

**COMPILACIÓN DE LOS VALORES DEL MÓDULO RESILIENTE HALLADOS  
EXPERIMENTAL Y TEÓRICAMENTE DE BASES GRANULARES  
PREVIAMENTE ESTUDIADAS**

**PRESENTADO POR  
FREDY ALEXANDER PELÁEZ PARADA**

**ID: 000267516**

**JAIRO IVÁN DELGADO ARENAS**

**ID: 000244532**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
BUCARAMANGA**

**2021**

**COMPILACIÓN DE LOS VALORES DEL MÓDULO RESILIENTE HALLADOS  
EXPERIMENTAL Y TEÓRICAMENTE DE BASES GRANULARES  
PREVIAMENTE ESTUDIADAS**

**FREDY ALEXANDER PELÁEZ PARADA**

**ID: 000267516**

**JAIRO IVÁN DELGADO ARENAS**

**ID: 000244532**

**DIRECTOR ACADÉMICO**

**Julián André Galvis**

**Ingeniero Civil**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

**BUCARAMANGA**

**2021**

## **DEDICATORIA**

Quiero dedicarle este proyecto primeramente a Dios y a mi familia, sin ellos nada de esto sería posible, a mi padre por enseñarme el valor del trabajo y el esfuerzo. A mi madre por inculcar en mí, el creer y luchar por mis sueños. A mí hermana, quien ha sido una motivación y ejemplo a seguir. A mi hermano con quien he aprendido el valor del ímpetu en vida. También a aquellas personas que han aportado a mi desarrollo personal, han creído en mí, y por supuesto, a todas aquellas que lo siguen haciendo. Y principalmente a mi hija que desde el día en que nació ha sido mi mayor motor para seguir adelante.

**Fredy Alexander Peláez Parada.**

A mis padres autores procreadores de mi vida por todas las oportunidades brindadas hasta la culminación de esta etapa de estudiante, y la confianza depositada. A mi hermana y amigos más cercanos por el apoyo, motivación, consejos y ejemplo de superación. Por último, a mi musa, fuente de inspiración.

**Jairo Iván Delgado Arenas.**

## **AGRADECIMIENTOS**

A la vida y todas sus oportunidades presentadas hasta este momento, a nuestros padres y familiares cercanos, amigos por todo el apoyo. A la universidad pontificia bolivariana, en especial a la facultad de ingeniería civil y sus docentes por la formación académica y moral. Finalmente, a nuestro director de proyecto de grado por la dedicación y el apoyo brindado durante todo este proceso.

## TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	12
2. OBJETIVOS.....	15
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	15
2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	15
3. MARCO TEORICO .....	16
3.1 BASE GRANULAR DE UN PAVIMENTO.....	16
3.2 MÓDULO RESILIENTE .....	19
3.3 DESCRIPCION DEL ENSAYO DE MÓDULO RESILIENTE EN LABORATORIO .....	20
3.4 EQUIPOS UTILIZADOS EN EL CALCULO DEL MODULO RESILIENTE .....	22
3.4.1 CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR).....	22
3.4.2 DEFLECTÓMETRO DE IMPACTO-FWD.....	23
3.4.3 DEFLECTÓMETRO DE IMPACTO LIVIANO-LWD.....	25
3.4.4 EQUIPO GEOGAUGE .....	26
3.5 MÉTODOS ALTERNATIVOS PARA EL CÁLCULO DEL MÓDULO RESILIENTE. ....	27
4. METODOLOGÍA .....	32
5. RECOLECCIÓN DE LOS DOCUMENTOS .....	33
6. RESULTADOS.....	62
7. ANALISIS DE RESULTADOS.....	84
8. COMPARACION DE ASPECTOS TECNICOS Y ECONOMICOS DE LOS MÉTODOS PARA EL CALCULO DEL MODULO RESILIENTE.....	87
9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	92
10. BIBLIOGRAFÍA.....	94

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Correlaciones de CBR más usadas.....	31
Tabla 2. Compilación de documentos base investigación .....	33
Tabla 3. Documentos base de tesis de maestría.....	55
Tabla 4. Documentos base proyectos de grado pregrado .....	57
Tabla 5. Documentos Técnicos base .....	59
Tabla 6. Bases de datos consultadas.....	60
Tabla 7. Clasificación por tipo de documentos .....	61
Tabla 8. Clasificación de los documentos por País .....	61
Tabla 9. Categorización de los resultados de módulo resiliente obtenidos.....	62
Tabla 10. Tabla de los resultados hallados en los diferentes documentos .....	64
Tabla 11. Métodos para el cálculo del módulo resiliente. ....	88

## LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Esfuerzos de las estructuras de pavimentos .....	17
Ilustración 2. Deformación resiliente y permanente .....	18
Ilustración 3. Equipo triaxial dinámico cíclico. ....	21
Ilustración 4. Equipo California Bearing Ratio .....	22
Ilustración 5. Deflectómetro de impacto FWD, diagrama de carga .....	24
Ilustración 6. Deflectómetro de impacto FWD .....	24
Ilustración 7. Deflectómetro de impacto liviano LWD .....	25
Ilustración 8. Equipo Geogauge .....	26
Ilustración 9. Correlación módulo resiliente con CBR .....	30
Ilustración 10. Esquema del cálculo del módulo resiliente.....	87

## LISTA DE GRAFICAS

Gráfica 1. Módulo resiliente sobre grava bien gradada .....	76
Gráfica 2. Módulo resiliente con material de grava pobremente gradada. ....	77
Gráfica 3. Módulo resiliente con material grava limosa .....	78
Gráfica 4. Módulo resiliente con material arena bien gradada.....	79
Gráfica 5. Módulo resiliente con material arena limosa .....	80
Gráfica 6 Módulo resiliente con material arena arcillosa .....	81
Gráfica 7. Módulo resiliente con material arcilla de baja comprensibilidad .....	82
Gráfica 8. Porcentaje de documentos según valor de módulo resiliente hallado .....	83

## LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1. Ecuación de Rahim y George .....	27
Ecuación 2. Ecuación de Dormann y Metcalf .....	28
Ecuación 3. Ecuación universal, Uzan .....	29
Ecuación 4. Ecuación modelo AASHTO.....	29

## RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

**TITULO:** COMPILACIÓN DE LOS VALORES DEL MÓDULO RESILIENTE HALLADOS EXPERIMENTAL Y TEÓRICAMENTE DE BASES GRANULARES PREVIAMENTE ESTUDIADAS.

**AUTOR(ES):** Fredy Alexander Peláez  
ParadaJairo Iván Delgado  
Arenas

**PROGRAMA:** Facultad de Ingeniería Civil

**DIRECTOR(A):** Ing. MSc. Julián André Galvis Flórez

### RESUMEN

Compilación y valoración de los resultados experimentales y teóricos del módulo resiliente, hallados en estudios previos, realizados en diferentes países. En la que se presenta la respectiva información de cada uno de los documentos base tenidos en cuenta en este proyecto de grado, de modo que describe de qué trata, la metodología que se empleó en cada uno, país y año de publicación. Por otra parte, se presentan también los valores encontrados en cada documento, con respecto al método empleado. Con lo que se generó una comparativa entre los diferentes módulos, clasificadas según el tipo de suelo y la metodología usada en cada caso. Se estipulan todos los posibles métodos aplicados en los diferentes países para la obtención de este cálculo, de modo que al final, se presenta un cuadro comparativo de los aspectos técnicos y económicos a tener en cuenta en cada uno de ellos. Permitiendo indagar y realizar apreciaciones al lector.

### PALABRAS CLAVE:

Módulo resiliente, tipo de suelo

V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

## **GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE**

**TITLE:** COMPILATION OF EXPERIMENTALS AND THEORETICALS FOUND RESILIENTMODULUS (MR) VALUES OF PREVIOUSLY STUDIED GRANULAR SOILS.

**AUTHOR(S):** Fredy Alexander Peláez  
ParadaJairo Iván Delgado  
Arenas

**FACULTY:** Facultad de Ingeniería Civil

**DIRECTOR:** Ing. MSc. Julián André Galvis Flórez

### **ABSTRACT**

This project presents a compilation and evaluation of the experimental and theoretical results of the resilient module. For this purpose, this document is supported by previous studies developed in different countries. The most relevant information about each study document; including the methodology used, country and year of the publication, as well as the final results obtained by each study in accordance with its particular method used, lies in this paper. This generated a comparison between the different modules, classified according to the type of soil and the methodology used in each case. All the possible methods applied in the different countries to obtain this calculation are stipulated, resulting in the creation of a comparative analysis of the technical and economic aspects, which were taken into consideration in each one of them. In sum, this degree project enables the reader to inquire and make an appreciation about it.

### **KEYWORDS:**

Resilient module, soil type.

**V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK**

## 1. INTRODUCCIÓN

A lo largo de los años, junto con el avance tecnológico y la necesidad de optimizar de mejor manera los recursos. Diversas instituciones dedicadas a la investigación de las propiedades físicas y mecánicas de las capas que comprende una estructura de pavimento flexible, se han dado a la tarea de generar una serie de normativas, que se basan de metodologías desarrolladas por cada país, los estándares de calidad de dichas normativas tienen como referencia de garantía la durabilidad de sus carreteras diseñadas a lo largo de los años. Una de las asociaciones más importante y que tiene la mayor influencia de estándares requeridos para garantizar la calidad de las diferentes partes que conforman la estructura a nivel mundial, es la AASHTO (American Association Of State Highway Transportation, la asociación americana de oficiales de carreteras estatales y transportes, órgano encargado de establecer las normas, publicar especificaciones, realiza pruebas de protocolos, guías que son usadas en el diseño de construcción de carreteras estatales en los estados unidos.

Sabemos bien que Estados Unidos se caracteriza por tener un buen sistema de carreteras, tanto así que gracias a la AASHTO, otros países los cuales no tienen la misma cantidad de recursos para invertir en investigación y equipos especializados, se han puesto en la tarea de crear normas de especificaciones técnicas validas únicamente para cada país, pero con el apoyo directo de la normatividad aplicada en la AASHTO, adaptando toda metodología incluida allí para el desarrollo de los ensayos de laboratorio. Sin embargo, el problema de esto recae cuando se basan en sus diseños, sus ábacos, tablas y/o ecuaciones estipuladas que predicen los comportamientos mecánicos de los materiales. Debido a que la zona geográfica cambia por completo, por ende factores como el riesgo sísmico, temperatura, humedad, estratificación del suelo, alteran por completo las condiciones iniciales tenidas en cuenta en la estipulación de dichas ecuaciones. Es por esto que actualmente la ingeniería civil de los diferentes países se ha preocupado porque se realicen investigaciones propias que puedan garantizar un diseño completamente óptimo dado a las condiciones geológicas, geográficas y meteorológicas de los mismos, permitiendo así, que sea autóctono de cada país. Por esta razón existe certeza de una sobre estimación de lo diseñado bajo ecuaciones y/o ábacos adaptados de las normas externas.

La caracterización del agregado, la capacidad de soporte (CBR), el módulo resiliente es necesario e importante para garantizar un perfecto diseño de una estructura de pavimento flexible. Es necesario recordar que, el módulo resiliente, es el criterio más importante a la hora

de diseñar una estructura de pavimento flexible. Ya que su valor le da el límite al ingeniero diseñador acerca de los esfuerzos máximos que se van a soportar, previniendo posibles desgastes o fallas prematuras a largo de sus años de servicio, de manera que los costos de mantenimiento sean menores.

Por esta razón, es que tener nuevos estudios e información precisa acerca de este módulo se ha convertido en algo necesario, ya que por lo menos en países que se encuentran en Latinoamérica, como lo es Colombia, los estudios acerca del módulo no abarcan tanta información y avance tecnológico como se pudo evidenciar en los documentos y/o investigaciones que se tuvieron en cuenta de otros países, sirviendo como referencia base de esta investigación.

Se ha determinado, que realizar la prueba de ensayo de laboratorio denominada módulo resiliente, conlleva tener en cuenta aspectos económicos y técnicos que pueden hacer complicado el cálculo real del módulo resiliente. Por esta razón, con el tiempo, se ha podido llegar a obviar el uso de equipos especializados para el cálculo de este parámetro, que es obtenido por diversos ensayos, los cuales se determinan con estos equipos. Gracias a la generación de los valores de investigaciones previas acerca del cálculo del módulo resiliente en determinadas zonas geográficas y tipos de suelos, dichos valores tienen colaboración absoluta en las ecuaciones que han sido creadas por varios autores a lo largo de los años.

Este proyecto busca dar a conocer la relación entre el módulo resiliente que se halla por medio de los valores teóricos (ecuaciones estipuladas por varios autores de diferentes países, correlaciones y software) y los valores experimentales que nos aportan los diferentes ensayos de laboratorio, ensayos de campo para calcular el módulo resiliente; ya sean ensayos de tipo destructivos o no destructivos.

En este caso, se enfocó en realizar una compilación de diversos documentos realizados en los diferentes grados académicos de la educación superior, como lo son los trabajos de grado, tesis de maestría y documentos técnicos, que incluyan el cálculo del módulo resiliente para bases granulares, ya sea desde la parte teórica u experimental y/o los dos valores. Algunos de los estudios tenidos en cuenta en este proyecto de grado no contienen pares ordenados de estos dos valores, se encuentran documentos en los cuales solo contienen datos teóricos, datos experimentales o en algunos casos podemos encontrar los dos. Es importante resaltar que para determinar una correcta relación se requiere del módulo resiliente hallado tanto teóricamente, como experimentalmente.

Posteriormente, se realiza una comparación de los aspectos técnicos y económicos con respecto a la metodología empleada en los diferentes países, indagando, con el fin de realizar una apreciación, acerca del método más viable teniendo en cuenta los aspectos anteriormente mencionados.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GENERAL**

- Valoración de los resultados experimentales y teóricos de los módulos resilientes hallados en estudios previos basados en bases granulares de estructuras de pavimento.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Selección, obtención y recopilación de información con respecto a estudios que se hayan realizado previamente, con el fin de que sean fuentes que proporcionen datos útiles en este proyecto de grado.
- Realizar la interpretación de los resultados obtenidos de los cálculos hallados experimental y teóricamente que permita establecer una relación entre sí.
- Establecer una comparación de los aspectos técnicos y económicos de acuerdo a las metodologías empleadas en la obtención del módulo resiliente, con la finalidad de realizar una apreciación del método más viable.

### 3. MARCO TEORICO

#### 3.1 BASE GRANULAR DE UN PAVIMENTO

La base granular de un pavimento, es la capa base que se encuentra justo debajo de la capa de rodadura de asfalto; por su proximidad con la superficie, exige que esta base tenga una gran resistencia a la deformación y a las cargas verticales las cuales se someten a la estructura del pavimento. Se le denomina base granular al material granular mayormente de agregado grueso, en donde adicionalmente está compuesto por materiales pétreos, materiales naturales caracterizados, refiriéndose a la grava o roca, o la combinación de estos.

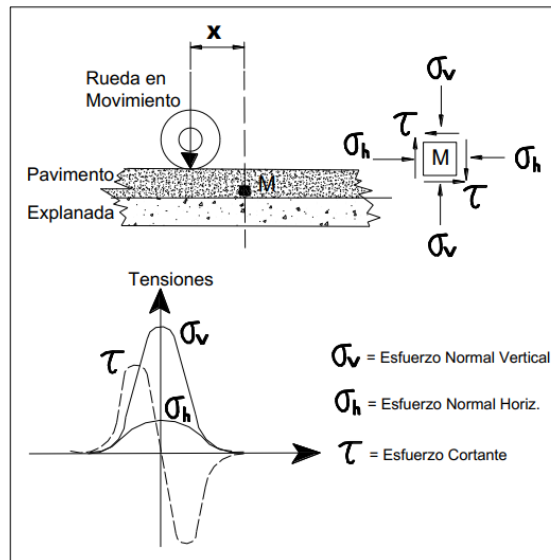
Las características de estos agregados pétreos, tienen unas condiciones, la cuales deben ser duras, resistentes y durables. Es necesario realizar los ensayos de laboratorio pertinentes para así evitar una cantidad excesiva de partículas alargadas, planas, blandas, con existencia de materia orgánica o componentes que puedan tener un efecto negativo en la calidad de la base granular. Estas características, se obtienen por medio de los ensayos de laboratorio de las propiedades físicas del suelo, por otra parte, también existen las propiedades mecánicas del suelo, las cuales principalmente generan datos como la capacidad de carga, capacidad de deformarse y volver a su estado original. Dichos ensayos se rigen por medio de normativas de las especificaciones generales de construcción de carreteras de cada país. Por esta razón para el cumplimiento de dichas condiciones de las bases granulares, es importante establecer una clasificación del suelo a usar en la base granular que garantice los resultados; ya sea una clasificación USCS o AASHTO. [41]

En las estructuras de pavimentos los materiales granulares, desempeñan un papel importante en la parte estructural, pues a lo largo de la etapa de funcionamiento del pavimento, estos son los encargados de soportar el tráfico para el cual son diseñadas las estructuras de un pavimento, proporcionando un cimiento, de tal manera que las capas superiores tengan lugar a situarse y compactarse. En consecuencia, cuando una estructura de pavimento está terminada, las capas que se encuentran debajo de la capa de rodadura asfáltica, actúan como suspensores de la capacidad final de tráfico.

El material granular bajo el peso del tráfico se encuentra sometido a pulsos de esfuerzos, cada uno de estos pulsos comprende una componente x, y, z. Los esfuerzos verticales y horizontales en las capas granulares de materiales sueltos son mayores a cero, mientras que los esfuerzos

de corte son invertidos durante el paso de la carga, llegando así a causar rotación sobre ejes primordiales de los esfuerzos.

En la ilustración es posible conocer los diferentes esfuerzos que ejerce una carga sobre la estructura del pavimento y las tensiones.

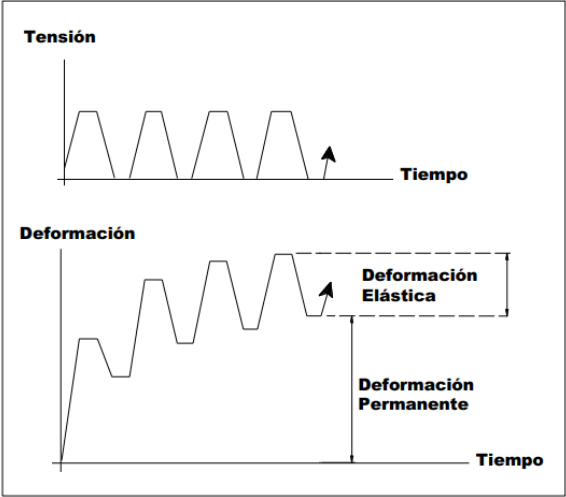


*Ilustración 1. Esfuerzos de las estructuras de pavimentos*

Fuente: Propiedades mecánicas de las capas de base y subbase construidas con materiales granulares en los firmes de carretera.

