

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERIA
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL**



TEMA DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**EVALUACIÓN DEL GRADO DE COMPACTACIÓN EN LA RED DE CAMINOS
VECINALES DE RIOBAMBA COMPARANDO MÉTODOS CONVENCIONALES Y
ALTERNATIVOS IN SITU**

AUTORES:

Paredes León Luis Carlos

Peñañiel Mesache Pedro Javier

TUTOR:

Ing. Hernán Vladimir Pazmiño Chiluiza

Riobamba, Ecuador 2023

DERECHOS DE AUTORÍA

Nosotros, **Luis Carlos Paredes León**, con cédula de ciudadanía **1400818306** y **Peñañiel Mesache Pedro Javier** con cédula de ciudadanía **060409313-8**, autores del trabajo de investigación titulado: Evaluación del grado de compactación en la red de caminos vecinales de Riobamba comparando métodos convencionales y alternativos in situ, certificamos que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de nuestra exclusiva responsabilidad.

Asimismo, cedemos a la Universidad Nacional de Chimborazo, en forma no exclusiva, los derechos para su uso, comunicación pública, distribución, divulgación y/o reproducción total o parcial, por medio físico o digital; en esta cesión se entiende que el cesionario no podrá obtener beneficios económicos. La posible reclamación de terceros respecto de los derechos de autores de la obra referida será de nuestra entera responsabilidad; librando a la Universidad Nacional de Chimborazo de posibles obligaciones.

En Riobamba, a la fecha de su presentación.



Luis Carlos Paredes León

C.I: 1400818306



Pedro Javier Peñañiel Mesache

C.I: 060409313-8

DICTAMEN FAVORABLE DEL TUTOR Y MIEMBROS DE TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Tutor y Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación **Evaluación del grado de compactación en la red de caminos vecinales de Riobamba comparando métodos convencionales y alternativos in situ** por **Paredes León Luis Carlos**, con cédula de identidad número **1400818306** y **Peñafiel Mesache Pedro Javier**, con cedula de identidad número **060409313-8**, certificamos que recomendamos la APROBACIÓN de este con fines de titulación.

Previamente se ha asesorado durante el desarrollo, revisado y evaluado el trabajo de investigación escrito y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba a los 22 días de enero de 2024.

Ing. Maria Gabriela Zuñiga Rodriguez
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO



Firma

Ing. Jorge Eugenio Núñez Vivar
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



Firma

Ing. Cristian Andres Marcillo Zapata
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



Firma

Ing. Hernán Vladimir Pazmiño Chiluiza
TUTOR



Firma

CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación “EVALUACIÓN DEL GRADO DE COMPACTACIÓN EN LA RED DE CAMINOS VECINALES DE RIOBAMBA COMPARANDO MÉTODOS CONVENCIONALES Y ALTERNATIVOS IN SITU” por Paredes León Luis Carlos, con cédula de identidad número 140081830-6 y por Peñafiel Mesache Pedro Javier, con cédula de identidad número 060409313-8, bajo la tutoría de Ing. Hernán Vladimir Pazmiño Chiluzza Mgs.; certificamos que recomendamos la APROBACIÓN de este con fines de titulación. Previamente se ha evaluado el trabajo de investigación y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba a los **22 días de enero de 2024.**

Ing. Maria Gabriela Zuñiga Rodriguez, Mgs.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO



Firma

Ing. Jorge Eugenio Núñez Vivar, Mgs.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



Firma

Ing. Cristian Andres Marcillo Zapata, Mgs.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



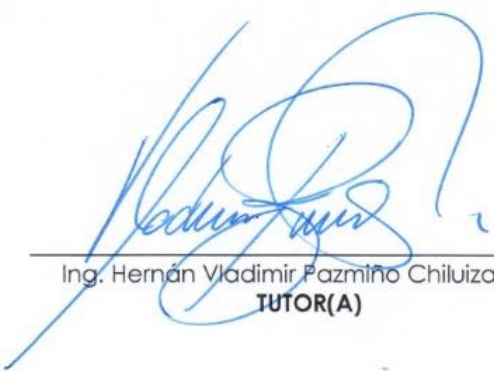
Firma



CERTIFICACIÓN

Que, **Paredes León Luis Carlos** con CC: **140081830-6** y **Peñafiel Mesache Pedro Javier** con CC: **060409313-8**, estudiantes de la Carrera de Ingeniería Civil, Facultad de **Ingeniería**; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado "**EVALUACIÓN DEL GRADO DE COMPACTACIÓN EN LA RED DE CAMINOS VECINALES DE RIOBAMBA COMPARANDO MÉTODOS CONVENCIONALES Y ALTERNATIVOS IN SITU**", cumple con el 7 %, de acuerdo al reporte del sistema Anti plagio URKUND, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 15 enero de 2024



Ing. Hernán Vladimir Pazmiño Chiluiza Mgs.
TUTOR(A)

DEDICATORIA

A nuestros padres y familiares cercanos, fuente inagotable de amor, apoyo y sabiduría. Cada logro en esta tesis es un reflejo de la dedicación que me han inculcado a lo largo de los años. Gracias por ser mi faro en las tormentas académicas y por creer en mí cuando más lo necesitaba.

A nuestros amigos y compañeros de clases, por compartir risas, desafíos y momentos inolvidables. Su amistad ha iluminado los días oscuros y ha hecho que este camino sea mucho más significativo.

A nuestro tutor de tesis, Ing. Vladimir Pazmiño, y los miembros del tribunal, por su guía experta y dedicación. Gracias por ser más que un mentor, por ser un inspirador y por desafiarme a alcanzar mi máximo potencial.

A la Universidad Nacional de Chimborazo, por ofrecer los recursos y el entorno propicio para la realización de este proyecto. Su respaldo ha sido fundamental en cada paso del camino.

A todos aquellos que, de una manera u otra, han dejado una marca en mi camino académico, les dedico este trabajo. Vuestra influencia y apoyo han sido invaluable.

Este logro no es solo mío; es el resultado de la contribución y el apoyo de muchos seres queridos. A todos ustedes, gracias por ser parte de este viaje.

Luis Carlos Paredes León y Pedro Javier Peñafiel Mesache

AGRADECIMIENTO

Quisiera expresar mi profundo agradecimiento a todas las personas que contribuyeron de manera significativa a la realización de esta tesis. Este trabajo no habría sido posible sin el apoyo incondicional y la colaboración de muchas personas excepcionales.

En primer lugar, quiero agradecer a mi tutor de tesis, Ing. Vladimir Pazmiño, y a los miembros del tribunal por su orientación experta, paciencia y motivación constante. Sus conocimientos y perspicacia fueron fundamentales para dar forma a este proyecto y para mi crecimiento académico en general. Agradezco sinceramente a mis profesores y a todo el personal de la carrera de Ingeniería Civil, por proporcionar un entorno académico estimulante y por su disposición a compartir su sabiduría y experiencia.

Mi gratitud se extiende a mis compañeros de clase y a los amigos que me brindaron apoyo moral y aliento en cada etapa de este viaje académico. Sus debates y sugerencias contribuyeron significativamente al desarrollo de mis ideas. No puedo pasar por alto el apoyo incondicional de mi familia. A mis padres, Nery León y Ángel Paredes, por su amor, comprensión y apoyo constante. A mis hermanos y demás familiares, gracias por ser una fuente constante de inspiración.

Finalmente, quiero agradecer a todas las personas anónimas que participaron en mi investigación y a aquellos que, de una u otra manera, contribuyeron a la culminación de este proyecto. Este trabajo representa el esfuerzo colectivo de algunas personas, y estoy agradecido por haber tenido el privilegio de contar con su apoyo.

Luis Carlos Paredes León

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a todas las personas que hicieron posible la realización de esta investigación. En primer lugar, agradezco a Dios por colocarme en este camino a mis amados padres Pedro y Miriam por amarme, por sobre todo por estar siempre en cada paso y decisión que he tomado para lograr ser la persona que soy ahora, me faltan palabras y me faltara la vida para agradecerles todo. A mis hermanos por alentarme a ser mejor, a mi familia entera por las palabras y el apoyo para perseguir y cumplir mis objetivos.

A la majestuosa carrera de Ingeniería Civil, al Ing. Vladimir Pazmiño, y los miembros del tribunal, por su guía experta, dedicación y apoyo continuo a lo largo de este proyecto. Sus conocimientos y visión fueron esenciales para dar forma a esta investigación. A todos los docentes que me convirtieron en un buen profesional y sobre todo en un excelente ser humano, a mis compañeros, amigos, colegas que compartieron esta etapa de mi vida; a la mujer, amiga y compañera que hizo este camino más llevadero y sencillo con su constante apoyo, amor y cariño (Angela Villarroel). Y a todas aquellas personas que de alguna manera han impulsado que consiga este logro. Quiero expresar mi gratitud a la Universidad Nacional de Chimborazo, por su apoyo, que permitió la realización de esta investigación. Su respaldo fue fundamental para llevar a cabo este estudio de manera efectiva.

Por último, quiero agradecerme por creer en mis sueños y sobre todo por creer en mí, por trabajar fuerte, por dar todo de mí, para lograr cumplir una meta más.

¡Gracias a todos por su inestimable contribución a este proyecto!

Pedro Javier Peñafiel Mesache

ÍNDICE GENERAL

DERECHOS DE AUTORÍA

DICTAMEN FAVORABLE DEL TUTOR Y MIEMBROS DEL TRIBUNAL

CERTIFICADO ANTIPLAGIO

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	16
1.1. Introducción.....	16
1.2. Antecedentes.....	17
1.3. Planteamiento del problema	18
1.4. Objetivos.....	19
1.4.1. Objetivo general	19
1.4.2. Objetivos específicos.....	19
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	20
2.1. Marco teórico.....	20
2.1.1. Conceptos generales	20
2.1.1.1. Caminos vecinales y su importancia	20
2.1.1.2. Capa de rodadura de los caminos vecinales.	21
2.1.1.3. Clasificación de acuerdo con la superficie de rodamiento.....	21
2.1.1.4. Flujo de tráfico	21
2.1.1.4.1. Categoría de tráfico (IMDP)	21
2.1.1.4.2. Niveles de servicio de flujo vehicular.....	22
2.1.2. Ensayos.....	22
2.1.2.1. Métodos convencionales	22
2.1.2.1.1. Proctor modificado.....	22
2.1.2.1.2. Cono de arena	23
2.1.2.2. Métodos alternativos	23
2.1.2.2.1. Densidad por densímetro eléctrico (EDG).....	23
2.1.2.2.2. Geogauge	24
2.1.2.3. Grado de compactación.....	25
2.1.2.4. Estimación del CBR.....	26
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA.....	27
3.1. Metodología.....	27
3.1.1. Tipo y diseño de la investigación	27
3.1.2. Variables dentro de la muestra	27
3.1.3. Descripción del área de estudio	27
3.1.4. Población de estudio y tamaño de la muestra.....	28

3.1.5.	Unidad de análisis.....	29
3.1.6.	Diagrama de flujo de trabajo	30
3.1.7.	Técnica de recolección de datos	31
3.1.7.1.	Métodos convencionales	31
3.1.7.1.1.	Proctor modificado.....	31
3.1.7.1.2.	Cono de arena	32
3.1.7.2.	Métodos alternativos	33
3.1.7.2.1.	Densidad por densímetro eléctrico (EDG).....	33
3.1.7.2.2.	Geogauge	34
3.1.7.3.	Grado de Compactación.....	35
3.1.7.4.	Métodos y fórmulas de estimación del CBR.....	35
CAPITULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN		37
4.1.	Resultados.....	37
4.1.1.	Diagrama de la extensión de la red de caminos vecinales.....	37
4.1.1.1.	Identificación de la red de caminos vecinales	37
4.1.2.	Puntos de control	37
4.1.2.1.	Ubicación de los puntos de control	37
4.1.2.2.	Inventario	38
4.1.2.3.	Puntos de control escogidos	38
4.1.3.	Densidad de laboratorio (Proctor modificado)	39
4.1.4.	Densidad de campo (Cono de arena).....	40
4.1.5.	Densidad por densímetro eléctrico	41
4.1.6.	Comparación de los ensayos de campo y laboratorio.....	43
4.1.6.1.	Comparación de la humedad del suelo por cono de arena vs humedad del suelo con densímetro eléctrico	43
4.1.6.2.	Comparación de la densidad húmeda de campo y teórica	44
4.1.6.3.	Comparación de la densidad seca de campo y teórica	45
4.1.6.4.	Grado de compactación.....	45
4.1.7.	Módulos determinados con equipo alternativo.....	47
4.1.8.	Estimación del CBR	49
4.2.	Discusión	50
CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		51
5.1.	Conclusiones.....	51
5.2.	Recomendaciones	52
BIBLIOGRAFÍA		53
ANEXOS		56

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Unidad de análisis.....	29
Ilustración 2. Diagrama de flujo	30
Ilustración 3. Total, de la red de caminos vecinales dentro de la zona urbana.....	37
Ilustración 4. Puntos de control de cada parroquia.....	37
Ilustración 5. Comparación de las humedades	44
Ilustración 6. Comparación de las densidades húmedas.....	44
Ilustración 7. Comparación de las densidades secas de tres métodos diferentes	45
Ilustración 8. Comparación de del grado de compactación teórico VS campo	46
Ilustración 9. Porcentaje de caminos vecinales con su respectiva compactación (métodos alternativos)	47
Ilustración 10. Porcentaje de caminos vecinales con su respectiva compactación (métodos convencionales)	47
Ilustración 11. Comparación de los datos obtenidos en la estimación de CBR	49

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Categoría de tráfico según su IMDP (MOP).	22
Tabla 2. Niveles de servicio de flujo según el HCM.....	22
Tabla 3. Ubicación de los puntos de control	38
Tabla 4. Inventario de los puntos de control.	38
Tabla 5. Categoría de tráfico y nivel de servicio.....	39
Tabla 6. Resultados del ensayo de proctor modificado.	39
Tabla 7. Resultados del ensayo de cono de arena.....	40
Tabla 8. Resumen del ensayo cono de arena.	41
Tabla 9. Resultados del ensayo con el equipo “Densímetro eléctrico”.	41
Tabla 10. Resumen de resultados del ensayo con el equipo “Densímetro eléctrico”.	42
Tabla 11. Nivel de Confianza según el EDG índice “FIT”	43
Tabla 12. Comparación de las humedades teórica VS campo.....	43
Tabla 13. Comparación de las densidades húmedas teórica VS campo	44
Tabla 14. Comparación de las densidades secas teórica VS campo.....	45
Tabla 15. Grado de compactación teórico VS campo	46
Tabla 16. Resultados del ensayo con el equipo “Geogauge”.	47
Tabla 17. Resumen del ensayo con el equipo Geogauge.	48
Tabla 18. Estimación del CBR	49

