



ESCUELA UNIVERSITARIA DE POSGRADO

INFLUENCIA DEL POTENCIAL DE COLAPSO DE SUELOS EN EL
DIMENSIONAMIENTO ÓPTIMO DEL CONCRETO RODILLADO EN VÍAS
URBANAS DE HUANCAYO – 2025

Línea de investigación:
Seguridad vial e infraestructura de transporte

Tesis para optar el Grado Académico de Doctor en Ingeniería Civil

Autor

Ramos Piñas, David

Asesor

Zavala Ascaño, Gerber Josafatt

ORCID: 0000-0003-1088-4543

Jurado

Cancho Zuñiga, Gerardo Enrique

Defilippi Shinzato, Teresa Milagros

García Urrutia Olavarria, Roque Jesus Leonardo

Lima - Perú

2026



INFLUENCIA DEL POTENCIAL DE COLAPSO DE SUELOS EN EL DIMENSIONAMIENTO ÓPTIMO DEL CONCRETO RODILLADO EN VÍAS URBANAS DE HUANCAYO – 2025

INFORME DE ORIGINALIDAD

13%	13%	2%	4%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.upla.edu.pe Fuente de Internet	6%
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
3	www.coursehero.com Fuente de Internet	1%
4	repositorio.upt.edu.pe Fuente de Internet	<1%
5	upcommons.upc.edu Fuente de Internet	<1%
6	repositorio.unfv.edu.pe Fuente de Internet	<1%
7	alicia.concytec.gob.pe Fuente de Internet	<1%
8	Submitted to Universidad Nacional Federico Villarreal Trabajo del estudiante	<1%
9	repositorio.eesppsantarosacusco.edu.pe Fuente de Internet	<1%
10	es.scribd.com Fuente de Internet	<1%
11	Submitted to Universidad Andina del Cusco Trabajo del estudiante	<1%



Universidad Nacional
Federico Villarreal

VRIN | VICERRECTORADO
DE INVESTIGACIÓN

ESCUELA UNIVERSITARIA DE POSGRADO

INFLUENCIA DEL POTENCIAL DE COLAPSO DE SUELOS EN EL DIMENSIONAMIENTO
ÓPTIMO DEL CONCRETO RODILLADO EN VÍAS URBANAS DE HUANCAYO – 2025

Línea de Investigación

Seguridad vial e infraestructura de transporte

Tesis para optar el Grado Académico de Doctor en Ingeniería Civil

Autor

Ramos Piñas, David

Asesor

Zavala Ascaño, Gerber Josafatt

ORCID: 0000-0003-1088-4543

Jurado

Cancho Zuñiga, Gerardo Enrique

Defilippi Shinzato, Teresa Milagros

Garcia Urrutia Olavarria, Roque Jesus Leonardo

Lima – Perú

2026

Dedicatoria:

A mis padres, quienes con su esfuerzo y sacrificio me enseñaron el valor de la constancia y del estudio. A mi familia, que fue mi apoyo silencioso en los momentos más difíciles de este camino académico. Dedico también este trabajo a mis maestros y mentores, que con su ejemplo sembraron en mí la pasión por la investigación y la búsqueda de soluciones a los problemas de nuestra sociedad. Finalmente, lo dedico a todos aquellos que creen en el poder transformador de la educación y en la responsabilidad de aportar al desarrollo de nuestro país desde la ciencia y la ingeniería.

Agradecimiento:

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a Dios, por darme la fortaleza y la sabiduría necesarias para culminar esta etapa de formación doctoral. A mi familia, por su paciencia, cariño y comprensión, que me acompañaron en los momentos de mayor exigencia y desvelo. A mis asesores y docentes, cuyo conocimiento y orientación fueron fundamentales para dar forma y solidez a este trabajo. A las instituciones que facilitaron el acceso a la información, laboratorios y equipos necesarios para el desarrollo de la investigación. Finalmente, agradezco a mis colegas y amigos investigadores, por sus consejos, críticas constructivas y el ánimo constante que hicieron posible que este proyecto no solo sea un aporte académico, sino también un testimonio del esfuerzo compartido.

ÍNDICE

Resumen.....	12
Abstract.....	13
I. INTRODUCCIÓN	14
1.1. Planteamiento del problema	15
1.2. Descripción del problema.....	18
1.3. Formulación del problema.....	20
1.3.1. Problema general.....	20
1.3.2. Problemas específicos	20
1.4. Antecedentes.....	21
1.4.1 Antecedentes internacionales	21
1.4.2 Antecedentes nacionales.....	27
1.5. Justificación de la investigación	31
1.5.1. Justificación social	31
1.5.2. Justificación técnica	31
1.5.3. Justificación económica	32
1.5.4. Justificación metodológica	32
1.6. Limitaciones de la investigación	33
1.7. Objetivos.....	33
1.7.1. Objetivo general	33
1.7.2. Objetivos específicos.....	34
1.8. Hipótesis	34
1.8.1. Hipótesis general	34

1.8.2. Hipótesis específicas	34
II. MARCO TEÓRICO.....	36
2.1. Marco conceptual	36
2.1.1. Potencial de colapso de suelos	36
2.1.2. Dimensionamiento óptimo de concreto rodillado	45
2.2. Glosario de términos.....	55
2.2.1. Consistencia.....	55
2.2.2. Limite liquido	55
2.2.3. Densidad	56
2.2.4. Humedad	56
2.2.5. Resistencia.....	57
2.2.6. Elasticidad	57
2.2.7. Espesor	57
2.2.8. Densidad natural seca	58
2.2.9. Contenido de humedad.....	58
2.2.10. Módulo de reacción.....	59
2.2.11. Módulo de elasticidad del concreto	59
2.2.12. Espesor del concreto	60
III. MÉTODO	61
3.1. Tipo de investigación	61
3.1.1. Método de investigación	61
3.1.2. Nivel de investigación	62
3.1.3. Diseño de investigación.....	62
3.2. Población y muestra	63

3.1.4. Población	63
3.1.5. Muestra	64
3.3. Operacionalización de variables.....	65
3.1.6. Definición conceptual de las variables	65
3.1.7. Definición operacional de variables	65
3.4. Instrumentos	68
3.5. Procedimientos	68
3.6. Análisis de datos.....	70
3.6.1. Campo	70
3.6.2. Gabinete.....	71
3.6.3. Elaboración de informe	71
IV. RESULTADOS.....	73
4.1. Descripción del diseño tecnológico.....	73
4.1.1. Análisis y evaluación del potencial de colapso de suelos	73
4.1.2. Análisis y evaluación para el dimensionamiento del concreto rodillado	80
V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	95
VI. CONCLUSIONES	100
VII. RECOMENDACIONES.....	102
VIII.REFERENCIAS.....	104
IX. ANEXOS	116
Anexo A. Matriz de consistencia	117
Anexo B. Validación por juicio de expertos	118
Anexo C. Certificado de Inacal laboratorio – KLAFER.....	121
Anexo D. Resumen de resultados otorgado por laboratorios KLAFER.....	122
Anexo E. Plano de ubicación de calicatas	123
Anexo F. Certificados de Pruebas de laboratorio	124

Anexo G. Panel Fotográfico.	140
----------------------------------	-----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Posibilidad de colapso, peso específico natural vs limite líquido.	37
Figura 2. Análisis del origen de suelos expansivos y colapsables.....	40
Figura 3. Posibilidad de colapso, peso específico natural vs limite líquido.	45
Figura 4. Relación resistencia a la compresión vs porcentaje de reemplazo	46
Figura 5. Resistencia a edades tempranas del hormigón	47
Figura 6. Relación entre la resistencia relativa del concreto en función a la edad de días del ensayo	49
Figura 7. Módulo de elasticidad en el concreto	51
Figura 8. Cálculo del módulo de elasticidad del concreto	53
Figura 9. Grafico de la oscilación de resultados del análisis de la consistencia de las muestras	75
Figura 10. Gráfico de la oscilación de resultados del análisis de la densidad de las muestras....	78
Figura 11. Gráfico de la oscilación de resultados del análisis de la humedad de las muestras ...	79
Figura 12. Gráfico de los resultados de la resistencia – potencial de colapso alto	83
Figura 13. Gráfico de los resultados de la resistencia – potencial de colapso moderado	84
Figura 14. Gráfico de los resultados de la resistencia – potencial de colapso moderado	85
Figura 15. Gráfico de los resultados de la elasticidad – potencial de colapso alto.....	88
Figura 16. Gráfico de los resultados de la elasticidad – potencial de colapso moderado.....	89
Figura 17. Gráfico de los resultados de la elasticidad – potencial de colapso alto.....	90
Figura 18. Gráfico de los resultados del espesor – potencial de colapso alto.....	92
Figura 19. Gráfico de los resultados del espesor – potencial de colapso moderado.....	93
Figura 20. Gráfico de los resultados del espesor – potencial de colapso moderado.....	94
Figura 21. Validación de expertos – dr. Navarro veliz javier amador.....	118

Figura 22. Validación de expertos – ph.d. Mohamed mehdi hadi mohamed	119
Figura 23. Validación de expertos – dr. Gerber josafatt zavalala ascaño	120
Figura 24. Certificado de inacal – laboratorio klafer	121
Figura 25. Resumen de resultados de los ensayos realizados	122
Figura 26. Plano de ubicación y localización de calicatas	123
Figura 27. Certificado del módulo de elasticidad – potencial de colapso alto	124
Figura 28. Certificado del módulo de elasticidad – potencial de colapso alto	125
Figura 29. Certificado del módulo de elasticidad – potencial de colapso moderado	126
Figura 30. Certificado del módulo de elasticidad – potencial de colapso moderado	127
Figura 31. Certificado del módulo de elasticidad – potencial de colapso bajo	128
Figura 32. Certificado del módulo de elasticidad – potencial de colapso bajo	129
Figura 33. Certificado de caracterización de suelos	130
Figura 34. Certificado de caracterización de suelos	131
Figura 35. Certificado del ensayo de resistencia del concreto – potencial colapso alto	132
Figura 36. Certificado del ensayo de resistencia del concreto – potencial colapso alto	133
Figura 37. Certificado del ensayo de resistencia del concreto – potencial colapso moderado ..	134
Figura 38. Certificado del ensayo de resistencia del concreto – potencial colapso moderado ..	135
Figura 39. Certificado del ensayo de resistencia del concreto – potencial colapso bajo	136
Figura 40. Certificado del ensayo de resistencia del concreto – potencial colapso bajo	137
Figura 41. Certificado del ensayo del módulo de elasticidad	138
Figura 42. Certificado del ensayo de módulo de elasticidad	139
Figura 43. Toma de muestras calicata N° 01	140
Figura 44. Toma de muestras calicata N° 02	140