Cuando las bases granulares se encuentran sometidas a esfuerzos sin llegar a fallar, cada carga producida sobre ellas se convierte en una deformación de estos materiales, a tal punto que se recupera parcialmente cuando desaparecen estas cargas. La capacidad de deformación elástica después de cada sometimiento de carga, se considera como deformación resiliente, además está será mayormente constante al aumentar la cantidad de cargas; esto debido a que la deformación que es permanente se reduce con cada ciclo de carga, llegando a estar cerca de un comportamiento completamente resiliente. Así mismo, es de entenderse que el estado de los esfuerzos desarrollados bajo las cargas está ligado por el comportamiento resiliente de los materiales.

A continuación, se muestra una ilustración en la cual se aclara el comportamiento de tensión vs tiempo, la deformación vs tiempo, también como se comporta la deformación elástica y permanente.



*Ilustración 2. Deformación resiliente y permanente*

Fuente: Propiedades mecánicas de las capas de base y subbase construidas con materiales granulares en los firmes de carretera.

### 3.2 MÓDULO RESILIENTE

El término módulo resiliente, se refiere a la capacidad de energía en cuanto a cantidad que puede acumular un material previamente de superar su límite de elasticidad (deformación irreparable o permanente).

En las estructuras de pavimento, este módulo define la capacidad de sus materiales agregados de volver a su estado inicial, luego de ser sometidos a cargas cíclicas repetitivas, en donde esta energía se vuelve a disipar dejando la estructura en su estado inicial, luego de cesar la carga a la cual se ha sometido.

Cuando los materiales agregados que están conformando la estructura del pavimento se someten a cargas cíclicas repetitivas o fatiga, es cuando estos materiales comienzan a fracturarse o acumular deformación, la cual tiene dependencia de la rigidez inicial de los mismos. Estas cargas se pueden considerar como la principal causa de deformación que puede ser evidenciada sobre la superficie de la estructura de pavimento, dicha deformación se da antes de que la estructura haya estado sometida a los esfuerzos resistentes para la cual fue diseñada. Estas cargas cíclicas son transmitidas por el tránsito vehicular, en donde éste ejerce a la estructura de pavimento una serie de esfuerzos repetitivos que actúan a compresión, y luego a tensión. Estos son los responsables de las deformaciones en toda la estructura del pavimento. [35]

### 3.3 DESCRIPCION DEL ENSAYO DE MÓDULO RESILIENTE EN LABORATORIO

Una de las maneras de llevar a cabo este ensayo es realizarlo por medio de una probeta, en donde se estudia una muestra de suelo específico la cual puede ser tratada o no tratada, dicho suelo pasa por un confinamiento en una celda triaxial, siendo sometida a presiones de compresión, simulando las cargas a las que se somete la estructura de un pavimento. Previamente se somete la probeta inicial a un equipo el cual genera cargas cíclicas con diferentes niveles de magnitud y duración determinada, este ensayo nos proporciona la cantidad de fuerza resistente y las deformaciones que se producen en la muestra.

Por otra parte, el módulo resiliente también se puede calcular por medio de otro ensayo, el cual se le denomina corte directo. Este consiste en colocar un espécimen de ensayo en el equipo de corte directo, el siguiente paso es aplicar una carga normal determinada, teniendo en cuenta la disposición del drenaje, seguido de esto se realiza una consolidación a la muestra la cual está sometida la carga normal. Procediendo a la liberación de los soportes que contienen al espécimen, finalizando con aplicar un esfuerzo de corte y haciéndolo fallar. Por lo general más de dos (2) especímenes son ensayados, cada uno de estos sobre una fuerza normal antes no aplicada, para que así se pueda llegar a estipular los efectos a los que se encuentran sometidos, la resistencia al corte y las deformaciones.

Los intervalos de aplicación cargas se deben usar apropiadamente según las condiciones del suelo a estudiar. Se dice que este ensayo no es el mejor para obtener relaciones precisas de esfuerzo-deformación, debido a que la distribución de los esfuerzos de corte y deformaciones no son tan uniformes.

En contraste de este ensayo, se encuentra el anterior mencionado, es decir; compresión triaxial. Se caracteriza por ser una prueba confiable, ya que proporciona una información del comportamiento esfuerzo-deformación unitario del suelo, en condiciones más uniformes de los esfuerzos y finalmente proporciona datos más exactos, que son determinantes a la hora de conocer más flexibilidad en términos de trayectoria de carga.

Para realizar cualquier tipo de ensayo que lleve al cálculo del módulo resiliente, es necesario tener en cuenta que la AASTHO comprende la siguiente clasificación. La ASSTHO clasifica en 2 los tipos de materiales (no tratados) a ensayar:

Materiales gruesos o tipo 1: Las condiciones de este tipo de material están en la retención de más del 70% en el tamiz N°10 y menos del 20% en el tamiz N°200 según la norma ASSTHO esto materiales se pueden clasificar como A-1, A-1b, A-2 o A-3.

Materiales finos o tipo 2: Este material incluye todo el material que no cumple con el primer tipo, para la ASSTHO está clasificado como A-4, A-5, A-6 Y A-7. [33]



*Ilustración 3. Equipo triaxial dinámico cíclico.*

Fuente: matest

### 3.4 EQUIPOS UTILIZADOS EN EL CALCULO DEL MODULO RESILIENTE

#### 3.4.1 CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)

Este ensayo de laboratorio se encarga de medir la resistencia al esfuerzo cortante del suelo, se trata de una prueba de penetración, en la cual son controladas las condiciones de humedad y densidad que posee una muestra de material, con el fin de comprobar las características mecánicas del suelo ensayado y la humedad óptima. Evaluando así posteriormente a la realización de este ensayo de laboratorio, la calidad del suelo y los agregados para adecuar una vía de pavimento, ya sea sub rasante, sub base o base granular.

Al pasar del tiempo este valor ha tomado alto grado de importancia, por lo que el CBR expresa en sus mediciones y también por sus famosas correlaciones realizadas a partir de este ensayo en otros temas circundantes como, por ejemplo, el cálculo módulo resiliente.[40]



*Ilustración 4. Equipo California Bearing Ratio*

Fuente: indiamart

### 3.4.2 DEFLECTÓMETRO DE IMPACTO-FWD

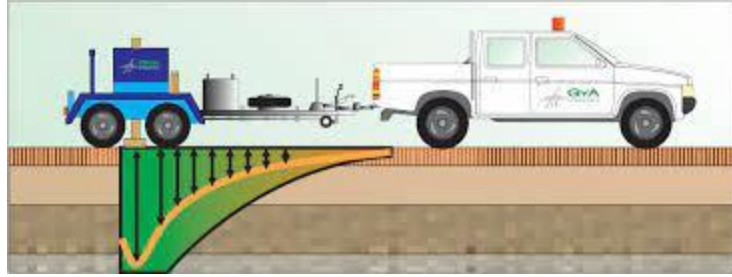
(Falling Weight Deflectometer) FWD o deflectómetro de impacto, es un equipo el cual funciona en campo, directamente con el pavimento. Se encarga de generar una carga dinámica al suelo, con el fin de simular una carga de una llanta de un vehículo sobre el pavimento. Por medio del software que contienen los distintos equipos de FWD, se determinan valores de importancia como son: los esfuerzos, las deformaciones de cada capa del pavimento, y los módulos elásticos. Parámetros necesarios para hallar el módulo resiliente de una base o sub base granular.

Algunos de los softwares que están incorporados en estos equipos, tienen la tecnología que abarca la capacidad de representar: la capa más débil, modo de falla, vida residual y proporciona alternativas eficientes para una rehabilitación óptima.

El deflectómetro de impacto tiene la apariencia de un pequeño remolque, o en algunos casos una versión montada de un camión (Truck Mounted Deflectometer), la cual solo se encuentran en países de primer mundo, donde este tipo de ensayos tiene un mayor enfoque en cuanto a nivel de estudio y profundidad se trata. [38]

Algunos de los beneficios que tiene este equipo son:

- El FWD es utilizado en todo el mundo, las condiciones climáticas no afectan su funcionamiento, por lo cual se utiliza en todas las regiones del mundo.
- Es una técnica empírica-mecanicista casi universal lo cual se puede realizar sobre cualquier tipo de suelo y/o pavimento.
- Ya que el software proporciona datos en tiempo real, esto nos garantiza un monitoreo en el mismo momento en el que se realiza el ensayo.
- La posible falla que pueda efectuar un pavimento, la determinaría el software hallando la resistencia del suelo.
- Las pruebas con el FWD son automatizadas y casi instantáneas, en comparación con otro tipo de ensayos. por eso es una gran opción en casi todo el mundo.



*Ilustración 5. Deflectómetro de impacto FWD, diagrama de carga*

Fuente: Calculo mecánico de pavimentos a partir de los ensayos no destructivos, proyecto de grado.



*Ilustración 6. Deflectómetro de impacto FWD*

Fuente: acyaglobal

### 3.4.3 DEFLECTÓMETRO DE IMPACTO LIVIANO-LWD

(Light Weight Deflectometer) LWD o deflectómetro de impacto liviano. Es un equipo o dispositivo que se usa para el control de calidad de la compactación, el cual se encarga de hacer ensayos en campo no destructivos, genera parámetros como la capacidad de carga, la cual vendría siendo el “modulo E”.

El equipo necesita de un geófono y una célula de carga de alta precisión con lo cual comprueba la calidad de la compactación de las capas, y del material de las capas en el sitio donde se realizó la prueba. Si lo comparamos directamente con el deflectómetro de impacto FWD, este dispositivo se puede manipular por una sola persona en menos de dos minutos, sin necesidad de contrapeso como un rodillo o camión, acciones que no se podrían realizar con el FWD.

La alta gama de accesorios para cada ocasión son las que le permiten al ingeniero u operador una mayor confiabilidad y precisión en todos los parámetros de calidad de la compactación del suelo en comparación con las pruebas realizadas con el deflectómetro de impacto FWD. [39]



*Ilustración 7. Deflectómetro de impacto liviano LWD*

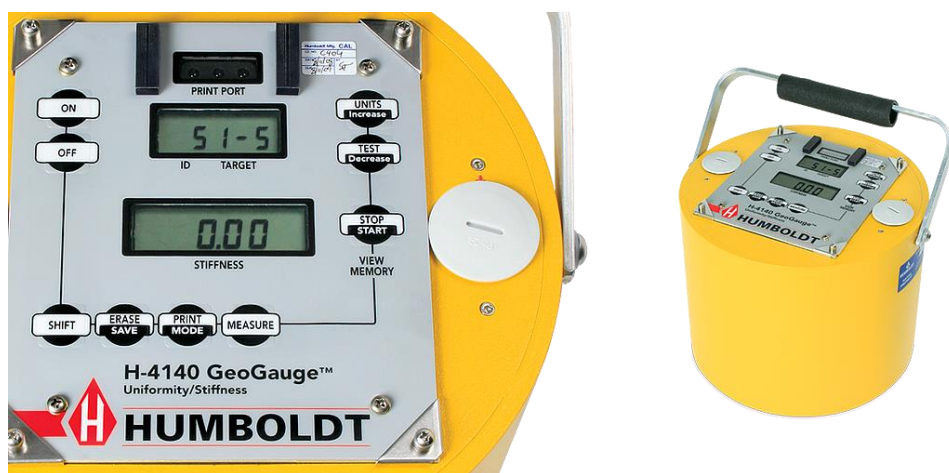
Fuente: terratest

### 3.4.4 EQUIPO GEOGAUGE

Es una herramienta de campo, funciona ejerciendo pequeñas frecuencias directamente en el suelo, se encarga de simular cargas que generan pequeñas vibraciones en el material, con el fin de obtener un desplazamiento resultante y de allí una rigidez determinada. Lo cual proporciona una relación entre fuerza y deformación de la misma estructura, todo esto in situ, gracias a los niveles de tensión que el Geogauge ofrece, con lo cual este equipo y esta tecnología, simula condiciones reales de uso, lo cual es importante, ya que aumenta el grado de confiabilidad en los valores obtenidos.

Esta herramienta es de gran ayuda en la ingeniería de pavimentos, de tal modo que se pueden encontrar anomalías o irregularidades en la densidad, rigidez o compactación del suelo y sus capas, como también aporta las medidas correctivas mediante su software; con el fin de mejorar eficazmente la construcción de bases y sub bases del pavimento, sin importar los materiales que componen la estructura. El geogauge es un equipo complementario de uso perfecto, en cuanto a la medición de la densidad se trata, con lo que se puede obtener una compactación adecuada mediante los estándares necesarios relacionados en las normas. Por medio de la densidad podemos obtener valores como la rigidez o módulos mediante relaciones existentes.

También permite realizar un monitoreo en tiempo real, mientras se está ejecutando la compactación de la estructura, con lo cual se puede tener un control eficaz en cuanto a la uniformidad estructural, desviación, resistencia y control de calidad de los materiales. Con lo cual también proporcionaría una mejor calidad de estructura en la construcción de un pavimento. [42]



*Ilustración 8. Equipo Geogauge*

Fuente: humboldtmfg

### 3.5 MÉTODOS ALTERNATIVOS PARA EL CÁLCULO DEL MÓDULO RESILIENTE.

Con el fin de reducir el número de los ensayos de clasificación de los suelos y las propiedades mecánicas de los mismos, los diferentes países han podido desarrollar modelos que permiten predecir el módulo resiliente sin necesidad de tener que realizar los ensayos de módulo resiliente, que generalmente toman un tiempo prudente, a su vez poseen un costo elevado y su disponibilidad es muy limitada. Pues muchos laboratorios no cuentan con los recursos amplios para la adquisición de dichos equipos especializados, que tiene como función realizar el cálculo real de dichas propiedades mecánicas.

Actualmente la literatura disponible acerca del módulo resiliente permite lograr calcular los valores resilientes de manera ventajosa, en función de variables tales como pesos específicos, humedad óptima, estados de consistencia, presión de confinamiento, cbr, entre otras.

A lo largo de los años, por esta razón las entidades y varios autores, se han puesto en la tarea de desarrollar software con la capacidad para realizar retro cálculos en tan poco tiempo, ecuaciones que permiten predecir este valor y/o correlaciones con otros ensayos; como lo es especialmente el ensayo de California bearing ratio (CBR), teniendo como finalidad tener una parte técnica más práctica consiguiendo ahorrar tiempo, dinero y disponibilidad a la hora de obtener los valores del módulo resiliente.

Para mayor claridad de lo anteriormente mencionado, a continuación, se van a dar a conocer las ecuaciones, correlaciones y mencionar los diferentes softwares que fueron empleados en los diferentes documentos que se tuvieron en cuenta en esta compilación.

**Ecuación Rahim y George (2005)**, relaciona variables como lo son la densidad, grado de uniformidad, contenido de agua y finos para materiales granulares:

$$Mr = K1 * \rho a \left(1 + \frac{\theta}{1 + q}\right)^{k2} \quad (1)$$

*Ecuación 1. Ecuación de Rahim y George*

Dónde:

$$K1 = 0.12 + 0.80\gamma d - 0.53w - 0.017(\#200) + 0.314(\log Cu)$$

$$K2 = 0.226(\gamma d * w)^{1.2385} * \left(\frac{\#200}{\log Cu}\right)^{0.124}$$

Dónde:

$\theta$ : Sumatoria de esfuerzos principales

q: Esfuerzo desviador

$\gamma d$ : Densidad seca

W: Contenido de agua en la muestra

$\rho a$ : Presión atmosférica

#200: Porcentaje de material que pasa por el tamiz No. 200

$Cu$ : Coeficiente de uniformidad.

**Ecuación de Dormann y Metcalf**, determina el módulo de las capas granulares mediante una correlación donde se debe conocer previamente el módulo resiliente de la subrasante y el espesor de la capa granular. (4)

$$E_{base} = 0.2 * (h_2^{0.45}) * E_{sub}$$

( 2)

*Ecuación 2. Ecuación de Dormann y Metcalf*

Donde:

$E_{base}$ : Modulo resiliente de la base granular (MPa)

$h_2$ : Espesor de la capa granular (mm)

$E_{sub}$ : Módulo resiliente de la subrasante (MPa).

**Uzan (universal, 1985),**

( 3)

$$\frac{Mr}{\sigma_{atm}} = k_1 \left( \frac{\theta}{\sigma_{atm}} \right)^{k_2} \left( \frac{\sigma_d}{\sigma_{atm}} \right)^{k_3}$$

*Ecuación 3. Ecuación universal, Uzan*

Donde:

$\theta = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3$       Esfuerzo masivo

K1, k2, k3: coeficientes de regresión

$\sigma_{atm}$ : Presión atmosférica

$\sigma_d$ : Esfuerzo desviador

**AASHTO model,**

( 4)

$$Mr = k_1(\theta)^{k_2}$$

*Ecuación 4. Ecuación modelo AASHTO*

Donde:

$\theta = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3$       Esfuerzo masivo

K1, k2= coeficientes de regresión

También por parte la AASHTO ha llegado determinar correlaciones en las cuales el parámetro del cual dependen para el cálculo del módulo resiliente, es el valor del ensayo de california bearing ratio (CBR).

A continuación, en la Ilustración 9. Correlación módulo resiliente con CBR, se puede evidenciar un gráfico, el cual comprende el comportamiento de dichas correlaciones estipuladas a partir de los diferentes valores de CBR.