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Contenido de humedad	31
Ecuación 2. Densidad seca	32
Ecuación 3. Densidad húmeda.....	32
Ecuación 4. Volumen del hoyo.....	32
Ecuación 5. Densidad húmeda.....	33
Ecuación 6. Contenido de humedad	33
Ecuación 7. Densidad seca	33
Ecuación 8. Porcentaje de estimación teórica	35
Ecuación 9. Módulo de resiliencia (AASHTO 93).....	35
Ecuación 10. Estimación del CBR (Heukelom y Klomp).....	35
Ecuación 11. Módulo de resiliencia (Powell).....	36
Ecuación 12. Estimación del CBR (Powell).....	36
Ecuación 13. Módulo de resiliencia (Webb y Campbell).....	36
Ecuación 14. Estimación del CBR (Webb y Campbell).....	36
Ecuación 15. Estimación del CBR (Murad)	36

LISTA DE ACRÓNIMOS

ASTM. American Society for Testing and Materials (Sociedad Americana para pruebas y materiales)
CBR. California Bearing Ratio (Relación de carga California)
E. Módulo de elasticidad o módulo de resiliencia
EDG. Electrical Density Gauge (Medidor de densidad eléctrico)
GAD. Gobierno autónomo descentralizado
GP. Gravas Probablemente graduadas
GW. Gravas bien graduadas
HCM. Highway Capacity Manual (Manual de capacidad de la carretera)
IMDP. Intensidad media diaria promedio de vehículos pesados
INVIAS. Instituto nacional de vías
MOP. Ministerio de obras públicas
MR. Módulo de resiliencia
NEVI. Norma ecuatoriana vial
PDOT. Plan de desarrollo y ordenamiento territorial
SP. Arenas probablemente graduadas
SUCS. Sistema unificado de clasificación de suelos
SW. Arenas bien graduadas
Vph. Volumen de servicio por hora

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Equipos y materiales del ensayo de proctor modificado:	56
Anexo 2. Equipos y materiales del ensayo cono de arena:	56
Anexo 3. Ensayo del cono de arena	57
Anexo 4. Ensayo de proctor modificado	58
Anexo 5. Ensayos de densímetro eléctrico.....	59
Anexo 6. Ensayos del equipo Geogauge	60
Anexo 7. Mensajes y errores comunes del equipo densímetro eléctrico.....	61
Anexo 8. Equipos y materiales del Ensayo de California Bearing Ratio.....	62
Anexo 9. Ajuste estadístico "FIT"	63
Anexo 10. Procedimiento del ensayo con el equipo EDG	64

RESUMEN

Los caminos vecinales, según la (NEVI-12, 2012) indica que, estos son aquellos caminos convencionales que van desde los caminos rurales no incluidos en mapas, que pueden ser destinados a recibir tráfico por uso doméstico de distintas poblaciones, zonas de actividades agrícolas, ganaderas y accesos a zonas turísticas. El objetivo general de esta investigación fue evaluar el grado de compactación de los caminos vecinales del cantón Riobamba mediante comparación de valores de laboratorio y mediciones en campo con equipo no convencionales, teniendo en cuenta la importancia de estos dentro del desarrollo económico del cantón.

El grado de compactación es un parámetro importante de los suelos mismo que indica la resistencia y deformación requerida para incrementar la estabilidad de suelos naturales. La compactación de los suelos es un proceso que se realiza de forma mecánica y mediante el cual se espera adecuar las características de los suelos entre las que se destacan: la resistencia al esfuerzo cortante, la compresibilidad, la permeabilidad, entre otros. Mediante la compactación, las partículas del suelo son forzados a estar unidas mediante la reducción del índice de vacíos.

Los métodos convencionales realizados son el ensayo de cono de arena y el proctor modificado, y los métodos alternativos son ensayos que fueron ejecutados con los equipos EDG y Geogauge. Se tomaron datos de densidades, humedades y compactación del suelo mediante los ensayos alternativos y fueron comparados con los datos de los ensayos convencionales.

La investigación realizada es de tipo cuantitativa, con un diseño experimental, misma que se realizó con una población total de 110 kilómetros de caminos vecinales dentro de la zona urbana del cantón Riobamba, con la ayuda de un software de georreferenciación (ArcGIS) y un muestreo no probabilístico, dio como resultado 10 puntos de control como muestra total dentro de estos caminos, dichos puntos de control fueron analizados mediante los métodos mencionados.

Según la (NEVI-12, 2012) el grado de compactación de un suelo vial debe ser del 95% o mayor, de los datos obtenidos con métodos alternativos apenas un 20 % del total de la muestra analizada cumple con el grado de compactación expuesto en la norma, dejando así al 80 % restante con una compactación menor al límite impuesto. En cambio, mediante la estimación con los datos de los métodos convencionales, un 40% de la muestra analizada cumple con lo anterior mencionado. Según el ajuste estadístico de los métodos alternativos (EDG) se logró obtener un nivel confianza del 70% en la recolección de datos en los diferentes ensayos. Esta variación entre los resultados de los métodos convencionales y alternativos se debe a los valores de las densidades secas y densidades máximas secas que hay en cada punto de control.

Palabras clave: Grado de compactación, caminos vecinales, métodos convencionales, métodos alternativos.

ABSTRACT

Local roads, according to (NEVI-12, 2012) indicates that these are conventional roads that go from rural roads not included in maps, which can be destined to receive traffic for domestic use of different populations, areas of agricultural activities, livestock and access to tourist areas. The general objective of this research was to evaluate the degree of compaction of the local roads of the Riobamba canton through comparison of laboratory values and field measurements with non-conventional equipment, considering their importance within the economic development of the canton. The degree of compaction is an important soil parameter that indicates the resistance and deformation required to increase the stability of natural soils. Soil compaction is a process that is carried out mechanically and through which it is expected to adapt the characteristics of the soil, among which are: resistance to shear stress, compressibility, permeability, among others. Through compaction, soil particles are forced together by reducing the void ratio. The conventional methods carried out are the sand cone test and the modified proctor, and the alternative methods are tests that were executed with the EDG and Geogauge equipment. Data on densities, humidity and compaction of the soil were taken through the alternative tests and were compared with the data from the conventional tests. The research carried out is quantitative, with an experimental design, which was carried out with a total population of 110 kilometers of local roads within the urban area of the Riobamba canton, with the help of georeferencing software (ArcGIS) and sampling non-probabilistic, resulted in 10 control points as a total sample within these paths, these control points were analyzed using the methods. According to (NEVI-12, 2012), the degree of compaction of a road soil must be 95% or greater. From the data obtained with alternative methods, only 20% of the total sample analyzed meets the degree of compaction exposed in the norm, thus leaving the remaining 80% with a compaction less than the imposed limit. On the other hand, by estimating data from conventional methods, 40% of the analyzed sample meets the aforementioned. According to the statistical adjustment of the alternative methods (EDG), a confidence level of 70% was achieved in the data collection in the different trials. This is reflected in the similarity of the values obtained with the different methods in terms of densities, humidity, and degrees of compaction of the soils tested. This variation between the results of the conventional and alternative methods is due to the values of the dry densities and maximum dry densities that exist at each control point.

Keywords: Degree of compaction, local roads, conventional methods, alternative methods.



Reviewed by:

Msc. Jhon Inca Guerrero.

ENGLISH PROFESSOR

C.C. 0604136572

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Introducción

La infraestructura vial es de suma importancia para el progreso, además de ser un gran activo económico y social en el desarrollo de las diferentes naciones. En la construcción de carreteras es importante conocer las características de los suelos con los que serán construidas. Entre estas se pueden destacar el grado de compactación, densidades del suelo, porcentajes de humedad y capacidad de la plataforma de rodadura.

Conforme al banco de desarrollo de América latina (CAF; et al., 2020) en su análisis de inversiones, realizados con los datos del ministerio de transporte y obras públicas (NEVI-12, 2012), el país cuenta con un total de 43197.37 km de vías, de las cuales apenas 13.2 % son asfaltadas de primer y segundo orden, el 86,6 % restantes están conformadas por caminos de tercer orden o caminos vecinales y locales. Además, las características físicas del suelo en el Ecuador varían mucho por la irregularidad de las diferentes regiones que este posee.

Según el (PDOT del GAD de Chimborazo, 2020) en el 2022 tiene un total de 4113.22 km en su red vial, de los cuales 2741.68 km son caminos vecinales los cuales representan el 66.7 % del total de esta red. Según la (NEVI-12, 2012) los caminos vecinales son corredores viales, que incluyen desde caminos lastrados, empedrados y suelos naturales compactados, que conectan comunidades rurales al casco urbano y son destinados al transporte de uso doméstico de diversos grupos a través de zonas con actividades agrícolas, ganaderas y accesos que pueden ser utilizados para zonas turísticas, por lo cual se ha hecho énfasis en el estudio de las características físicas de los caminos vecinales dentro del casco urbano del cantón Riobamba. Además, el (GADM Riobamba, 2017) asegura que en el cantón dentro del límite urbano consta de un total de 667.8 km en su red vial, de estos 110 km son caminos vecinales representando el 17 % del total de esta red.

En la presente investigación se realizó un muestreo que arrojó varios puntos de control dentro de la red de caminos vecinales en el casco urbano del cantón Riobamba, los cuales fueron divididos para las 5 parroquias urbanas que la conforman. Dónde se realizaron comparaciones entre los métodos convencionales realizados en laboratorio e in situ que son: proctor modificado, cono de arena, contenido de humedad y los métodos alternativos in situ que son: ensayo de densímetro eléctrico y determinación de módulos de suelo con el equipo Geogauge, logrando así la comparación de datos como las densidades, humedades del suelo y el grado compactación, además de la estimación del CBR con los equipos utilizados.

1.2. Antecedentes

El desarrollo urbano se ve mejorado con la construcción de caminos vecinales que conectan con esta zona, por lo que se considera importante determinar las características de los suelos naturales en donde se va a implementar un proyecto vial. Características como el grado de compactación, densidad y humedad del suelo, mismo que difiere dependiendo del sector donde se proyectó la obra y serán regidas por las normativas de cada país.

El grado de compactación es un proceso fundamental en las obras de ingeniería ya que busca mejorar las características de resistencia, compresibilidad y la relación esfuerzo-deformación de los suelos, según el sector donde se establece la construcción el tipo de suelo será diferente. (Guerrón, 2013)

Actualmente en la situación vial del país, se observa que los caminos vecinales se deterioran rápidamente, por eso se plantea evaluar el nivel de compactación de los caminos vecinales, el cual es un proceso que sirve para mejorar las propiedades de los suelos, dándonos referencias para estimar el nivel de serviciabilidad y la intervención para la conservación de estas infraestructuras.

Una carretera debe garantizar que la subrasante este apta para soportar todas las solicitudes para lo cual fue diseñado (Herrera, 2014), para ello se realiza el control de calidad de grado de compactación mediante diferentes metodologías, los métodos convencionales realizados in situ son el ensayo de cono de arena, y el proctor modificado, mientras que los métodos alternativos son el ensayo con densímetro eléctrico y el medidor de módulos de suelo, donde se puede estimar datos como el módulo resiliente, el cual es un parámetro que sirve para identificar las propiedades de la subrasante para el diseño de pavimentos flexibles (Múnera & Aguiar, 2020).

1.3. Planteamiento del problema

En un proyecto vial es importante garantizar una adecuada compactación, proceso mediante el cual permitirá que la plataforma de rodadura este totalmente plana, lisa y con agarre, logrando evitar fallas de deformaciones permanente, planteando el objetivo de conservar las carreteras, asegurando un buen nivel de serviciabilidad y una buena velocidad de operación para caminos vecinales.

Después de realizar la evaluación de la red de caminos vecinales, se obtuvo que estos no cuentan con un buen nivel de serviciabilidad por lo que se propone la realización de diferentes ensayos para medir este parámetro.

En las parroquias urbanas del cantón Riobamba su principal fuente de economía es la agricultura, ganadería y zonas turísticas, lo que lleva a la construcción de caminos vecinales. En la actualidad estos caminos se encuentran en malas condiciones, por lo que se propone realizar ensayos de estudios de suelos convencionales y alternativos como el ensayo de densidad por cono de arena, proctor modificado, medidor de módulos de suelo Geogauge y el densímetro eléctrico, mismos que ayudaron a estimar los datos de las densidades, humedades, grados de compactación que caracterizan los caminos vecinales dentro del casco urbano del cantón Riobamba.

Realizados los ensayos pertinentes, se evaluarán los estados de los caminos vecinales por cada punto de control y se obtendrán resultados de sus características físicas y mecánicas, y se determinará si dichos caminos necesitan de un mejoramiento de sus capacidades.

Para los caminos vecinales cuyas características físicas y mecánicas sean desfavorables se puede proponer un mejoramiento con equipos de conformación y compactación, con el fin de garantizar un óptimo nivel de serviciabilidad para la comunidad, garantizando que el grado de compactación de los suelos este sobre lo requerido según la norma ecuatoriana vial. (NEVI-12, 2013)

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Evaluar el grado de compactación de los caminos vecinales del cantón Riobamba mediante comparación de valores de laboratorio y mediciones en campo con equipo no convencionales.

1.4.2. Objetivos específicos

- ❖ Diagramar la extensión de la red de caminos vecinales correspondientes a las parroquias urbanas del cantón Riobamba.
- ❖ Establecer puntos de control en la red, considerando un inventario de la calzada, flujo vehicular y muestreo no probabilístico, estimando dos puntos de control por cada parroquia urbana del cantón.
- ❖ Determinar en laboratorio las densidades teóricas máximas de los puntos de control y comparar los resultados obtenidos en campo usando el densímetro eléctrico digital.
- ❖ Estimar la capacidad portante califonia de la plataforma de rodadura usando el equipo de medición Geogauge eléctrico medidor de rigideces y módulos del suelo.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. Marco teórico

2.1.1. Conceptos generales

2.1.1.1. Caminos vecinales y su importancia

La (NEVI-12, 2012), indica que estas vías son aquellos caminos convencionales que van desde los caminos rurales no incluidos en mapas, mismos que pueden ser destinados a recibir tráfico por uso doméstico de distintas poblaciones, por zonas de actividades agrícolas y ganaderas y accesos a zonas turísticas.

Estos caminos, por llegar a las zonas más alejadas y remotas del país, son de vital importancia en planes tanto de rehabilitación social y económica, ya que estos buscan integrar la presencia del estado en estas zonas causando un efecto positivo en ellas (Ospina, 2016). Según el banco de desarrollo de América latina (CAF; et al., 2020) en su análisis de inversiones, realizados con los datos del ministerio de transporte y obras públicas (NEVI-12, 2012) en el 2017, el país cuenta con un total de 43197.37 km de vías, de las cuales apenas 13.2 % son asfaltadas de primer y segundo orden, el 86.6 % restantes están conformadas por caminos de tercer orden, caminos vecinales y locales. Estas vías al ser la mayor cantidad en el país y al encontrarse conectadas con las principales actividades de comercio o turismo, debería ser de interés en el desarrollo y avance del país.

Según el (PDOT del GAD de Chimborazo, 2020) en el 2022 la provincia tiene un total de 4113.22 km en su red vial, de los cuales 2741.68 km son caminos vecinales los cuales representan el 66.7 % del total de esta red.