Figura 45. Toma de muestras calicata N° 08	141
figura 46. Toma de muestras calicata N° 05	141
figura 47. Toma de muestras calicata N° 03	142
figura 48. Toma de muestras calicata N° 04	142
figura 49. Toma de muestras calicata N° 06	143
figura 50. Toma de muestras calicata N° 07	143

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Relación de potencial del colapso y la severidad del problema.....	41
Tabla 2. Relación de vías urbanas con presencia de colapso de suelos en huancayo.....	63
Tabla 3. Relación de vías tomadas como muestra para la investigación.	64
Tabla 4. Operacionalización de variables: influencia del potencial de colapso de suelos en el dimensionamiento óptimo del concreto rodillado en vías urbanas de huancayo – 2025.....	67
Tabla 5. Tabla de resultados del análisis del potencial de colapso de suelos	74
Tabla 6. Tabla de resultados del análisis de la resistencia – potencial de colapso	82
Tabla 7. Tabla de resultados del análisis de la elasticidad – potencial de colapso	86
Tabla 8. Tabla de resultados del análisis para el espesor – potencial de colapso	91
Tabla 9. Matriz de consistencia.....	117

Resumen

La presente tesis tuvo como objetivo: conocer de qué manera el potencial de colapso de los suelos llega a afectar en el diseño más conveniente del concreto compactado con rodillo (CCR) usado en las vías urbanas de Huancayo – 2025. La idea fue buscar criterios prácticos que ayuden a que los pavimentos duren más tiempo y que también puedan adaptarse mejor a las condiciones reales del terreno, que en muchos casos no son tan favorables. Método: Para lograr esto se aplicó un enfoque experimental de tipo correlacional. En la práctica, se hicieron ensayos en laboratorio y también pruebas directamente en el campo. Se evaluaron los suelos colapsables usando equipos como edómetros y triaxiales, mientras que en el caso del CCR se analizaron su resistencia, su elasticidad y el espesor de pavimento que sería necesario. Resultados: De los análisis se vio claramente que en suelos con mayor tendencia al colapso la resistencia del CCR se reduce hasta en un 20%, lo cual es bastante significativo. Igualmente, se detectó que el módulo de elasticidad se debilita, lo que hace que aumente la posibilidad de que aparezcan fisuras. Además, se encontró que en estas zonas con más colapsabilidad el espesor del pavimento debe ser mayor al habitual, lo cual confirma que el diseño estructural no puede ser estándar, sino que debe ajustarse de acuerdo a las condiciones del suelo. Conclusiones: Se comprobó que el potencial de colapso de los suelos influye directamente en las propiedades estructurales del CCR. Por eso es indispensable incluir este parámetro al momento de diseñar pavimentos urbanos, ya que así se consigue que duren más y se reduzcan los costos por mantenimiento.

Palabras clave: suelos, colapso, concreto, elasticidad, resistencia, pavimento.

Abstract

This thesis had as its objective: to understand how the collapse potential of soils affects the most suitable design of roller-compacted concrete (RCC) used in urban roads of Huancayo – 2025. The main idea was to look for practical criteria that help pavements last longer and also adapt better to the real ground conditions, which in many cases are not very favorable. Method: To achieve this, an experimental approach with a correlational design was applied. In practice, laboratory tests and field trials were carried out. Collapsible soils were evaluated using equipment such as oedometers and triaxial tests, while in the case of RCC, properties like resistance, elasticity, and the required pavement thickness were analyzed. Results: From the analyses, it was clearly observed that in soils with higher collapse potential, the resistance of RCC decreases by up to 20%, which is quite significant. Likewise, it was found that the modulus of elasticity becomes weaker, increasing the chance of cracks appearing. In addition, it was discovered that in these areas with greater collapsibility, the pavement thickness needs to be larger than usual, which confirms that the structural design cannot be standard but must be adapted to the specific soil conditions. Conclusions: It was confirmed that the collapse potential of soils directly influences the structural properties of RCC. Therefore, it is essential to include this parameter when designing urban pavements, since this way they can last longer and reduce maintenance costs.

Keywords: soils, collapse, concrete, elasticity, strength, pavement.

I. INTRODUCCIÓN

El análisis de los suelos colapsables en las ciudades es, sin duda, uno de los problemas más grandes que enfrenta la ingeniería civil de hoy. En lugares como Huancayo esto se vuelve todavía más complicado porque el clima es bastante cambiante y los suelos tienen características geotécnicas que no siempre son favorables. Lo que pasa con estos suelos es que, cuando cambian bruscamente de humedad, pueden reducir su volumen de golpe, y eso ocasiona asentamientos desiguales que afectan la estabilidad de los pavimentos y hasta de las estructuras de soporte. Aunque ya existen varios estudios en otros países que han investigado esto, en la práctica local aún sigue siendo un dolor de cabeza. Muchas veces se opta por soluciones rápidas o “de costumbre” que no aseguran la duración de las vías y terminan fallando en poco tiempo.

El concreto compactado con rodillo (CCR) en los últimos años se ha convertido en una alternativa bastante usada porque es más resistente, tiene buena durabilidad y se construye relativamente rápido. Sin embargo, no todo es perfecto, ya que el comportamiento del CCR depende bastante de cómo se relacione con el suelo de base. Si este suelo tiene alto potencial de colapso, la losa de concreto empieza a sufrir esfuerzos adicionales que aceleran la aparición de fisuras, deformaciones o hasta fallas tempranas. Por eso es clave profundizar en métodos que no solo sirvan para medir las propiedades de estos suelos con pruebas como los edómetros o triaxiales, sino también que integren esa información dentro del diseño estructural del CCR. De esa manera se puede lograr un diseño que se ajuste a la realidad del terreno y no a lo que “teóricamente” debería pasar.

En este trabajo de investigación se centra justamente en ver cómo influye el potencial de colapso de los suelos en el dimensionamiento más adecuado del CCR en las vías urbanas de

Huancayo. La meta principal es proponer lineamientos que hagan que los pavimentos sean más seguros, duren más y no generen tantos gastos de mantenimiento. Para ello se trabajó con una metodología que incluye pruebas de laboratorio como ensayos edométricos, triaxiales y de compresión y también simulaciones estructurales. Así, los resultados no se quedan en un análisis muy puntual, sino que permiten tener criterios más generales que pueden ser aplicados en el diseño vial de zonas con suelos problemáticos.

Más allá de lo técnico, esta investigación tiene también una motivación social. Cuando un pavimento falla no es solo un problema de ingeniería: cada bache, cada fisura o cada hundimiento en una calle afecta directamente la vida de las personas. Esto genera inseguridad, aumenta el tiempo que la gente tarda en transportarse, eleva los costos de reparación y hace que la población pierda confianza en la infraestructura pública. Por eso este trabajo no se limita a la parte académica, sino que busca ser un aporte al bienestar colectivo, apuntando a un desarrollo urbano más sostenible y resiliente en la región andina del Perú.

1.1. Planteamiento del problema

El colapso de suelos es un problema geotécnico que tiene bastante importancia en la ingeniería civil, porque cuando ocurre puede afectar seriamente la estabilidad y también la funcionalidad de distintas infraestructuras, sobre todo en lo que son las vías. Este fenómeno se presenta en suelos metaestables que no están saturados, y que al aumentar su grado de humedad pierden de golpe su estructura interna, produciendo asentamientos irregulares que luego terminan en fallas tempranas de los pavimentos o de las cimentaciones. En el espacio urbano, estas consecuencias se pueden ver en la aparición de grietas o fisuras en las pistas, en desplazamientos

desiguales de muros de contención, en deslizamientos de taludes y hasta en colapsos parciales o totales de terraplenes. Todo esto acorta mucho la vida útil de las vías y genera costos altos de reparación y mantenimiento. (Valencia, 2015)

El colapso de suelos ya ha sido estudiado bastante en mecánica de suelos y en la geotecnia en general, y suele estar asociado a depósitos sedimentarios con estructuras débiles o metaestables, que se forman a partir de partículas unidas con enlaces capilares o cementantes de baja resistencia. Estos suelos muchas veces parecen fuertes en estado seco, pero cuando se saturan las fuerzas entre las partículas se reducen o se eliminan, provocando una disminución de volumen repentina y marcada. Este tipo de comportamiento es común en suelos loésicos, en depósitos aluviales no consolidados y también en materiales volcánicos, y se ha encontrado en distintas partes del mundo como Europa, Sudáfrica, Asia, Norteamérica y Sudamérica. En el Perú, este tipo de suelos es bastante común en regiones con temporadas marcadas de sequía y lluvias intensas, como en Huancayo, donde estos cambios de humedad favorecen la aparición de asentamientos diferenciales y el deterioro prematuro de los pavimentos urbanos. (Lopez, 2022)

Desde el punto de vista geotécnico, la manera de caracterizar un suelo colapsable es mediante ensayos específicos, como el edométrico con carga constante y variación de humedad, que sirve para ver qué tan grande puede ser el colapso bajo distintas condiciones. Otros parámetros importantes que se miden son la densidad seca, el índice de vacíos, el contenido de finos y la resistencia a la compresión sin confinamiento, que ayudan a predecir el comportamiento del suelo y su nivel de susceptibilidad al colapso. A pesar de esto, en la práctica los ingenieros se encuentran con dificultades, porque no siempre es sencillo calcular de forma exacta cómo impacta este fenómeno en una carretera, ya que los depósitos colapsables son variables en el espacio y, además,

todavía no hay metodologías de diseño que incluyan bien la respuesta del suelo en el cálculo del concreto compactado con rodillo (CCR). (Vielma, 2009)

El CCR ha sido usado bastante en la construcción de vías urbanas, ya que tiene buena resistencia, durabilidad y soporta cargas dinámicas fuertes. El problema está en que su comportamiento depende mucho de qué tan estable es el suelo donde se coloca. Si ese suelo colapsa, genera asentamientos diferenciales que hacen que la losa de concreto tenga esfuerzos de tracción adicionales en su base, y eso acelera la aparición de grietas y fallas prematuras. Por esa razón, para diseñar CCR en Huancayo de manera correcta se debe considerar de forma seria esta interacción suelo-pavimento, usando modelos más avanzados que ayuden a estimar de qué manera el colapso va a afectar el desempeño del pavimento a lo largo del tiempo.

