ensayo:	jueves, 25 de agosto de 2022						
Información Proctor Modificado. (Suministrado por el cliente)	Densidad seca (kg/m3)	2.316	2.316	2.316	2.316	2.316	
	Densidad seca (kN/m3)	22,712	22,712	22,712	22,712	22,712	
	Densidad humedad (kN/m3)	22,727	22,726	22,726	22,726	22,726	
	Humedad optima (%)	6,4%	6,2%	6,2%	6,2%	6,2%	
Información Ensayo de Densidad en Campo.	Densidad de la arena (KN/m3)	12,027	12,027	12,027	12,027	12,027	
	Volumen total del hueco (cm3)	1,365	1,402	1,328	1,137	1,374	
	Masa material húmedo (Hueco) (g)	3.305	3.408	3.250	2.792	3.340	
	Masa de la Tara (g)	36,86	37,91	39,23	38,48	28,99	
	Masa tara + Suelo húmedo (g)	458,80	307,60	445,40	358,40	327,70	
	Masa tara + suelo seco (g)	432,16	291,70	417,11	338,12	309,11	
	Humedad In Situ (%)	6,7%	6,3%	7,5%	6,8%	6,6%	
	Densidad humedad In. Situ (kg/m3)	2.421	2.431	2.447	2.456	2.432	
	Densidad humedad In. Situ (kN/m3)	23,737	23,836	24,002	24,080	23,846	
Densidad seca In Situ (kg/m3)	2.268	2.287	2.277	2.300	2.280		
Densidad seca In Situ (kN/m3)	22,238	22,431	22,330	22,554	22,362		
Porcentaje de compactación del terreno (%)	97,9%	98,8%	98,3%	99,3%	98,5%		

Fuente: Troches Ingeniería.

**Figura 3**

*Informe 133 de densidades-Tramo Bomba Transunidos: 2da capa de base granular*

		<b>Densidad y peso unitario del suelo en el terreno por el método del cono y la arena.</b>					<b>NORMA</b> I.N.V - E 161 2013	
Nombre o razón social :		Devimed S.A			Obra o Proyecto :		Via la Ceja - Transunidos	
Localización :		La Ceja, Antioquia			Responsable :		Ingeniero, Luis Eduardo	
Orden de servicio :		Fecha :					miércoles, 7 de septiembre de 2022	
Descripción Material : Proctor Base,2316 Humedad optima % 6,4- Segunda capa .								
Ensayo No		1	2	3	4	5		
Localización Ensayo:		K1+785	K1+765	K1+740	K1+720	K1+690		
Fecha de ejecución del ensayo:		lunes, 5 de septiembre de 2022						
<b>Información Proctor Modificado.</b> (Suministrado por el cliente)	Densidad seca (kg/m3)	2.316	2.316	2.316	2.316	2.316		
	Densidad seca (kN/m3)	22,712	22,712	22,712	22,712	22,712		
	Densidad humedad (kN/m3)	22,727	22,726	22,726	22,726	22,726		
	Humedad optima (%)	6,4%	6,2%	6,2%	6,2%	6,2%		
<b>Información Ensayo de Densidad en Campo.</b>	Densidad de la arena (KN/m3)	12,312	12,312	12,312	12,312	12,312		
	Volumen total del hueco (cm3)	1,437	1,114	1,061	1,092	1,112		
	Masa material húmedo (Hueco) (g)	3.505	2.726	2.601	2.679	2.732		
	Masa de la Tara (g)	38,16	37,42	36,70	37,94	36,26		
	Masa tara + Suelo húmedo (g)	563,00	635,80	604,60	561,40	793,40		
	Masa tara + suelo seco (g)	529,80	597,20	570,21	528,80	747,76		
	Humedad In Situ (%)	6,8%	6,9%	6,4%	6,6%	6,4%		
	Densidad humedad In. Situ (kg/m3)	2.440	2.447	2.451	2.452	2.456		
	Densidad humedad In. Situ (kN/m3)	23,925	23,998	24,033	24,049	24,086		
	Densidad seca In Situ (kg/m3)	2.285	2.289	2.302	2.300	2.308		
Densidad seca In Situ (kN/m3)	22,412	22,450	22,577	22,551	22,634			
<b>Porcentaje de compactación del terreno (%)</b>		<b>98,7%</b>	<b>98,8%</b>	<b>99,4%</b>	<b>99,3%</b>	<b>99,7%</b>		

Fuente: Troches Ingeniería.