Además, el (GADM Riobamba, 2017) asegura que en el cantón dentro del límite urbano consta de un total de 667.8 km en su red vial, de los cuales 110 km son caminos vecinales representando el 17 % del total de esta red. Según la (NEVI-12, 2012) los caminos vecinales son corredores viales, que incluyen desde caminos lastrados, empedrados y suelos naturales compactados, que conectan comunidades rurales al casco urbano y son destinados al transporte de uso doméstico de diversos grupos a través de zonas con actividades agrícolas, ganaderas y accesos que pueden ser utilizados para zonas turísticas, por lo cual se ha hecho énfasis en el estudio de las características físicas de los caminos vecinales dentro casco urbano del cantón Riobamba.

Según el instituto nacional de vías y de los municipios, las vías vecinales son aquellas que forman la red terciaria de carreteras, mismo que generalmente son construidos con el aporte de personas beneficiarias aportando con un tercio de su valor y el sobrante aporta del estado.

2.1.1.2. Capa de rodadura de los caminos vecinales.

Según la norma ecuatoriana vial (NEVI-12, 2012), la subrasante se define como la superficie de los terraplenes en la obra inicial de vía, diseñada para soportar el flujo de distintos vehículos, misma que ha sido preparada como suelo de fundación de las estructuras viales. Estos suelos deben ser adecuados, antes de colocar las capas adicionales de subbase, base y capas de rodadura, capaz de transmitir y distribuir las cargas generadas al tráfico, están conformados principalmente por suelos naturales (INVIAS, 2012).

Dependiendo la topografía del lugar a construirse la vía, la subrasante está constituida por el suelo natural resultante del corte, o por suelos transportados en el caso de rellenos. Determinar las características del material utilizado en la capa subrasante en una vía nos ayuda a conocer el tipo de suelo, la granulometría, humedad óptima, densidades máximas, para ello se utilizan los principios y métodos estudiados en mecánica de suelos.

En muchos lugares el suelo natural donde se implementará la vía no es capaz de soportar las cargas actuantes, por lo que se ve la necesidad de estabilizar la subrasante, para mejorar la resistencia, deformación, dureza y plasticidad. Esto se logra mejorando las propiedades del suelo con diferentes materiales como: cal, cemento portland, emulsiones asfálticas, aditivos químicos y puzolanas entre los más conocidos.

2.1.1.3. Clasificación de acuerdo con la superficie de rodamiento

Pavimentos Flexibles: Son aquellos que tienen una capa de rodadura formada por una mezcla bituminosa de asfalto altamente resistente a los ácidos, álcalis y sales.

Pavimentos Rígidos: Son aquellos donde la capa de rodadura está formada por una losa de concreto hidráulico, con o sin refuerzo estructural, apoyada sobre la subrasante de material granular.

Afirmados: Son aquellas en las que la superficie de rodadura se compone de una capa de material granular con tamaño máximo 2 1/2'' y con proporción de finos, debidamente compactado

Superficie Natural: Su capa de rodadura se compone del terreno natural del lugar, debidamente conformado.

2.1.1.4. Flujo de tráfico

2.1.1.4.1. Categoría de tráfico (IMDP)

La categoría de tráfico pesado de una carretera está marcada por un parámetro que es la intensidad media diaria del vehículo pesado promedio (IMDP) que se predice en la ruta del proyecto en un periodo de tiempo de un año. Esto esta normado según la (Norma 6.1 IC, 2003).

Tabla 1. Categoría de tráfico según su IMDP (MOP).

CATEGORÍA DE TRÁFICO	IMDP
T00	> 4000
T0	4000 - 2000
T1	2000 - 800
T2	800 - 200
T31	200 - 100
T32	100 - 50
T41	50 - 25
T42	< 25

2.1.1.4.2. Niveles de servicio de flujo vehicular

El HCM (highway capacity manual) establece seis niveles de servicio, identificados subjetivamente por las letras desde la A hasta la F, donde al nivel de servicio A se logra un flujo vehicular totalmente libre, mientras que al nivel F se alcanza el flujo forzado que refleja condiciones de utilización a plena capacidad de la vía. (HCM et al., 2010)

Tabla 2. Niveles de servicio de flujo según el HCM

NIVEL DE SERVICIO	CONDICIÓN DE FLUJO	VELOCIDAD MAX DE CIRCULACIÓN (km/h)	VOLUMEN DE SERVICIO (Vpd)
A	Flujo libre	100	Variable (o a Max)
B	Flujo estable	80	2800
C	Flujo casi estable	65	2400
D	Flujo casi inestable	55	2000
E	Flujo inestable	45	1200
F	Flujo forzado	40	500

2.1.2. Ensayos

En cuanto al uso del equipo se pueden destacar que estos constan como parte del laboratorio de la universidad y fueron aprovechados para la presente investigación:

2.1.2.1. Métodos convencionales

2.1.2.1.1. Proctor modificado

Descripción

Este método de ensayo cubre los procedimientos de compactación en el laboratorio que se utilizan para determinar las relaciones entre el contenido de agua y el peso unitario seco de los suelos (curva de compactación) compactados en un molde con un diámetro de 101.6 mm (MTC/14, 2016). Según las normas (ASTMD-1557, 1978) ensayo de proctor modificado, se utilizará el método C que consiste en el uso de un molde de 6 pulgadas de diámetro, en el cual se compacta la muestra en 5 capas, cada una con 56 golpes de un pistón

con una caída de 18 pulgadas, este pistón somete al suelo a un esfuerzo de compactación de cerca de $2700 \text{ KN}/\text{m}^3$.

2.1.2.1.2. Cono de arena

Descripción:

Este ensayo ayuda a determinar la densidad in situ de suelos compactados, utilizados en la construcción de terraplenes, rellenos de carreteras y estructuras de relleno. Este método de ensayo no es adecuado para suelos orgánicos, saturados o altamente plásticos que podrían deformarse o comprimirse durante la excavación del hoyo y tampoco para suelos que contengan una cantidad considerable de material grueso mayor de $1 \frac{1}{2}$ pulg (38 mm).

2.1.2.2. Métodos alternativos

2.1.2.2.1. Densidad por densímetro eléctrico (EDG)

Descripción

Este ensayo realiza un proceso capaz de proporcionar lecturas precisas de la densidad del suelo, el contenido de humedad y el porcentaje de compactación en suelos que normalmente se usan para carreteras y cimientos. Para determinar la precisión del proceso de EDG (Electrical Density Gauge por sus siglas en inglés), dependerá de la precisión de los parámetros físicos, mismos que sirven para dar continuidad al proceso que consiste en la creación de un modelo de suelo que sirve como base de datos para probar un tipo de suelo dentro de un área de características similares.

Este modelo es creado a partir de varias firmas eléctricas utilizando el EDG en diferentes puntos de prueba (los puntos de prueba para un modelo de suelo se denominan pruebas de suelo), además de las firmas eléctricas, se realizan ensayos de suelos como el cono de arena y una prueba de proctor modificado obteniendo datos físicos del suelo mismo que se relacionaran con las firmas eléctricas, para permitir al EDG crear un modelo estadístico para la obtención de datos en un sitio de trabajo.

Un sitio de trabajo es un área de características de suelo similares en las que el usuario desea determinar las características físicas del suelo. Generalmente se crea un solo modelo de suelo para cada sitio de trabajo diferente. Una vez se relacionó el sitio de trabajo con el modelo de suelo este permite que el EDG determine con precisión y rapidez las características del suelo de cualquier otro punto dentro del sitio de trabajo.

El grado de precisión de los datos y el nivel de confianza al utilizar el equipo se puede comprobar cuando el modelo de suelo no se ajusta al modelo estadístico de forma razonable, generando un mensaje de advertencia. Junto con ello, se muestra un número índice de ajuste entre 0 y 1, donde 1 es el número índice ideal. (FIT)

Al visualizar el ajuste muestra dos graficas donde indican las propiedades eléctricas vs propiedades físicas de cada modelo de suelo, dándonos a conocer que modelo no se ajusta y

poder evitar posibles desviaciones en el cálculo de humedades, densidades y grado de compactación

Componentes

- ❖ Consola o computador. - La unidad EDG contiene una computadora que aplica fórmulas matemáticas para determinar las características físicas del suelo. Además, contiene una memoria que permanece intacta después de apagar; esta memoria se utiliza para guardar modelos de suelo y datos del sitio de trabajo.
- ❖ Dardos de suelo. - son compuestos de acero inoxidable con una punta cónica, se introduce en el suelo y sujeta la plantilla de dardos.
- ❖ Sensor de temperatura. - la sonda de temperatura se conecta al receptáculo del panel derecho. Al realizar pruebas de EDG, la sonda de temperatura debe colocarse en el suelo.
- ❖ Sensor de medida. - recopila información eléctrica sobre el suelo y transfiere a la computadora. Se conecta a los dardos de suelo mediante cables y a la unidad EDG utilizando el receptáculo del panel izquierdo.
- ❖ Plantilla de dardos. - es una placa plástica circular con 4 hendiduras que se acoplan a los dardos del suelo, para colocar sobre ella el sensor de medición de suelo.
- ❖ Cables pinzas para el suelo. - son dos claves, cada uno tiene un extremo en forma de pinza y otro con forma circular y embonado para unir de manera segura los dardos del suelo con el sensor de medición de suelo.
- ❖ Martillo de goma. - este es un martillo especial echo de un polímero resistente para clavar los dardos de suelo.
- ❖ Gafas.

Datos adicionales del equipo

Al momento de realizar el ensayo con el equipo, en la consola EDG pueden aparecer varios errores y advertencias durante el proceso de este, en los anexos se detallan los más importantes de interpretar.

2.1.2.2.2. Geogauge

Descripción:

Es un equipo portátil que proporciona un medio simple, rápido y preciso para determinar in situ dos propiedades mecánicas del suelo, la rigidez y el módulo de Young del material. Este equipo se caracteriza por realizar mediciones de las características de soporte de carga y en los suelos compactados, ayudando a realizar estimaciones precisas del estado de una carretera, lo cual permitirá la rápida operación y control de calidad en la construcción de vías y así estimar el estado de los suelos compactados.

El Geogauge usa tecnología desarrollada para medir desviaciones muy pequeñas, lo que permite cargas mucho más pequeñas, esta no mide la desviación resultante de su propio peso. Por el contrario, el Geogauge vibra, produciendo pequeños cambios en la fuerza que

producen pequeñas desviaciones. El material se desvía una cantidad pequeña, que es proporcional al radio exterior del pie anular.

El módulo de resiliencia se puede traducir como la capacidad que tiene un material ya sea de almacenar o absorber energía sin experimentar una deformación permanente. Tradicionalmente esto se determina con los ensayos triaxiales de carga repetida, este método puede resultar tedioso a diferencia de la utilización del equipo Geogauge para determinar este parámetro de vital importancia en el diseño de pavimentos flexibles.

El módulo de Young de un suelo es el parámetro elástico más comúnmente utilizado en la estimación del asentamiento, estiramiento y deformaciones elásticas por cargas estáticas (Putri et al. 2010) este módulo de Young es importante en los análisis exploratorios de compactación del suelo.

El módulo de elasticidad (E), también llamado módulo de Young puede determinarse para cualquier material sólido y representa la relación entre tensión y deformación (rigidez). La rigidez es la relación entre la fuerza y el desplazamiento. El Geogauge produce niveles de tensión y deformación del suelo comunes para aplicaciones de pavimento y cimientos. Los módulos de Young y de corte se pueden determinar a partir de las mediciones de Geogauge si se supone una relación de Poisson.

Componentes:

- ❖ El Geogauge pesa alrededor de 10 kg, mide 28 cm de diámetro, 25,4 cm de alto y descansa sobre la superficie del suelo a través de un pie en forma de anillo.
- ❖ El pie se apoya directamente en el suelo sin penetrarlo y soporta el peso del Geogauge mediante aisladores de goma. Están conectados al pie, el agitador que realiza el impulso, los sensores que miden la fuerza y el historial de frecuencia de desplazamiento.
- ❖ El Geogauge muestra y registra los datos en la memoria con capacidad suficiente para un día completo de recopilación de datos (cientos de mediciones). Los datos se pueden descargar a una PC para archivarlos y analizarlos más a fondo.
- ❖ La batería está alimentada por 6 pilas D-cell comunes y desechables.

2.1.2.3. Grado de compactación

Mediante la compactación, las partículas del suelo son forzados a estar unidas mediante la reducción del índice de vacíos. Este es un proceso que se realiza de forma mecánica, y mediante el cual se espera adecuar las características de los suelos entre las que se destacan: la resistencia al esfuerzo cortante, la compresibilidad, la permeabilidad, entre otros.

Este proceso de compactación mecánica varía según el tipo de suelo y depende de ciertos factores mismo que constan de: el sistema de compactación utilizado, la energía de compactaciones, características físicas y mecánicas del suelo, entre otras. (Pérez et al., 2012)

Es importante determinar el grado de compactación para llegar a la resistencia y deformación requerida, incrementando la estabilidad de taludes en terraplenes. Para alcanzar el grado de compactación requerido, de acuerdo con la naturaleza del suelo se aplicarán varios métodos para compactar in situ como: estático, vibratorio, amasado y por golpes. Para alcanzar una compactación óptima se realiza con agua y así determinamos el óptimo contenido de humedad, esto nos permite llegar a la densidad seca máxima. Si el contenido de humedad no es óptimo el suelo es rígido y difícil de comprimir es decir poco contenido de humedad, por el contrario, el contenido de aire se mantiene y aumenta la humedad. (Guerrón, 2013)

En el laboratorio, para mantener un estándar al realizar esta prueba utilizamos el procedimiento desarrollado por Ralph Roscoe Proctor, quien fue el primero en proponer los conceptos de humedad óptima y peso específico máximo.

2.1.2.4. Estimación del CBR

Este método de prueba implica la determinación del CBR (relación de carga de California) de subrasante, subbase y base a partir de muestras compactadas en laboratorio. El método de ensayo se usa principalmente para evaluar la resistencia de materiales cohesivos con tamaños máximos de partículas inferiores a 19 mm. Este método de prueba se utiliza para evaluar la resistencia potencial de la subrasante, subbase y el material de base, incluidos los materiales reciclados, para su uso en pavimentos de carreteras y aeródromos. El valor CBR obtenido de esta prueba es una parte integral de varios métodos de diseño de pavimentos flexibles. (García, 2015)

Según (Chang Luis, 2014), el CBR para suelos granulares la clasificación SUCS: GW, GP, SW y SP, tienden a alcanzar CBR mayores al 20 % y llegar hasta valores del 35 %. Se puede mencionar que la mayoría de las correlaciones para el cálculo del módulo de resiliencia son parecidos entre los distintos métodos propuestos por diferentes autores que realizaron diferentes estudios para obtener dichas formulas. En base a estas correlaciones se despejará el CBR para obtenerlo a través de los datos calculados con el Geogauge (Pérez et al., 2016). Además, en base a datos teóricos se realizó una comparación para ver que formula es la más favorable para la estimación del CBR en suelos granulares.

El (MOP, 2002) menciona que, para caminos vecinales donde su capa de rodadura es lastrada o subbase. Los agregados que se empleen deberán tener un coeficiente de desgaste máximo de 50 %, de acuerdo con el ensayo de abrasión de los Ángeles y la porción que pase el tamiz N.º 40. La capacidad de soporte corresponderá a un CBR igual o mayor dentro de un rango de 30 % al 45 %.