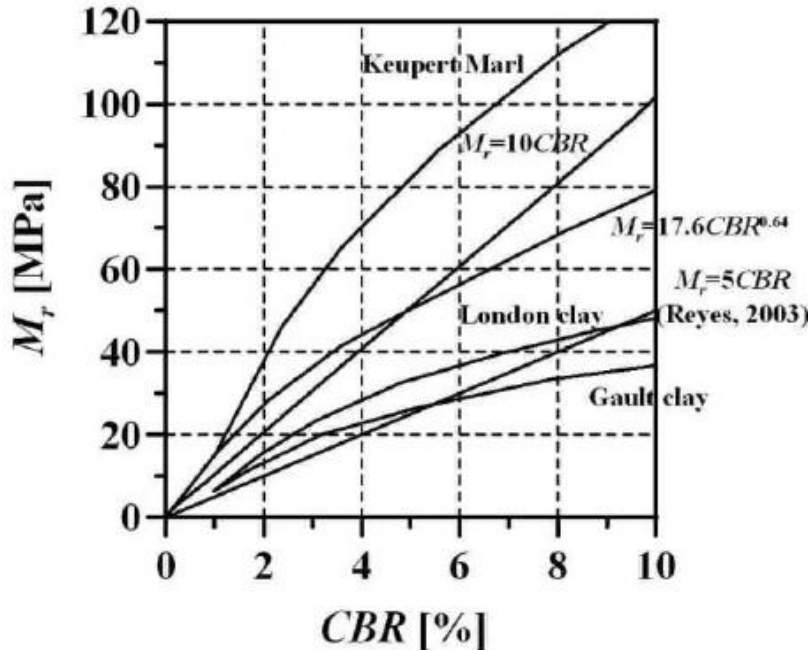


Ilustración 9. Correlación módulo resiliente con CBR

Fuente: researchgate

[https://www.researchgate.net/figure/Relacion-entre-el-CBR-y-el-modulo-resiliente-Mr-Fuente-Autores\\_fig1\\_260778296](https://www.researchgate.net/figure/Relacion-entre-el-CBR-y-el-modulo-resiliente-Mr-Fuente-Autores_fig1_260778296)

Cabe resaltar, que cada país ha desarrollado sus propias correlaciones dependiendo del tipo de suelo, a continuación, en la Tabla 1. Correlaciones de CBR más usadas, se presentan las que fueron usadas en los documentos que hacen parte de esta compilación.

Tabla 1. Correlaciones de CBR más usadas

Nombre	Correlación
Ecuación de Ullidtz (1987)	$Mr(MPa) = 10 * CBR(\%)^{0.7312}$
Ecuación usada en Chile	$Mr\left(\frac{lb}{pulg^2}\right) = 3220 * CBR(\%)^{0.5513}$
Ecuación de TRRL (Transport Road Laboratory)	$Mr(MPa) = 18 * CBR(\%)^{0.64}$
Método de diseño Shell Heukelom y Foster (1960)	$Mr(MPa) = 10 * CBR$
Cuerpo de ingenieros de los Estados Unidos Green y Hall (1975)	$Mr(MPa) = 38 * CBR^{0.711}$
Consejo de Sudáfrica Ayres (1997)	$Mr(MPa) = 21 * CBR^{0.65}$
Guía de diseño AASHTO 93 con $5,25 < B < 21$ ; $B=10,5$ para $CBR < 10$	$Mr(MPa) = B * CBR$
Colombia, Suelos de bogotá	$MR(MPa) = 6,5 * CBR^{0.625}$

*Elaboración propia.*

Adicionalmente, existen softwares disponibles para el desarrollo del retro cálculo, los cuales son usados para determinar los módulos resilientes de la estructura de un pavimento, teniendo en cuenta como base los valores de deflexión medidos por los equipos de deflectometría de impacto. Estos se encuentran diseñados bajo un algoritmo que es el encargado del análisis para dicho retro cálculo, considerando así las estructuras de pavimentos como un sistema que tiene un comportamiento elástico.

Entre los más usados se encuentran: DAPS, EVERCALC, VESYS, este último tiene en cuenta los resultados de los valores del ensayo de deformación permanente.

#### 4. METODOLOGÍA

Se inició con la búsqueda de información en las diferentes bases de datos disponibles en la web, acerca del cálculo del módulo resiliente en bases granulares, filtrando preliminarmente que no se trataran de bases granulares no tratadas y que fueran investigaciones realizadas recientemente (menos de 20 años de publicación).

Posteriormente se fue dando la recopilación, de tal modo que se organizó la investigación con los siguientes campos: número (asignado), nombre de la investigación, de que trata, país-año y por último la metodología. Esto permitió que se realizara una selección más a fondo y acertada de los documentos tenidos en cuenta en este proyecto de grado, seguidamente de esto se clasificó la información mediante otras tablas las cuales contienen “tipo de documento según nivel de educación, base de datos consultadas y un conteo de investigaciones respecto al país de origen”, concluyendo de esta manera la selección, obtención y recopilación.

Para la valoración de los resultados experimentales y teóricos de los módulos resilientes hallados en los diferentes documentos, se realizó la Tabla 10. Tabla de los resultados hallados en los diferentes documentos, presentando los valores que fueron posibles capturar de cada uno de los documentos, pudiendo dar paso a la interpretación de los mismos, con el fin de establecer sus relaciones entre sí. En lo que concierne a la comparación de los aspectos técnicos y económicos de acuerdo a las diversas metodologías empleadas para el cálculo del módulo resiliente, en dichos documentos base, se lograron estipular los diferentes métodos para el cálculo del módulo resiliente hallado teórico y experimentalmente desarrollados y tenidos en cuenta por varios países. Esto permite que tanto el autor, como el lector puedan realizar una apreciación del método más viable, según las condiciones y el tipo de obra de diseño y/o rehabilitación de una estructura de pavimento flexible, en cuanto concierne al manejo de las bases granulares.

## 5. RECOLECCIÓN DE LOS DOCUMENTOS

Una vez realizada la búsqueda en las diferentes bases de datos de la web, teniendo en cuenta que se pretendían hallar documentos base que trataran de incluir el cálculo del módulo resiliente en bases granulares no tratadas, ya sea experimental y/o teóricamente. Posterior a esto se intentó plasmar la información captada, dando a conocer el título de la investigación, breve descripción de que trata, país, año, metodología empleada en el cálculo del módulo resiliente y por último se designó un número el cual se tendrá en cuenta a lo largo de este proyecto de grado. A continuación, la Tabla 2. Compilación de documentos base investigación, presenta lo anteriormente dicho:

*Tabla 2. Compilación de documentos base investigación*

NUMERO	NOMBRE	DE QUE TRATA	AÑO-PAIS	METODOLOGÍA
1	Investigación bibliográfica y aplicación de método para encontrar correlación entre módulo resiliente de materiales granulares comercializa dos en el	Determinar una relación entre las variables del valor de módulo resiliente y el valor de CBR para materiales granulares comercializados en la ciudad de Cuenca. Para ello primeramente se realizó una investigación bibliográfica y de aplicación de método según la normativa vigente del país. Una vez realizadas todas las pruebas de laboratorio en el documento de referencia, los	Ecuador, 2019	Norma ecuatoriana vial 2012. Dentro de los ensayos que hacen parte de la clasificación fisicomecanica de las bases granulares se encuentra la granulometría, límites de atterberg, densidad máxima (corresponde al ensayo CBR En cuanto al módulo resiliente se refiere, se calcula a través del CBR con la metodología de la

	Cantón Cuenca	resultados dieron la posibilidad de generar procedimientos estadísticos de regresión exponencial, teniendo como fin encontrar un modelo que permite determinar el valor del módulo resiliente a través de CBR para estos materiales granulares comercializados en Cuenca.		aplicación de ecuación Rahim & George (2005).
<b>2</b>	Comparación técnica entre los ensayos de laboratorio de Módulo de Young y CBR para base y sub base. Casos de Estudio Mina Compañía Jhv (Tena)	Realizar una comparación técnica entre los ensayos de módulo resiliente (Young) y CBR de laboratorio para los materiales de base y subbase. determinar CBR en laboratorio, determinar el módulo de Young real, encontrar correlaciones en base a los resultados obtenidos, verificar si se optimiza o no el diseño de los espesores de la base y sub base	Ecuador, 2019	La determinación del módulo de resiliencia de este proyecto, se realizará por medio del método de CBR, la cual, a su vez, tendrá una correlación con el módulo de YOUNG, mediante una transformación se obtiene el módulo de resiliencia. Se realizaron pruebas de ensayo de laboratorio para hallar CBR y módulo resiliente, posteriormente se realizaron las correlaciones.

				<p>Caracterización física según la norma NEVI-12-MTOP</p> <p>Geogauge para encontrar las propiedades necesarias para la compactación de las diferentes capas, sin ser un ensayo de tipo destructivo.</p>
3	<p>COMPARACIÓN TÉCNICA ENTRE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO DE MÓDULO RESILIENTE Y CBR DE LABORATORIO PARA BASE Y SUBBASE DE LA MINA COPETO</p>	<p>Documento investigativo, orientado a la obtención de una correlación técnica entre los ensayos de CBR de laboratorio y módulo resiliente para el agregado que proviene de la mina de “Copeto”, localizada en Santo domingo de Tsáchilas, para así obtener valores reales para la optimización de material que será utilizado en el diseño de proyectos viales.</p> <p>El objeto final de esta investigación es encontrar una correlación que, mediante el CBR de laboratorio, que permita encontrar el módulo resiliente sin la necesidad de realizar el ensayo según la</p>	Ecuador, 2018	<p>Se realizaron todos los ensayos de clasificación de los agregados de base y sub base granular según la norma NEVI-12-MTOP, también cumpliendo con las normas ASTM.</p> <p>Cálculo del módulo resiliente por medio de la ecuación de Ullidtz, ecuación usada en Chile, ecuación del programa PAS, ecuación de TRRL (Transportation Road Laboratory).</p> <p>Se realizaron ensayos de CBR y módulo resiliente por medio del triaxial dinámico.</p>

	(TOACHI – SANTO DOMINGO DE LOS TSÁCHILAS)	– AASHTO 93. Teniendo valores más cercanos a la realidad, para posteriormente realizar comparación técnica entre los ensayos de laboratorio de módulo resiliente y CBR de laboratorio.		
4	RELACIÓN ENTRE EL MÓDULO RESILIENTE HALLADO POR RETROCALCULO Y EL ENCONTRADO EN ENSAYOS DE LABORATORIO	Determinar los factores de ajuste que relacionan el módulo resiliente hallado por retro cálculo y el obtenido a partir de ensayos de laboratorio. Con el fin de mostrar algunas metodologías de retro cálculo usadas para hallar el módulo resiliente, posteriormente comparar los resultados obtenidos por cada una de las mismas y así procediendo analizar la relación entre los factores de ajuste encontrados respecto al contenido de humedad de los materiales granulares y también la temperatura del pavimento sobre la mezcla asfáltica, evitando de este modo realizar pruebas destructivas y	Colombia, 2010	Ensayo de deflectometría no destructivo para hallar el módulo resiliente. Ensayo de laboratorio triaxial dinámico. Caracterización físico mecánica de las capas. Obtención de los módulos retrocalculados realizados por métodos dispuestos, como lo son las formulaciones de cálculo directo, ecuaciones desarrolladas a partir de regresiones y dos herramientas computacionales.

---

sobre costos en el cálculo del módulo resiliente.

<b>5</b>	Implementación del ensayo de módulo resiliente en bases granulares	Implementar el ensayo AASHTO T 307, método estándar para determinar el módulo resiliente de suelos y materiales granulares como método alternativo para la caracterización hallando el CBR de los mismos. También se va a desarrollar los modelos mecanísticos de comportamiento no lineal de los materiales granulares con el fin de generar alternativas de diseño de pavimentos en este país, permitiendo así una predicción del módulo resiliente.	Costa Rica, 2009	En este documento la determinación del módulo de resiliencia fue por medio del método de caracterización por CBR de los materiales.	Ensayo de triaxial dinámico AASHTO T307	Se emplearon dos fases, la primera constó de los parámetros tal cual los dice la norma, dos dimensiones de especímenes a ensayar; el primer espécimen de 150mm y 120mm, para este último se descartó el agregado más grueso de 19mm.
----------	--	--	------------------	---	--	--

---

				La segunda fase se descartó el material retenido en el tamiz de 19.0mm (N° 3/4) de la granulometría original
6	EVALUACIÓN DEL MÓDULO RESILIENTE Y DEFORMACIÓN PERMANENTE DE UNA BASE GRANULAR MECÁNICA ESTABILIZADA CON GEOMALLA	El objeto principal de este documento, se basa en la determinación de los módulos resilientes y deformaciones permanentes, que actúan en las bases granulares. Estas bases granulares son estudiadas con diferentes tipos de geomalla y sin geomalla, con el fin de obtener una caracterización mecánica del conjunto malla-base. De esta manera, evidenciar si existe alguna importancia sobre el aporte de este material, en cuanto al módulo de resiliencia y deformaciones permanentes se trata.	Ecuador, 2015	La determinación del módulo resiliente la hacen por medio de ensayos realizados en la maquina triaxial, bajo la normativa de la AASTHO T-307 y la deformación permanente, siguiente la normativa NCHRP.  Valores teóricos por medio del CBR; Método de diseño SHELL Cuerpo de ingenieros de EEUU Transport and Road Research Laboratory(TRRL) Consejo de sudafrica y Colombia

7	RELATIONS HIP BETWEEN RESILIENT MODULUS AND SOIL INDEX PROPERTIE S OF UNBOUND MATERIALS	El objetivo de esta tesis es determinar el módulo resiliente requerido en el diseño de estructuras de pavimentos. Para los tipos de material no consolidados y de esta manera desarrollar modelos de predicción lineales y no lineales que determinen la resiliencia según las propiedades mecánicas del suelo, relación de carga de california (CBR) y los resultados de la prueba del deflectómetro de caída de peso ligero (LFWD)	Turquía, 2007	Se determina experimentalmente el módulo resiliente por medio del parámetro CBR.  Se desarrollaron funciones de correlación confiables para el módulo resiliente (lineales y no lineales)  AASHTO T307 [2000]
8	Development of resilient modulus prediction models for base and subgrade pavement layers from in situ devices test results	El objetivo de este documento, es desarrollar métodos que nos proporcionen el módulo de resiliencia con ensayos en situ y laboratorio; sobre bases y sub bases granulares.  Se hizo uso de geogauge, deflectómetro de impacto y penetrómetro de cono dinámico; junto con las pruebas de laboratorio	Estados Unidos, 2004	Realización de pruebas triaxiales para determinar el módulo resiliente en laboratorio y dispositivo Geogauge usado en situ. Se realizó análisis estadístico para desarrollar modelos que predican el módulo resiliente.  Las modelos que se utilizaron para predecir el valor del módulo

		<p>de ensayos triaxiales en los tipos de suelos evaluados.</p> <p>También busca demostrar como el módulo puede cambiar según las diferentes variables que son independientes, con lo cual, al usar los diferentes modelos de predicción, se concluyó que uno de los factores que más influyen son: el tipo de material que se usará para las capas del pavimento. El autor indica que Módulo resiliente también demostró ser mayor en los ensayos, que en la teoría como tal.</p>		<p>resiliente fueron por medio de, penetrómetro de impacto liviano, penetrómetro dinámico liviano en el caso de materiales cohesivos. Y para materiales granulares, se llevó a cabo por medio de Geogauge, penetrómetro de impacto liviano, y por penetrómetro dinámico liviano.</p>
9	RESILIENT MODULUS AND PERMANENT DEFORMATION TESTING OF UNBOUND	<p>Este estudio hace uso de una prueba ampliada, llamada prueba de rendimiento, donde incluye el módulo resiliente y realiza una declaración de precisión dentro del laboratorio. Además de esto, se realizó un análisis estadístico de los resultados, llegando a estimar el número de muestras requeridas para probar niveles de confiabilidad.</p>	Estados Unidos, 2004	<p>Se realizó una prueba extendida la cual incluye mediciones no lineales de los parámetros del módulo resiliente y los parámetros de deformaciones permanentes. Buscó evaluar la influencia del tamaño de la muestra y el nivel de compactación en la prueba para encontrar las variaciones.</p>

GRANULAR MATERIALS	<p>Por otro lado, el objetivo principal de este estudio, es desarrollar una evaluación rigurosa sobre el módulo y la deformación permanente elástica, generando una herramienta de medición de laboratorio simplificada, relativamente económica y fácil de realizar; para finalmente hallar las propiedades de materiales, gracias a los modelos de predicción, para un óptimo rendimiento del pavimento. También tiene como fin determinar si el tamaño de la muestra del espécimen afecta en algo los valores del módulo resiliente.</p>	<p>Se realizó bajo modelos de deformación permanente y no permanente</p> <p>Guía de diseño AASHTO, ensayo de triaxial.</p> <p>Basado también en NCHRP 1-28</p>
<b>10</b>	<p>Characterization of Unbound Materials for Mechanistic-Empirical Pavement Design (MEPDG)</p> <p>La AASHTO determinó de Estados Unidos, 2017</p> <p>desing (MEPDG) como la guía estándar, que sería usada a partir del 2008.</p> <p>Esta guía sigue un enfoque jerárquico, definiendo así tres</p>	<p>En este proyecto se determinó el módulo mediante ensayos que provienen de la guía de diseño de pavimento empírico mecanista (MEPDG)</p> <p>Se desarrolló un modelo de predicción del módulo resiliente.</p>

---

Design Guide (MEPDG) niveles de efectividad para el diseño de pavimentos flexibles basados en el estudio de las propiedades de los materiales usados en base, sub base y la capa subrasante. En esta investigación el autor va emplear esta guía de diseño, estudiando material de la zona.

Uno de los principales objetivos de esta investigación fué desarrollar un modelo de predicción del módulo resiliente de las diferentes capas de la estructura del pavimento, que van a ser usadas en un futuro para el diseño y rehabilitación de proyectos en el distrito de nevada.

El autor resalta que en dicho distrito es permitido calcular el valor del módulo resiliente a partir de una ecuación estipulada en proyectos anteriores, que se encuentran en la base de datos de NDOT siempre y cuando se encuentren en esta guía

---

Se realizó la prueba triaxial según el AASHTO T307

---

de diseños predeterminados a partir de áreas geográficas.