A pesar de la relevancia del tema, todavía son pocos los estudios que se enfocan en ver cómo influye el colapso de suelos en el diseño del CCR, lo cual muestra que hay una brecha de conocimiento bastante clara. El hecho de no tener metodologías específicas ha hecho que se recurra muchas veces a soluciones empíricas, que en algunos casos pueden servir, pero no garantizan que el pavimento responda bien en el largo plazo. De allí que sea necesario trabajar en modelos de análisis que permitan calcular mejor la magnitud de los asentamientos y cómo estos influyen en la durabilidad y estabilidad del CCR, de manera que se puedan definir criterios de diseño más seguros y confiables para los pavimentos urbanos en regiones con este tipo de suelos.

En ese marco, la presente investigación busca aportar al desarrollo del conocimiento en ingeniería de pavimentos y mecánica de suelos, analizando de forma detallada la relación entre el colapso de suelos y el dimensionamiento del CCR en las vías urbanas de Huancayo. Para eso se plantea combinar modelos numéricos y también experimentales, con el fin de tener información

más completa sobre cómo se comportan estos suelos bajo condiciones reales de carga. Con los resultados se podrán proponer herramientas que faciliten un diseño de pavimentos más eficiente y sostenible. Este estudio no solo servirá a ingenieros, sino también a los responsables de la planificación urbana y a quienes gestionan la infraestructura, ya que permitirá mejorar la forma en que se diseñan y construyen los pavimentos, haciéndolos más estables y duraderos aun en condiciones geotécnicas complicadas.

1.2. Descripción del problema

A nivel mundial, el tema del colapso de suelos se reconoce como uno de los factores más delicados y a la vez más complicados cuando se habla de estabilidad de las obras de infraestructura, sobre todo en lo que tiene que ver con pavimentos rígidos y cimentaciones superficiales. Este fenómeno se da en suelos que no están totalmente saturados y que parecen estables a simple vista, pero cuando aumenta su humedad se vuelven frágiles y pierden resistencia de forma brusca. Como consecuencia, ocurre una reducción de volumen bastante fuerte que termina generando asentamientos diferenciales peligrosos. Esto ya se ha visto en distintas partes del mundo: en los suelos loésicos del este de Europa, en depósitos aluviales sueltos de Norteamérica o incluso en materiales de origen volcánico en África y Asia. En todos esos contextos se ha comprobado que la densidad seca, la relación de vacíos y el grado de saturación son las variables más críticas para que aparezca el colapso. Para Barden (2019) por ejemplo, comenta que la interacción entre la succión matricial y los enlaces intergranulares débiles es la principal explicación de la inestabilidad. Todo esto deja en claro que, si no se hace un buen análisis geotécnico en las zonas

donde la humedad cambia mucho, el diseño de los pavimentos puede quedar incompleto y sin la seguridad necesaria.

En el Perú, la situación no es muy distinta. Varios estudios han mostrado que los suelos colapsables aparecen en diferentes lugares, tanto en la costa como en la selva, y casi siempre terminan siendo un dolor de cabeza para la durabilidad de carreteras y pavimentos urbanos. Se pueden mencionar casos como Pisco, La Joya, Lambayeque e incluso Ventanilla, donde se encontraron depósitos con baja densidad natural y porosidad alta, factores que los vuelven muy propensos al colapso cuando se cargan y llegan a saturarse. Para López (2022) señala que si bien la compactación controlada ayuda bastante a reducir el problema, no lo resuelve del todo, sobre todo en zonas que sufren muchos ciclos de lluvia intensa y posterior sequía. Del mismo modo (Castillo et al., 2024) remarca que en nuestro país no se han integrado todavía de forma sistemática los parámetros de colapsabilidad dentro del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), lo que provoca que se sigan aplicando soluciones un poco improvisadas o empíricas. Esto, a la larga, se traduce en más costos de mantenimiento y una vida útil mucho menor de las vías.

Si bajamos al nivel más local, el caso de Huancayo es especialmente crítico. Aquí se juntan factores geológicos y climáticos que hacen que los suelos urbanos tengan un alto nivel de colapsabilidad. La ciudad está sobre depósitos aluviales con bastante espacio vacío entre partículas, y durante las épocas de lluvias fuertes esos suelos tienden a saturarse y sufrir asentamientos diferenciales. Se advierte que este problema no solo compromete la durabilidad del concreto compactado con rodillo (CCR), sino que además golpea de frente a la economía y al día a día de la población, porque cada falla en las pistas genera problemas de movilidad, incrementa el costo de transporte y termina limitando el propio desarrollo urbano. (Luque, 2020)

Todo esto demuestra que, si no se integran metodologías adecuadas para entender la relación entre suelo y pavimento en el diseño estructural del CCR, se seguirá teniendo fallas tempranas. Lo ideal sería encontrar propuestas técnicas que permitan calcular mejor los espesores, mejorar la elasticidad estructural y garantizar que las vías realmente resistan las condiciones de la zona.

En este marco general, la investigación que se presenta busca determinar de manera concreta cómo influye el potencial de colapso de los suelos en el dimensionamiento del CCR en vías urbanas de Huancayo – 2025. La finalidad es bastante clara: lograr establecer criterios técnicos que hagan que los pavimentos duren más, sean funcionales y, sobre todo, que se adapten de manera sostenible a unas condiciones geotécnicas que no siempre son las más favorables. De esta forma, se busca aportar no solo a la parte técnica de la ingeniería civil, sino también al bienestar de la población, que finalmente es la que se ve más afectada por las fallas en la infraestructura vial.

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema general

¿Cuál es la influencia del potencial de colapso de suelos en el dimensionamiento óptimo del concreto rodillado en vías urbanas de Huancayo – 2025 para garantizar mayor vida útil del pavimento y lograr una mejor adaptabilidad del concreto rodillado a las condiciones del terreno?

1.3.2. Problemas específicos

¿Cuál es la influencia del potencial de colapso de suelos en la resistencia del concreto rodillado para evitar fallas estructurales prematuras en pavimentos compactados con rodillo?

¿Cuál es la influencia del potencial de colapso de suelos en la elasticidad del concreto rodillado para disminuir el riesgo de fisuración y deformaciones que puedan comprometer la estabilidad del concreto?

¿Cuál es la influencia del potencial de colapso de suelos en el espesor óptimo del concreto rodillado para mejorar su desempeño frente a cargas vehiculares y condiciones climáticas?

1.4. Antecedentes

1.4.1 Antecedentes internacionales

Para Choque et al. (2022) en su artículo, el autor quiso dar a conocer el potencial de colapso de los suelos y lo hizo aplicando diferentes criterios y formas de análisis que sirven para estudiar terrenos que presentan este tipo de problemas. Dentro de su metodología no se quedó en lo teórico, sino que aplicó ensayos normados bastante conocidos como la granulometría (NTP 339.128 / ASTM 422), el contenido de humedad (NTP 339.127 / ASTM D2216), los límites de Atterberg (NTP 339.129 / ASTM D4318) y también el peso específico (NTP 339.131 / ASTM D854). Aparte de eso, apoyó su análisis en criterios más antiguos, como los de Prikloński (1952) y Feda (1964), además de lo que señala la Norma E-050 Suelos y Cimentaciones, con el objetivo de poder identificar con claridad si el suelo era colapsable o no. El estudio se realizó en la ciudad de Juliaca, específicamente en la Urbanización Villa Médica, donde ya se habían visto grietas y fisuras en varias construcciones. Estas fallas podrían estar muy ligadas a la estructura misma del terreno, al alto contenido de humedad que se acumula en los suelos y también a los procesos de compactación que, según se comenta, no siempre fueron los mejores. La importancia de esta investigación radica en que no solo busca explicar técnicamente por qué pasa esto, sino que también pretende dar

información de prevención a la población y así evitar que las edificaciones sufran colapsos parciales o incluso totales con el tiempo. Los resultados obtenidos fueron claros: el suelo estudiado presenta un grado de colapsabilidad entre bajo y medio. Aunque a simple vista no parece tan alarmante, en realidad sí representa un riesgo que debe tenerse en cuenta en el momento de construir. Si no se considera este factor, los asentamientos diferenciales podrían generar problemas serios en las viviendas, reduciendo su vida útil y aumentando los gastos de reparación. En pocas palabras, este trabajo se convierte en una alerta para que tanto ingenieros como pobladores tomen conciencia del estado del suelo en el que se edifica, de modo que las construcciones sean más seguras y no se repitan los mismos errores del pasado.