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

3.1. Metodología

3.1.1. Tipo y diseño de la investigación

En la presente investigación se plantea una metodología con un enfoque cuantitativo para cumplir con los objetivos establecidos, debido a que la naturaleza de los datos será netamente de ensayos medidos en campo. Esta metodología se aplicará para la recolección de datos referentes a las propiedades mecánicas del suelo en una red de caminos vecinales.

A partir de la recolección de datos se obtendrán magnitudes de las propiedades físicas de los suelos, como el contenido de humedad, la densidad del suelo, modulo resiliente, cuyos valores nos facilitan la estimación de las propiedades mecánicas de los suelos.

El diseño de la investigación establecida en este proyecto es de tipo experimental, ya que se obtendrán resultados de ensayos con alta precisión, mismos que luego serán analizados con la ayuda de herramientas tecnológicas.

3.1.2. Variables dentro de la muestra

Variabes independientes: Densidades del suelo, humedades del suelo.

Variabes dependientes: CBRs, y grados de compactación.

3.1.3. Descripción del área de estudio

El proyecto de investigación se encuentra localizado en la provincia de Chimborazo en el cantón Riobamba situado a 2754 msnm, el clima de Riobamba es regularmente frío con dos estaciones húmeda y seca, el área del proyecto ha sido definida considerando la totalidad de todas las vías que no tengan capa de rodadura ya sea asfalto, cemento o adoquín, la longitud total de estudio es de aproximadamente 110 km, hemos tomado en consideración para nuestro análisis las vías con mayor tráfico y que conecten con las mayor parte de zona de interés.

De igual forma el área de estudio donde se realizaron los ensayos fueron en dos ambientes distintos, se realizó inicialmente en los puntos establecidos dentro de nuestra población de estudio con la utilización de equipos como el densímetro eléctrico, el Goe gauge y el ensayo de cono de arena y en la universidad Nacional de Chimborazo respecto a los ensayos del proctor modificado y el cono de arena.

En cuanto a la movilidad y sistema vial se tiene que el cantón Riobamba tiene una adecuada cobertura, puesto que este cuenta con arterias viales principales y secundarias que conectan los distintos polos de desarrollo de la ciudad y con ciudades importantes de otras

provincias, y también la conexión de la ciudad con sus parroquias rurales. Sin embargo, por la falta de políticas y planes de movilización y transporte, la población se ve en la obligación de utilizar una infraestructura vial que carece de la modernización de un sistema de transporte terrestre.

3.1.4. Población de estudio y tamaño de la muestra

El análisis de la presente investigación se tomó como universo de referencia a la red vial de la zona urbana del cantón Riobamba, de la cual se logró identificar la población finita de estudio a los caminos vecinales de la zona urbana del cantón cuyo valor en kilómetros es de 110 km de red vial.

En cuanto al tamaño de la muestra se realizó un muestreo no probabilístico por conveniencia, por el hecho de ser la fase inicial de una línea de investigación, al mismo tiempo se tiene una población en kilómetros de estudio muy extensa y se optó utilizar este tipo de muestreo.

Para lograr el muestreo no probabilístico se midió mediante programas de georreferenciación un total de 110 km población de caminos vecinales dentro de las 5 parroquias urbanas del cantón Riobamba, de los cuales se tomaron las principales vías que conectan el casco urbano con la zona rural de Riobamba.

Para lograr lo anterior mencionado se tomaron en cuenta factores como las actividades económicas, categorías de tráfico y nivel de serviciabilidad de las vías, obteniendo un total de 2 rutas por cada parroquia urbana.

- ❖ **Población:** 110 Km (Red de caminos vecinales en las parroquias urbanas del cantón Riobamba)
- ❖ **Muestra:** 2 puntos de control por cada parroquia urbana del cantón Riobamba

3.1.5. Unidad de análisis

Se considera en general al cantón Riobamba, en específico a las 5 parroquias urbanas Maldonado, Lizarzaburu, Veloz, Velasco y Yaruques, considerando la cantidad total de 110 km de caminos vecinales como población total en el cual se presenta una unidad de análisis de un punto de control ubicados dentro de los caminos vecinales y repartidos a razón de dos por cada parroquia urbana como se muestra en la figura 1.

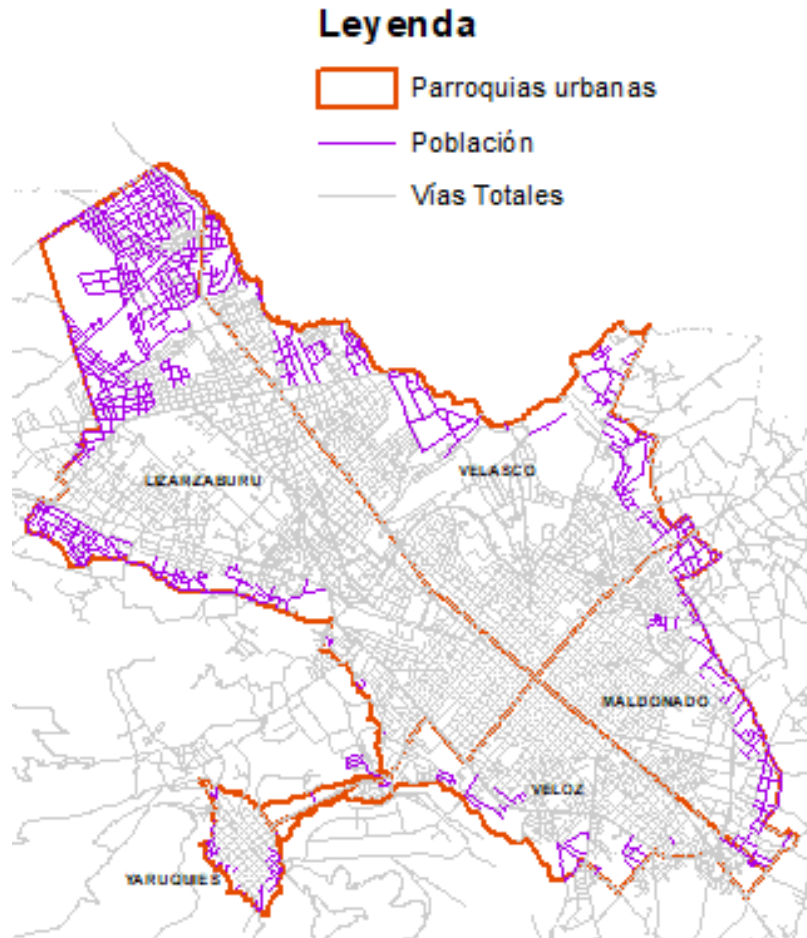


Ilustración 1. Unidad de análisis

3.1.6. Diagrama de flujo de trabajo

A continuación, mediante un diagrama de flujo se detalla la metodología que se utilizó para el desarrollo de esta investigación:

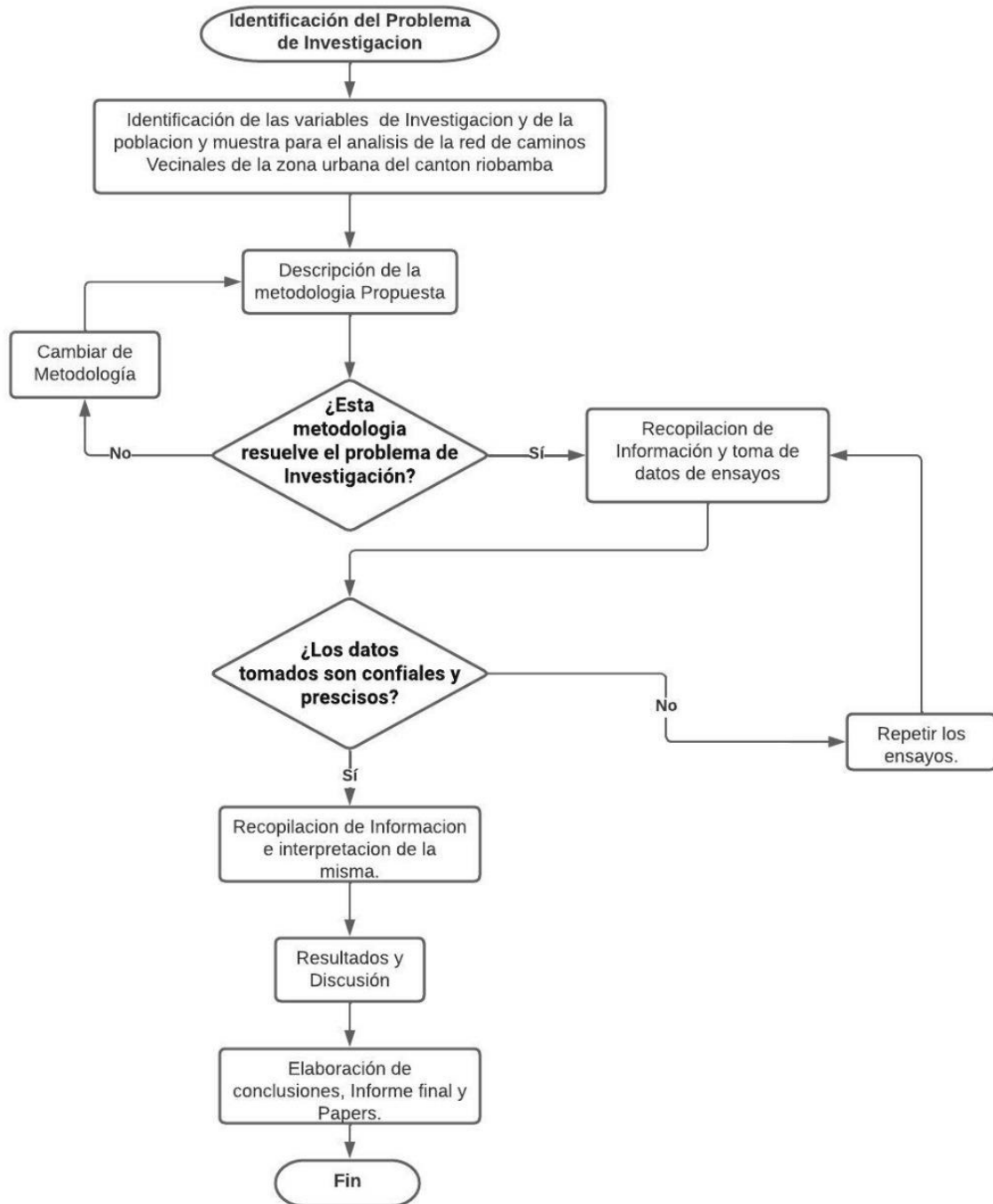


Ilustración 2. Diagrama de flujo

3.1.7. Técnica de recolección de datos

Para la recolección de datos se realizó un trabajo de campo y de oficina, con la ayuda de herramientas tecnológicas para georreferenciación (ArcGIS), se logró medir la longitud de la red de caminos vecinales de la zona urbana del cantón, cuya información fue de utilidad para la identificación de los 10 puntos de control y proceder a la técnica de ensayos de campo como el levantamiento de las propiedades físicas del suelo. En cuanto a la toma de datos que se realizaron en campo tenemos el ensayo de cono de arena, el ensayo de compactación proctor modificado, además de la aplicación de equipos tecnológicos como el “Geogauge eléctrico medidor de rigideces y módulos del suelo” y el “Densímetro eléctrico digital”.

3.1.7.1. Métodos convencionales

3.1.7.1.1. Proctor modificado

Ensayo

El ensayo consiste en obtener una muestra inalterada de suelo granular, misma que será pesada y secada al horno para obtener su contenido de humedad. Posterior a esto se procede a tamizar la muestra con los tamices N° 4 y $3/8$, con el fin de obtener el material granular óptimo para el ensayo mismo que debe estar entre los 6 y 8 kilogramos, con la muestra seca obtenida se calcula el contenido de humedad a agregar para realizar el ensayo de proctor modificado que en este caso es del 3 % total del peso de la muestra, aparte se obtienen datos como el peso del molde de 6 pulgadas y de las capsulas de humedad. Con estos requisitos se procede a utilizar el método C de la norma (ASTMD-1557, 1978), este método se realiza con la muestra totalmente seca, y se repite aumentando el 3 % de humedad hasta que el peso del molde más la muestra disminuya del peso anterior tomado, y en cada repetición se toman muestras en las capsulas de humedad para pesarlas y secarlas en horno por 24 horas.

Norma:

La norma que rige este ensayo es la (ASTMD-1557, 1978) – Método C.

Formulas:

❖ Contenido de humedad:

Ecuación 1. Contenido de humedad

$$W = \frac{M_{CH} - M_{CS}}{M_{CS}}$$

Donde:

W → Contenido de humedad

M_{CH} → Masa de tara más la muestra húmeda

M_{CS} → Masa de tara más la muestra seca

❖ Densidad seca:

Ecuación 2. Densidad seca

$$P_m = \frac{M_t - M_{md}}{1000 * V}$$

Donde:

- P_m → Volumétrico húmedo de la muestra compactada
- M_t → Masa de la muestra húmeda y el molde
- M_{md} → Masa del molde
- V → Volumen del molde de 6 pulgadas

❖ Densidad húmeda:

Ecuación 3. Densidad húmeda

$$P_d = \frac{P_m}{1 + \frac{W}{100}}$$

Donde:

- ❖ P_d → Peso volumétrico seco de la muestra compactada
- ❖ P_m → Peso volumétrico húmedo de la muestra compactada
- ❖ W → Contenido de humedad

3.1.7.1.2. Cono de arena

Ensayo:

El ensayo consiste en excavar a mano con ayuda de un combo y cincel un hoyo en el suelo donde se va a ensayar, con un diámetro y profundidad según la norma (ASTMD-1556, 2000), se debe extraer y pesar todo el material que sale el hoyo, luego colocar en el horno para establecer el peso seco. Con ayuda del cono de arena se llena el hoyo con arena graduada de densidad conocida y se determina la masa de arena que entra el hoyo, con estos datos se calcula el volumen del hoyo. Una vez obtenido los datos del peso de la muestra, el peso de la muestra seca y el volumen del hoyo se puede calcular la densidad húmeda, densidad seca y el contenido de humedad del suelo donde se ha ensayado.

Norma:

La norma que rige este ensayo es (ASTMD-1556, 2000).

Fórmulas:

- ❖ Cálculo del volumen del hoyo:

Ecuación 4. Volumen del hoyo

$$v = \frac{m_a}{\rho_1}$$

Donde:

- v → Volumen del hoyo
- m_a → Masa de la arena usada para llenar el hoyo
- ρ_1 → Densidad de la arena

❖ Cálculo de la densidad húmeda:

Ecuación 5. Densidad húmeda

$$\rho_h = \frac{m_m}{v}$$

Donde:

ρ_h → Densidad húmeda

m_m → Masa muestra extraída del hoyo

v → Volumen del hoyo

❖ Cálculo del contenido de humedad:

Ecuación 6. Contenido de humedad

$$w = \frac{m_m - m_s}{m_s} \times 100$$

Donde:

w → Humedad

m_m → Masa muestra extraída del hoyo

m_s → Masa muestra seca extraída del hoyo

❖ Cálculo de la densidad seca:

Ecuación 7. Densidad seca

$$\rho_s = \frac{\rho_h}{(1 + w\%)}$$

Donde:

ρ_s → Densidad seca

ρ_h → Densidad húmeda

w → Humedad

3.1.7.2. Métodos alternativos

3.1.7.2.1. Densidad por densímetro eléctrico (EDG)

Ensayo

El procedimiento para poder tomar una firma eléctrica de suelo se basa en la lectura de dos configuraciones de conexión de suelo en un punto único que será ensayado, cuyos resultados eléctricos se almacenan y promedian. Esta firma eléctrica sirve para configurar un modelo de suelo y también para realizar una medición en el sitio de trabajo es decir realizar el ensayo de campo.