Se aprovechan los datos de los informes en la **Figura 2** y la **Figura 3** y se rellena la tabla de la base de datos para verificar que todas las compactaciones cumplan con su valor límite. En la **Tabla 19**, se muestra cómo queda la información consignada en la herramienta de Excel:

**Tabla 19**

*Nivel de compactación de base granular: ejemplo-Excel*

Nivel de compactación-Base Granular; INV Art. 330-13 330.5.2.2.2					
Tramo por liberar	Bomba Transunidos-Calzada Derecha	Ancho aprox. vía (m)	7,5	¿Cumple?	Observación
Abscisado	K1+650-K1+850	Metros lineales (m)	200	SÍ	
		Área del lote (m2)	1500	SÍ	
Capa por liberar	Informe(s) del ensayo-Laboratorio(s)	Resultado		¿Cumple?	Observaciones
		Abscisa	Valor		
Primera capa	Informe 132-Troches Ingeniería	K1+660	97,9%	SÍ	Se cumple con el porcentaje de compactación del lote a liberar
		K1+760	98,8%		
		K1+780	98,3%		
		K1+820	99,3%		
		K1+850	98,5%		
Fecha	16/12/2022	Global	98,6%		
Segunda capa	Informe 133-Troches Ingeniería	K1+690	98,7%	SÍ	Se cumple con el porcentaje de compactación del lote a liberar
		K1+720	98,8%		
		K1+740	99,4%		
		K1+765	99,3%		
		K1+785	99,7%		
Fecha	17/12/2022	Global	99,2%		

Fuente: Elaboración propia.

Los informes de laboratorio ensayados en las tablas de Excel cumplen con los porcentajes de compactación de la base evaluada. Más que eso, se observa que la herramienta obedece perfectamente a la norma referenciada.

Ahora bien, también es posible evaluar la granulometría y los requisitos de los agregados de base granular (como se hizo mención en el marco teórico), sea de gradación gruesa (BG-40 o BG-27) o de gradación fina (BG-38 o BG-25), según se solicite, dependiendo también del nivel de tránsito y clase de base que se tenga. En este informe no se muestran ejemplos de este tipo de casos ya que sería redundar en la forma como se hizo con el afirmado. Si se quiere comprobar lo anterior, se puede usar la base de datos con total libertad en caso de solicitarla.

Para las mezclas asfálticas, se ejemplifican los criterios de porcentaje de compactación y espesor de las capas evaluadas. Para ello, se toma como guía el siguiente informe de laboratorio, resultado de un ensayo de extracción de núcleos de pavimento hecho, en la obra en la que se trabajó, por Suelos y Pavimentos Ltda. (ver **Figura 4**):



**Figura 4**

*Informe DV 09-230011R de núcleos de pavimento-Tramo San Sebastián: 10 de enero de 2023*

**MUESTRA:** Núcleos de pavimento, tomados en obra  
**FECHA DE RECIBO EN EL LABORATORIO:** Enero 10 de 2023  
**IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA EN EL LABORATORIO:** EN 8115 1

**ENSAYOS Y RESULTADOS DE LABORATORIO:**

- Extracción de núcleo de concreto asfáltico de  $\phi$  4" con determinación de espesor; Norma INVE-731-13
- Determinación de densidad de núcleo de concreto asfáltico; Norma INVE-734-13