---

<b>11</b>	High performance granular base and subbase materials incorporating reclaimed asphalt concrete pavement	El objeto de esta tesis, es evidenciar un posible incremento en el módulo resiliente de los materiales granulares naturales agregándoles RAP en una cantidad optimizada. Los contenidos de RAP analizados fueron del 0%, 25%, 50%, 75% y 100%, permitiendo así comprobar el comportamiento de la base y sub base granular respecto a los diferentes porcentajes.	Canadá, 2014	En este estudio, el módulo resiliente se determinó mediante la caracterización del material granular con diferentes cantidades de RAP, al que le hicieron ensayos como: densidad relativa, métodos de compactación, nivel de esfuerzo y del CBR del material granular. Metodología AASHTO empleada.
<b>12</b>	COMPARACIÓN TÉCNICA ENTRE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO DE	El objeto de este proyecto, es encontrar una correlación entre el CBR y módulo resiliente, teniendo en cuenta que las fórmulas existentes para dicha correlación del módulo resiliente no corresponden necesariamente a los	Ecuador, 2008	Cálculo del CBR mediante los ensayos de laboratorio, para las diferentes bases y sub bases.  Se realizaron 3 ensayos de triaxial para las diferentes capas utilizadas y así tener una mayor

---

	MÓDULO RESILIENTE Y CBR DE LABORATORIO PARA BASE Y SUBBASE DE LA MINA COPETO	tipos de materiales existentes en las minas de este país. De tal modo que se van a realizar pruebas de laboratorio que permitan calcular el módulo resiliente, y realizar la caracterización para el agregado de la zona a evaluar. Permitiendo así, tener valores reales para la optimización del material a usarse en posteriores proyectos viales; para esto se realizó un diseño vial con los valores reales, logrando poder comparar el espesor calculado por el método AASHTO 93, con el espesor que se obtuvo mediante la correlación y los valores de CBR a partir de los ensayos de laboratorio aplicados.		cantidad de datos que permita calcular un resultado más real.  Metodología AASHTO que se especifica en la norma NEVI-12-MTOP.  Valores teóricos del módulo resiliente a partir de: Ecuación de Ullidtz(1987) Ecuación usada en Chile Ecuación programa PAS
13	EVALUACIÓN DEL MÓDULO RESILIENTE	Esta tesis se basa en determinar los parámetros dinámicos como el módulo resiliente y la deformación permanente a los materiales que	Colombia, 2014	En este documento, se estudió un material el cual fue adquirido de una cantera, el cual luego fue sometido a pruebas de

	Y DEFORMACI ÓN PERMANEN TE EN MATERIAL ARCILLOSO CON PRESENCIA DE MATERIAL FRICCIONA NTE	conforman la estructura del pavimento, el fin de esta tesis, es encontrar estos valores de la manera más óptima y certera.  Principalmente, el estudio se basó en dos materiales obtenidos de una cantería (arcilla y arena), cuya función es estudiar sus propiedades mecánicas y dinámicas e interpretar un aumento en sus características dinámicas cuando estos suelos se complementan entre sí y en qué porcentaje lo hacen.		caracterización mecánica y dinámica en laboratorio.  se procedió a hallar el módulo resiliente por medio de esfuerzos desviadores bajo los parámetros de la normal INV 156-07, con ensayos de diferentes porcentajes de suelo, entre arcilla y arena.
14	VERIFICACI ÓN DEL MÓDULO ELÁSTICO DE BASES GRANULAR ES OBTENIDO A TRAVÉS DEL	Este documento busca estudiar unas estructuras de pavimento en escala real, en donde su objetivo principal, es demostrar un aumento en el módulo resiliente, cuando se emplean materiales adicionales a la estructura, como en este caso, celdas de presión. En este caso teniendo unos parámetros ya predeterminados, como lo son: el	Chile, 2018	Se construyeron estructuras de prueba a escala real, en donde la estructura consiste en dos capas de suelo, una base granular y una subrasante, en donde ya se conocía el valor del CBR inicial de la subrasante cambiando un pequeño porcentaje, para la toma de datos en las pruebas.

	DEFLECTÓ METRO DE IMPACTO LIVIANO (LWD) EMPLEAND O CELDAS DE PRESIÓN	espesor de las capas del pavimento, el CBR de diseño, el tipo de material.		Además, se utilizó como investigación el estudio del posible aumento en las características dinámicas de la estructura, por medio de un par de celdas de presión ubicadas entre la interfaz de la base granular y la subrasante.  Para hallar el Mr. se utilizaron ensayos directos en campo por medio del deflectómetro de impacto liviano (LWD)
15	DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE RESILIENCIA DE LAS ARCILLAS DEL EX LAGO DE TEXCOCO	El objetivo de este documento fue hacer ensayos de módulo de resiliencia en laboratorio a un material seleccionado, de esta manera preestablecer un rango de valor para el módulo de este suelo con características similares.	México, 2017	Determinación el módulo de resiliencia mediante ensayos relacionados con la norma AASTHO T 307 99- 2007

<p><b>16</b></p> <p>EVALUACIÓN DEL MÓDULO RESILIENTE FUNDAMENTO EN LA DEFLECTOMETRÍA Y LA GEOTECNIA PARA OPTIMIZAR DISEÑOS Y COSTOS EN PAVIMENTO RECICLADO S DE LA CARRETERA A YANANGO – PUENTE HERRERÍA</p>	<p>Se evaluó el módulo de resiliencia del terreno de fundación vial por medio de la geotecnia, utilizando la guía de diseño de pavimentos AASTHO 1993, incorporando pavimentos reciclados con carpeta asfáltica de gran espesor.</p> <p>El fin de este documento, es realizar los respectivos estudios para poder llevar a cabo una evaluación e interpretación entre las alteraciones que existen entre las diferentes metodologías a la hora de realizar un análisis dinámico en la estructura del pavimento, en cuanto al módulo resiliente se trata.</p>	<p>Perú, 2020</p>	<p>Buscamos hallar los módulos resilientes mediante dos metodologías diferentes para poder ejercer una comparación entre ellos.</p> <p>Las metodologías en las que este proyecto se basa, serían por medio de CBR con ensayos en laboratorio y por medio del deflectómetro de impacto, ensayo realizado en campo (FWD) teniendo en cuenta el criterio de la guía AASTHO 1993.</p>
--	--	-------------------	---

17	<p>DETERMINACIÓN DEL MÓDULO RESILIENTE TENIENDO COMO BASE LA PROPAGACIÓN DE ONDAS DE COMPRESIÓN (P) Y EL PRINCIPIO DE PIEZOELECTRICIDAD.</p>	<p>Realizaron pruebas de laboratorio de muestras obtenidas de un lugar específico, en donde determinan el módulo de resiliencia por medio de los respectivos ensayos establecidos.</p> <p>En este caso, determinaron el módulo resiliente de manera directa e indirecta, con el fin de poder ofrecer una comparativa entre las diferentes metodologías.</p> <p>En este proyecto tienen como base la propagación de la onda P del principio de piezoelectricidad, la cual es una variable dependiente a la humedad, densidad y tipo de suelo, los cuales son a su vez variables que alteran al módulo de resiliencia, el objetivo es estudiar el comportamiento de la propagación de la onda, para la determinación del módulo resiliente.</p>	Venezuela, 2015	<p>La metodología para la determinación del módulo de resiliencia, es obtenida por medio de la correlación entre el CBR de laboratorio, compresión no confinada, ensayo triaxial dinámico ejecutado por el software PLAXIS 2D, esto por parte de los ensayos hallados en laboratorio. Por parte de campo, se realizó por medio del deflectómetro de impacto liviano LWID.</p> <p>El fin de realizar las diversas metodologías es tener en cuenta las diferencias entre los resultados obtenidos entre medición directa o indirecta.</p>
----	--	---	-----------------	---

---

<b>18</b>	<p>Acondicionamiento de un Equipo Triaxial Cíclico Para la Estimación de Módulo Resiliente, Utilizado en el Diseño de Pavimentos</p>	<p>En este documento, se tomó una muestra de una alicata en un tramo al azar de un pavimento existente ubicado en el sur de Quito. El principal objeto de este proyecto, consiste en caracterizar y ensayar esa muestra, hasta obtener por un lado el valor del CBR, para hallar el Mr. por medio de una correlación; y, por otro lado, el valor del Mr. se hallará por medio de un acondicionamiento de equipo triaxial cíclico.</p> <p>Se determinó el Mr. mediante estas dos metodologías, con el fin de evidenciar una diferencia entre estos dos tipos de pruebas, una directa y la otra indirecta.</p>	Ecuador, 2013	<p>La metodología de este proyecto consiste en la determinación del módulo de resiliencia mediante el método de CBR por medio de una correlación; También mediante un acondicionamiento de un equipo triaxial cíclico utilizado en laboratorio, con el fin de tener un Módulo resiliente menos incierto con respecto por medio de correlación.</p> <p>Estos ensayos están determinados bajo la normativa de la AASTHO.</p>
-----------	--	--	---------------	--

---

---

<b>19</b>	<p>EL MÓDULO DE RESILIENCIA: Cómo fluctúa después de la construcción del pavimento y cómo estimar estas fluctuaciones</p>	<p>Se basa en la extracción de un material en diferentes calitas de pavimentos existentes con diferentes condiciones climáticas y mecánicas.</p> <p>Con el fin de hacer el respectivo estudio de caracterización al suelo, para poder simular las cargas que el pavimento puede recibir mediante esfuerzos generados en máquina de laboratorio triaxial. Con el fin de obtener la relación que teóricamente existe entre el contenido de humedad y la relación de esfuerzos a los que se somete la muestra, los cuales son las principales variantes por las que el Mr. puede llegar a variar notablemente. En este documento técnico se intenta proponer una metodología en la cual se pueda evidenciar una relación en el módulo resiliente de algunos suelos finos, cuando el contenido de</p>	<p>México, 2016</p>	<p>Para esta investigación, se realizó por medio de una extracción directa del material, una caracterización y evaluación del mismo, en donde cada muestra fue sometida a un cambio de humedad, algunas muestras recibieron agua para aumentarla, y aire durante días para reducirla, con el fin de poder tener una relación entre el contenido de humedad y el módulo resiliente hallado directamente. Luego de ello, hacen uso del equipo triaxial de cargas cíclicas en laboratorio, para simular los respectivos esfuerzos a los que podría ser sometido el pavimento.</p> <p>Se determinaron los módulos de resiliencia mediante los modelos constitutivos que fueron creados por los autores, en donde se encargaron de usar todas las</p>
-----------	---	---	---------------------	--

---

		humedad y los esfuerzos generados cambian.		variables que tenían, para tener una mejor predicción del mismo, el cual también representa una relación importante, entre la humedad y los esfuerzos recibidos.
<b>20</b>	DEFORMACIONES PERMANENTES DE MATERIALES GRANULARES EN PAVIMENTOS FLEXIBLES: ESTADO DEL CONOCIMIENTO	En este proyecto investigativo, se basan en hacer un respectivo estudio a profundidad en cuanto a las deformaciones a las que puede llegar a ser sometido un material granular, en este caso las capas de un pavimento cuando son sometidas a cargas cíclicas que genera el paso de los vehículos.  Con el fin de evidenciar el por qué varia esta deformación según varios factores que afectan directamente en este caso el módulo resiliente. El objeto de este artículo técnico es evidenciar la forma en la que se ha venido estudiando el fenómeno de deformación permanente en	Colombia, 2009	Para esta investigación, se realizaron análisis a diferentes factores los cuales, por medio de la teoría, se saben que son los que más influyen en la deformación del material.  También hacen referencia a las ecuaciones constitutivas de deformación permanente. Este estudio tiene como el fin exponer los principales factores que presiden el módulo resiliente, el cual nos pareció útil, para de tener un amplio conocimiento en el diseño de pavimento, en cuanto a resistencia dinámica se trata.

---

		<p>materiales granulares utilizados para conformar capas de pavimento (bases y sub bases), además de exponer factores que afectan directamente el módulo resiliente de estos materiales y como poder estar mejor preparado para el diseño de este mismo.</p>		
21	<p>CORRELACION ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN LOS SUELOS GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS CUNCHIBA Y UNAMUNCH</p>	<p>En este documento, se realizó una inspección en campo, en donde se extrajeron muestras de 12 calicatas. Las cuales procedieron a ser caracterizadas en laboratorio, bajo las normativas AASTHO, ASTM y clasificación USCS. Luego tener las muestras caracterizadas y clasificadas, y de obtener el CBR de laboratorio, se digitaron los resultados obtenidos en laboratorio en programas de computadora diseñados para conseguir el coeficiente de determinación, finalizando se hizo una correlación</p>	Ecuador, 2019	<p>La metodología usada en este proyecto, inicia desde la exploración en campo, extrayendo directamente el material que será utilizado como muestreo en el laboratorio, al cual se le hace clasificación y caracterización bajo las normativas AASTHO, ASTM y USCS.</p> <p>De esta manera determinar el módulo resiliente, por medio de correlaciones que son realizadas por medio de Software de computación, con CBR como variable principal en dichas</p>

---

	O, CANTÓN AMBATO. PROVINCIA DE TUNGURAH UA	mediante mínimos para hallar el módulo resiliente.		correlaciones. De esta manera obtener la confiabilidad del Mr por medio del coeficiente de determinación $r^2$ .
22	COMPARAC IÓN TÉCNICA ENTRE LOS ENSAYOS DE LABORATO RIO DEL MÓDULO DE YOUNG Y CBR PARA BASE Y SUB BASE. CASO DE ESTUDIO: MINA PUNTO AZUL	El objetivo de este documento consistió en extraer material granular de una mina, la cual pasara por sus respectivos procesos de caracterización del material para asegurar que cumpla con la normativa ASTM. En donde el objetivo será conocer los valores en campo, en laboratorio del CBR, y también del módulo resiliente en campo, por medio de una correlación que hay junto con el módulo YOUNG, el cual es hallado por medio de un equipo Geogauge directamente en situ. El cual, por medio de un factor de conversión, se halla el Mr.	Ecuador, 2019	Las metodologías que utilizaron para hallar el Mr fueron por medio de correlaciones, la primera correlación es con CBR mediante la normativa AASTHO 93, la segunda correlación es por medio de un factor de conversión con el módulo YOUNG, el cual se obtiene directamente en campo por medio del equipo Geogaug también, con el fin de generar dos ecuaciones que den como resultado un Mr. aproximado, teniendo como variable al CBR.  De esta manera poder comparar diferentes valores de Mr.,

---

(IBARRA- IMBABURA)	De esta manera ofrecer dos tipos de diseños de módulo resiliente para futuros proyectos, uno por medio del CBR bajo la normativa AASTHO y el diseño por medio de la correlación con el módulo YOUNG.	tomados tanto en campo como en laboratorio.
-----------------------	--	---

---

Después de presentada la información anterior, se consideró importante clasificar las investigaciones tenidas en cuenta según el nivel de educación superior al cual pertenece, base de datos de donde fueron obtenidas y país de realización. De modo que esto permite cualificar al lector la información tenida en cuenta en este proyecto y garantiza la veracidad e importancia de dichos documentos.

En la Tabla 3. Documentos base de tesis de maestría, se hace referencia de los trabajos que contribuyeron en este proyecto, siendo MAESTRÍA universitaria:

*Tabla 3. Documentos base de tesis de maestría*

<b>MAESTRÍA</b>	
<b>NUMERO (según tabla anterior)</b>	<b>TRABAJO</b>
4	RELACIÓN ENTRE EL MÓDULO RESILIENTE HALLADO POR RETROCALCULO Y EL ENCONTRADO EN ENSAYOS DE LABORATORIO
7	RELATIONSHIP BETWEEN RESILIENT MODULUS AND SOIL INDEX PROPERTIES OF UNBOUND MATERIALS
8	DEVELOPMENT OF RESILIENT MODULUS PREDICTION MODELS FOR BASE AND SUBGRADE PAVEMENT LAYERS FROM IN SITU DEVICES TEST RESULTS
9	RESILIENT MODULUS AND PERMANENT DEFORMATION TESTING OF UNBOUND GRANULAR MATERIALS
10	CHARACTERIZATION OF UNBOUND MATERIALS FOR MECHANISTIC-EMPIRICAL PAVEMENT DESIGN GUIDE (MEPDG)
11	HIGH PERFORMANCE GRANULAR BASE AND SUBBASE MATERIALS INCORPORATING RECLAIMED ASPHALT CONCRETE PAVEMENT

14	VERIFICACIÓN DEL MÓDULO ELÁSTICO DE BASES GRANULARES OBTENIDO A TRAVÉS DEL DEFLECTÓMETRO DE IMPACTO LIVIANO (LWD) EMPLEANDO CELDAS DE PRESIÓN
15	DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE RESILIENCIA DE LAS ARCILLAS DEL EX LAGO DE TEXCOCO

A continuación, en la siguiente, Tabla 4. Documentos base proyectos de grado pregrado se evidencian los documentos tenidos en cuenta, que nos sirvieron de información útil, siendo estos documentos requisitos para graduarse de pregrado.

Tabla 4. Documentos base proyectos de grado pregrado

<b>PREGADO</b>	
<b>NUMERO</b>	<b>TRABAJO</b>
<b>1</b>	INVESTIGACIÓN BIBLIOGRÁFICA Y APLICACIÓN DE MÉTODO PARA ENCONTRAR CORRELACIÓN ENTRE MÓDULO RESILIENTE DE MATERIALES GRANULARES COMERCIALIZADOS EN EL CANTÓN CUENCA
<b>2</b>	COMPARACIÓN TÉCNICA ENTRE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO DE MÓDULO DE YOUNG Y CBR PARA BASE Y SUB BASE. CASOS DE ESTUDIO MINA COMPAÑÍA JHV (TENA)
<b>3</b>	COMPARACIÓN TÉCNICA ENTRE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO DE MÓDULO RESILIENTE Y CBR DE LABORATORIO PARA BASE Y SUBBASE DE LA MINA COPETO (TOACHI – SANTO DOMINGO DE LOS TSÁCHILAS)
<b>6</b>	EVALUACIÓN DEL MÓDULO RESILIENTE Y DEFORMACIÓN PERMANENTE DE UNA BASE GRANULAR MECANICAMENTE ESTABILIZADA CON GEOMALLA
<b>12</b>	COMPARACIÓN TÉCNICA ENTRE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO DE MÓDULO RESILIENTE Y CBR DE LABORATORIO PARA BASE Y SUBBASE DE LA MINA COPETO (TOACHI – SANTO DOMINGO DE LOS TSÁCHILAS)
<b>13</b>	EVALUACIÓN DEL MÓDULO RESILIENTE Y DEFORMACIÓN PERMANENTE EN MATERIAL ARCILLOSO CON PRESENCIA DE MATERIAL FRICCIONANTE.
<b>16</b>	EVALUACIÓN DEL MÓDULO RESILIENTE FUNDAMENTADO EN LA DEFLECTOMETRÍA Y LA GEOTECNIA PARA OPTIMIZAR DISEÑOS Y COSTOS EN

PAVIMENTOS RECICLADOS DE LA CARRETERA YANANGO – PUENTE HERRERÍA	
<b>17</b>	DETERMINACIÓN DEL MÓDULO RESILIENTE TENIENDO COMO BASE LA PROPAGACIÓN DE ONDAS DE COMPRESIÓN (P) Y EL PRINCIPIO DE PIEZOELECTRICIDAD.
<b>18</b>	ACONDICIONAMIENTO DE UN EQUIPO TRIAXIAL CÍCLICO PARA LA ESTIMACIÓN DE MÓDULO RESILIENTE, UTILIZADO EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS.
<b>21</b>	CORRELACIÓN ENTRE EL CBR Y LAS PROPIEDADES ÍNDICE Y MECÁNICAS EN LOS SUELOS GRANULARES, DE LAS PARROQUIAS CUNCHIBAMBA Y UNAMUNCHO, CANTÓN AMBATO. PROVINCIA DE TUNGURAHUA
<b>22</b>	COMPARACIÓN TÉCNICA ENTRE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO DEL MÓDULO DE YOUNG Y CBR PARA BASE Y SUB BASE. CASO DE ESTUDIO: MINA PUNTO AZUL (IBARRA-IMBABURA)

En La última taba de clasificación de documentos, según su nivel educativo, tendremos los DOCUMENTOS TÉCNICOS que aportaron información ante este proyecto de grado.