Para este ensayo se conectan los sensores de temperatura y de medición de suelo con la consola EDG, y se procede a clavar los 4 dardos de acero inoxidable en el lugar donde se realizará el ensayo, sobre la cual estará colocada la plantilla de dardos y el sensor de medición de suelo este último está conectado con los cables de pinza, que sirven para unir

este sensor con los dardos de suelo. Además, se realiza un pequeño orificio en el suelo cerca de donde están los dardos para introducir el sensor de temperatura.

Posterior a este armado del equipo se puede realizar ya sea la configuración de un nuevo modelo de suelo o un ensayo en un sitio de trabajo, la cual consiste en enviar 2 pulsos eléctricos a través de los dardos con la ayuda de la consola EDG, esto es posible al conectar los cables pinza con los dardos que estén opuestos entre si obteniendo así las firmas eléctricas del suelo.

La diferencia entre los dos procesos es evidente, debido a que para el ensayo de un sitio de trabajo basta con el proceso mencionado, mientras que el modelo de suelo se debe configurar mínimo con tres firmas eléctricas, y realizar ensayos de cono de arena para cada firma y un ensayo de proctor modificado en general, datos que son introducidos en la consola EDG. Adicionalmente el equipo permite máximo 30 mediciones.

Norma

Las normas que rigen la configuración del equipo son las mismas que rigen los ensayos de laboratorio de cono de arena y proctor modificado, (ASTMD-1556, 2000) y (ASTMD-1557, 1978) respectivamente.

3.1.7.2.2. Geogauge

Ensayo:

La realización de este ensayo consiste en colocar el equipo Geogauge en el sitio donde se realizará la medición, si la superficie es de tierra no necesita estar preparada, por lo general se necesita una ligera rotación del equipo para obtener el 100% de contacto deseado entre el pie y el suelo. En superficies particularmente duras o ásperas se rige a la norma (ASTM – C144, 1974), el cual nos recomienda que asiento del pie se facilita mediante el uso de material húmedo/mojado, como arena de mortero.

Encienda el equipo y cuando ya este colocado en la ubicación a ensayar aplaste la tecla “MESURE” que se haya en la consola y se realizara la medición, este equipo crea una frecuencia de vibración de 75 segundos luego de eso se obtiene los resultados.

La ubicación de cada medición se lo realiza en línea recta aproximadamente cada 0.6 metros y como mínimo se debe realizar en 6 ubicaciones, realizando varias mediciones para mayor exactitud.

El equipo Geogauge mide la fuerza impartida al suelo y la deflexión de la superficie resultante en función de la frecuencia, mediante la distribución de desplazamiento muy pequeños al suelo menores 1.27×10^{-6} metros o menor a 0.00005 pulgadas a 25 frecuencias de estado estable entre 100 y 196 Hz. La rigidez se determina en cada frecuencia y se muestra el promedio de 25 frecuencias. Además, se deberá realizar primero las mediciones de Geogauge, antes de otras mediciones o ensayos complementarios.

Norma:

En la utilización del equipo se debe tener en cuenta dos normas establecidas dentro del catálogo para su correcto manejo, la primera norma que rige este equipo es (ASTMD-6758), establece un rango de medición del suelo para determinar la rigidez y el módulo de Young y la segunda norma es (ASTM – C144, 1974), explica los requerimientos básicos para tener un buen asentamiento del pie del equipo con la superficie, especialmente en suelos duros.

3.1.7.3. Grado de Compactación

Se calculó la compactación del suelo en base a los datos de las densidades de campo del suelo (cono de arena) y las teóricas (Proctor modificado) como se muestra en la siguiente formula:

Ecuación 8. Porcentaje de estimación teórica

$$\% \text{ Comp} = \frac{\text{Densidad de campo (Cono de arena)}}{\text{Densidad teórica (Proctor modificado)}}$$

3.1.7.4. Métodos y fórmulas de estimación del CBR

A continuación, se explicarán diferentes tipos de estimación del CBR en base a los distintos parámetros físicos de los suelos.

Según la (AASHTO-93, 1993), la correlación que me permite saber el valor del módulo de resiliencia en suelos granulares finos usados en subrasante, base y subbase es la siguiente:

Ecuación 9. Módulo de resiliencia (AASHTO 93)

$$MR = 2000 * CBR$$

Esto se confirma con la expresión propuesta por Heukelom y Klomp en 1962 que plantea esta ecuación para la correlación del módulo de resiliencia MR y le CBR, donde el coeficiente de 2000 puede variar entre 750 y 3000 dependiendo del tipo de suelo, este coeficiente varía dependiendo del tipo de suelo y por lo general se lo hace para suelos como arenas finas y para suelos granulares. Por lo tanto, se puede expresar lo siguiente:

Ecuación 10. Estimación del CBR (Heukelom y Klomp)

$$CBR = \frac{MR}{2000}$$

Donde:

MR → Módulo de Young o de Resiliencia en PSI

CBR → California bearing ratio.

Además de esta expresión también se encuentran las siguientes correlaciones del CBR. (Pérez et al., 2016)

Powell en 1984 propone la siguiente ecuación que se derivó de un complejo estudio de suelos y se la destino al cálculo de suelos granulares como los utilizados en los caminos vecinales:

Ecuación 11. Módulo de resiliencia (Powell)

$$MR = 2555 * CBR^{0.64}$$

Donde se puede despejar:

Ecuación 12. Estimación del CBR (Powell)

$$CBR = \sqrt[0.64]{\frac{MR}{2555}}$$

Otros autores como Webb y Campbell proponen la siguiente ecuación que en este caso también la estimación de módulo de resiliencia en suelos granulares.

Ecuación 13. Módulo de resiliencia (Webb y Campbell)

$$MR = 3116 * CBR^{0.67797}$$

Donde se puede despejar:

Ecuación 14. Estimación del CBR (Webb y Campbell)

$$CBR = \sqrt[0.67797]{\frac{MR}{3116}}$$

Adicionalmente se tomó el análisis de regresión lineal propuesto por (Murad Y. Abu-Farsakh et al., 2004) el cual se aplicó a suelos finos y granulares junto con el equipo Geogauge y cuyo nivel de confianza alcanzo un 0.84 sobre 1 se propuso la siguiente ecuación.

Ecuación 15. Estimación del CBR (Murad)

$$CBR = (0.00392 * MR^2) - 5.75$$

CAPITULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados

4.1.1. Diagrama de la extensión de la red de caminos vecinales

4.1.1.1. Identificación de la red de caminos vecinales

Mediante una inspección visual y programas de georreferenciación (Google Earth y ArcGIS) se identificaron el total de caminos vecinales dentro de la zona urbana del cantón Riobamba. Obteniendo un total de 110 km de estos y diagramando un mapa como se muestra en la figura 3.

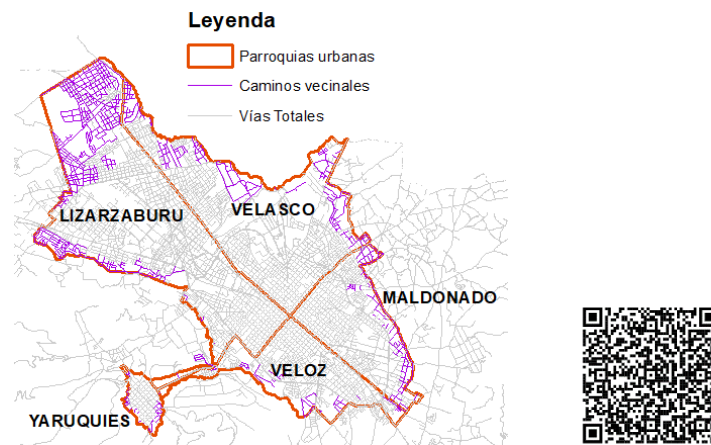


Ilustración 3. Total, de la red de caminos vecinales dentro de la zona urbana

4.1.2. Puntos de control

4.1.2.1. Ubicación de los puntos de control

Los puntos de control se encuentran dispersos a razón de 2 por parroquias urbanas del cantón, además, para la toma de dichos puntos se tomaron en cuenta las actividades económicas de las rutas establecidas, el nivel de serviciabilidad de las vías y el análisis de la intensidad media diaria de tráfico pesado (IMDP) según la (NEVI-12, 2012). Adicionalmente se consideró la cantidad de ensayos a realizar y se optó por 2 puntos de control por parroquia para la realización de un promedio entre estos.

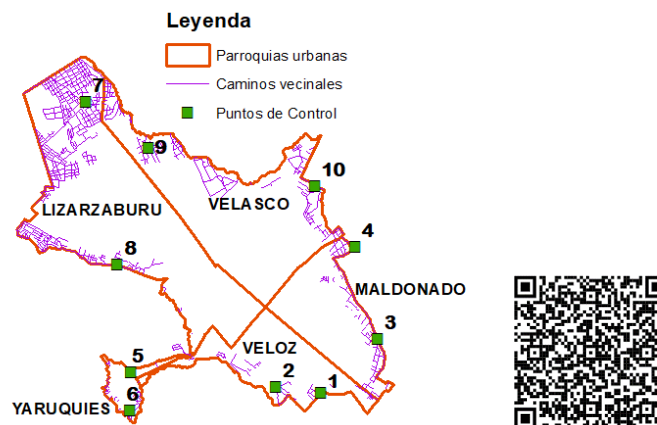


Ilustración 4. Puntos de control de cada parroquia

Tabla 3. Ubicación de los puntos de control

PUNTOS DE CONTROL	DIRECCIÓN	COOR_X (m)	COOR_Y (m)
1	Intersección Av. Proaño y Av. 9 de Octubre	762822	9813058
2	Complejo deportivo Santiago	761832	9813179
3	Intersección vía San Clemente y Calle Rivera	764059	9814231
4	Barrio San Martin de Beranillo	763357	9816396
5	Parque central Yaruquies	758658	9813498
6	Bar-restaurante Aldea	758637	9812664
7	Centro de espiritualidad Nuestra señora de Fátima	757423	9819162
8	Parque Ricpamba	758376	9815861
9	Urbanización José Marti	759328	9818525
10	Barrio San Antonio de Pauda, San Pedro de las Abras	762688	9817581

4.1.2.2. Inventario

Se realizó una inspección de las rutas escogidas logrando identificar en inventario los puntos de control y el tipo de calzada de los caminos vecinales dentro del casco urbano del cantón.

Tabla 4. Inventario de los puntos de control.

PUNTOS DE CONTROL	DIRECCIÓN	TIPO DE CALZADA
1	Intersección Av. Proaño y Av. 9 de Octubre	Afirmado
2	Complejo deportivo Santiago	Superficie natural
3	Intersección vía San Clemente y Calle Rivera	Superficie natural
4	Barrio San Martin de Beranillo	Afirmado
5	Parque central Yaruquies	Afirmado
6	Bar-restaurante Aldea	Afirmado
7	Centro de espiritualidad Nuestra señora de Fátima	Superficie natural
8	Parque Ricpamba	Afirmado
9	Urbanización José Marti	Afirmado
10	Barrio San Antonio de Pauda, San Pedro de las Abras	Afirmado

4.1.2.3. Puntos de control escogidos

Después de realizar una serie de inspecciones virtuales y presenciales se logró escoger los puntos de control en base a la actividad económica de la zona, la categoría de tráfico y los niveles de servicio que brindan las rutas escogidas.

Tabla 5. Categoría de tráfico y nivel de servicio

PUNTO DE CONTROL	ACTIVIDAD ECONÓMICA	CATEGORÍA DE TRAFICO	NIVEL DE SERVICIO
1	Agrícola, ganadera y turística	T32	E
2	Agrícola, ganadera	T32	E
3	Agrícola, ganadera	T32	E
4	Agrícola, ganadera	T32	E
5	Agrícola, ganadera	T32	E
6	Agrícola, ganadera y turística	T32	E
7	Agrícola, ganadera	T32	E
8	Agrícola, ganadera y turística	T32	E
9	Agrícola, ganadera	T32	E
10	Agrícola, ganadera	T32	E

Una vez realizada la identificación de estos puntos se procedió a realizar los ensayos de laboratorio: Cono de arena y proctor modificado, y ensayos de campo: densidad por densímetro eléctrico y módulo de rigidez por Geogauge.

4.1.3. Densidad de laboratorio (Proctor modificado)

Se realizó un ensayo de proctor modificado por cada punto de control, donde se obtuvo los siguientes resultados, como se muestra en la tabla 6.

Tabla 6. Resultados del ensayo de proctor modificado.

PUNTOS DE CONTROL	RESUMEN DEL ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO	
	Humedad óptima (%)	Densidad máxima seca (gr/cm^3)
1	8.55	1.432
2	9.00	1.925
3	9.00	2.01
4	5.00	2.092
5	9.00	2.07
6	6.50	2.09
7	9.00	1.94
8	11.00	1.895
9	9.00	2.221
10	10.00	1.885

4.1.4. Densidad de campo (Cono de arena)

Se realizaron tres ensayos de cono de arena para cada punto de control, de los cuales se obtuvieron los siguientes resultados, como se muestra en la tabla 7.

Tabla 7. Resultados del ensayo de cono de arena.

ENSAYO DE CONO DE ARENA				
PUNTO DE CONTROL	TEXTEO	DENSIDAD HÚMEDA (gr/cm^3)	HUMEDAD (%)	DENSIDAD SECA (gr/cm^3)
1	1	1.22	2.82	1.19
	2	1.18	2.60	1.15
	3	1.25	2.88	1.22
2	1	1.89	7.10	1.76
	2	1.93	8.00	1.79
	3	1.925	7.80	1.79
3	1	1.99	8.00	1.84
	2	1.97	8.40	1.82
	3	2.00	8.10	1.85
4	1	1.98	4.94	1.89
	2	2.05	4.56	1.96
	3	2.03	4.43	1.94
5	1	2.38	2.15	2.33
	2	2.23	2.55	2.17
	3	2.19	2.52	2.14
6	1	2.09	5.00	1.99
	2	2.11	4.24	2.02
	3	2.05	4.28	1.97
7	1	2.15	5.87	2.03
	2	2.09	6.60	1.96
	3	2.12	6.10	2
8	1	1.98	7.79	1.84
	2	2.17	7.09	2.03
	3	2.22	6.95	2.08
9	1	2.22	7.00	2.07
	2	2.15	6.80	2.01
	3	2.10	7.00	1.96
10	1	2.03	4.43	1.94
	2	2.05	4.56	1.96
	3	1.98	4.52	1.89

Tabla 8. Resumen del ensayo cono de arena.