Weber (2019) en su tesis doctoral titulada “Comportamiento de un suelo compactado bajo un estado generalizado de tensiones”, el investigador buscó básicamente entender cómo se comporta un suelo cuando se encuentra en condiciones de carga y humedad que no son del todo favorables. Para poder hacerlo, eligió trabajar con una mezcla de 30% de arena y 70% de arcilla, la cual fue compactada a baja densidad, simulando de cierta manera lo que pasa en suelos que no están del todo bien consolidados en la realidad. La idea central era estudiar el comportamiento hidro-mecánico, fijándose sobre todo en la resistencia al corte bajo diferentes trayectorias tensionales y también en cómo el material reaccionaba cuando se saturaba y entraba en un proceso de colapso, que es uno de los problemas más comunes en este tipo de suelos. El estudio fue de carácter experimental, pero no se quedó en lo básico, ya que el autor utilizó equipos bastante sofisticados. Por un lado, trabajó con un triaxial convencional, que es el aparato más conocido en este tipo de pruebas, pero también empleó un equipo de cilindro hueco con control automático, que permitía manejar con mucha más precisión parámetros como la presión interna y externa de la cámara, la presión de cola, la tensión axial e incluso el torque. Gracias a estas herramientas se

logró obtener una visión más clara de cómo se deformaba el suelo y de qué manera perdía resistencia cuando aumentaba la humedad o las cargas aplicadas, algo que con métodos más simples tal vez no se habría podido observar con tanto detalle. En los resultados, los ensayos de saturación bajo un estado de carga generalizada se analizaron usando el modelo Barcelona Basic Model (BBM), que permitió tener un marco de referencia bastante confiable. Los datos mostraron que el comportamiento del suelo estaba mucho más ligado a la magnitud de la tensión desviadora aplicada que a los cambios del parámetro b , lo que significa que las fuerzas de corte eran las que realmente marcaban la diferencia en la estabilidad del material. Además, se comprobó que los resultados obtenidos guardaban una buena relación con las deformaciones totales medidas, lo cual dio mayor validez al análisis. Como aporte adicional, el autor llegó a proponer una ecuación empírica para poder calcular el potencial de colapso en diferentes situaciones, ya sea en pruebas con cilindro hueco, triaxiales o edométricas. Este aporte resulta bastante útil porque no solo quedó en lo teórico, sino que da una herramienta práctica que puede aplicarse en futuros proyectos de ingeniería en suelos con problemas de colapsabilidad.

El estudio efectuado por Cárdenas (2018) que se tituló “Estudio del comportamiento de colapso en arenas arcillosas bajo un estado generalizado de tensiones”, tuvo como propósito principal entender cómo reaccionan las arenas arcillosas cuando son sometidas a distintas condiciones de esfuerzo y también de humedad. En pocas palabras, lo que buscaba era analizar el comportamiento hidro-mecánico de este tipo de suelo, que fue previamente compactado, y observar dos cosas claves: por un lado, cómo cambia su resistencia al corte según el nivel de agua presente y, por otro, cómo se da el colapso del suelo cuando ocurre un proceso de inundación. Este tema es bien importante, porque en la práctica tiene mucho que ver con las obras de tierra como presas o terraplenes, que a lo largo del tiempo siempre están expuestos a cambios de humedad que

pueden volverlos más frágiles o provocar fallas en su estructura. A pesar de la relevancia de este tema, el autor deja en claro que todavía existen muy pocos estudios experimentales que analicen este fenómeno de manera completa. Y es que, en la mayoría de investigaciones previas, no siempre se toma en cuenta variables que resultan bien determinantes, como por ejemplo la tensión desviadora, la tensión neta media o el ángulo de Lode, que son elementos que influyen bastante cuando el suelo entra en condición de colapso. Justamente por esa falta de información más detallada, la investigación de Cárdenas cobra más valor, ya que intenta cubrir ese vacío y aportar con una metodología de ensayo más confiable. Esto hace que los resultados no se queden solo en el plano académico, sino que puedan servir de apoyo para ingenieros que diseñan estructuras en terrenos donde hay riesgo de hundimientos o deformaciones. Para lograr todo esto, se utilizó un equipo de cilindro hueco al que se le hicieron varias adaptaciones. Este aparato permitía controlar de manera automática las presiones internas y externas, así como la tensión axial, que son parámetros necesarios en este tipo de pruebas. Sin embargo, como el equipo había sido diseñado en un inicio para suelos saturados, fue necesario hacer una calibración bastante detallada para poder usarlo en el caso de suelos con otras condiciones. Gracias a esa calibración se pudo registrar mejor las deformaciones radiales y circunferenciales, tomando en cuenta los cambios de volumen que se daban en las cámaras interna y externa. Todo este trabajo minucioso permitió obtener datos bastante útiles y que, además de enriquecer la teoría sobre el comportamiento de suelos arcillosos, también tienen una aplicación directa en proyectos reales, lo que es una de las grandes fortalezas de este estudio.

Estudios realizados por Munguio (2020) en este trabajo se abordó el tema de la variación de la densidad del concreto compactado con rodillo (CCR) en la presa de la Central Hidroeléctrica de Mauá, que está en el río Tibagi, en Paraná. El propósito fue básicamente entender cómo cambia

la densidad del material en función de ciertas anomalías gravitacionales que se han detectado en la represa. Para eso se aplicaron dos métodos, el primero fue el gravimétrico, que sirve para notar las diferencias de densidad, y el segundo fue el de electro resistividad o mapeo eléctrico 2D, que permitió estimar hasta dónde se extienden esas anomalías y a qué profundidad se encuentran, además de contrastar los resultados con el método anterior. Los resultados que se obtuvieron mostraron varias cosas curiosas. En la parte noreste de la represa, por ejemplo, aparecieron anomalías negativas que indicaban zonas con menor densidad del CCR. Esto se relacionó con la posibilidad de que hubiera agua infiltrándose en algunas partes del túnel de desvío, lo cual es lógico porque la presencia de agua tiende a reducir la densidad y debilitar el material con el paso de los años. En el área central también se encontraron lecturas bajas, pero aquí se cree que la razón principal es la acumulación de agua en el vertedero y, en menor grado, la saturación del concreto. O sea, básicamente el agua vuelve a ser un factor clave que influye bastante en el comportamiento del material. En cambio, también se identificaron sectores donde las lecturas eran más altas de lo normal, y allí la interpretación fue distinta. Puede que el concreto esté menos saturado, por lo que conserva más su densidad, o también que exista un espesor mayor de la solera de diabasa, que es una roca bastante resistente que forma parte de la fundación de la represa. Incluso se menciona que los diques de diabasa asociados al Arco de Ponta Grossa podrían estar influyendo, aportando masa adicional y explicando esas lecturas tan elevadas. En conclusión, lo que se puede decir es que la variación de densidades no se debe a un único factor, sino que responde a varias condiciones, como la saturación de agua, las características del concreto y la misma geología de la base de la represa. Esto hace ver que los estudios no solo sirven para entender lo que ya está construido, sino que también aportan criterios útiles para futuros proyectos donde se use CCR en obras hidráulicas.

El estudio efectuado por Saravia (2020) se enfocó en ver qué tanto afecta el colapso en suelos limosos al rendimiento de los pavimentos en la ciudad, porque en las zonas urbanas siempre hay cambios de humedad que complican las cosas. Para eso hizo varias pruebas en laboratorio, entre ellas unas de compresión triaxial y también ensayos de colapso inducido, con la idea de simular lo que pasa cuando el suelo se moja demasiado o cuando pasa de seco a saturado en poco tiempo. La intención era entender mejor cómo se comporta este tipo de suelo en situaciones que se parecen a lo que pasa en la vida real, sobre todo debajo de una pista o una calle con bastante tráfico. Lo que encontró fue bien preocupante, porque los suelos limosos que tienen bastante potencial de colapso pierden su resistencia de manera fuerte cuando se saturan. En números, se calcula que su capacidad de carga puede reducirse hasta en un 40%, lo cual es bastante si pensamos en todo el peso que tienen que aguantar los pavimentos con autos, camiones, etc. Esa pérdida de resistencia hace que el suelo ya no soporte igual y empiece a hundirse o a asentarse de forma desigual. Y claro, eso termina afectando el pavimento de arriba: aparecen grietas, baches y hasta fallos más grandes de manera temprana. En pocas palabras, lo que parece un suelo firme cuando está seco, en verdad puede volverse inestable cuando le entra agua. Por eso Silva dice que es súper necesario que en el diseño de pavimentos no se ignore el tema del colapso, porque si no se toma en cuenta desde el inicio, más adelante los problemas van a ser más caros de arreglar. Si se considera bien, se logra que las pistas duren más tiempo, se reduzcan los costos de mantenimiento y se evitan reparaciones constantes que siempre afectan al transporte en la ciudad. En conclusión, la investigación insiste en que hacer este tipo de estudios geotécnicos no es un lujo, sino algo básico si de verdad se quiere tener pavimentos más seguros, resistentes y que duren más años sin estar parchándolos a cada rato.

1.4.2 Antecedentes nacionales

Huaricallo et al. (2021) en su tesis de grado presentada en la Universidad Privada de Tacna, titulada “Caracterización y evaluación del potencial de colapso de suelos derivados de la ceniza volcánica para prevenir problemas en cimentaciones superficiales en el distrito Alto de la Alianza - Tacna – 2020”, la autora se propuso como objetivo principal estudiar a fondo las características de los suelos que provienen de la ceniza volcánica y evaluar si efectivamente pueden presentar problemas de colapsabilidad. Esto se planteó porque en la zona de estudio se habían observado varias señales que daban a entender que el suelo podría comportarse como un suelo colapsable, lo cual es muy importante de analizar ya que sobre este terreno se construyen viviendas e infraestructuras que, si no se consideran estas condiciones, podrían tener fallas prematuras. En cuanto a la metodología, la investigación se clasificó como de tipo básica, con un enfoque cuantitativo, un diseño transeccional y un nivel predictivo, ya que la intención era no solo describir las características actuales del suelo, sino también anticipar los posibles problemas que podrían aparecer si no se realiza un tratamiento adecuado. Se llevaron a cabo ensayos normalizados que permitieron medir el grado de colapso bajo distintas cargas. Los resultados arrojaron que el suelo en cuestión, derivado de ceniza volcánica del distrito Alto de la Alianza, tiene un grado de colapso considerado moderado, es decir, dentro de la clasificación de suelo no colapsable, aunque con valores que están muy cerca de los límites para ser catalogado como colapsable. De manera más específica, los ensayos mostraron que el índice de colapso (I_c) bajo una carga de 0.50 kg/cm^2 estuvo en un rango de 2.9 a 3.9%, mientras que bajo una carga de 1.00 kg/cm^2 se encontró entre 3.5 y 5.2%. Aunque estos resultados no superan los valores que definen un suelo realmente colapsable, se puede notar que se encuentran en un nivel cercano que no debe ser ignorado. Por eso, la conclusión fue que, aunque el suelo no se clasifica directamente como colapsable, sí es

recomendable tomar medidas de prevención, como un proceso de mejoramiento de suelos, antes de construir cimentaciones superficiales. Esta recomendación busca evitar problemas a futuro que podrían generar asentamientos o fallas en las edificaciones, sobre todo considerando que las variaciones de humedad en la zona pueden agravar el comportamiento del terreno.