*Tabla 5. Documentos Técnicos base*

<b>DOCUMENTO TECNICOS</b>	
<b>NUMERO</b>	<b>DOCUMENTO</b>
<b>5</b>	IMPLEMENTACIÓN DEL ENSAYO DE MÓDULO RESILIENTE EN BASES GRANULARES
<b>19</b>	EL MÓDULO DE RESILIENCIA: Cómo fluctúa después de la construcción del pavimento y cómo estimar estas fluctuaciones.
<b>20</b>	DEFORMACIÓN PERMANENTE DE MATERIALES GRANULARES EN PAVIMENTOS FLEXIBLES: ESTADO DEL CONOCIMIENTO

Por otro lado, en la siguiente tabla, haremos referencia de nuestro material investigativo. Según su clasificación en cuanto al lugar de procedencia (universidad).

*Tabla 6. Bases de datos consultadas*

<b>BASE DE DATOS</b>	<b>CANTIDAD</b>
Universidad católica de cuenca	1
Pontificia universidad católica del Ecuador	4
Universidad nacional de Colombia	1
Universidad de Costa Rica	1
Pontificia universidad católica del Ecuador	1
Middle East Technical University	1
Louisiana State University and Agricultural and Mechanical College	1
Texas A&M University	2
University of Nevada	1
Universidad McMaster	1
Pontificia Universidad Católica De Chile Escuela De Ingenieria	1
Universidad Nacional Autónoma De México	1
Universidad San Ignacio de Loyola	1
Universidad Católica Andrés Bello	1
Universidad San Francisco De Quito	1
Secretaría De Comunicaciones y Transportes Instituto Mexicano Del Transporte	1
Universidad de Medellín	1
Pontificia Universidad Javeriana	1
Universidad Técnica De Ambato	1

Culminando esta clasificación de datos empleada en este proyecto de grado, para evidencia de la calidad de los documentos tenidos en cuenta, se termina con dar a conocer la procedencia del material investigado en cuanto al nivel educativo y geográfico.

## CLASIFICACIÓN POR TIPO DE DOCUMENTO

Tabla 7. Clasificación por tipo de documentos

TIPO DE DOCUMENTOS	CANTIDAD
Pregrado	11
Posgrado	
Maestría	8
Tesis doctoral	
Documento técnico	3

## CLASIFICACIÓN POR PAÍS

Tabla 8. Clasificación de los documentos por País

PAÍS	CANTIDAD
Ecuador	8
Colombia	2
Perú	2
Costa Rica	1
Turquía	1
Estados unidos	3
México	2
Venezuela	1
Chile	1
Canadá	1

Ya con la información totalmente clasificada se continuó con el respectivo estudio de cada documento en donde nos enfocamos principalmente en nuestros objetivos, para poder cumplir con lo propuesto en este proyecto de grado .

## 6. RESULTADOS

Los resultados obtenidos en los diferentes estudios realizados acerca del módulo resiliente de bases granulares, fueron categorizados según el tipo de valor hallado. Se encuentran plasmados en la Tabla 9. Categorización de los resultados de módulo resiliente obtenidos, la cual se evidencia a continuación.

*Tabla 9. Categorización de los resultados de módulo resiliente obtenidos*

<b>Trabajo N°</b>	<b>Valores MR (Experimental, teórico, campo)</b>
1	Teórico (hallado a través de la ecuación Rahim y George).
2	Campo, (Geogauge).
3	Teórico (ecuaciones) y experimental (triaxial).
4	Experimental y teórico bajo retro cálculos.
5	Experimental.
6	Experimental (triaxial).
7	Experimental, deflectómetro de impacto, teórico hallado en la correlación.
8	Experimental, (Geogauge, triaxial) Teórico por ecuaciones.
9	Experimental (prueba triaxial).
10	Experimental (triaxial), teórico (modelo de predicción).
11	Experimental por medio de modelos constitutivos basados en el estado del esfuerzo (K- $\theta$ model, UZAN model, AASHTO model).
12	Teórico (ecuaciones), Experimental (triaxial dinámico).
13	Experimental, Esfuerzo desviador.
14	Experimental, deflectómetro de impacto liviano.
15	Experimental, Esfuerzo desviador.

16	Teórico por medio de correlación CBR. Experimental (Deflectómetro)
17	Teórico Por medio de CBR.
18	Teórico por medio de CBR.
19	Experimental, Esfuerzo desviador.
20	Solo hay información, pero no hallan datos.
21	Teórico por medio de CBR.
22	Teórico por medio de CBR. Experimental (CBR)

Posterior a la categorización de los documentos según el tipo de resultado obtenido en cada documento, se presentan los datos que fueron rescatados de cada documento tenido en cuenta. En la Tabla 10. Tabla de los resultados hallados en los diferentes documentos, se pueden evidenciar los valores que fueron extraídos de los diferentes documentos; de izquierda a derecha, se incluyeron columnas las cuales contienen el número del documento según la organización previa, tres diferentes columnas los cuales contienen los resultados de los módulos resilientes hallados ( ya sean de situ o campo, laboratorio y teórico) según corresponda, también contiene una columna que permite definir que metodología se implementó para el cálculo del mismo. Esto con el fin de ubicar al lector sobre qué tipo de valor se encontró en cada documento y para finalizar también se incluyó una columna la cual define el tipo de suelo según la clasificación AASHTO o USCS, con el objetivo identificar la calidad del módulo resiliente según la tipología del suelo.

Tabla 10. Tabla de los resultados hallados en los diferentes documentos

<b>N° de trabajo</b>	<b>Mr Campo (MPa)</b>	<b>Mr Laboratorio (MPa)</b>	<b>Mr Teórico (MPa)</b>	<b>Tipo de metodología</b>	<b>Clasificación del suelo (USCS ó AASHTO)</b>
1	-	-	260.13	Calculo ecuación Rahim y George 2005	Grava bien gradada (GW)
2	72.73	-		Geogauge	Grada bien gradada (GW)
3*	-	305.24	272.37	Ecuación de Ullidtz,	Grada bien gradada (GW)
			267.5	Ecuación usada en Chile,	
			305.3	Ecuación del programa PAS,	

			326	Ecuación de TRRL - Triaxial dinámico cíclico	
4	41.72	Muestra 1 W=6,19% Mr=129.9	Puntos de control dados por el FWD (8)	Ecuación Dormann y metcalf (tener módulo resiliente de la sub rasante y espesor de la capa granular)	GM
		Muestra 2 W=8,88% Mr=116.82	WASDOT: (318.05 MPa) DORMANN: (402 MPa)	Ecuaciones de regresión: WASDOT	
		Muestra 3 W=10,57% Mr=90.76	EVERCALC: (474.65 MPa) DAPS: (571 MPa)	Retro cálculo: DAPS EVERCAL 5,0	
				TRIAxIAL DINÁMICO CICLICO IN SITU: FWD	
5		Muestra a Mr FASE l, 150 mm Espécime Wa(%)		AASHTO T307	AASHTO A-3

	n de muestra	
1	141.6	5.5
2	58.4	3.6
3	119.2	4.4
4	89.1	3.8
5	158.9	4.1
	Mr FASE I, 120 mm	
Muestra	Espécimen de muestra	Wa(%)
1	237	8.8
2	288.6	4.6
3	347.3	6.2
4	357.6	5
5	373.5	5
	Mr FASE II,	
Muestra		Wa(%)
1	197.06	3.93
2	232.9	4.1

Se emplearon dos fases, la primera constó de los parámetros tal cual los dice la norma, dos dimensiones de especímenes a ensayar; el primer espécimen de 150mm y 120mm, para este último se descartó el el agregado más grueso de 19mm. La segunda fase se descartó el material retenido en el tamiz de 19.0mm (N° 3/4) de la granulometría original.

	3	262.41	3.9		
	4	248.45	5.7		
	5	246.78	7.2		
6				815	Método de diseño SHELL
				868	Cuerpo de ingenieros de EEUU
				301	Transport and Road Research Laboratory (TRRL)
				367	Consejo de Sudáfrica
				102	Colombia
					Triaxial
		137.57			

7	Región	Mr LFWD	Mr predicción	Deflectómetro de impacto
	B143	214	147.227	Calculado por medio de CBR.
	K64	178	249.186	
	KAS5	116	140.876	
	KD	112	129.848	Ecuación teórica UZAN
	B144	139	95.06	
	K65	58	43.645	
	KAS4145	115	119.085	

Región	Mr basado en CBR
B142	169.398
K61	338.462
DB916	132.995
KAS5	140.876
KD	129.848
KON32	359.442
AC	98.757
B141	105.169

---

D98	84.492
DB917	87.49
DKV96	79.765
DS93	71.908
K62	79.437
KAS414	
5	103.863
KON31	119.085

---

8	Geogauge Modulus	LFWD modulus	Geogauge Modulus	LFWD modulus	Equipo de Geogauge, LFWD y equipo de RLT(Triaxial).	equipo de GC-GW SP
	75.37	58.17	139	102.8		
	51.1	26.6	51.93	26.43		
			Triaxial			
			209.4			
			168.66			

---

9	Mr	Wa%	Mr (6x12)in	Mr (6x8)in		Material granular extraído de un manantial en "Spicewood"
	212.01	4.3			VESYS model 48.3kPa	
	142.17	5.9	347.01	377.97	confining pressure and 193kPa deviator stress	
			334.4	374.17	UZAN model 34.5 kPa confining pressure and 103.4kPa deviatoric stress	
			447.88	-	UZAN model 48.3 kPa confining pressure and 193kPa deviatoric stress	

Triaxial

10	I-		RLT(Triaxial)		
	15/Goodspri	338.52		GM	
	ngs		Se haya teórico por ecuaciones, pero no se evidencian resultados.	SM	
	US-			GP-GM	
	95/Searchlig	356.79		ht	SW-SM
	NV-				
	375/Rachel	408.89			SM
	US-				
	95/Bonnie	391.72			
	Claire			SC	
	US-				
	93/Crystal	337.63			
	Spring MP62				

---

US-  
93/Crystal 288.7  
Spring MP67

---

11	-	-	Este proyecto habla de los modelos predictivos del Mr, pero se enfoca en el agregado de RAP al pavimento y los modelos de predicción para la deformación acumulada que con este ejerce.	-
12	Base 1A 314.56	Base 1A 310.26	Hallado por correlación por CBR más ayuda de un software (Cálculo de las ecuaciones	Grava bien gradada (GW)

---

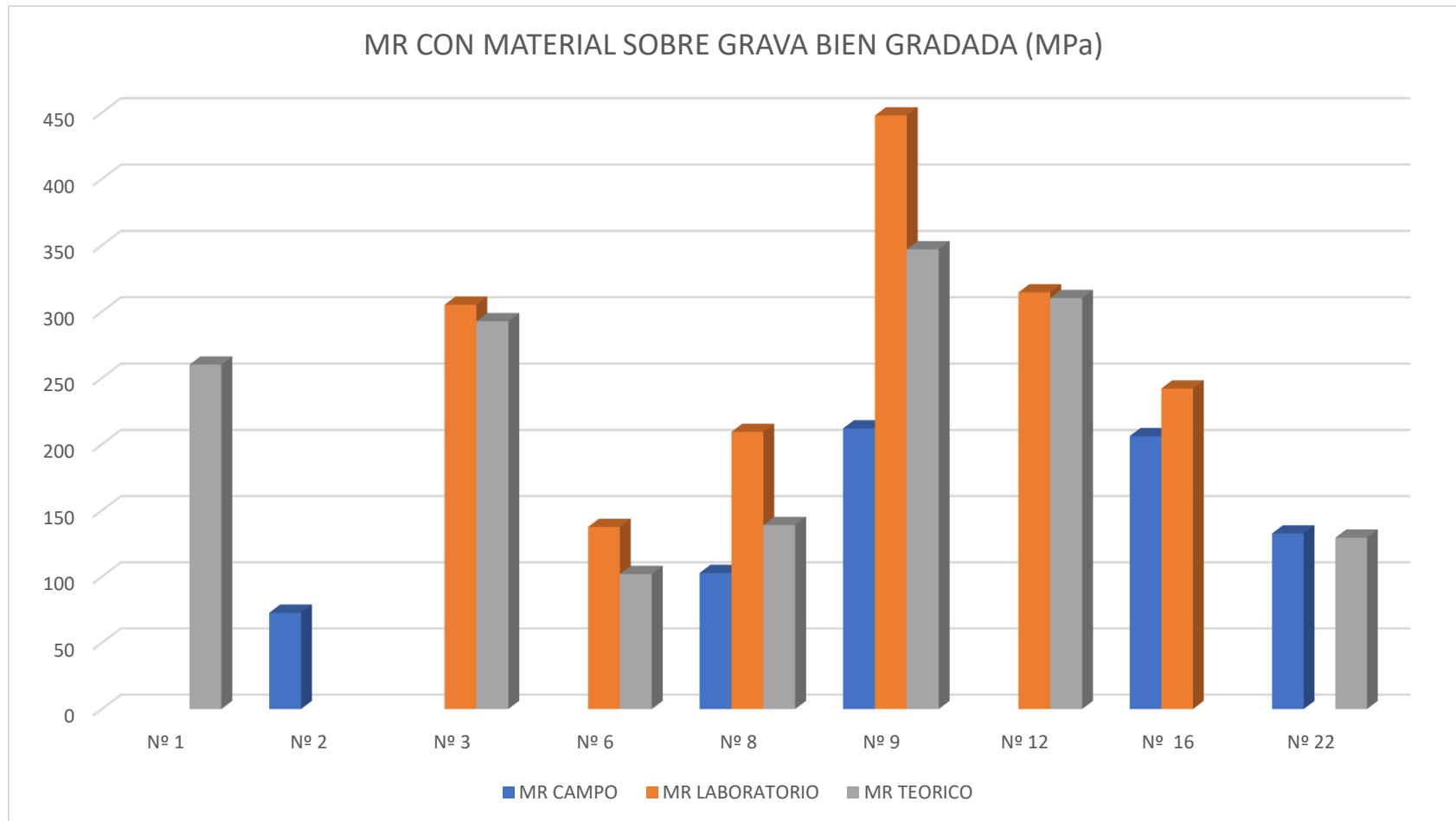
		Promedio ponderado entre 3 muestras del mismo ensayo con mismas características.		AASHTO 1993) para mejorar la precisión y por medio del equipo Triaxial dinámico cíclico.	
13	-	147	-	Equipo triaxial dinámico cíclico	Arcilla inorgánica de baja media plasticidad (CL)- Arena bien gradada (SW)
14	334 -303	-	-	En campo por medio de deflectómetro de impacto liviano sin y con celdas de presión (LWD - Shell)	Arcilla de baja compresibilidad (CL) – Limo de baja compresibilidad (ML)
15					
16	206.15	242.11	-	Geotecnia Deflectometria FDW - Por retrocalculo con CBR	Grava bien gradada (GW) – Grava pobremente gradada (GM)

17	-	<b>S1seco</b> = 90; <b>S1humedo</b> = 78.80  <b>S2seco</b> = 56.28; <b>S2humedo</b> = 51.71  <b>S3seco</b> = 139.60; <b>S3humedo</b> = 63.99	-	Teórico ecuación Woojin lee relación que existe entre el módulo resiliente y compresión no confinada.	Suelo 1: Arena limosa(SM) Arena arcillosa- SC Suelo 2: Arena limosa (SM) – Arena arcillosa (SC) Suelo 3: Arena arcillosa (SC)
18		270	232	Ecuación CBR- Triaxial con Ecuación combinación de esfuerzos axiales, por flexión y desviadores.	Grava pobrementemente grada (GP) / Grava limosa (GM)
19	-	-	-	Solo determinan los modelos o ecuaciones constitutivas que representan el valor del Mr.	Arcilla de alta compresibilidad (CH) – Arena limosa (SM)

20	-	-	-	Es un documento técnico donde hablan sobre referencias del Mr, sin valores específicos.	-
21	-	-	197.88	Teórico por medio de una formula con CBR	Arena limosa (SM) – Arena Arcillosa (SC)
22	132.63		129.47	Campo Geogauge Correlación modulo Young- correlación con CBR	Grava pobrementemente gradada (GP) – Grava bien gradada (GW)

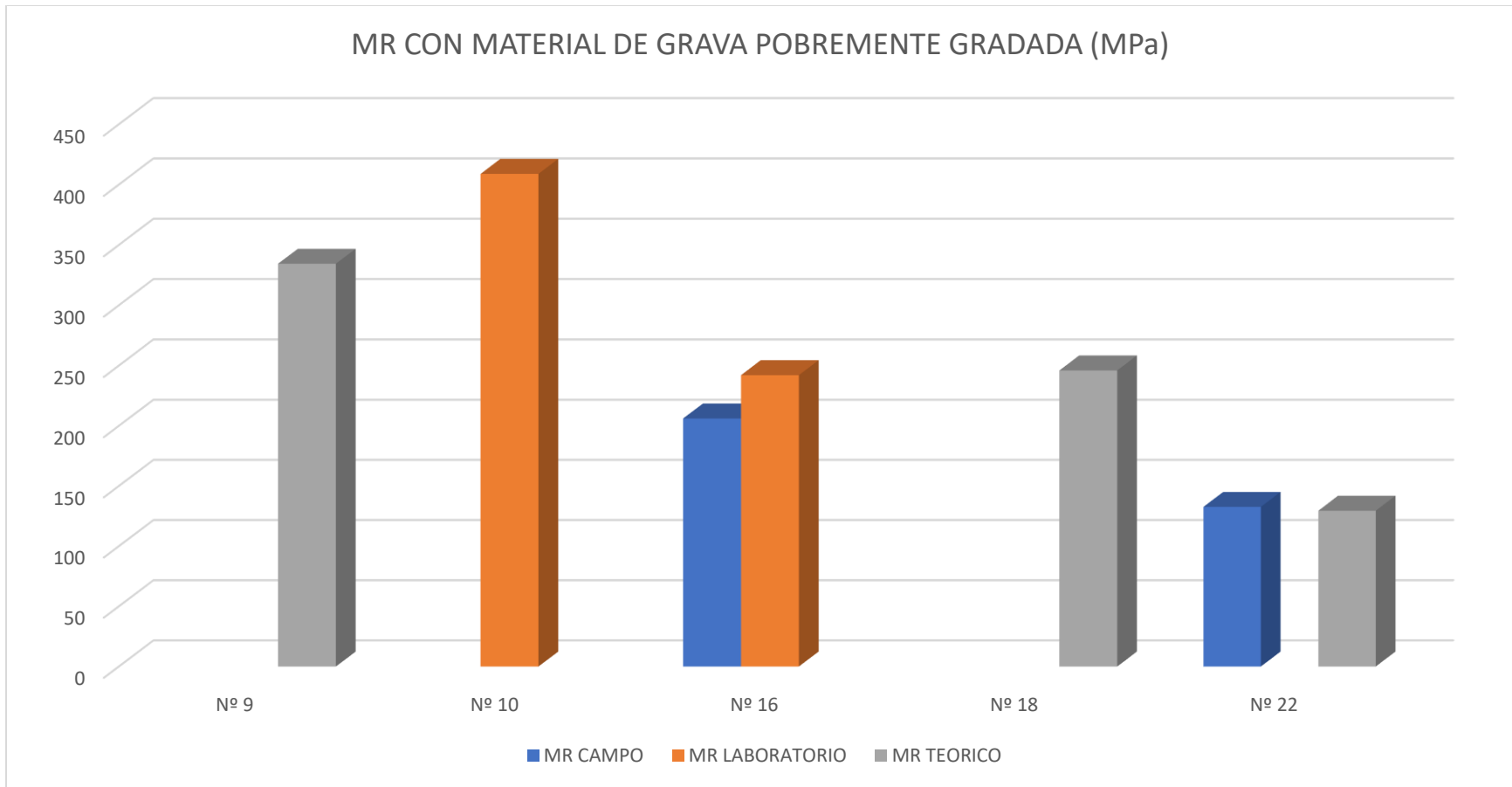
Para dar paso previo al análisis de los resultados, a continuación, se evidenciarán gráficos que pudieron ser realizados a partir de los datos incluidos en la Tabla 10. Tabla de los resultados hallados en los diferentes documentos.