RESUMEN ENSAYO DE CONO DE ARENA			
PUNTO DE CONTROL	DENSIDAD HÚMEDA (gr/cm^3)	HUMEDAD (%)	DENSIDAD SECA (gr/cm^3)
1	1.22	2.77	1.19
2	1.92	7.63	1.78
3	1.99	8.17	1.84
4	2.02	4.64	1.93
5	2.27	2.41	2.21
6	2.08	4.51	1.99
7	2.12	6.19	2.00
8	2.12	7.28	1.98
9	2.16	6.93	2.01
10	2.02	4.50	1.93

Cabe destacar que los datos de ambos ensayos de laboratorio sirvieron para la configuración del equipo densímetro eléctrico. Después de realizar los ensayos de laboratorio se continuo con los ensayos de campo para los cuales es necesario tener una base de datos de laboratorio.

4.1.5. Densidad por densímetro eléctrico

Con los datos de los ensayos del proctor modificado y cono de arena se procedió a realizar los ensayos de densidad por densímetro eléctrico, para esto se debe realizar posteriormente tres texteo que son los datos del ensayo de cono de arena y adicionalmente un ensayo de proctor modificado que se relación con la firma eléctrica de cada texteo.

Con la correcta configuración de la maquina se realizaron los ensayos obteniendo los siguientes resultados como se muestra en la tabla 9.

Tabla 9. Resultados del ensayo con el equipo "Densímetro eléctrico".

ENSAYO DE CAMPO CON EL EQUIPO - (DENSÍMETRO ELÉCTRICO)						
Puntos de Control	Texteo	Densidad seca (gr/cm^3)	Humedad (%)	Densidad húmeda (gr/cm^3)	Compactación (%)	Nivel de Confianza
1	E1	1.242	2.90	1.278	86.50	0.731
	E2	1.300	2.80	1.336	90.60	
	E3	1.273	2.80	1.309	88.70	
2	E1	1.777	7.60	1.913	92.30	0.852
	E2	1.810	7.70	1.95	94.00	
	E3	1.805	7.60	1.943	93.80	
3	E1	1.848	8.00	1.997	91.80	0.837
	E2	1.839	8.10	1.989	91.50	

	E3	1.841	8.10	1.99	91.90	
4	E1	1.932	4.60	2.022	92.40	0.827
	E2	1.953	4.50	2.041	93.40	
	E3	1.938	4.60	2.027	92.60	
5	E1	1.762	4.70	1.845	67.30	0.357
	E2	1.911	3.40	1.976	73.00	
	E3	1.932	3.40	1.998	73.70	
6	E1	1.97	3.30	2.035	94.30	0.708
	E2	1.995	3.30	2.062	95.50	
	E3	1.995	3.60	2.066	95.50	
7	E1	1.861	7.20	1.995	95.90	0.626
	E2	1.843	7.30	1.977	95.00	
	E3	1.891	7.00	2.023	97.50	
8	E1	1.6	8.90	1.743	84.20	0.756
	E2	1.628	8.80	1.771	85.70	
	E3	1.76	8.20	1.984	92.60	
9	E1	2.004	6.90	2.142	90.30	0.76
	E2	1.957	7.00	2.093	88.10	
	E3	1.926	7.00	2.061	86.80	
10	E1	1.957	4.50	1.997	91.40	0.657
	E2	1.935	4.50	2.021	92.60	
	E3	1.976	4.70	2.068	94.60	

Tabla 10. Resumen de resultados del ensayo con el equipo "Densímetro eléctrico".

RESUMEN ENSAYO DE CAMPO CON EL EQUIPO (DENSÍMETRO ELÉCTRICO)					
Puntos de control	Densidad seca (gr/cm^3)	Humedad (%)	Densidad húmeda (gr/cm^3)	Compactación (%)	Nivel de Confianza
1	1.27	2.83	1.31	88.60	0.731
2	1.80	7.63	1.94	93.37	0.852
3	1.84	8.07	1.99	91.73	0.837
4	1.94	4.57	2.03	92.80	0.827
5	1.87	3.83	1.94	71.33	0.357
6	1.99	3.40	2.05	95.10	0.708
7	1.87	7.17	2.00	96.13	0.626
8	1.66	8.63	1.83	87.50	0.756
9	1.96	6.97	2.10	88.40	0.76
10	1.96	4.57	2.03	92.87	0.657

Tabla 11. Nivel de Confianza según el EDG índice "FIT"

INDICE "FIT"	
PUNTOS DE CONTROL	FIT
1	0.731
2	0.852
3	0.837
4	0.827
5	0.357
6	0.708
7	0.626
8	0.756
9	0.76
10	0.657

El nivel de confianza promedio alcanzado en esta investigación es de "FIT: 0.709", lo cual se traduce como un 70% en el nivel de confianza de los resultados obtenidos.

4.1.6. Comparación de los ensayos de campo y laboratorio

4.1.6.1. Comparación de la humedad del suelo por cono de arena vs humedad del suelo con densímetro eléctrico

Tabla 12. Comparación de las humedades teórica VS campo

PUNTOS DE CONTROL	HUMEDAD	
	Densímetro eléctrico (%)	Cono de arena (%)
1	2.83	2.77
2	7.63	7.63
3	8.07	8.17
4	4.57	4.64
5	3.83	2.41
6	3.40	4.51
7	7.17	6.19
8	8.63	7.28
9	6.97	6.93
10	4.57	4.50

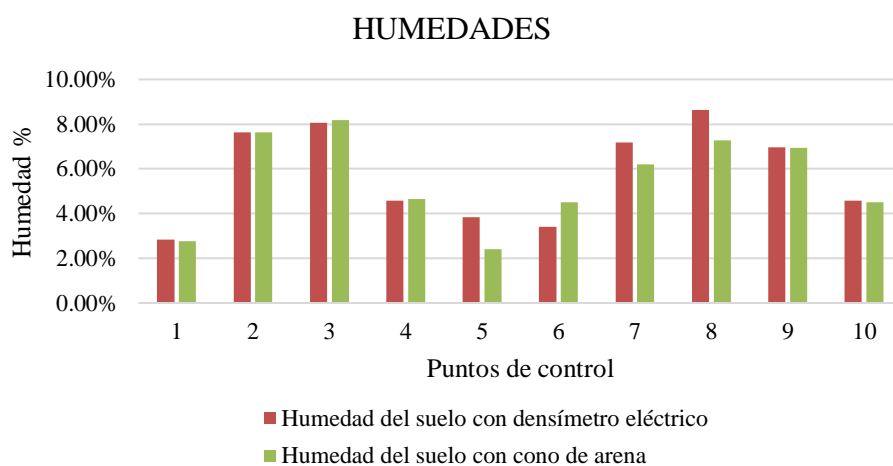


Ilustración 5. Comparación de las humedades

4.1.6.2. Comparación de la densidad húmeda de campo y teórica

Tabla 13. Comparación de las densidades húmedas teórica VS campo

PUNTOS DE CONTROL	DENSIDAD HÚMEDA	
	Densímetro eléctrico (gr/cm^3)	Cono de arena (gr/cm^3)
1	1.272	1.217
2	1.797	1.915
3	1.843	1.987
4	1.941	2.020
5	1.868	2.267
6	1.987	2.083
7	1.865	2.120
8	1.663	2.123
9	1.962	2.157
10	2.004	2.020

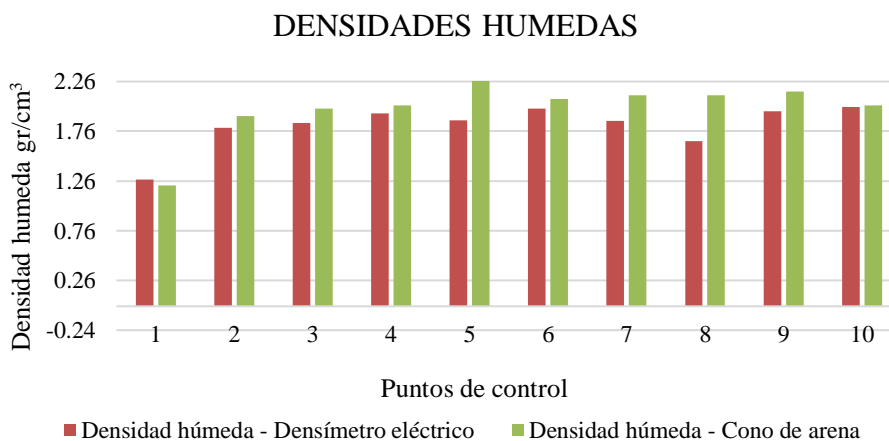


Ilustración 6. Comparación de las densidades húmedas

4.1.6.3. Comparación de la densidad seca de campo y teórica

Tabla 14. Comparación de las densidades secas teórica VS campo

PUNTOS DE CONTROL	DENSIDAD SECA		
	Cono arena (Campo) (gr/cm^3)	Proctor modificado (Laboratorio) (gr/cm^3)	Densímetro eléctrico (gr/cm^3)
1	1.180	1.432	1.308
2	1.780	1.925	1.935
3	1.840	2.010	1.992
4	1.930	2.092	2.030
5	2.210	2.070	1.940
6	1.990	2.090	2.054
7	2.000	1.940	1.998
8	1.980	1.895	1.833
9	2.020	2.221	2.099
10	1.930	1.885	2.029

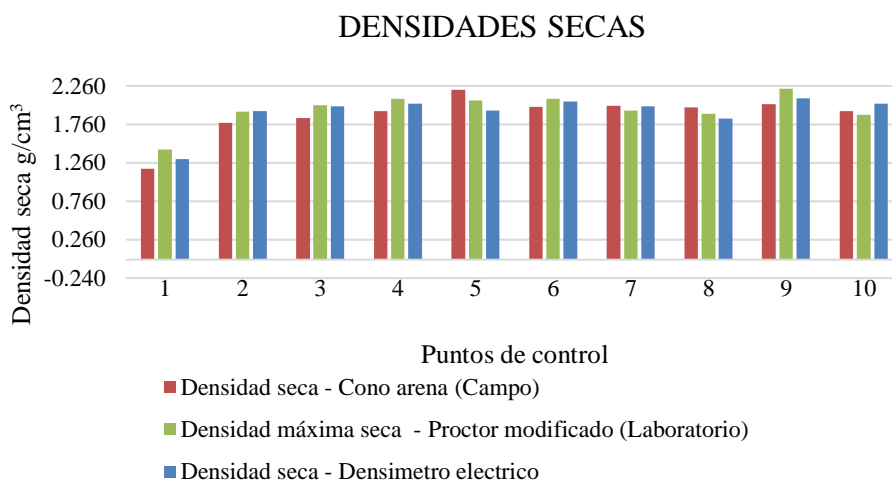


Ilustración 7. Comparación de las densidades secas de tres métodos diferentes

4.1.6.4. Grado de compactación

Para determinar la compactación adecuada, se debe determinar la densidad in situ del suelo y compararlo con la densidad máxima determinada por una prueba de laboratorio. Realizamos la prueba de laboratorio más comúnmente utilizada, conocida como ensayo de compactación proctor modificado e in situ mediante el ensayo de cono de arena logrando obtener un grado de compactación teórico.

La compactación de campo hemos determinado usando un método alternativo, mediante el uso del densímetro eléctrico, este equipo realiza el cálculo del grado de compactación con los datos insertados de los ensayos convencionales.

Tabla 15. Grado de compactación teórico VS campo

PUNTOS DE CONTROL	GRADO DE COMPACTACIÓN	
	Método EDG (%)	Cono / Proctor (%)
1	86.87	82.87
2	93.37	92.47
3	91.73	91.38
4	92.80	92.26
5	71.33	100.00
6	95.10	95.37
7	96.13	100.00
8	87.50	100.00
9	88.40	90.65
10	92.87	100.00

Se ha comparado el porcentaje de compactación de campo obtenida mediante el densímetro eléctrico y la compactación teórica con ensayos de laboratorio.

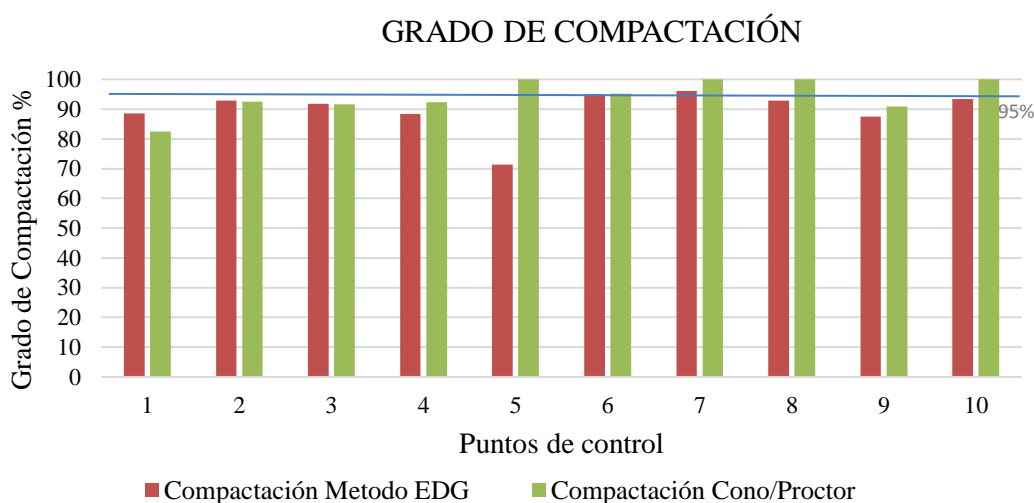
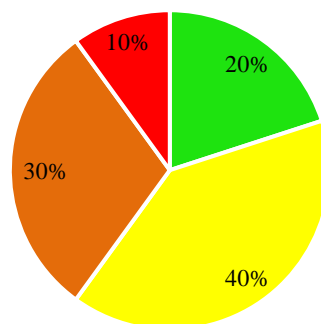


Ilustración 8. Comparación de del grado de compactación teórico VS campo

Una vez evaluado el grado de compactación en la red de caminos vecinales de Riobamba, existe una variación entre los métodos convencionales y alternativos, especialmente en nuestro punto de control N.º 5 correspondiente a la parroquia yaruquiez.

La variación del grado de compactación en cada punto de control en el caso de los métodos convencionales se ve reflejado en la variación de datos entre las densidades secas (Cono de arena) y las densidades máximas secas (Proctor modificado). Esto puede ser comprobado en la tabla 11 del índice de ajuste estadístico “FIT” realizada mediante los métodos convencionales, los mismo que arrojan datos de la compactación mediante la toma de firmas electricas del suelo.