No.	Tramo	Lado	Espesor individual Ei (cm)	Espesor promedio Em (cm)	Espesor de diseño Ed (cm)	Em $\Sigma$ Ed	Ei/Ed (%) Ei $\Sigma$ 90%Ed	Dj Densidad individual kg/m <sup>3</sup>	Dmm Gravedad específica máx teórica medida	GC <sub>m</sub> Grado de compactación individual %	GC <sub>m</sub> Grado de compactación promedio %	s Desviación Estándar	Factor k Limite inferior del intervalo para un 90% de confianza	GCi(90) G <sub>m</sub> - (k*s)	GC <sub>min</sub>	GCi(90) $\Sigma$ GC <sub>min</sub>
<b>DOBLE CALZADA LA CEJA - SECTOR SAN SEBASTIÁN, CALZADA IZQUIERDA</b>																
MEZCLA ASFÁLTICA TIPO INVIAS MDC-25, FECHA DE PAVIMENTACIÓN: NOVIEMBRE 15 DE 2022, FUENTE: PAVIMENTAR S.A.																
1	K1+460 Primera capa	Der	8,8	8,7	8,0	SI	110,0	2335	2,575	91,0	93,7	2,46	0,685	92,0	92,0	SI
2	K1+420 Primera capa	Der	10,0				125,0	2441		95,1						
3	K1+380 Primera capa	Der	8,0				100,0	2335		91,0						
4	K1+340 Primera capa	Der	8,0				100,0	2455		95,6						
5	K1+300 Primera capa	Der	8,5				106,3	2458		95,7						

**NOTA:** GC<sub>min</sub> para un tránsito NT3 y capa intermedia (información suministrada por el cliente) = 92

No.	Tramo	Lado	Espesor individual Ei (cm)	Espesor promedio Em (cm)	Espesor de diseño Ed (cm)	Em $\Sigma$ Ed	Ei/Ed (%) Ei $\Sigma$ 90%Ed	Dj Densidad individual kg/m <sup>3</sup>	Dmm Gravedad específica máx teórica medida	GC <sub>m</sub> Grado de compactación individual %	GC <sub>m</sub> Grado de compactación promedio %	s Desviación Estándar	Factor k Limite inferior del intervalo para un 90% de confianza	GCi(90) G <sub>m</sub> - (k*s)	GC <sub>min</sub>	GCi(90) $\Sigma$ GC <sub>min</sub>
<b>DOBLE CALZADA LA CEJA - SECTOR SAN SEBASTIÁN, CALZADA IZQUIERDA</b>																
MEZCLA ASFÁLTICA TIPO INVIAS MDC-19, FECHA DE PAVIMENTACIÓN: NOVIEMBRE 30 DE 2022, FUENTE: PAVIMENTAR S.A.																
1	K1+460 Segunda capa	Der	9,5	10,5	8,0	SI	118,8	2419	2,591	93,6	94,3	0,91	0,685	93,6	92,0	SI
2	K1+420 Segunda capa	Der	18,0				225,0	2419		93,6						
3	K1+380 Segunda capa	Der	9,0				112,5	2455		95,0						
4	K1+340 Segunda capa	Der	7,0				87,5	2416		93,5						
5	K1+300 Segunda capa	Der	9,0				112,5	2465		95,4						

**NOTA:** GC<sub>min</sub> para un tránsito NT3 y capa de rodadura (información suministrada por el cliente) = 93

Fuente: Suelos y Pavimentos Ltda.

**Nota:** la figura 4 se divide en 2 partes porque el informe de laboratorio usado está contenido en 2 páginas.

La información del informe mostrado anteriormente se usa para examinar su comportamiento en la base de datos y concluir si se cumple con las especificaciones de la norma INVIAS. Seguidamente, se presenta el resultado de la digitación de tales datos (ver **Tabla 20**):

**Tabla 20**

*Análisis de testigos de pavimento-criterios de compactación y espesor: ejemplo-Excel*