Estos gráficos cuentan con un análisis desde la perspectiva y comparativa del módulo de resiliencia, con los diferentes tipos de suelo, para de esta manera, llevar a cabo una especie de análisis comparativo el cual tuviese un factor en común, con el objetivo que los valores comparados tengan tener un mayor grado de confiabilidad entre sí y se pueda mostrar al lector dicha comparativa.



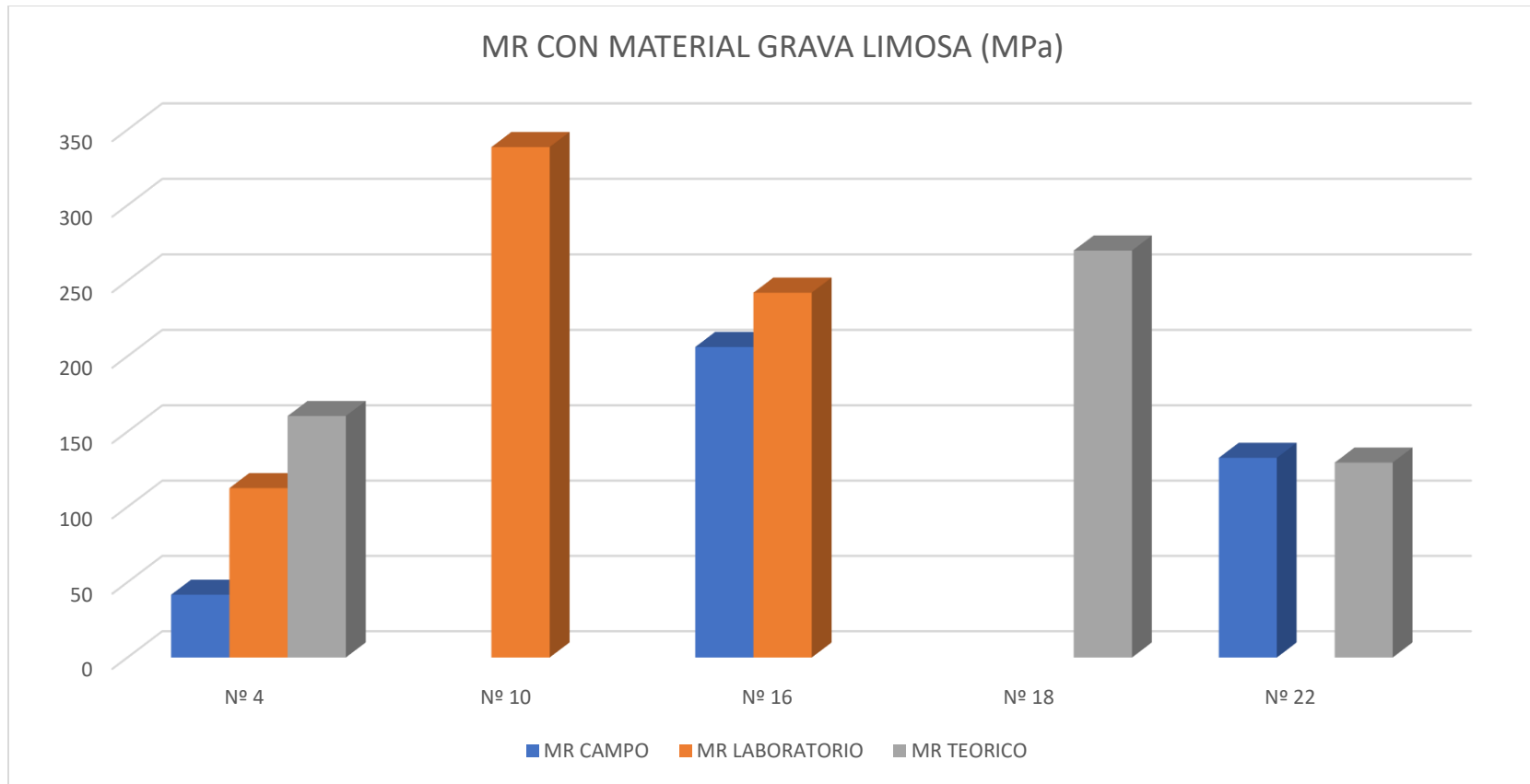
*Gráfica 1. Módulo resiliente sobre grava bien gradada*

En este gráfico se hizo referencia al suelo de material grava bien gradada, en donde podemos observar mediante sus barras, que el módulo resiliente que es calculado en laboratorio, tiende a ser mayor, en comparación con los que se calculan en campo y teóricamente. De igual manera se puede ver el caso opuesto con el módulo hallado en campo, según los estudios realizados y los valores obtenidos para este gráfico. También cabe resaltar que este material, la grava bien gradada, ha sido el material mayormente predominante en nuestra investigación.



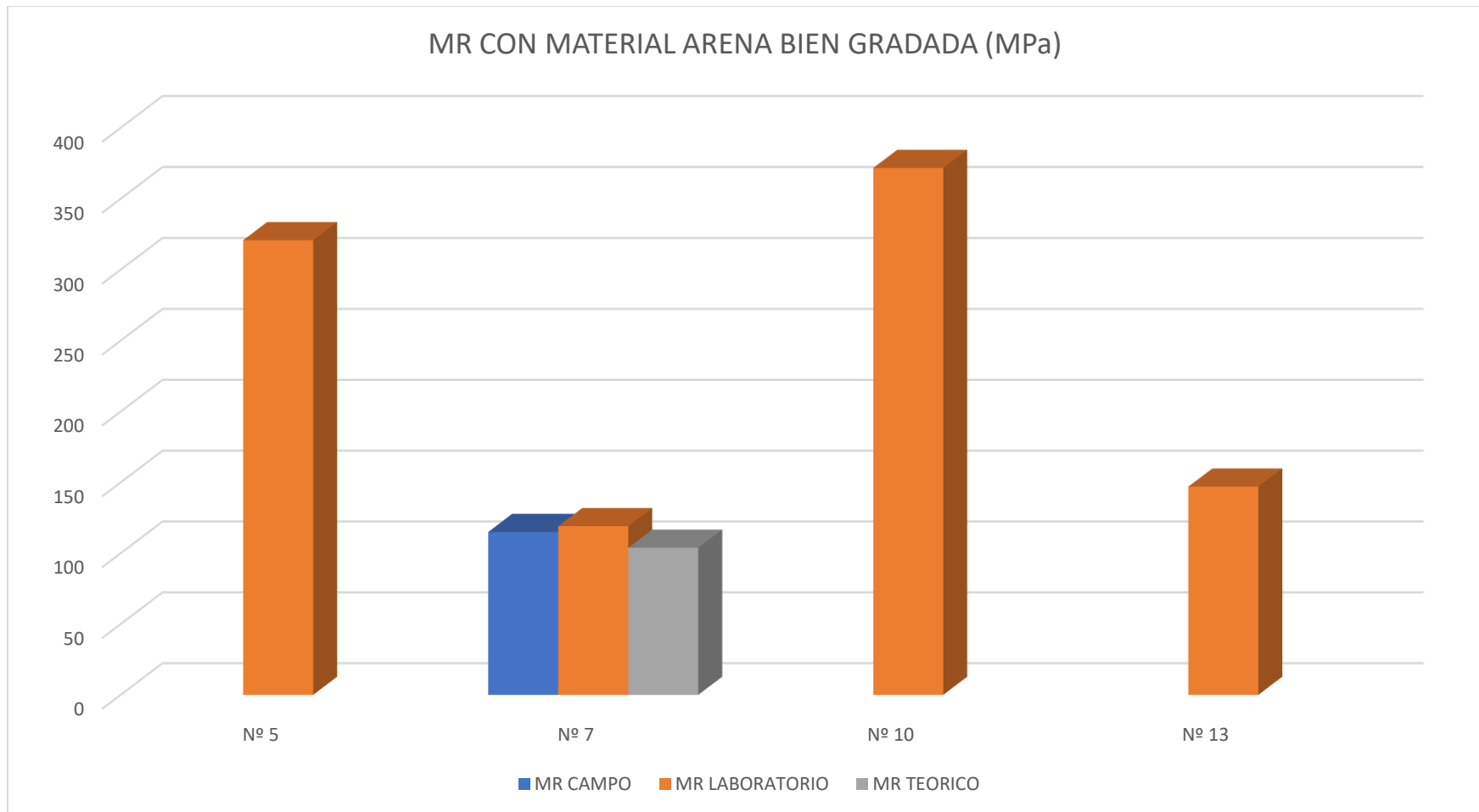
*Gráfica 2. Módulo resiliente con material de grava pobremente gradada.*

En este gráfico, donde es estudiado material grava pobremente gradada. Se puede observar menos cantidad de datos para poder ejecutar una comparativa, ya que se hicieron pocos estudios con este tipo de material. También se puede observar cómo aparentemente sigue esa tendencia, pues el módulo en laboratorio en el trabajo nº16, es mayor al de campo. Pero en este caso, en el nº22 podemos ver como el módulo teórico y en campo, es muy similar, siendo a su vez incluso un poco mayor el de campo que el teórico, generando una pequeña contradicción en comparación con el grafico 1.



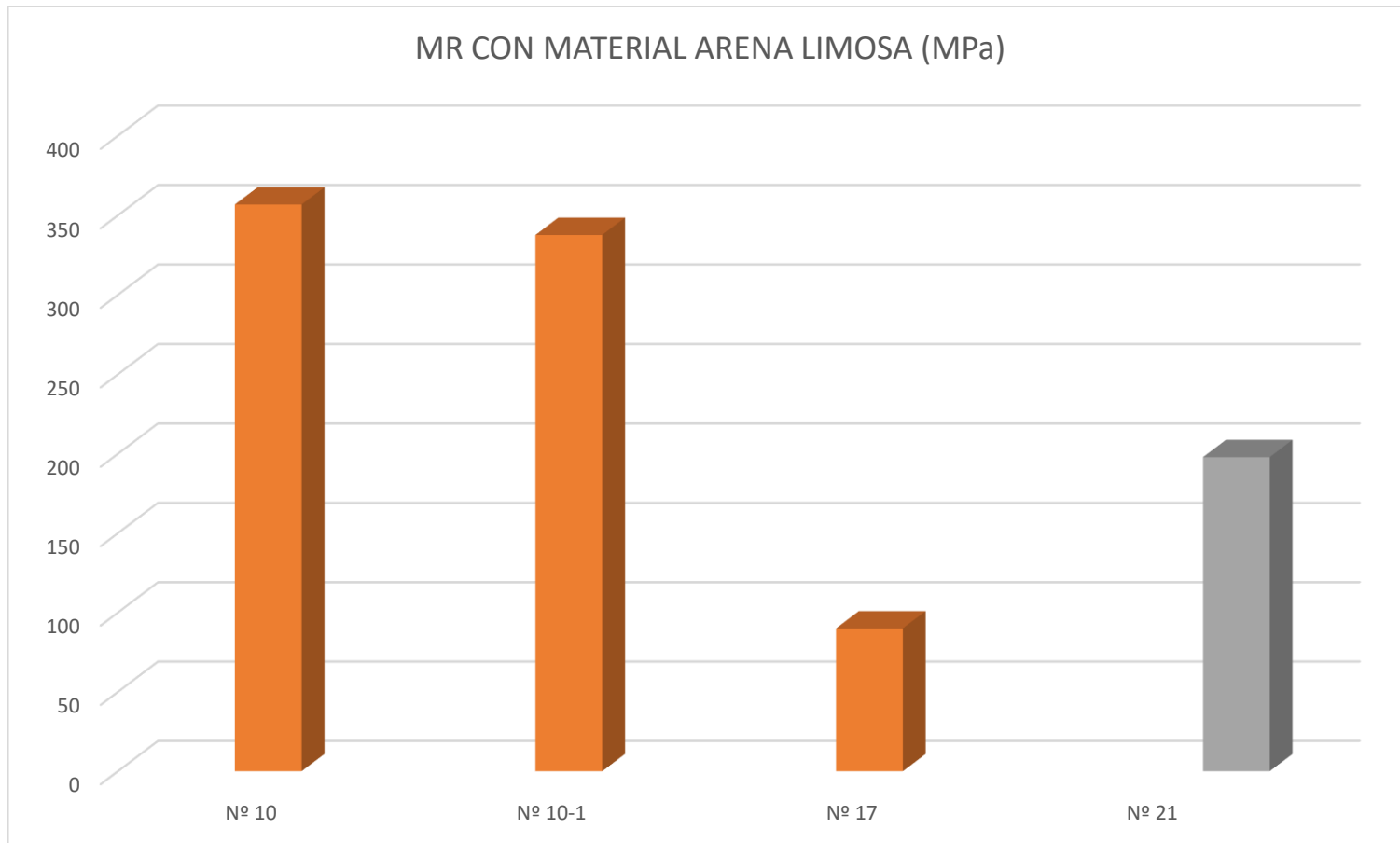
*Gráfica 3. Módulo resiliente con material grava limosa*

En este grafico donde se trabajó con grava limosa. Se puede observar una pequeña inconsistencia si tenemos en cuenta que el módulo resiliente de laboratorio tiende a ser mayor a los otros dos, como en las anteriores graficas. Como se puede observar, en el nº4 el módulo teórico es mayor al módulo del laboratorio, y mucho mayor al módulo hallado en campo. También se puede evidenciar como el módulo hallado por medio de laboratorio, sigue la tendencia, siendo mayor a los módulos hallados en campo. También se puede observar que la cantidad de estudios en este esquema no son lo suficientemente amplios, lo cual afecta directamente al realizar un análisis comparativo con mayor veracidad.



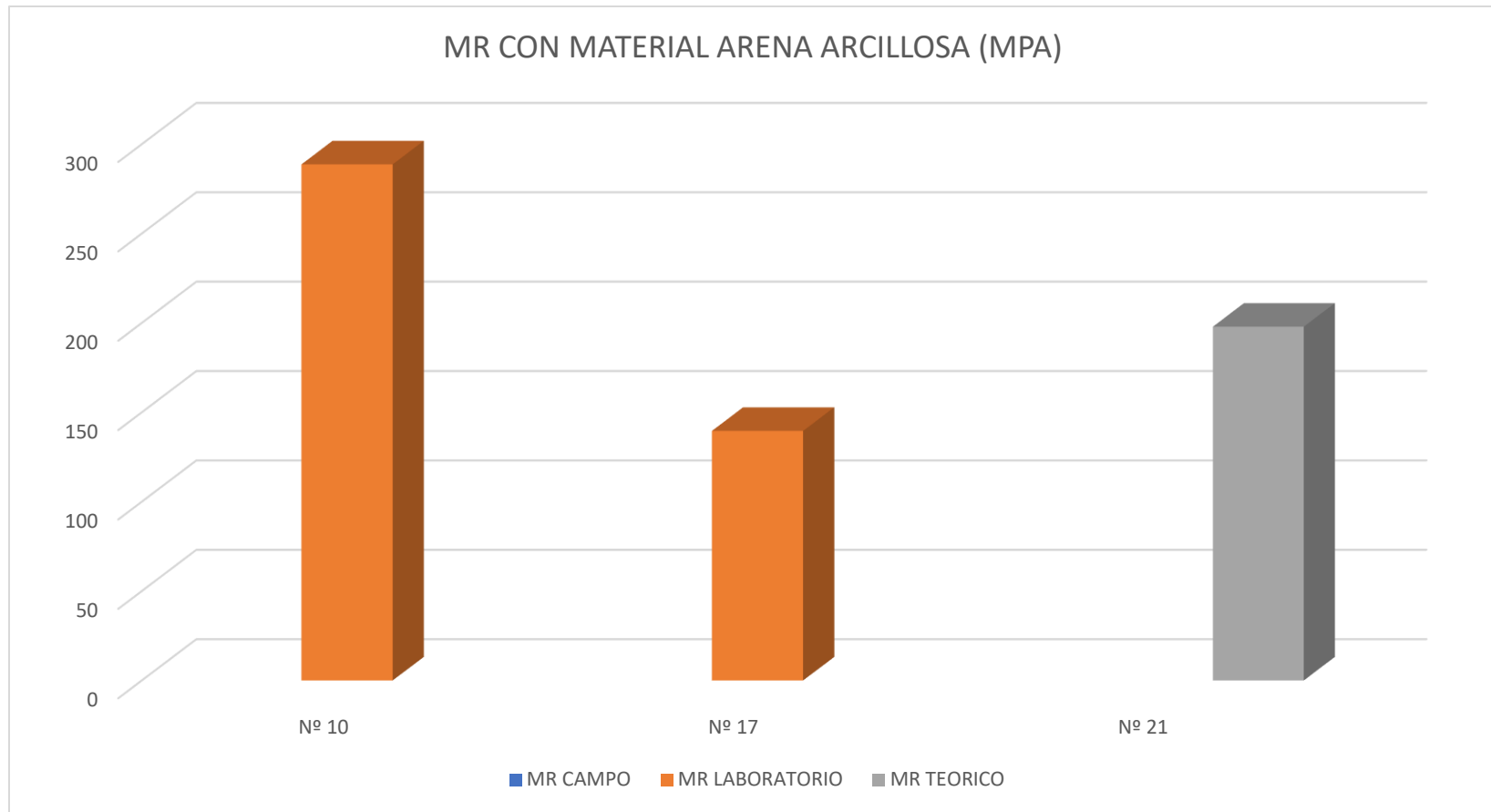
*Gráfica 4. Módulo resiliente con material arena bien gradada*

En este gráfico, el cual es trabajado con arena bien gradada. Se puede evidenciar en el trabajo Nº 7 como el módulo resiliente hallado en laboratorio tiende a ser mayor al módulo hallado en campo, efectivamente se mantiene la tendencia de que en laboratorio los valores del módulo resiliente son mayores. También se puede observar como en el resto de las investigaciones, solo se realizaron estudios en laboratorio, lo cual también nos impide llegar a tener una comparación verídica sobre estos datos en este tipo de suelo.