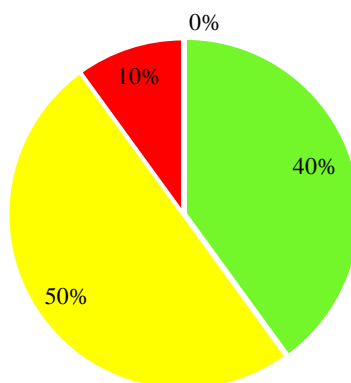
RANGOS DE COMPACTACIÓN EN LA RED EVALUADA CON METODOS ALTERNATIVOS



Grado de Compactación ■ 100%-95% ■ 95% - 85% ■ 85% - 75% ■ <75%

Ilustración 9. Porcentaje de caminos vecinales con su respectiva compactación (métodos alternativos)

RANGOS DE COMPACTACIÓN EN LA RED EVALUADA CON METODOS CONVENCIONALES



Grado de Compactación ■ 100%-95% ■ 95% - 85% ■ 85% - 75% ■ <75%

Ilustración 10. Porcentaje de caminos vecinales con su respectiva compactación (métodos convencionales)

4.1.7. Módulos determinados con equipo alternativo

Para la obtención de estos datos se requiere únicamente el equipo Geogauge, que luego de realizar los ensayos se obtuvieron los siguientes resultados como se muestran en la tabla 16.

Tabla 16. Resultados del ensayo con el equipo "Geogauge".

ENSAYO GEOGAUGE			
PUNTO DE CONTROL	Texteo	MÓDULOS	
		Módulo de Rigidez (Stiffness module) (KN/m^3)	Módulo de Young (Mpa)
1	1	55.4	12.22
	2	58.49	12.9
	3	45.33	9.99
2	1	51.35	11.32

	2	50.01	11.03
	3	58.22	12.84
3	1	40.38	8.9
	2	39.17	8.64
	3	48.95	10.79
4	1	55.2	12.17
	2	48.44	10.68
	3	54.98	12.12
5	1	49.57	10.93
	2	48.92	10.79
	3	52.17	11.5
6	1	37.97	8.37
	2	41.51	9.15
	3	36.1	7.96
7	1	57.15	12.6
	2	54.55	12.03
	3	63.06	13.9
8	1	53.34	11.76
	2	57.01	12.86
	3	58.38	12.57
9	1	84.32	18.59
	2	73.98	16.31
	3	86.73	19.12
10	1	50.11	11.09
	2	47.87	10.56
	3	51.3	11.31

Tabla 17. Resumen del ensayo con el equipo Geogauge.

RESUMEN ENSAYO GEOGAUGE		
PUNTO DE CONTROL	MÓDULOS	
	Módulo de Rigidez (Stiffness module) (KN/m^3)	Módulo de Young (Mpa)
1	53.073	11.703
2	53.193	11.730
3	42.833	9.443
4	52.873	11.657
5	50.220	11.073
6	38.527	8.493
7	58.253	12.843
8	56.243	12.397
9	81.677	18.007
10	49.760	10.987

4.1.8. Estimación del CBR

Al realizar el cálculo con la fórmula de regresión propuesta por (Murad Y. Abu-Farsakh et al., 2004), se pudo observar que los resultados obtenidos no son coherentes obteniendo datos mayores al 100%, lo cual se ajusta a la realidad de las vías analizadas por lo que se descartaron los datos.

Tabla 18. Estimación del CBR

CORRELACIÓN CBR/MR			
Puntos de Control	ECUACIÓN 10 AASHTO 93 (%)	ECUACIÓN 12 Powell (%)	ECUACIÓN 14 Webb y Campbell (%)
1	85	53	41
2	85	53	41
3	68	38	30
4	85	52	41
5	80	48	38
6	62	32	25
7	93	61	47
8	90	58	44
9	100	100	77
10	80	48	37

COMPARACIÓN DE LOS CBR ESTIMADOS

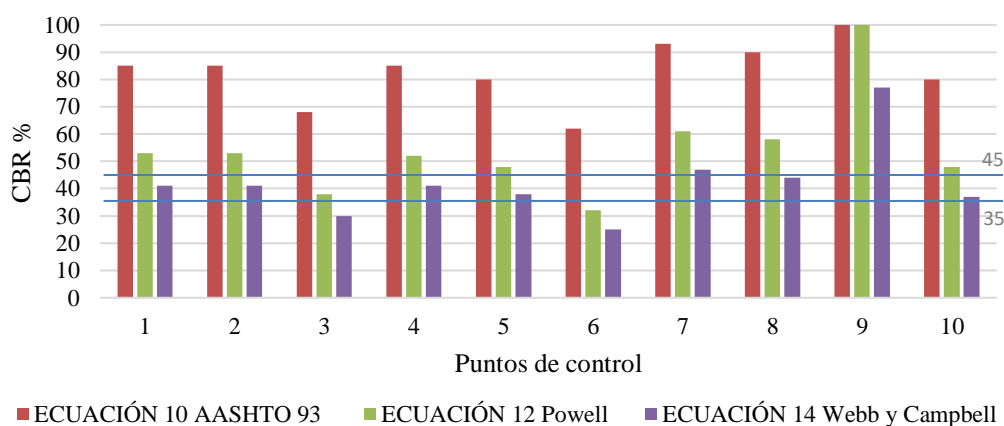


Ilustración 11. Comparación de los datos obtenidos en la estimación de CBR

En este caso se logró observar que la ecuación 14 es la que mejor se ajusta para la estimación del CBR en suelos granulares, esto se debe a que las ecuaciones encontradas usan un rango superior e inferior en sus coeficientes de cálculo dependiendo del tipo de suelo que se esta ensayando, por lo que se puede decir que los coeficientes en esta ecuación son los más apropiada para esta estimación del CBR en suelos granulares.

4.2. Discusión

En la ejecución de los métodos tradicionales se empleó el ensayo cono de arena y proctor modificado siguiendo los pasos recomendados en cada norma. Para el desarrollo de los métodos alternativos se utilizó instrumentos de medición viales como: el densímetro eléctrico y Geogauge siguiendo las recomendaciones de cada manual.

Según Plaster (Plaster, 2015) en su libro la ciencia del suelo y su manejo menciona que la mayoría de las densidad de los suelos no deben superar los 2.26 gr/cm^3 , lo que es concordante con los datos obtenidos en los ensayos de proctor modificado, cono de arena, y densidad por densímetro eléctrico, además se compararon los resultados de los ensayos de laboratorio obtenidos con instrumentos de medición no convencionales, logrando obtener así datos similares para cada punto, como se observa en las tablas de humedades, densidades húmedas y secas, y el grado de compactación.

Conforme a la (NEVI-12, 2012) el grado de compactación de una capa debe estar entre el 95 % y 100 % de compactación, observándose que la mayoría de los caminos vecinales muestreados del cantón Riobamba están fuera de este rango.

Los métodos alternativos utilizan datos de los métodos convencionales, para la configuración estos equipos (Densímetro eléctrico y Geogauge). Esto quiere decir que se deberán realizar primero varios ensayos de cono de arena y un ensayo de proctor modificado para un correcto uso de los equipos alternativos. Por esto motivo se deberá identificar la extensión y tipo de trabajo a realizar, para escoger la metodología para la toma de datos como, densidades húmedas y secas, humedades del suelo, grado de compactación y módulos del suelo.

Además, se realizó una comparación de los todos datos obtenidos en la estimación de CBR con las ecuaciones mencionadas, observando como resultado que la ecuación 14 se adapta mejor para la estimación del CBR en suelos granulares o terrenos naturales utilizados como subrasantes y subbases, adicionalmente se nota que la muestra número 9 no corresponde un suelo granular, por lo que podría estar arrojando los datos más altos de lo normal.

En cuestión de tiempo en la ejecución de los métodos convencionales y alternativos, ambos ocupan de 2 a 4 días en ejecución de los ensayos, ya que ambos métodos requieren de pruebas de laboratorio e in situ, para alcanzar los resultados requeridos. Los métodos alternativos requieren datos de los métodos convencionales. En caso del EDG para la configuración de un modelo de suelo dentro de la consola, requiere de datos mínimo de tres ensayos del cono de arena y un ensayo proctor modificado, mismo que sirve para la recolección datos como densidades, húmedas y grado de compactación del suelo dentro de un área que requiera un gran numero puntos de prueba y comprobar si esta área tiene las mismas características de suelo en toda su extensión.

CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- ❖ Según la (NEVI-12, 2012) el grado de compactación de un suelo vial debe ser del 95% o mayor, de los datos obtenidos con métodos alternativos apenas un 20 % del total de la muestra analizada cumple con el grado de compactación expuesto en la norma, dejando así al 80 % restante con una compactación menor al límite impuesto, esto se puede comprobar en la ilustración 9. En cambio, mediante la estimación con los datos de los métodos convencionales, un 50% de la muestra analizada cumple con lo anterior mencionado como se observa en la ilustración 10. Esta variación entre los resultados de los métodos convencionales y alternativos se debe a los valores de las densidades secas y densidades máximas secas que hay en cada punto de control.
- ❖ En base a los datos del cono de arena se puede notar que las densidades de los suelos de caminos vecinales del cantón se encuentran en un rango entre 1.95 y 2.26 gr/cm^3 obteniendo datos coherentes de las densidades respecto a la densidad máxima que puede alcanzar un suelo.
- ❖ En la zona urbana del cantón Riobamba, mediante esta investigación se observó el estado de los caminos vecinales, que en su mayoría son lastrados o firmados de suelo natural. Según los resultados obtenidos las características físicas de la mayoría de los suelos viales no presentan condiciones óptimas, ya que apenas el 20 % aproximado de la red de caminos vecinales presenta una buena compactación, Adicionalmente presentan densidades promedio de 2.105 gr/cm^3 , logrando obtener que los caminos vecinales de la muestra total requieren mejoramiento de sus condiciones viales.
- ❖ Se logró notar que la estimación del CBR a través de datos obtenidos del Geogauge como el módulo de Young varía dependiendo de las fórmulas utilizadas, teniendo en cuenta que estas ocupan rangos en los coeficientes de cálculo dependiendo del tipo suelo. Con los datos obtenidos, la ecuación propuesta por Webb y Campbell es la que mejor se adapta a la estimación del CBR, obteniendo datos de los caminos vecinales ensayados en un rango entre el 25% y 47%. Según el (MOP, 2002), Para suelos granulares SW utilizados en subrasantes el rango de CBR se halla entre el 20% y 35%, y estos mismos suelos utilizados en subbases el rango de CBR está entre el 30 al 45%, logrado demostrar que las capas ensayadas son adecuadas para el uso vial.
- ❖ La precisión con los equipos utilizados en los métodos alternativos, el EDG consta con un modelo estadístico de datos, donde presenta una advertencia y muestra un número índice “FIT” de ajuste entre 0 y 1, donde 1 es el número ideal. En los métodos alternativos, el nivel de confianza de los datos obtenidos en los ensayos realizados se puede comprobar mediante el ajuste estadístico “FIT” de ensayo EDG (Tabla 11), el cual es mayor a 0.7, teniendo así un nivel de confianza del 70% de los datos obtenidos en los ensayos de cono de arena, proctor modificado, densidad con el equipo EDG y módulos de suelo con el equipo Geogauge.

5.2. Recomendaciones

- ❖ En caso del uso de los instrumentos de medición eléctricos (EDG y Geogauge) se recomienda seguir la guía exacta descrita en los manuales ya que de ello dependerá la precisión de los ensayos. Además del cuidado que se debe tener al momento de realizar los ensayos de laboratorio que son parte esencial para la configuración de estos equipos.
- ❖ En base a los datos obtenidos de las densidades del suelo, grados de compactación y CBRs, se puede notar que las vías analizadas dentro de la muestra necesitan trabajos de rehabilitación, con equipos de compactación e hidratación, para el mejoramiento de sus propiedades físicas.
- ❖ En el caso del CBR se recomienda la estimación utilizando métodos estadísticos como la regresión lineal ya que se pueden adaptar mejor al cálculo y obtener datos más reales de los que se obtienen utilizando ecuaciones ya establecidas.
- ❖ Esta investigación servirá como referencia para futuros estudios, por lo que es recomendable continuar los ensayos necesarios más a fondo en las diferentes parroquias urbanas dentro del cantón Riobamba, con la finalidad de alcanzar una mayor cantidad de datos de densidades, humedades y compactación del suelo dentro de los caminos vecinales del cantón.

BIBLIOGRAFÍA

- AASHTO-93. (1993). Diseño de Estructuras de Pavimentos. *American Association of State Highway and Transportation officials*, 12-34.
- ASTMD-1556. (2000). Método de ensayo estándar para la densidad y el peso unitario del suelo mediante el método del cono de arena. *Manual de laboratorio de ensayos para Suelo*, 1-15.
- Guerrón, S. (2013). Comparación de resultados de densidades de campo por los metodos cono y arena, volumétrico y densímetro nuclear. *Universidad Central del Ecuador*, 19-24.
- MTC/14. (2016). Manual de Ensayo de Materiales. *Ministerio de Transportes y Comunicaciones*, 119-127.
- ASTM – C144. (1974). Standard Specification for Aggregate for Masonry Mortar. *American Association State Highway and Transportation Officials Standard*, 1–1. <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/17389/6814e12f8ad04a80ad9a74be387a6143/ASTM-C144-02.pdf>
- ASTMD-1557. (1978). DETERMINAR LA RELACION HUMEDAD-DENSIDAD DE SUELOS Y MEZCLAS DE SUELO-AGREGADO USANDO UN MARTILLO DE 4.54 KG (10 LB) Y UNA CAIDA DE 457 MM (18 PULG). *ACADEMIA*, 1–10. https://www.academia.edu/9650084/ASTM_Designaci%C3%B3n_D1557_78_M%C3%A9todos_de_Ensayos_Est%C3%A1ndar_para_DETERMINAR_LA_RELACION_HUMEDAD_DENSIDAD_DE_SUELOS_Y_MEZCLAS_DE_SUELO_AGREGADO_USANDO_UN_MARTILLO_DE_4
- CAF;, Agosta, R. ;, Martínez, J. ;, Kohon, J. ;, Pérez, J. E. ;, & Blas, F. . (2020, May 8). Ecuador. Análisis de inversiones en el sector transporte terrestre interurbano latinoamericano a 2040. *CAF BANCO DE DESARROLLO DE AMERICA LATINA Y EL CARIBE*. <https://scioteca.caf.com/handle/123456789/1565>
- GADM Riobamba. (2017). *PLAN ESTRATEGICO DE DESARROLLO CANTONAL*. <https://www.epemapar.gob.ec/wp-content/uploads/2017/03/plandesarrollocantonal.pdf>
- Garcia, A. (2015). DISEÑO DE PAVIMENTO ASFÁLTICO POR EL METODO AASHTO-93. *UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA*, 1–22. <https://core.ac.uk/download/pdf/143451539.pdf>