Análisis de testigos de pavimento asfáltico. Norma: INV E 731-13 e INV E 734-13								
Criterios de Compactación		Criterios de Espesor; INV Art. 450-13 Tabla 450-7.						
Tipo de Mezcla	% GC <sub>mín</sub> - Compactación mínima; INV Art. 450-13 Tabla 450-14.	Tipo de Mezcla	Espesor de diseño E <sub>i</sub> (cm)					
MDC 25	92%	MDC 25	8					
MDC 19	93%	MDC 19	8					
MDC-25								
Informe-Laboratorio	Tramo	No. De testigos del ensayo	GC <sub>m</sub> Promedio %	¿Cumple?	Diferencia	Espesor promedio Em (cm)	¿Cumple?	Fechas-Instalación de mezcla
DV 09-230011R; Suelos y Pavimentos Ltda.	San Sebastián-Calzada Izquierda	5	93,70%	Sí	1,85%	8,7	Sí	15/11/2022
MDC-19								
Informe-Laboratorio	Tramo	No. De testigos del ensayo	GC <sub>m</sub> Promedio %	¿Cumple?	Diferencia	Espesor promedio Em (cm)	¿Cumple?	Fechas-Instalación de mezcla
DV 09-230011R; Suelos y Pavimentos Ltda.	San Sebastián-Calzada Izquierda	5	94,3%	Sí	1,40%	10,5	Sí	30/11/2022

*Fuente:* Elaboración propia.

Aparte de que los resultados del ensayo cumplen con los criterios de diseño presentes en la **Figura 1**, también obedecen a los criterios presentes en la norma, satisfaciendo nuevamente el objetivo que tiene la base de datos con toda la información que se le confía.

Como se hizo con la sección de la base granular, se mencionan los ensayos restantes que abarca la base de datos de Excel para mezclas asfálticas: granulometría y contenido de asfalto (según diseño) de mezclas MDC-25 y MDC-19. Densidad, estabilidad, flujo y vacíos con aire sobre briquetas Marshall de las mismas mezclas, dependiendo del nivel de tránsito de diseño. Y requisitos de los agregados para mezclas densas en caliente de gradación continua, también dependiendo del nivel de tránsito tenido en cuenta y la capa, sea de rodadura o intermedia, que se esté analizando; todo esto para no redundar en su explicación e interpretación. Nuevamente, si se quieren comprobar los anteriores ensayos mencionados, se concede la base de datos para su correcto uso.

Para finalizar, en el tema de concretos, se muestra y ejemplifica el ensayo de cilindros de concreto hidráulico con un informe de laboratorio proporcionado por Suelos y Pavimentos Ltda., con el que se puede verificar sus resultados en la herramienta de Excel (ver **Figura 5**):

**Figura 5**

*Informe DV 9-220767R de cilindros de concreto hidráulico-Tramo Heliconias; estructuras: zapata y vástago de muro de contención.*

<b>MUESTRA:</b> Cilindros de concreto hidráulico									
<b>FECHA DE RECIBO EN EL LABORATORIO:</b>		11 de noviembre de 2022							
<b>IDENTIFICACIÓN DE LAS MUESTRAS EN EL LABORATORIO:</b>		<b>NV-7900</b>							
<b>ENSAYO SOLICITADOS Y RESULTADOS DE LABORATORIO:</b>									
<b>1. Resistencia de cilindros a la compresión con método normal, Norma INV E-410-13</b>									
CILINDRO No.	MUESTRA	UBICACIÓN	FECHA VACIADO	FECHA ENSAYO	EDAD	TIPO DE FALLA	RESISTENCIA (kg/cm <sup>2</sup> )		
							Requerida	Medida	Probable 28d
1	1	Zapata muro de contención-Heliconias	1/11/2022	15/11/2022	14	2	280	211	253
2	1	Zapata muro de contención-Heliconias	1/11/2022	15/11/2022	14	2	280	203	245
3	1	Zapata muro de contención-Heliconias	1/11/2022	29/11/2022	28	2	280	327	>= 28
4	1	Zapata muro de contención-Heliconias	1/11/2022	29/11/2022	28	2	280	317	>= 28
1	2	Vástago muro de contención-Heliconias	3/11/2022	24/11/2022	21	5	280	328	353
2	2	Vástago muro de contención-Heliconias	3/11/2022	24/11/2022	21	5	280	333	358
3	2	Vástago muro de contención-Heliconias	3/11/2022	1/12/2022	28	2	280	340	>= 28
4	2	Vástago muro de contención-Heliconias	3/11/2022	1/12/2022	28	2	280	356	>= 28

Fuente: Suelos y Pavimentos Ltda.