El estudio efectuado por Castillo et al. (2024) titulado “Evaluación del potencial de colapso del suelo en el sector La Cobranza, distrito de Moche, provincia de Trujillo, departamento de La Libertad” tuvo como finalidad principal entender qué tan colapsable puede llegar a ser el suelo de esta zona y, en base a eso, plantear alternativas más seguras para el diseño de cimentaciones superficiales. Para lograrlo, se evaluaron diferentes parámetros del suelo: físicos, químicos, hidráulicos y también mecánicos, tomando en cuenta lo que señala la Norma Técnica Peruana E.050 Suelos y Cimentaciones. La idea final fue elaborar un mapa de las zonas con riesgo de colapso y proponer recomendaciones de diseño que se ajusten mejor a la realidad del terreno. La investigación se trabajó bajo un enfoque no experimental y de tipo descriptivo, lo cual significa que no se modificaron las condiciones naturales del suelo, sino que se buscó observarlas y describirlas tal como se encuentran. Para ello se escogieron varios puntos del sector que eran estratégicos y en cada uno se hicieron calicatas (pequeñas excavaciones), de donde se extrajeron muestras representativas. También se levantaron perfiles estratigráficos y se hicieron auscultaciones, que básicamente permitieron conocer cómo está formado el suelo en profundidad. Luego, con las muestras ya obtenidas, se realizaron pruebas tanto en el mismo terreno como en laboratorio, lo que ayudó a interpretar de manera más clara cómo se comporta este suelo en diferentes condiciones. Los resultados indicaron que el tipo de suelo predominante es un areno limoso (SM), el cual tiene una buena capacidad de drenaje. Esto lo ubica como un suelo de capacidad portante media, lo que no es malo, pero tampoco garantiza un comportamiento perfecto

bajo carga. Un punto importante fue que se detectó que el nivel freático se encuentra apenas a 1.20 metros de profundidad, lo cual representa una complicación, porque el agua subterránea altera directamente las condiciones de diseño y disminuye la capacidad admisible de carga. Este valor se calculó siguiendo un enfoque de corte local. Finalmente, con toda la información reunida, se propusieron varios diseños de cimentación superficial, especialmente zapatas cuadradas y corridas, que se variaron en dimensiones y profundidad de desplante según las condiciones encontradas. Con estas propuestas se busca reducir los riesgos de asentamientos diferenciales y garantizar que las futuras construcciones tengan mayor seguridad y durabilidad en el sector de La Cobranza.

Pachecho (2022) en su tesis doctoral que lleva por título “Análisis del potencial de colapso en suelos limosos para el diseño óptimo de pavimentos en regiones urbanas de Arequipa”, Pachecho se dedicó a investigar un tema que parece sencillo, pero en la práctica genera bastantes problemas: cómo los suelos limosos, cuando se mojan demasiado o se saturan, terminan afectando la resistencia y la duración de los pavimentos rígidos. La idea central de su investigación fue que en ciudades como Arequipa, donde este tipo de suelos es común, no basta con diseñar el pavimento como si todo estuviera seco o perfecto, porque en realidad la humedad cambia todo el panorama. Para comprobarlo, el autor no se quedó solo en la teoría, sino que realizó diferentes pruebas de laboratorio. Entre ellas usó ensayos de compresión triaxial y pruebas de colapso inducido, que básicamente simulan lo que pasaría si el suelo bajo el pavimento se humedece demasiado. Los resultados fueron bastante claros: los suelos limosos que tienen un alto potencial de colapso pueden perder más o menos un 30% de su resistencia cuando están saturados. Esa pérdida es significativa, porque cuando el pavimento ya no tiene el mismo soporte, aparecen deformaciones diferenciales, hundimientos y hasta fallas prematuras que acortan mucho la vida útil de la vía. Lo interesante es que este trabajo no se quedó solo en mostrar el problema, sino que también resaltó la importancia

de incluir este tipo de parámetros en el diseño estructural. O sea, no diseñar pensando solo en condiciones ideales, sino tomando en cuenta que el suelo puede colapsar y que eso tiene consecuencias reales en el desempeño del pavimento. Según el autor, si los ingenieros adoptan estas consideraciones, se puede evitar que las pistas duren tan poco tiempo y, de paso, se reducirían bastante los costos de mantenimiento. Al final, esto significa pavimentos más resistentes y con mayor vida útil, lo que en zonas urbanas de Arequipa es fundamental porque el tránsito y la humedad siempre terminan jugando en contra.

Villanueva (2021) en su tesis doctoral llamada “Impacto del colapso de suelos arcillosos en la estabilidad de pavimentos rígidos en áreas urbanas de Trujillo”, Villanueva trató de explicar un problema que muchas veces no se toma en serio pero que al final termina siendo clave en la construcción de calles y carreteras. Se enfocó en cómo los suelos arcillosos, que parecen firmes cuando están secos, pueden colapsar cuando se saturan con agua y esto afecta directamente a la resistencia de los pavimentos rígidos. En lugares como Trujillo, donde la humedad no siempre es estable y hay zonas donde el agua sube o baja bastante, ese detalle del suelo termina debilitando toda la estructura, aunque el pavimento esté bien diseñado en otros aspectos. Para comprobar esto, el autor no se quedó solo en la teoría, sino que hizo diferentes ensayos. Entre los más importantes están las pruebas de consolidación y también los ensayos de carga cíclica, que lo que buscan es reproducir de manera aproximada lo que le pasa a un pavimento cuando recibe el peso de los vehículos y a la vez se encuentra con el suelo húmedo debajo. Los resultados fueron bien claros: se vio que cuando los suelos arcillosos tienen un alto potencial de colapso y se saturan, pierden hasta un 40% de su capacidad de soporte. Eso es casi la mitad, y no es poca cosa, porque significa que el pavimento empieza a hundirse, aparecen deformaciones y grietas, y al poco tiempo ya requiere reparaciones que salen caras. Lo interesante del trabajo de Villanueva es que no se quedó

solo en los números, sino que también planteó que en realidad el diseño de pavimentos en zonas urbanas debería considerar siempre este análisis del colapso. Es decir, no basta con calcular el espesor de la losa o la resistencia del concreto, porque si el suelo falla, al final todo lo demás también falla. Según él, analizar bien ese potencial de colapso desde el principio ayuda a evitar asentamientos diferenciales y a que las vías duren mucho más tiempo, incluso en zonas donde el suelo cambia mucho con la humedad. En conclusión, su investigación más que nada busca abrir los ojos para que el diseño sea más completo y no se repitan problemas comunes de hundimientos y fallas en las pistas de Trujillo y de otras ciudades con suelos parecidos.

1.5. Justificación de la investigación

1.5.1. Justificación social

La investigación tiene un impacto significativo en la calidad de vida de la población. Una infraestructura vial adecuada garantiza la seguridad y comodidad de los usuarios, reduciendo riesgos de accidentes ocasionados por deformaciones y fallas estructurales en el pavimento. Además, una correcta planificación y diseño de las vías urbanas mejora la movilidad, optimiza el transporte público y privado, y disminuye los tiempos de desplazamiento, lo que repercute positivamente en la productividad de la población.

1.5.2. Justificación técnica

El análisis sobre cómo influye el potencial de colapso de los suelos en el diseño más adecuado del concreto rodillado para las vías urbanas de Huancayo resulta clave, pues de ello depende que las infraestructuras viales sean más estables, duraderas y eficientes. En lugares donde el suelo tiende a colapsar, la interacción entre la base y la losa de pavimento se vuelve frágil, lo

que puede provocar asentamientos desiguales, aparición de grietas y hasta fallas prematuras. Por eso, evaluar correctamente este fenómeno ayuda a definir espesores y parámetros estructurales que permitan al concreto rodillado responder mejor frente a cargas de tránsito y cambios de humedad. Al mismo tiempo, un buen análisis del potencial de colapso hace posible escoger técnicas de mejoramiento de suelos y métodos constructivos más apropiados, alargando así la vida útil del pavimento, evitando reparaciones tempranas y asegurando que las vías puedan seguir funcionando de manera segura y confiable con el paso del tiempo.

1.5.3. Justificación económica

Desde la mirada económica, pensar en un buen dimensionamiento del concreto rodillado tomando en cuenta el posible colapso de los suelos trae ventajas importantes a futuro. Cuando el diseño está bien hecho se reducen bastante los problemas estructurales que suelen aparecer con el tiempo, lo que significa menos gastos en reparaciones y mantenimientos. También se evita gastar de más en materiales por diseños sobredimensionados o en soluciones improvisadas que al final no resultan tan eficientes. De esa forma se logra aprovechar mejor los recursos del proyecto y se gasta lo justo y necesario. A esto se suma que, si el pavimento dura más y trabaja mejor, la inversión pública o privada rinde mucho más, haciendo que la obra sea sostenible económicamente y, al mismo tiempo, la gente tenga carreteras más seguras y funcionales para su día a día.