- Guerrón, S. (2013). *COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE DENSIDAD DE CAMPO POR LOS MÉTODOS CONO Y ARENA, VOLUMÉTRICO Y DENSÍMETRO NUCLEAR* [UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR]. <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/1294/1/T-UCE-0011-37.pdf>
- HCM, National Research Council, TRB, & Washington. (2010). Highway Capacity Manual. *Comite Ejecutivo de La Junta de Investigacion de Transporte*. <https://es.scribd.com/document/514495275/ESP-Highway-Capacity-Manual-5th-Edition-HCM-2010-Vol-2>
- Herrera, M. (2014). *DETERMINACIÓN DEL MÓDULO RESILIENTE DE DISEÑO DE PAVIMENTOS MEDIANTE CRITERIOS AASHTO 1993 Y 2002* [UNIVERSIDAD DE PIURA]. https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/2018/MAS_ICIV-L_025.pdf
- INVIAS. (2012). Normas de Ensayo de Materiales para Carreteras. *Manual de Normas de Ensayo de Materiales Para Carreteras*, 50–150. https://www.umv.gov.co/sisgestion2019/Documentos/APOYO/GLAB/GLAB-DE-001_V1_Normas_Invias_Seccion_100-13.pdf
- MOP. (2002). ESPECIFICACIONES GENERALES PARA LA CONSTRUCCION DE CAMINOS Y PUENTES. *MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS DEL ECUADOR*, IV 38-IV 40. https://l.facebook.com/l.php?u=https%3A%2F%2Fwww.obraspublicas.gob.ec%2Fwp-content%2Fuploads%2Fdownloads%2F2021%2F01%2FMPR_Chimborazo_Cumanda_Especificaciones-Tecnicas-MOP-001-F-2002.pdf%3Ffbclid%3DIwAR0OayKnXzsfkt9EgulgI-tV_Mh-b11cO1acm-IKNIWrvuitX3kaCULjhQ8&h=AT1wcz3rgKY4Xie8Rh_XOWk0-Hp8t_jYkt0CE8IMNWjg1yIYmiXlbva7JaSCEWaR7ftAWSbnntMJcYQPvEGGEaY8UCGG0Zp1jbUWnc8h0jzOsAQMCJiVSP7fx9VG9jjqn7rEsKpK9wjnU5nJefYFeg
- Múnera, J., & Aguiar, J. (2020, March 17). Estimación del módulo resiliente para materiales granulares de Costa Rica. *Revista Infraestructura Vial / LanammeUCR*. <https://doi.org/10.15517/iv.v21i37.42614>
- Murad Y. Abu-Farsakh, Khalid Alshibli, Munir Nazzal, & Ekrem Seyman. (2004, May). ASSESSMENT OF IN-SITU TEST TECHNOLOGY FOR CONSTRUCTION

- CONTROL OF BASE COURSES AND EMBANKMENTS. *Louisiana State University and Southern University*, 1–145. http://www.ltrc.lsu.edu/pdf/2008/fr_389.pdf
- NEVI-12, N. E. V. (2012). VOLUMEN N° 3 ESPECIFICACIONES GENERALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE CAMINOS Y PUENTES. *MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS DEL ECUADOR*, 3, 300–500. https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/12/01-12-2013_Manual_NEVI-12_VOLUMEN_3.pdf
- NEVI-12, N. E. V. (2013). VOLUMEN N° 3 ESPECIFICACIONES GENERALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE CAMINOS Y PUENTES. *MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS DEL ECUADOR*, 3, 300–500. https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/12/01-12-2013_Manual_NEVI-12_VOLUMEN_3.pdf
- Norma 6.1 IC. (2003, November 28). Norma 6.1 IC: SECCIONES DE FIRMES. *Ministro de Obras Públicas y Urbanismo*. <https://www.studocu.com/latam/document/universidad-simon-bolivar-venezuela/mecanica-de-materiales-ii/anexo-1-6-1-ic-secciones-de-firmes/22869110>
- Ospina, G. (2016). El papel de las vías secundarias y los caminos vecinales en el desarrollo de Colombia. *Revista de Ingeniería*, 1–6. <https://doi.org/10.16924/riua.v0i44.911>
- PDOT del GAD de Chimborazo. (2020, May 20). PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL DE LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO. *GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO DE LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO*. <https://chimborazo.gob.ec/principal/wp-content/uploads/2022/06/PDOT.pdf>
- Pérez, N., Garnica, P., González, J., Curiel, N., & Ruiz, M. (2016). Modelo para estimar el módulo de resiliencia de suelos finos compactados en la condición óptima de compactación. *Publicación Técnica No. 475* *Publicación Técnica No. 475*, 1–65.

ANEXOS

Anexo 1. Equipos y materiales del ensayo de proctor modificado:

- ❖ Molde de 6 Pulgadas. - es un molde metálico de acero laminado en frío y enchapado que resiste la oxidación, con una capacidad de 172.8 Pulg³. Con unas dimensiones de 6'' de diámetro interior por 6.1'' de altura, con un collar desmontable de 2.5'' adicionales, También incluye una placa de base desmontable de 8'' x 8'' x 0.5'' de grosor con pernos y tuercas tipo mariposa.
- ❖ Martillo compactador Grande. - instrumento metálico que consta de un mango o riel con una caída de 457 mm con una apertura de 51 mm en la parte baja, además de tener 4 orificios cerca de esta apertura para liberar la presión de aire que se genera. Complementado de un cilindro metálico con un peso de 4.5 Kg enroscado a una vara metálica que cuenta con un mango tipo esfera de goma. Sus componentes son de acero maquinado y enchapado para la resistencia al óxido.
- ❖ Tamiz N°3/8 y N° 4.- son mallas de acero inoxidable con un marco de latón de 3 pulgadas, la apertura de las mallas es de 9.525 mm y 4.75 mm respectivamente.
- ❖ Probeta
- ❖ Capsulas de humedad

Anexo 2. Equipos y materiales del ensayo cono de arena:

- ❖ Base del Cono de Arena. - es una placa metálica hecha de una aleación de aluminio fundido, su forma es cuadrada con medidas de 305 x 305 mm y un agujero en el medio de 165 mm que sirve como referencia para controlar el diámetro del hoyo.
- ❖ Cono metálico con válvula. - es un cono metálico desmontable, el cual es roscado en un extremo para sujetar el recipiente plástico, y en el otro extremo tiene un diámetro de 165 mm, esta apertura se ajusta a la base del cono de arena, también se incluye una válvula cilíndrica de 12.7 mm de diámetro utilizada para abrir y cerrar el paso de arena.
- ❖ Recipiente plástico. - es un recipiente plástico que se acopla al extremo roscado del cono metálico, generalmente tiene una capacidad de 1 galón.
- ❖ Arena Graduada. - es una arena no cementada limpia y seca y de flujo libre, con una densidad conocida. Debe tener un coeficiente de uniformidad ($C_u = D_{60}/D_{10}$) menor de 2 y el tamaño máximo de partículas menor que 2.0 mm (Malla No 10). La arena para ser nuevamente usada deberá estar libre de cualquier suelo contaminante. Son deseables arenas naturales, subredondeadas o redondeadas
- ❖ Horno. - es un equipo usado comúnmente para deshidratar cualquier tipo de muestra, posee un tablero de control que indica la temperatura real dentro del horno.
- ❖ Balanza
- ❖ Pala
- ❖ Cíncel
- ❖ Combo
- ❖ Brocha
- ❖ Espátula

Anexo 3. Ensayo del cono de arena



Anexo 4. Ensayo de proctor modificado



Anexo 5. Ensayos de densímetro eléctrico



Anexo 6. Ensayos del equipo Geogauge



Anexo 7. Mensajes y errores comunes del equipo densímetro eléctrico

- ❖ Advertencias del GPS. - se pueden presentar advertencias acerca de la ubicación del equipo, ya sea por el apagado del GPS para ahorro de energía como se ve en la figura 1, o por la falta de visión libre hacia el cielo como se ve en la figura, en cualquier caso, esto es una advertencia, la cual no es cuestión de interrupción del ensayo.

The GPS is in power saver mode.
No GPS data will be saved for this
Field Test.

The GPS was not able to obtain a fix.
GPS data cannot be saved for this test.
Continue (y/N)?

- ❖ Errores de Temperatura. - al momento de tomar las firmas eléctricas de suelo se pueden producir errores con la sonda de temperatura que sesgan los datos e impiden la realizar el ensayo.

El error más común es no introducir la sonda de temperatura en el suelo en cuyo caso aparece un error como lo muestra la figa. A demás se presentan errores por temperaturas extremas demasiado caliente (50 Grados Celsius) o frio (0 Grados Celsius), como se muestra en las figuras.

The temperature is too high to produce
accurate EDG results.

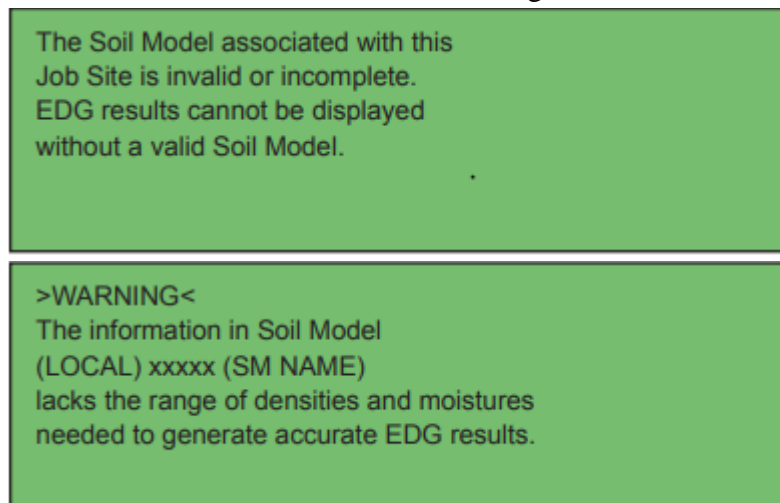
It appears that the temperature probe
may be disconnected.
Continue (Y/N)?

The temperature is too low to produce
accurate EDG results.

Advertencias del modelo de suelo. - se pueden presentar advertencias al momento de tomar las firmas eléctricas que puede resultar en datos no tan precisos como se esperan, se detallan las advertencias.

Para una misma firma eléctrica se encontró que la información eléctrica recopilada por el EDG para las pruebas AyA y ByB no son consistentes en cuyo caso se recomienda volver a realizar la firma como se ve en la figura.

Cuando se termina de configurar el modelo de suelo puede aparecer que una o más de las firmas eléctricas son cuestionables en cuyo caso se recomienda realizar nuevas firmas para configuración del modelo como se muestra en la figura.

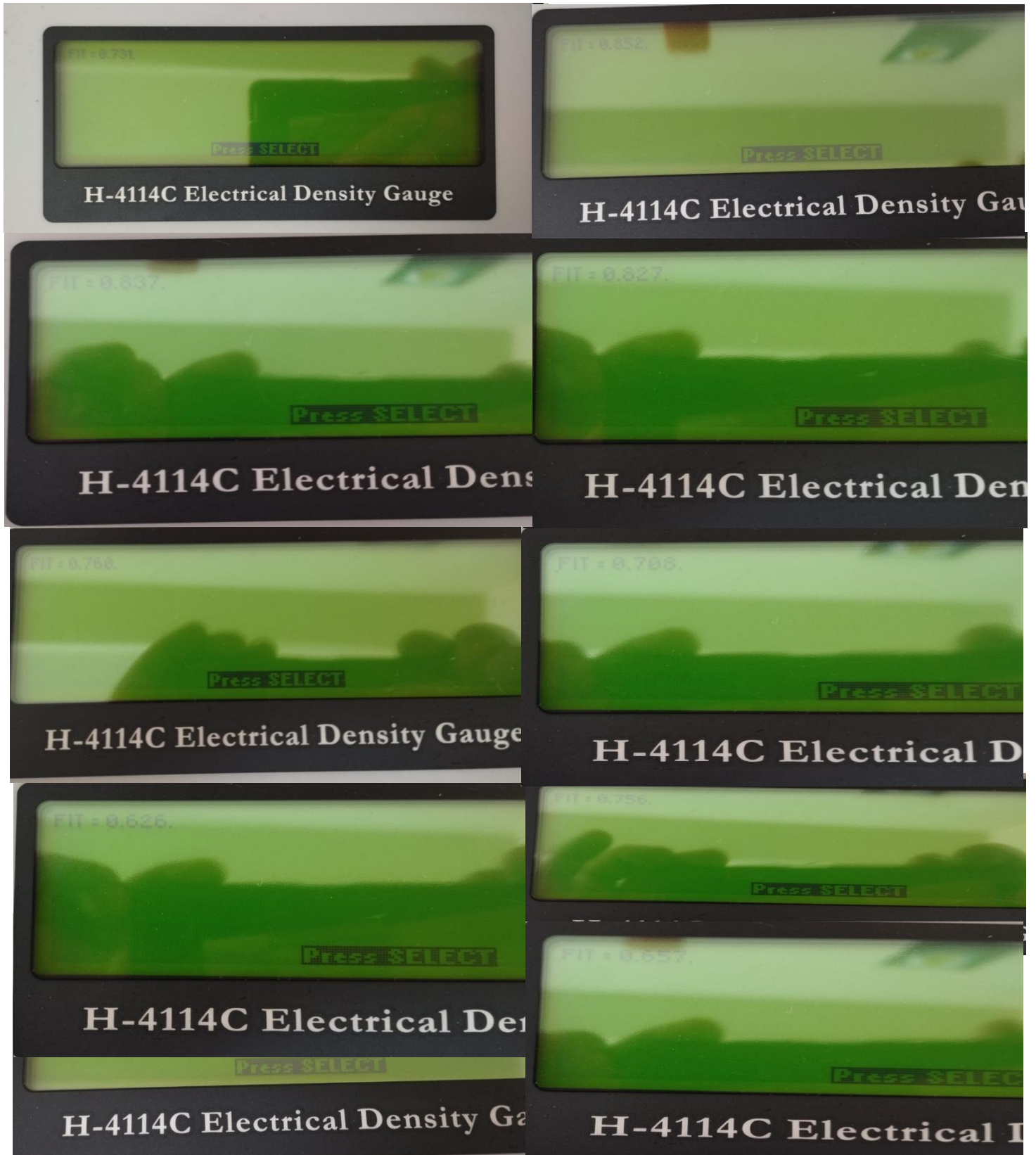


Anexo 8. Equipos y materiales del Ensayo de California Bearing Ratio

Componentes

- ❖ Molde CBR. - este molde es de Acero inoxidable con medidas de 165 mm de diámetro exterior, 155 mm de diámetro interior y una altura de 230 mm. Este accesorio incluye la placa base, el collar y los tornillos.
- ❖ Disco espaciador con mango T
- ❖ Pistón de Compactación. - es como el descrito en el ensayo de Proctor Modificado.
- ❖ Aparato medidor de expansión: Este está compuesto por Placa perforadora, Un trípode y las pesas de sobrecarga.
- ❖ Pistón de penetración. - es metálico de sección transversa circular de 49.64 ± 0.13 mm con un área de 19.35 cm².
- ❖ Dos Diales. - estos tendrán un recorrido mínimo de 25mm y con divisiones en 0.025 mm
- ❖ Tamices. - se utilizarán los siguientes tamices de 2'' (50.80mm), el #3/4'' (19.05) y #4 (4.76mm).
- ❖ Una Poza
- ❖ Estufa
- ❖ Balanza

Anexo 9. Ajuste estadístico "FIT"



Anexo 10. Procedimiento del ensayo con el equipo EDG

<https://drive.google.com/file/d/1QQrFbVqJx7W7hGgnvVoyVFehY09kAyGO/view?usp=sharing>