Como se viene haciendo, se toma la información del informe y se observa su comportamiento en la base de datos (ver **Tabla 21**):

**Tabla 21**

*Resistencia de cilindros de concreto a la compresión: ejemplo-Excel*

Resistencia de cilindros de concreto a la compresión. INV E-410-13									
Informe-Laboratorio	Estructura	Tramo	Fecha de Vaciado	No. Cilindro	Edad (Días)	Resistencia (Mpa)		¿Cumple?	Observaciones
						Requerida	Obtenida		
INFORME DV 9-220767R; Suelos y Pavimentos Ltda	Zapata-Muro de contención	Heliconias	1/11/2022	1	14	28	21,1	NO	El concreto cumple con la resistencia esperada cuando los cilindros son fallados a los 28 días de edad
				2	14		20,3	NO	
				3	28		32,7	SÍ	
				4	28		31,7	SÍ	
INFORME DV 9-220767R; Suelos y Pavimentos Ltda	Vástago-Muro de contención	Heliconias	3/11/2022	1	21	28	32,8	SÍ	El concreto cumple con la resistencia esperada cuando los cilindros son fallados a los 21 días de edad
				2	21		33,3	SÍ	
				3	28		34	SÍ	
				4	28		35,6	SÍ	

Fuente: Elaboración propia.

El informe verificado, cumple con creces la resistencia requerida de los cilindros ensayados y, se puede concluir, con este último experimento, que las pruebas hechas a la base de datos son suficientes para afirmar que dicha herramienta funciona de manera eficaz con todos los ensayos contenidos en ella, automatizada de la mejor manera posible para una mayor comodidad y eficiencia al momento de usarla.

## 5 Conclusiones

- Fue posible realizar y obtener el proyecto pretendido desde un principio, en el que los informes de ensayos de un proyecto vial en específico puedan ser todos consignados en un mismo lugar y presentados de una manera ordenada y resumida, teniendo la posibilidad, además, de organizar la información según sea conveniente, como, por ejemplo, por frentes o tramos de la obra.
- Los ensayos incluidos en este trabajo son los más representativos que se pudieron presenciar durante la práctica académica, teniendo relación directa con el diseño de la estructura de pavimentos que se utilizó en la obra Mejoramiento de la Conexión Vial La Ceja del Tambo-Rionegro.
- En la construcción de la base de datos, se pudieron mejorar las habilidades en el manejo del programa Excel, debido a las distintas programaciones hechas para una buena automatización de las tablas de los ensayos incluidos en el proyecto. Dichos aprendizajes conseguidos, pueden ser de utilidad para el mejoramiento y/o la actualización de la base de datos, como también para futuros trabajos similares de índole ingenieril.
- Al ser una base de datos construida en el programa Excel, es una herramienta que, si se desea, se puede actualizar y complementar a través del tiempo, ayudando así a su crecimiento para futuras obras y/o proyectos viales de mayor magnitud donde sean necesarios más ensayos de laboratorio para cumplir con los estándares de calidad impuestos por la norma.
- A nivel personal, se tuvo una experiencia enriquecedora respecto a lo que es una obra civil y lo que se hace en un proyecto vial, puesto que se pudo ver de primera mano cómo es el proceso de construcción de una carretera. Además, se obtuvo un gran aprendizaje en cuanto a las labores que emplea cada una de las personas que conforman el equipo de trabajo que hay en la obra y cómo todos aportan sus habilidades y conocimientos en la búsqueda de un mismo fin u objetivo, que no es más que el de cumplir con la realización del proyecto vial.

### **Referencias**

Instituto Nacional de Vías [INVIAS]. (2013). *Afirmado. Artículo 311-13* .

Instituto Nacional de Vías [INVIAS]. (2013). *Base granular. Artículo 330-13*.

Instituto Nacional de Vías [INVIAS]. (2013). *Especificaciones técnicas para la construcción de carreteras*.

Instituto Nacional de Vías [INVIAS]. (2013). *Mezclas asfálticas en caliente de gradación continua. Artículo 450-13*.