1.5.4. Justificación metodológica

En cuanto a la parte metodológica, este estudio se basa en un enfoque de tipo experimental, combinando tanto pruebas de laboratorio como ensayos realizados directamente en campo para poder entender mejor el comportamiento de los suelos colapsables y cómo influyen en el desempeño del concreto rodillado. Para recolectar los datos se van a usar fichas que registren los

resultados de pruebas de densidad, contenido de humedad, resistencia y también de elasticidad del material. Al mismo tiempo, con la observación se controlará y verificará aspectos como el espesor real del concreto colocado. A todo esto, se suman técnicas propias del análisis geotécnico y modelos numéricos que ayudarán a simular cómo responden los pavimentos frente a distintas condiciones. Finalmente, se aplicarán herramientas estadísticas para que los resultados tengan mayor precisión y puedan servir como base en el diseño de futuras obras viales, haciendo que la información obtenida sea práctica y de utilidad real.

1.6. Limitaciones de la investigación

Esta investigación se enfrenta a algunas limitaciones que vale la pena mencionar. En primer lugar, no existen normas que hablen de manera directa sobre el análisis del colapso de suelos aplicado al concreto rodillado, lo que hace necesario ajustar la metodología y adaptarla según las condiciones del estudio. A esto se suma que los suelos de la zona no son homogéneos, es decir, sus propiedades geotécnicas cambian bastante incluso en tramos cortos, lo que dificulta que los resultados puedan generalizarse con total precisión. Otro punto importante está relacionado con el clima de Huancayo, que presenta estaciones bien marcadas y variaciones en el nivel freático; estos factores naturales pueden alterar el comportamiento real del suelo, generando cambios en su potencial de colapso que no siempre es posible reproducir exactamente en pruebas de laboratorio.

1.7. Objetivos

1.7.1. Objetivo general

Determinar la influencia del potencial de colapso de suelos para determinar el dimensionamiento óptimo del concreto rodillado en vías urbanas de Huancayo – 2025 para

garantizar mayor vida útil del pavimento y lograr una mejor adaptabilidad del concreto rodillado a las condiciones del terreno.

1.7.2. Objetivos específicos

Determinar la influencia del potencial de colapso de suelos en la resistencia del concreto rodillado para evitar fallas estructurales prematuras en pavimentos compactados con rodillo.

Determinar la influencia del potencial de colapso de suelos en la elasticidad del concreto rodillado para disminuir el riesgo de fisuración y deformaciones que puedan comprometer la estabilidad del concreto.

Determinar la influencia del potencial de colapso de suelos en el espesor óptimo del concreto rodillado para mejorar su desempeño frente a cargas vehiculares y condiciones climáticas.

1.8. Hipótesis

1.8.1. Hipótesis general

El potencial de colapso de suelos influye significativamente en el dimensionamiento óptimo del concreto rodillado en vías urbanas de Huancayo – 2025 para garantizar mayor vida útil del pavimento y lograr una mejor adaptabilidad del concreto rodillado a las condiciones del terreno.

1.8.2. Hipótesis específicas

El potencial de colapso de suelos influye significativamente en la resistencia del concreto rodillado para evitar fallas estructurales prematuras en pavimentos compactados con rodillo.

El potencial de colapso de suelos influye significativamente en la elasticidad del concreto rodillado para disminuir el riesgo de fisuración y deformaciones que puedan comprometer la estabilidad del concreto.

El potencial de colapso de suelos influye significativamente en el espesor óptimo del concreto rodillado para mejorar su desempeño frente a cargas vehiculares y condiciones climáticas.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Marco conceptual

2.1.1. *Potencial de colapso de suelos*

Para poder entender bien qué significa el potencial de colapso en los suelos, es necesario fijarse en varios aspectos que tienen que ver con su naturaleza física, química y también mecánica. No basta con mirar la superficie, sino que hay que conocer cómo está compuesto en profundidad, ya que los suelos no son homogéneos, sino que suelen tener capas o estratos distintos, cada uno con características propias. A eso se suma la importancia de saber si en el terreno existen napas freáticas o cuerpos de agua subterráneos, porque estos influyen directamente en la estabilidad. Otro punto clave es la profundidad a la que se va a cimentar, ya que de eso depende la seguridad de las fundaciones. Todo este conjunto de factores es lo que finalmente orienta la manera de planificar el diseño estructural, el cálculo y hasta la dosificación de los materiales para las bases de las edificaciones o de las vías. (Olarte, 2019)

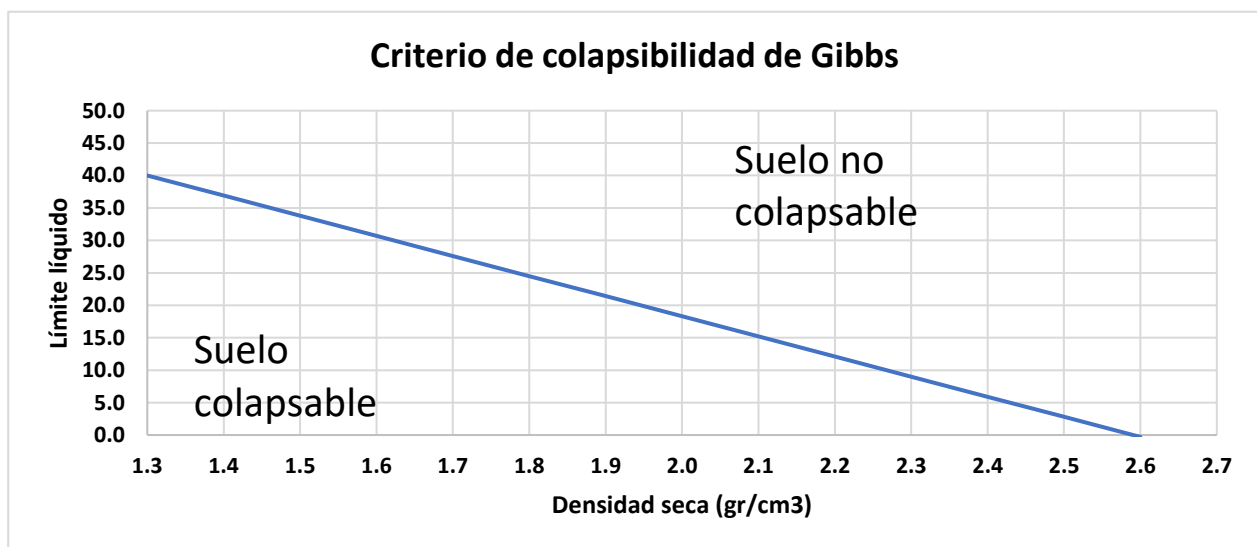
Ahora, cuando hablamos de los suelos colapsables, nos referimos a un tipo de material que a simple vista puede parecer firme y estable, pero en realidad guarda un comportamiento bastante engañoso. Estos suelos tienen lo que los especialistas llaman una estructura interna metaestable, es decir, que tienen demasiados poros y que sus partículas no están bien unidas, sino apenas sostenidas por enlaces frágiles de tipo capilar o cementante. Mientras no cambien sus condiciones, sobre todo mientras estén secos o con baja humedad, mantienen la apariencia de estabilidad, pero en el momento en que aumenta la humedad por infiltraciones de agua, lluvias muy intensas o incluso por la subida del nivel freático, esos enlaces se debilitan de golpe. Lo que ocurre entonces

es que las partículas del suelo se reacomodan bruscamente y el volumen se reduce de manera repentina, lo que se traduce en un colapso estructural. (Flores, 2018)

Este fenómeno no depende únicamente de la presencia de agua. También existen otros factores que pueden acelerar o agravar el colapso, como por ejemplo las cargas externas. El tránsito constante de vehículos pesados en una carretera, o incluso el peso adicional de edificaciones, son situaciones que generan más presión sobre el suelo y hacen que su reacomodo sea más rápido. Además, hay procesos químicos que tampoco deben dejarse de lado, como la disolución de sales solubles o los cambios en la succión interna del suelo, los cuales pueden volverlo aún más inestable. Todo esto, sumado, hace que los suelos colapsables sean vistos como un verdadero desafío dentro de la ingeniería civil, porque al reaccionar de manera inesperada comprometen la seguridad de cimientos, pavimentos, terraplenes y en general cualquier obra que se apoye sobre ellos.

Figura 1

Posibilidad de colapso, peso específico natural vs límite líquido.



Nota. En la figura se visualiza la relación entre el límite líquido y la densidad seca y como esto determina si un suelo es colapsable o no colapsable. *Adaptado de Apuntes Geotecnia IV – Colapso,* (Garcia et al, 2021).