*Gráfica 5. Módulo resiliente con material arena limosa*

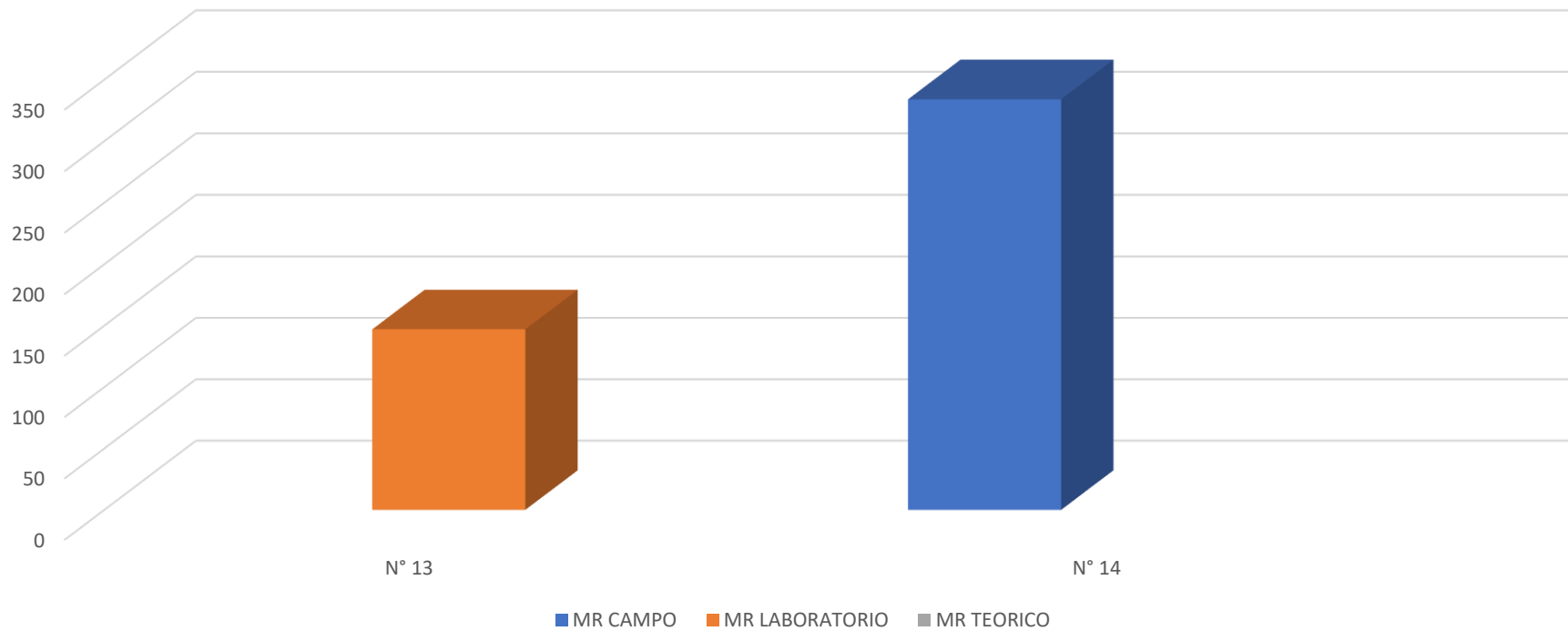
En el grafico se puede evidenciar que la arena limosa como propiedad mecánica tiene un buen modulo resiliente, sin embargo, si se estudiarían las otras propiedades, se puede decir que la calidad de estas mismas no es la mejor. Por esta razón es un material poco empleado en el diseño de una estructura de pavimento.



*Gráfica 6 Módulo resiliente con material arena arcillosa*

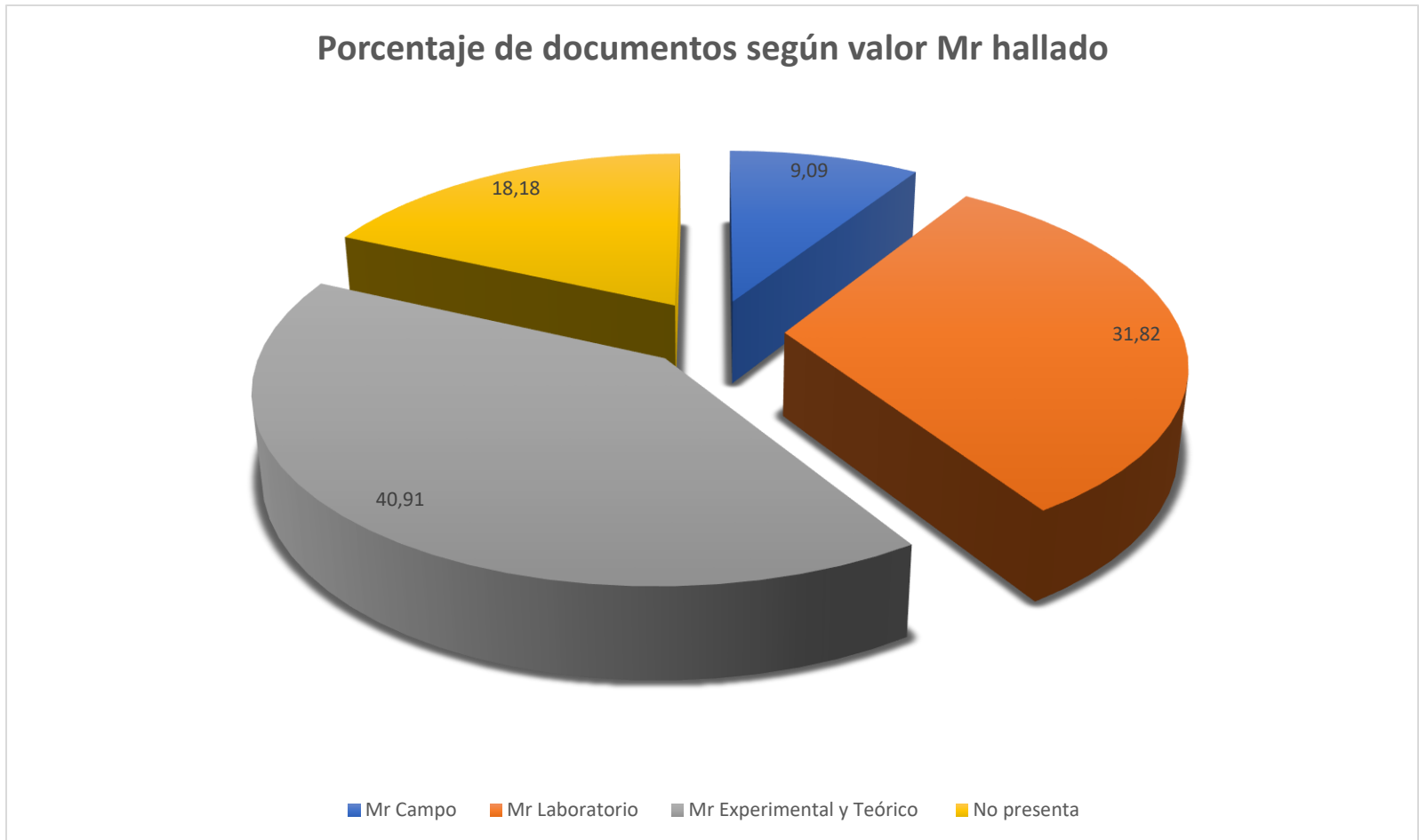
De este gráfico, se contempla los documentos en los cuales el terreno de la base granular fue arena arcillosa, se puede rescatar que el módulo resiliente de la misma, es más bajo. Por tal razón siempre se ha aclarado en el ámbito de la ingeniería, que las arenas y las arcillas no es un material adecuado para ser empleado en una base granular, la cual va soportar altas cargas y va ser diseñado para varios años de servicio, todo esto es debido a sus propiedades físicas en general y también sus propiedades mecánicas.

### MR CON MATERIAL ARCILLA DE BAJA COMPRESIBILIDAD (MPa)



Gráfica 7. Módulo resiliente con material arcilla de baja compresibilidad

En los últimos tres gráficos, se puede evidenciar, que hacen falta datos para poder realizar las comparativas que entre los distintos módulos de resiliencia se venían ejerciendo. De esta manera, podemos concluir que estos tipos de suelo (arena limosa, arena arcillosa y arcilla de baja compresibilidad) son poco trabajados, por lo menos desde el punto de vista teórico, educativo y técnico, ya que, en la investigación realizada por nuestra parte, se encontraron pocos valores relacionados a estos tipos de suelo, en comparación con los de las primeras graficas de este segmento.



*Gráfica 8. Porcentaje de documentos según valor de módulo resiliente hallado*

En este último gráfico de diagrama circular, se puede corroborar como predominaron los datos hallados por medio teórico y experimental en esta investigación realizada por nuestra parte. Siendo esta alternativa, la más adecuada para la comparación directa del lo hallado experimental y teóricamente. También, junto con los valores que se hallan en laboratorio, son las opciones que predominan en la investigación del módulo resiliente de un suelo.

## 7. ANALISIS DE RESULTADOS

- Se logró determinar una comparativa a partir de los diferentes métodos que se alcanzaron a encontrar en el marco de los documentos base utilizados, en lo que concierne al cálculo del módulo resiliente. Además de esto se pretendió categorizar los valores experimentales y teóricos del parámetro módulo resiliente, hallados en dichos documentos. Teniendo en cuenta que la parte experimental puede ser obtenida a través de pruebas en Campo y ensayos de laboratorio, teóricamente a partir de todo cálculo realizado por medio de correlaciones, ecuaciones y/o software que contienen parámetros generados en los ensayos de laboratorio contemplados para la clasificación del suelo, ya sea AASHTO u USCS.

Luego de que se agruparan los valores obtenidos de los documentos que se tuvieron en cuenta en esta compilación teórica, La Tabla 2. *Compilación de documentos base investigación*, permitió clasificarlos según el tipo de valor obtenido, ya sea teórico o experimental.

- Para los resultados teóricos, se tuvieron en cuenta los valores de módulo resiliente hallados, por medio de; ecuaciones software y correlaciones de CBR, posteriormente se procedió a graficar dichos valores de módulo resiliente, teniendo en cuenta la clasificación AASHTO y/o USCS de cada suelo, con el fin de permitir evidenciar y apreciar los valores del módulo resiliente calculados en los documentos por medio de los diferentes métodos, teniendo en cuenta el tipo y las condiciones del suelo con las que se realizaron dichos análisis.
- Por medio de los gráficos generados de los resultados hallados en cada documento, se pudo corroborar la existencia dicha tendencia, que se especulaba desde la introducción mencionada anteriormente. Debido a la interpretación de cada uno de los documentos y desde el punto de vista teórico, estos proporcionan una serie de datos e información sobre los análisis, resultados y metodologías realizadas en cada proyecto de investigación. De este modo, las metodologías usadas en laboratorio fueron las que proporcionaron un mayor porcentaje de eficiencia, la cual se comporta en relación directamente con valores mayores de MR. pero también, con mayor número de variables y ensayos, por lo que se considera una metodología más confiable y precisa, con un menor índice de error, en comparación con las otras metodologías tenidas en cuenta en este proyecto de investigación.

- Para evidencia de lo antes mencionado, el diagrama circular, nos aporta que el 40.91% de los documentos que hacen parte de este proyecto de grado hallaron el módulo resiliente de manera experimental y teórica, el 31.82% solo hallaron el Mr de manera experimental, y por último el 9.09% hallaron solo de manera teórica el módulo resiliente.
- Asimismo, se pudo evidenciar como la tendencia se mantiene con las metodologías teóricas, de las cuales también se obtienen datos confiables, con valores menores a las metodologías empleadas en laboratorio, pero con un menor índice de error, si lo comparamos con las metodologías en campo (no destructivas), con las cuales se pudo observar que se obtienen resultados mucho más eficaces, ya que los softwares provenientes de los equipos utilizados en estos ensayos. Estos arrojan los resultados casi que instantáneamente, en comparación con las otras metodologías, pero con la diferencia de que no se puede hacer un estudio específico en cada capa del pavimento en el que se vaya a utilizar o emplear, lo que conlleva a que exista un estudio menos exhaustivo, con el cual los análisis pueden llegar a variar notoriamente si lo comparamos directamente con las otras dos metodologías (teóricas y en laboratorio).
- Según esta compilación realizada, se logró estipular y agrupar los métodos que se han utilizado en los diferentes países para el cálculo del módulo resiliente, se determinó que los equipos de laboratorio y de campo son imprescindibles para el cálculo de este mismo; debido a que son los que generan los parámetros de entrada para el cálculo del módulo resiliente ya sea por medio de ecuaciones, correlaciones, retro cálculos o software. Sin embargo, es necesario recordar que la norma AASHTO, es la normatividad madre tenida en cuenta para los demás países diferentes a Estados Unidos, los cuales desarrollan sus propias normas técnicas de construcción de pavimentos flexibles basadas sobre la misma normativa.
- También es necesario recordar que dicha norma contiene un artículo completo acerca del cálculo del módulo resiliente, el cual resalta y recomienda que el equipo más adecuado para el cálculo real de este módulo, es el equipo de triaxial dinámico. En contraste del equipo de triaxial dinámico, se encuentran otros equipos los cuales tienen la capacidad de generar los parámetros necesarios para el cálculo experimental del módulo resiliente, como lo son el FWD, LWD y el geogauge sin necesidad de realizar pruebas destructivas.
- Por otro lado, es importante resaltar que el cálculo del módulo resiliente también es posible gracias a las diversas investigaciones y estudios realizados de las capas de un pavimento flexible, los cuales comprenden la clasificación previa del tipo de suelo y el cálculo adecuado de las propiedades mecánicas del suelo según las normativas. Han

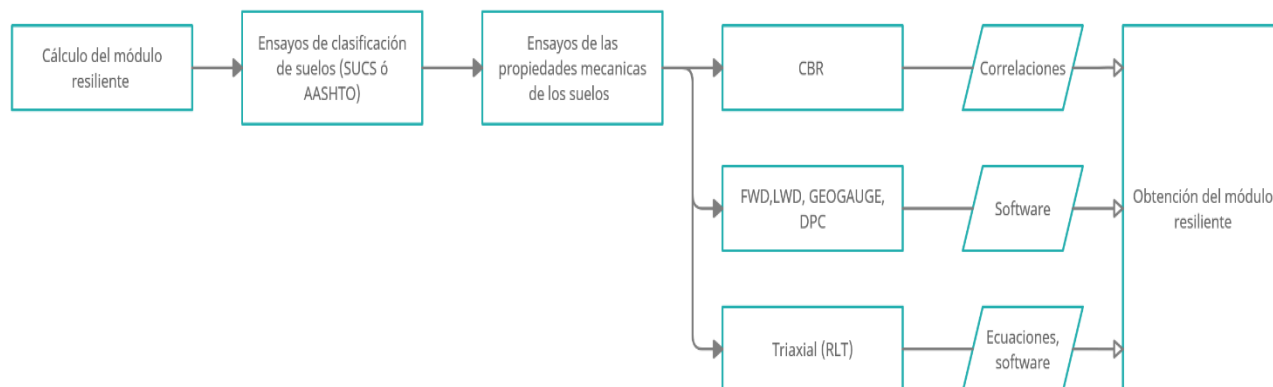
permitido que se generen modelos de correlación, retro cálculos y ecuaciones constitutivas que dependen de variables que se incluyen en la clasificación de los suelos y ensayo de CBR. Permitiendo obviar los estos ensayos de laboratorio específicos que, se recomienda de la norma para el cálculo del módulo resiliente, de tal manera que ahora es posible ahorrar tiempo, recursos y disponibilidad de equipos especializados para el cálculo del mismo.

- Varios autores concuerdan, resaltan, que existen variables las cuales pueden alterar los resultados de los valores del módulo resiliente, entre las cuales se encuentran el tipo de material, el tamaño del espécimen, tipo de compactación, peso específico, granulometría, magnitud del esfuerzo aplicado y contenido de agua.

## 8. COMPARACION DE ASPECTOS TECNICOS Y ECONOMICOS DE LOS MÉTODOS PARA EL CALCULO DEL MODULO RESILIENTE

De acuerdo con el desarrollo de este proyecto de grado se lograron estipular y agrupar los métodos que se han utilizado en los diferentes países para el cálculo del módulo resiliente, de los cuales se van a describir los aspectos técnicos y económicos que conllevan. Esto con el fin de poder dar la posibilidad al lector de que pueda realizar una apreciación del método más viable frente a una posible situación en la cual necesite calcular o conocer el módulo resiliente de una base granular y también realizar una apreciación personal propia de nuestra autoría.

A continuación, se evidencia un esquema para mostrar lo anteriormente mencionado.



*Ilustración 10. Esquema del cálculo del módulo resiliente*

Fuente: propia

El correcto cálculo del módulo resiliente debe incluir todos los ensayos respectivos que se realizan previamente para determinar la clasificación del tipo de suelo, debido a que la normativa AASHTO comprende dos tipos de materiales no tratados para las pruebas de ensayo, con esto también permite conocer detalladamente las propiedades físicas de los materiales. Seguidamente de esto, se puede proceder a realizar los ensayos de las propiedades mecánicas de los suelos. A continuación, en la Tabla 11. Métodos para el cálculo del módulo resiliente. Se muestra el siguiente cuadro comparativo acerca de los métodos evidenciados en los diferentes documentos que hacen parte de las investigaciones bases tenidas en cuenta en este proyecto de grado.