2.1.1.1. Metodología y criterios. El suelo puede entenderse como una especie de estructura abierta, que en muchos casos resulta ser inestable y no siempre está completamente saturada. En su interior suele existir una tensión bastante alta que intenta mantenerse en equilibrio, aunque no siempre lo logra. A eso se suma que los granos del suelo se mantienen unidos gracias a cierta succión o a una especie de cementación natural que los ayuda a estar en contacto. Sin embargo, cuando esas condiciones cambian, sobre todo si entra más humedad de lo normal, esa estabilidad se rompe y se genera lo que se conoce como colapso del suelo, un proceso que puede suceder de manera repentina y con consecuencias serias en la estructura que se apoya sobre él. (Barden et al., 2019)

También se propone otro concepto en el que se entiende el colapso como una disminución rápida y notable del volumen de los suelos, un proceso que no ocurre por casualidad sino porque intervienen varios factores al mismo tiempo. Entre los más comunes están el contenido de humedad que pueda absorber el terreno, el grado de saturación al que llega, la tensión media que actúa sobre él, la tensión de corte que soporta y hasta la presión de los poros internos. Todos estos elementos combinados hacen que el suelo, que parecía estable en condiciones normales, de pronto se debilite y se reduzca de manera brusca, generando problemas serios en las construcciones que dependen de su resistencia. (Wiseman et al., 2021)

Otra manera corta de explicar qué son los suelos colapsables es que están formados por una estructura muy porosa, con una textura abierta que en apariencia puede resistir esfuerzos

importantes. Sin embargo, cuando llega a saturarse con agua o humedad excesiva, esa misma estructura interna se debilita de golpe y provoca una reducción rápida y notable de su volumen, generando lo que se conoce como colapso del suelo. (Moll, 2015)

Estos suelos se distinguen porque normalmente se encuentran en estado no saturado, pero cuando llegan a estar expuestos a procesos de saturación sufren un reajuste repentino de sus partículas internas. Ese cambio provoca una reducción exagerada en su volumen, incluso sin necesidad de que actúe una carga externa sobre ellos, lo que los hace particularmente problemáticos en obras de ingeniería. (Capdevilla, 2020)

2.1.1.2. Origen de suelos colapsables y causas del colapso. Los suelos colapsables se forman a partir de ciertos procesos tanto geológicos como geotécnicos que influyen directamente en cómo está compuesta y estructurada la tierra. Básicamente, este tipo de suelos aparecen por una serie de factores que se combinan y dan lugar a su comportamiento inestable. Entre las principales razones que explican el origen de estos suelos se pueden mencionar las siguientes:

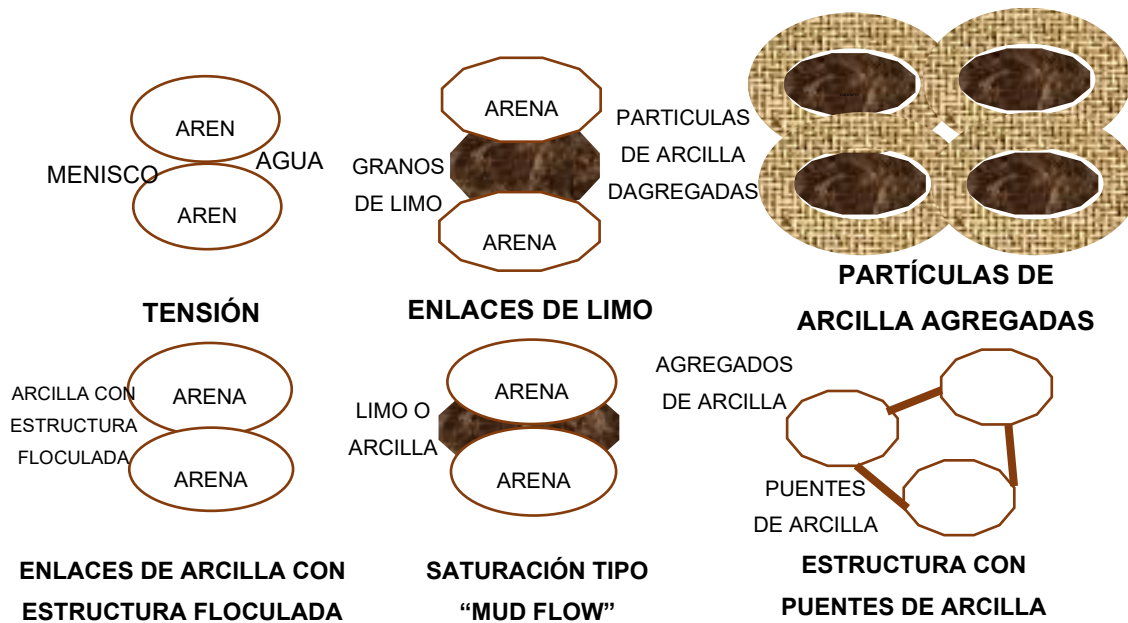
- Minerales expansivos
- Clima y condiciones de humedad
- Procesos de sedimentación
- Actividad biológica

En pocas palabras, los suelos colapsables se originan por la mezcla de distintos factores geológicos, climáticos e incluso biológicos, los cuales van modificando poco a poco su estructura y composición. Uno de los elementos más importantes es la presencia de minerales arcillosos que tienden a expandirse y contraerse, sumado a los cambios constantes en la humedad del terreno, ya sea por lluvias, infiltraciones o variaciones del nivel freático. Todo esto hace que estos suelos sean

más vulnerables a perder estabilidad y terminen presentando colapsos inesperados en ciertas condiciones. (Hernandez, 2020)

Figura 2

Análisis del origen de suelos expansivos y colapsables



Nota. En la figura se visualiza la evolución de las partículas de un suelo colapsable. Adaptada de *Suelos metaestables: suelos expansivos y colapsables, por* (Dudley, 2019).

2.1.1.3. Parámetros físicos para identificación de suelos colapsables. En cuanto a los primeros estudios sobre suelos colapsables, se reconoce que marcaron un antes y un después porque permitieron entender de manera más clara los mecanismos y propiedades de este tipo de suelos, además de dar bases para crear métodos de evaluación y estrategias para reducir los riesgos que generan. Uno de esos trabajos, por ejemplo, consistía en tomar una muestra de suelo sin alterar, conservando su humedad natural, colocándola en un anillo de consolidación de más o menos 5 cm de diámetro y 2 cm de altura. A esta muestra se le aplicaban cargas de manera escalonada hasta

llegar a una presión de 2 kg/cm²; después, se procedía a inundarla con agua hasta saturarla y se dejaba reposar para observar su comportamiento. Esta técnica fue clave porque permitió identificar cómo el suelo perdía volumen de forma repentina al entrar en contacto con el agua, confirmando su condición colapsable. (Jenning, 2021)

Determinándose las relaciones de vacíos antes y después de la saturación, e_1 y e_2 , calculando con ello el potencial de colapso C_p , respecto a la relación de vacíos inicial e_0 , con la siguiente ecuación (1):

Ecuación 1

Determinación de relación de vacíos antes y después de la saturación.

$$C_p = \Delta e = \frac{e_1 - e_2}{1 + e_0} \text{ o } \frac{\Delta H_c}{H_o} \text{ --- (1)}$$

Fuente: (Jenning, 2021)

Después de obtener el valor del potencial de colapso, los investigadores propusieron una tabla que ayuda a clasificar la severidad del problema en función a dicho valor. Esta propuesta, realizada por (Clemence et al., 2021), permite interpretar de manera práctica el grado de riesgo que representa el colapso del suelo en un proyecto de ingeniería.

Tabla 1

Relación de potencial del colapso y la severidad del problema.

Potencial de colapso C_p (%)	Severidad del Problema
0 – 1	Ningún problema
1 – 5	Problema moderado

5 – 10	Problema
10 – 20	Problema severo
> 20	Problema muy severo

Nota. La tabla clasifica el grado de severidad del problema de colapso de los suelos en función del porcentaje de colapsabilidad (Cp). Este criterio permite diferenciar entre suelos sin riesgo, con riesgo moderado, severo y muy severo, proporcionando un marco técnico para la evaluación de su impacto en estructuras y pavimentos. Adaptada de *Soil Mechanics in Engineering Practice*, por Terzaghi, Peck y Mesri, 1996, Wiley.

Por otro lado, este criterio también es considerado en el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), específicamente en la norma E.050 de suelos y cimentaciones, donde se establece claramente que no está permitido cimentar sobre terrenos que presenten un potencial de colapso mayor al 5%. Esto se debe a que un suelo colapsable, cuando posee una relación de vacíos lo bastante amplia como para que, al saturarse, su contenido de agua supere el límite líquido, se vuelve altamente vulnerable a un colapso repentino. Tal como señalan Holtz et al. (2021), este comportamiento representa un serio riesgo para la estabilidad de las estructuras si no se toman medidas preventivas adecuadas.

Entonces, para que ocurra el colapso, se debe cumplir la siguiente ecuación (2):

Ecuación 2

Porcentaje del contenido de agua (saturación).

$$W\% (\text{saturado}) \geq LL - - - (2)$$

Sin embargo, para suelos saturados la relación de vacíos es igual al contenido de humedad por el peso específico de los sólidos, como indica la fórmula (3):

Ecuación 3

Relación de vacíos

$$e = W\%G_s \text{ --- (3)}$$

Al juntar y combinar las expresiones matemáticas que se habían planteado antes, se logra construir una relación que refleja con mayor claridad cómo se comportan los suelos colapsables cuando se ven sometidos a ciertas condiciones de carga y humedad. Este proceso de deducción se vuelve un paso clave dentro del análisis geotécnico, ya que permite pasar de ideas teóricas a una formulación más práctica que puede aplicarse en cálculos de ingeniería real. Así, al integrar las ecuaciones mencionadas y tener en cuenta los parámetros más críticos que afectan la colapsabilidad, se arriba finalmente a la fórmula (4), la cual resume de forma sencilla pero precisa la influencia de esas variables en la respuesta de este tipo de suelos.

Ecuación 4

Relación de vacíos en función a sus límites.

$$e \geq LL G_s \text{ --- (4)}$$

Fuente: (Holtz et al., 2021).

Siendo el peso específico seco natural requerido para que ocurra el colapso la siguiente expresión (5):

Ecuación 5

Peso específico requerido.