Tabla 11. Métodos para el cálculo del módulo resiliente.

Método	Aspectos técnicos	Aspectos económicos
CBR	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cálculo del módulo resiliente por medio de correlaciones estipuladas por varios autores.</li> <li>• Principalmente se encarga de medir la resistencia al esfuerzo cortante</li> <li>• Las condiciones de humedad y densidad son controladas, de modo que permite hallar la humedad óptima de la muestra.</li> <li>• La obtención del CBR se toma varios días.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Asequible, la gran mayoría de los laboratorios de ingeniería civil y de pavimentos cuentan con este equipo. Es una opción más económica y simple con respecto a los ensayos de módulo resiliente directamente. Por lo cual se han creado diversas correlaciones entre CBR y MR, con el único detalle, de que estas fueron creadas bajo condiciones específicas, por lo que no se pueden usar en todos los casos.</li> </ul>
FWD	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Equipo de campo que funciona directamente en el pavimento, de modo que hace parte de los ensayos de tipo no destructivos.</li> <li>• Su función es simular la carga de una llanta de un vehículo directamente sobre el pavimento, por medio de cargas dinámicas que el mismo equipo proporciona.</li> <li>• Luego el software interno del FWD facilitara datos importantes como lo son: los esfuerzos, las deformaciones de cada capa del</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Este equipo de campo se basa en la rehabilitación y diseño con un análisis estructural empírico-mecanicista, siendo también proactivo, detectando anomalías estructurales en fase preliminar, lo que permite un mantenimiento preventivo o una rehabilitación en un menor costo de operación. Aunque siendo más costoso en</li> </ul>

pavimento, y los módulos elásticos.

Es necesario ser manejado por más de un operario.

comparación con el equipo LWD.

- Requiere costo de mantenimiento (calibraciones periódicas).

---

LWD	<ul style="list-style-type: none"><li>• Equipo de campo, utilizado para medir la calidad de la compactación, genera parámetros tales como la capacidad de carga, permitiendo así calcular el módulo elástico de las capas.</li><li>• Si lo comparamos con el FWD directamente, este es manipulable por una sola persona y no requiere contrapeso o pequeño remolque.</li><li>• En cuanto a mediciones trata, es rápido.</li><li>• A nivel mundial, tiene una amplia gama de dispositivos con diferentes tecnologías, lo que permite una mejora en los resultados obtenidos según la ocasión necesaria.</li><li>• Equipo portátil, puede ser operado por una sola persona</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Equipo utilizado en todo el mundo en el ámbito de la ingeniería. Gracias a su accesibilidad, simplicidad, practicidad y confiabilidad; Ofrece un control de calidad rápido y de bajo costo. Lo cual la hace una alternativa atractiva para quienes quieran información rápida u complementaria. Siendo esta, la opción más económica de esta comparativa.</li></ul> <p>Requiere costo de mantenimiento (calibraciones periódicas).</p>
Geogauge	<ul style="list-style-type: none"><li>• Equipo de campo de tipo no destructivo, utilizado para medir desplazamiento resultante, rigidez determinada y deformaciones, por medio de pequeñas frecuencias que ejerce directamente sobre el</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Tiene el costo más elevado que los tres descritos anteriormente, su disponibilidad está ligada por la disposición del precio a pagar por el alquiler de este equipo o compra del</li></ul>

pavimento, lo cual se encargará de simular cargas in situ.

- Por medio de la densidad y relaciones existentes, se obtienen los valores del MR.
- La información que se obtiene del Geogauge, es casi instantánea, ya que se puede usar mientras se está compactando la estructura. Lo que permite tener un control eficaz en cuanto a la uniformidad estructural, desviación, resistencia y control de calidad de los materiales. También ofrece información en tiempo real. Con el fin de proporcionar una mejor calidad de estructura en la construcción de un pavimento.

mismo, su país de origen es Alemania.

- Requiere costo de mantenimiento (Calibraciones periódicas):

---

DCP

- Es necesario tener un operario con experiencia, de modo que el montaje del equipo sea el adecuado, teniendo en cuenta que todas las piezas deben estar correctamente ajustadas y que el martillo deslice libremente.
  - Entrega parámetros como lo son el número de golpes respectivos y la tasa de penetración. Con ayuda de la tasa de penetración es posible determinar el valor de CBR, de modo que para proseguir con el cálculo de del módulo resiliente, se debe elaborar una
- Su costo es muy bajo, muy asequible. Casi cualquiera puede adquirir este equipo.
  - Su costo de mantenimiento es bajo.

doble correlación. Esto no permite un grado pertinente de confianza con los datos obtenidos.

Es una prueba de ensayo de tipo destructivo.

---

Triaxial (RLT)	<ul style="list-style-type: none"><li>• Es necesario que el equipo de triaxial dinámico sea operado por una persona especializada con experiencia.</li><li>• Entrega resultados directos de las muestras ensayadas, su grado de confiabilidad es bastante alto. De tal manera que es el ensayo de laboratorio recomendado por la normativa AASHTO.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Su costo es muy elevado, su disponibilidad en los laboratorios de ingeniería civil es muy baja. Los costos de mantenimientos también son altos, de modo que la empresa fabricante tiene que enviar personal especializado perteneciente a dicha empresa.</li><li>• Adecuaciones e instalaciones especiales requeridas en el lugar.</li></ul>
----------------	--	--

Es necesario conocer el grado de compactación y humedad óptima  
Ensayo de tipo destructivo.

## 9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Se concluyó, que las metodologías con mayor eficacia y menor porcentaje de error, con respecto a los resultados de valores del módulo resiliente en las diferentes investigaciones tenidas en cuenta a lo largo de este documento, son las metodologías ensayadas en laboratorio.
- Desde la parte experimental (Ensayos de laboratorios), es muy importante tener en cuenta y con detalle las condiciones especiales que se recomiendan en cada ensayo de laboratorio según la normatividad, puesto que el no cumplimiento de dichas condiciones puede alterar los resultados del módulo resiliente hallado. El tipo de material, el tamaño del espécimen, tipo de compactación, peso específico, granulometría, magnitud del esfuerzo aplicado y contenido de agua son las posibles variables que pueden alterar el resultado del módulo resiliente hallado experimentalmente.
- Es de importancia no dejar de lado los aspectos técnicos de los diferentes métodos que existen para el cálculo del módulo resiliente, la viabilidad de hacer ensayos de tipo destructivos o no destructivos según sea el caso que se presente, confiabilidad del método y, por último, es muy importante resaltar la disponibilidad de los diferentes equipos.
- Este proyecto de grado permite valorar la importancia del módulo resiliente a la hora de diseñar una estructura de pavimento. Desde la comunidad ingenieril como también como futuros ingenieros que se desempeñan en los diferentes cargos del campo del diseño y construcción de pavimentos, ya sea residente, interventor o supervisor, nos permite la posibilidad de evaluar e indagar cual es el mejor método para el cálculo del módulo resiliente dadas las condiciones de la obra a ejecutar; ya sea un diseño desde cero, una rehabilitación y/o mantenimiento de una estructura de pavimento.
- Los modelos no destructivos realizados in situ, provienen de la metodología con la que se obtiene el módulo resiliente de una manera más eficaz y económica en comparación con las otras metodologías.
- La correlación del módulo resiliente con CBR en Colombia, tiende a ser la opción más utilizada en los proyectos, por su versatilidad en cuanto a la economía y posibilidad de acceso, también por carencia tanto de estudio como de equipos especializados, lo cual demuestra un bajo nivel de desarrollo, en el ámbito de las estructuras de pavimento en la región.

- Desde la parte técnica gracias a las herramientas tecnológicas se puede llevar control, un monitoreo en tiempo real durante y después de compactar el pavimento, para corroborar las propiedades mecánicas del suelo, de este modo evitar posibles fallas que se podrían ocasionar en el pavimento. Estos monitoreos se realizan por medio de equipos como el Geogauge, o también con los deflectómetros de impacto.
- Las investigaciones más completas que se evidenciaron fueron de países de América del Norte, América Central. Por otro lado, en cuanto se refiere a Sur América, se evidenciaron varias investigaciones realizadas en el país de Ecuador; esto quiere decir que los ecuatorianos se preocupan de gran manera por realizar investigaciones en la que concierne al área de pavimentos. Si consultamos en la web acerca de la infraestructura vial ecuatoriana, podemos evidenciar la diferencia por kilómetros de pavimento construidos con respecto a nuestro, la magnitud y calidad de la misma.

## 10. BIBLIOGRAFÍA

- [1] I. D. D. URBANO, «SUBBASES Y BASES,» de *ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE MATERIALES Y CONSTRUCCION PARA PROYECYOS DE INFRAESTRUCTURA VIAL Y DE ESPACIO PUBLICO EN BOGOTÁ D.C.*, BOGOTÁ, 2016, p. 108.
- [2] F. S. SABOGAL, «MATERIALES PARA BASE Y SUBBASE,» de *PAVIMENTOS*, p. 254.
- [3] V. Y. Piqueras, «Procedimientos de construccion,» 30 Noviembre 2018. [En línea]. Available: <https://procedimientosconstruccion.blogs.upv.es/category/maquinaria-y-procedimientos-constructivos-de-cimentaciones-y-estructuras/procedimientos-constructivos-de-cimentaciones-sistemas-de-retencion-de-tierras-y-anclajes/>.
- [4] I. P. Pérez, V. N. Gámir, F. V. Santana, L. E. M. Rodríguez y M. G. R. García, «PROPIEDADES MECÁNICAS DE LAS CAPAS DE BASE Y SUBBASE CONSTRUIDAS CON MATERIALES GRANULARES EN LOS FIRMES DE CARRETERAS».
- [5] I. W. G. LAZARES, «BIBLIOTECA VIRTUAL DE DESARROLLO SOSTENIBLE Y SALUD AMBIENTAL,» [En línea]. Available: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cursouni/g-11.pdf>.
- [6] INVIAS, «CAPITULO 3, AFIRMADOS, BASES Y SUBBASES,» de *NORMAS Y ESPECIFICACIONES INVIAS*, 2013.
- [7] A. M. FONSECA, *INGENIERIA DE PAVIMENTOS*, BOGOTÁ, 1997.
- [8] B. M. DAS, *FUNDAMENTOS DE INGENIERIA GEOTÉCNICA*, CALIFORNIA.
- [9] D. L. H. G. D., «Repositorio sena,» 2012. [En línea]. Available: [https://repositorio.sena.edu.co/sitios/albanileria\\_restauracion\\_edificaciones/construccion\\_muros\\_tapia\\_bahareque.html#](https://repositorio.sena.edu.co/sitios/albanileria_restauracion_edificaciones/construccion_muros_tapia_bahareque.html#).
- [10] CONSTRUMATICA. [En línea]. Available: [https://www.construmatica.com/construpedia/Cimentaciones\\_por\\_Zapatatas](https://www.construmatica.com/construpedia/Cimentaciones_por_Zapatatas).
- [11] J. E. BOWLES, *MANUAL DE LABORATORIO DE SUELOS EN INGENIERIA*, BOGOTÁ, 1961.

- [12] C. bien, «Construye bien,» [En línea]. Available: <https://www.construyebien.com/construccion-de-columnas>.
- [13] M. arquitectos., «META2020 arquitectos,» 25 Agosto 2019. [En línea]. Available: <https://www.meta2020arquitectos.com/construccion-con-tierra/>. [Último acceso: 29 Agosto 2017].
- [14] «Especificacion de construccion para viviendas,» [En línea]. Available: <https://sites.google.com/a/correo.udistrital.edu.co/manualviviendas/2-especificaciones-tecnicas-de-construccion/Cimentacion/e-concreto-ciclopeo>.
- [15] UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH, «CAPITULO 4 EL MÓDULO RESILIENTE,» de *PAVIMENTOS*, BARCELONA, p. 17.
- [16] AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS, *AASHTO GUIDE FOR DESING OF PAVIMENT STRUCTURES*, WASHINGTON, 1993.
- [17] G. A. Pazmiño Lovato, «Repositorio Puce,» 2019. [En línea]. Available: <http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/17067/TESIS%20CD.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- [18] M. A. Bravo Cabrera , 2019. [En línea]. Available: <https://dspace.ucacue.edu.ec/bitstream/ucacue/8307/1/BRAVO%20CABRERA%20MICH AEL%20ALONSO.pdf>.
- [19] F. A. Parra Padilla , «Respositorio PUCE,» 2018. [En línea]. Available: <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/15729>.
- [20] M. H. Leal Noriega, «Repositorio Universidad Nacional,» 2010. [En línea]. Available: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/7398/296497.2011.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- [21] M. Jiménez Acuña , «Repositorio del SIBDI - UCR,» 2009. [En línea]. Available: <https://investigacion.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/bitstream/handle/50625112500/1207/UI-07-09-ENSAYO%20M%C3%93DULO%20RESILIENTE%20EN%20BASES%20GRANULARES.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

- [22] F. M. Miranda Narvaez y E. A. Sánchez Quintero, «Repositorio PUCE,» 2015. [En línea]. Available:  
<http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/11077/TESIS%20F.%20Miranda%20-%20A.%20Sanchez%20-%20Maestia%20Vlal.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- [23] E. ÇÖLERİ, «Üniversiteler Mahallesi, Dumlupınar Bulvarı,» 2007. [En línea]. Available:  
<https://etd.lib.metu.edu.tr/upload/12608660/index.pdf>.
- [24] R. Gudishala, «Louisiana State UniversityLSU Digital Commons,» 2004. [En línea]. Available:  
[https://digitalcommons.lsu.edu/cgi/viewcontent.cgi?referer=&httpsredir=1&article=4928&context=gradschool\\_theses](https://digitalcommons.lsu.edu/cgi/viewcontent.cgi?referer=&httpsredir=1&article=4928&context=gradschool_theses).
- [25] A. Kancherla , «CORE,» 2004. [En línea]. Available:  
<https://core.ac.uk/download/pdf/147124444.pdf>.
- [26] J. Thavathurairaja, «Reno ScholarWorks Repository,» 2017. [En línea]. Available:  
[https://scholarworks.unr.edu/bitstream/handle/11714/2811/Thavathurairaja\\_unr\\_0139M\\_12507.pdf?isAllowed=y&sequence=1](https://scholarworks.unr.edu/bitstream/handle/11714/2811/Thavathurairaja_unr_0139M_12507.pdf?isAllowed=y&sequence=1).
- [27] C. Luo, «McMaster University's Institutional Repository,» 2014. [En línea]. Available:  
<https://macsphere.mcmaster.ca/bitstream/11375/15481/1/HIGH%20PERFORMANCE%20GRANULAR%20BASE%20AND%20SUBBASE%20MATERIALS%20INCORPORATING%20RECLAIMED%20ASPHALT%20CONCRETE%20PAVEMENT.pdf>.
- [28] L. M. Rojas Quintero, «Repositorio Javeriana,» 2014. [En línea]. Available:  
<https://repositorio.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/15059/RojasQuinteroLauraMarcela2014.pdf?sequence=1>.
- [29] I. T. Rodríguez Zúñiga , «Repositorio Pontificia Universidad Catolica de Chile(PUCC),» 2018. [En línea]. Available:  
[https://repositorio.uc.cl/xmlui/bitstream/handle/11534/21881/Rodriguez\\_Ignacio\\_Tesis\\_FINAL.pdf](https://repositorio.uc.cl/xmlui/bitstream/handle/11534/21881/Rodriguez_Ignacio_Tesis_FINAL.pdf).
- [30] C. Lerma Tirado, «Repositorio institucional de la UNAM,» 2017. [En línea]. Available:  
[https://repositorio.unam.mx/contenidos/determinacion-del-modulo-de-resiliencia-de-las-arcillas-del-ex-lago-de-TEXCOCO-268627?c=B9w6wr&d=false&q=\\*&i=2&v=0&t=search\\_0&as=0](https://repositorio.unam.mx/contenidos/determinacion-del-modulo-de-resiliencia-de-las-arcillas-del-ex-lago-de-TEXCOCO-268627?c=B9w6wr&d=false&q=*&i=2&v=0&t=search_0&as=0).

- [31] J. E. Rodríguez Noriega, «Repositorio institucional de la Universidad San Ignacio de Loyola,» 2020. [En línea]. Available: [http://repositorio.usil.edu.pe/bitstream/USIL/10774/1/2020\\_Rodriguez%20Noriega.pdf](http://repositorio.usil.edu.pe/bitstream/USIL/10774/1/2020_Rodriguez%20Noriega.pdf).
- [32] T. Luques Silveria , «Repositorio institucional Universidad Catolica Andrés Bello,» 2015. [En línea]. Available: <http://biblioteca2.ucab.edu.ve/anexos/biblioteca/marc/texto/AAT3157.pdf>.
- [33] L. E. Ayala Velasco, «CORE,» 2013. [En línea]. Available: <https://core.ac.uk/download/pdf/147375348.pdf>.
- [34] N. Pérez García, P. Garnica Anguas y N. Mestas Martínez , «Instituto Mexicano del Transporte,» 2016. [En línea]. Available: <https://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt478.pdf>.
- [35] H. A. Rondón y F. Reyes, «DEFORMACIÓN PERMANENTE DE MATERIALES GRANULARES EN PAVIMENTOS FLEXIBLES: ESTADO DEL CONOCIMIENTO,» *Revista ingenierías Universidad de Medellín* , vol. 8, nº 14, pp. 72-94, 2009.
- [36] M. M. Troya Jurado, «Repositorio Universidad Técnica de Ambato,» 2019. [En línea]. Available: <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/30591/1/Tesis%20I.%20C.%201368%20-%20%20Troya%20Jurado%20Mar%c3%ada%20Mercedes.pdf>.
- [37] G. E. Coronel Vásquez , «Repositorio PUCE,» 2019. [En línea]. Available: [http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/16645/CBR-MYOUNG\\_CORONELG.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/16645/CBR-MYOUNG_CORONELG.pdf?sequence=1&isAllowed=y).
- [38] «Dynatest,» [En línea]. Available: <https://www.dynatest.com/deflectometro-de-impacto-fwd>.
- [39] Dynatest, «Dynatest,» [En línea]. Available: <https://www.dynatest.com/deflectometro-impacto-liviano-lwd>.
- [40] «Universidad distrital san jose de caldas,» [En línea]. Available: <https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/14118>.
- [41] I. A. 320, «INVIAS,» [En línea]. Available: <http://gerconcesion.co/invias2013/320%20SUB-BASE%20GRANULAR.pdf>.

[42] «COTECNO,» 1977. [En línea]. Available: <https://www.cotecno.cl/nuestros-productos/geogauge-calibrador-de-rigidez-del-suelo-s-n/>.