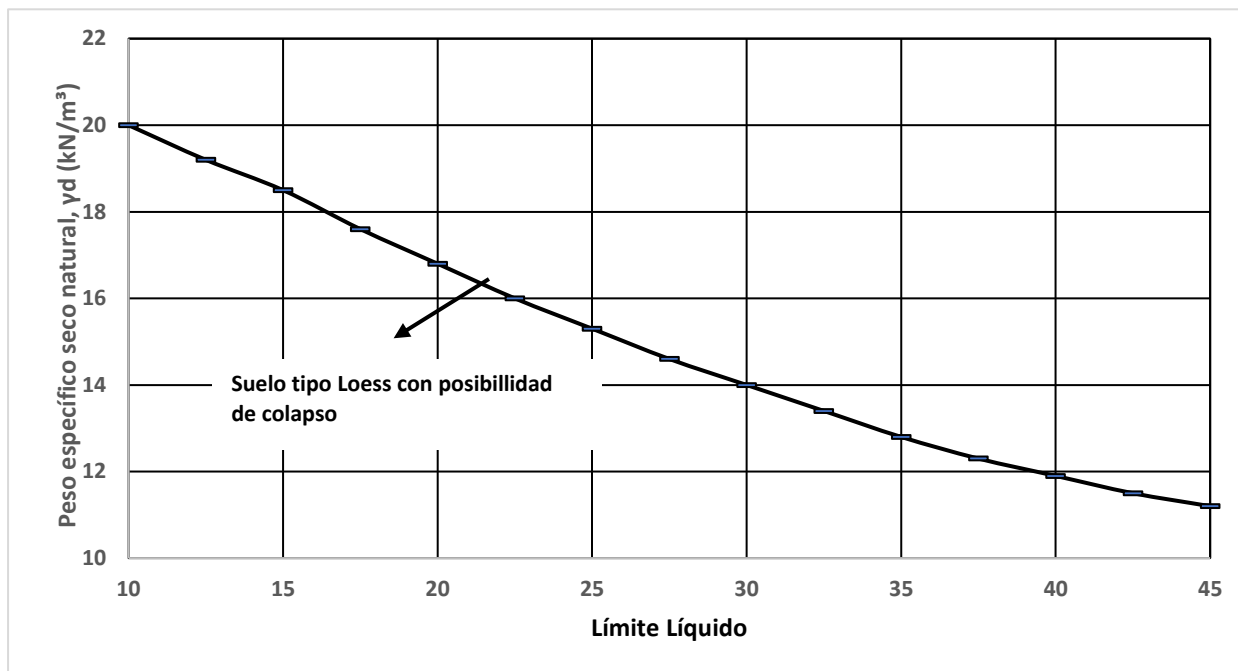
$$\gamma_{seco} \leq \frac{G_s \gamma_w}{1 + e_0} = \frac{G_s \gamma_w}{1 + LL G_s} \text{ --- (5)}$$

Fuente: (Holtz et al., 2021)

Cuando se considera un valor promedio del peso específico relativo de los sólidos (G_s) de 2.65, se puede calcular los límites del peso específico seco según distintos valores del límite líquido aplicando la ecuación propuesta. Este planteamiento no es solo un cálculo teórico, sino que se vuelve un criterio práctico para poder diferenciar suelos que son más susceptibles al colapso, ya que nos da un umbral de densidad seca: si el suelo está por debajo de ese límite, aumenta bastante la probabilidad de que colapse. En la figura que acompaña, se ve esta relación dibujada, y queda claro que los suelos cuya combinación de peso específico seco y límite líquido cae debajo de la línea de referencia son considerados como colapsables. Esto se entiende porque una densidad seca baja, con estructura interna más abierta y con mayor cantidad de vacíos, reduce mucho la estabilidad del suelo cuando llega a saturarse. En otras palabras, al colocar el punto representativo de un suelo en ese gráfico, se puede prever con bastante certeza si dicho suelo va a presentar un colapso volumétrico bajo ciertas condiciones de carga y humedad. En conclusión, esta relación no es algo aislado, sino que se convierte en una herramienta de mucha utilidad para los ingenieros geotécnicos, especialmente cuando tienen que diseñar o evaluar cimentaciones y pavimentos en zonas complicadas. (Holtz et al., 2021)

Figura 3

Posibilidad de colapso, peso específico natural vs límite líquido.



Nota. En la figura se visualiza la relación directamente proporcional entre el peso específico seco natural de un material y su límite líquido expresado en porcentaje. Adaptado de *Settlement of soil foundations due to saturation*, por (Holtz et al., 2021), *Proceedings of the 5th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*.

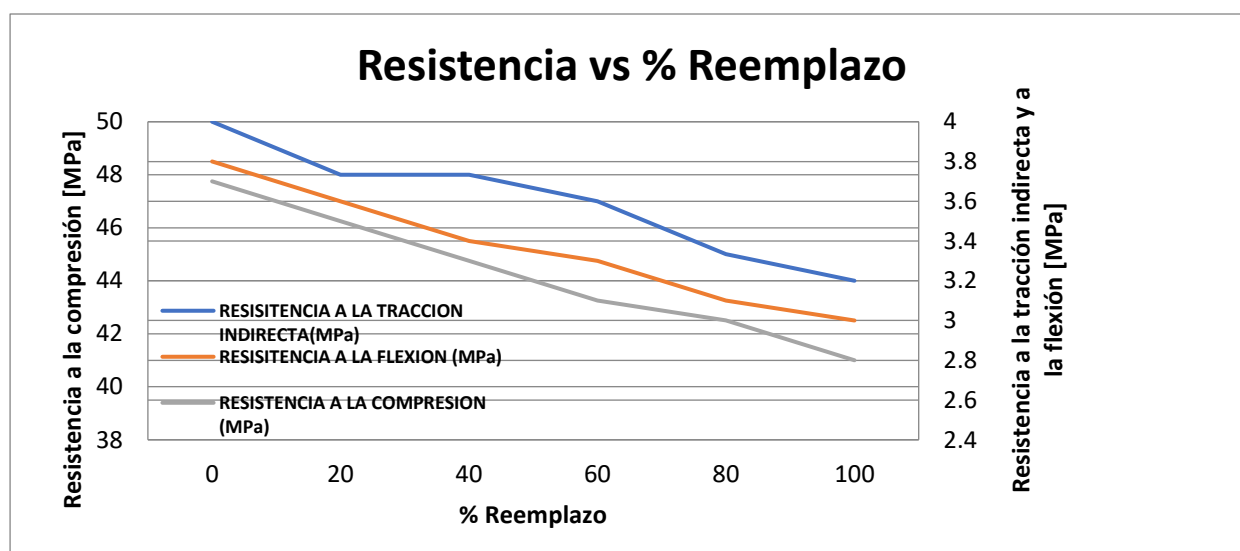
2.1.2. Dimensionamiento óptimo de concreto rodillado

2.1.2.1. Resistencia. La resistencia del concreto compactado con rodillo, conocido también como concreto rodillado o RCC (por sus siglas en inglés Roller Compacted Concrete), hace referencia a la capacidad que tiene este material para aguantar cargas importantes sin que aparezcan deformaciones permanentes o se generen fracturas que comprometan su estructura. Gracias a esa característica, resulta bastante apropiado para su uso en pavimentos de carreteras y

en vías urbanas con alto flujo vehicular. A diferencia del concreto tradicional, este se distingue porque su colocación y compactación se hace con rodillos, además de que presenta una relación agua-cemento más baja de lo común, lo que le otorga mayor densidad y, en consecuencia, una durabilidad superior. En cuanto a sus propiedades mecánicas, la resistencia a la compresión nos muestra cuánta carga puede soportar sin desmoronarse ni quebrarse, y esta se mide en megapascuales (MPa). (Inka, 2019)

Figura 4

Relación resistencia a la compresión vs porcentaje de reemplazo



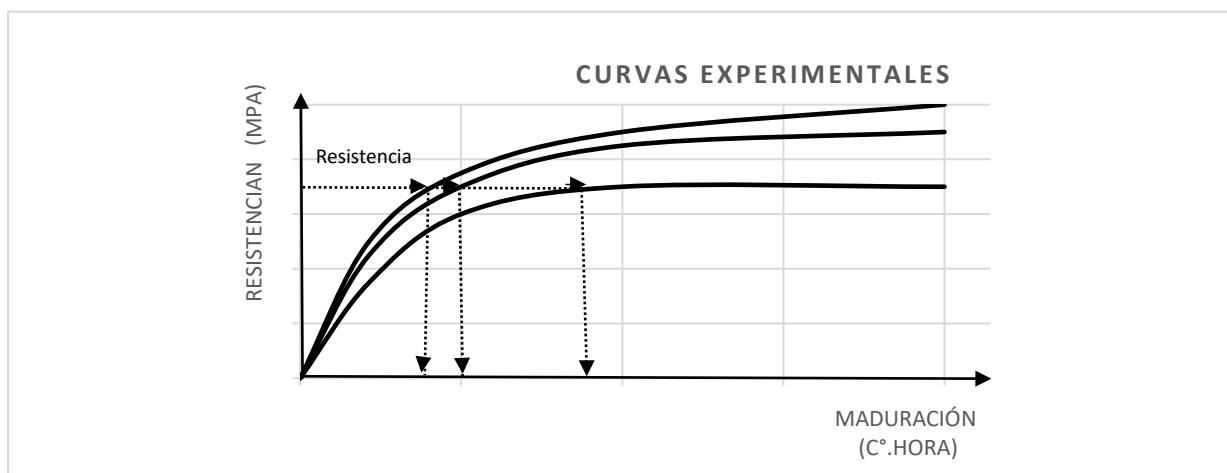
Nota. En la figura se visualiza la relación entre la resistencia a la compresión del concreto y el porcentaje de reemplazo de cada material. Tomado de *Settlement of soil foundations due to saturation*, (Holtz et al., 2021), *Proceedings of the 5th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*.

El concreto rodillado se ha ido convirtiendo en una alternativa bastante usada en obras de pavimentación, ya que logra combinar la resistencia y la durabilidad propias del concreto con una

colocación y compactación rápida, muy parecida al proceso que se emplea con el asfalto. Esto lo hace una opción bastante eficiente cuando se busca ahorrar tiempo y también reducir costos en la construcción. La resistencia que llega a alcanzar este tipo de concreto no es algo fijo, pues depende de varios factores: desde el tipo de agregado que se utilice en la mezcla, el diseño mismo de la dosificación, la técnica con la que se compacte y hasta el tiempo y condiciones en que se realice el curado. Todos estos aspectos en conjunto influyen directamente en la calidad final del material y, por lo tanto, en el rendimiento y la vida útil que tendrá el pavimento terminado. (MTC, 2014)

Figura 5

Resistencia a edades tempranas del hormigón



Nota. En la figura se interpreta que a mayor edad que obtiene el concreto, la resistencia requerida va aumentando de manera directamente proporcional. Tomado de *Settlement of soil foundations due to saturation*, (Holtz et al., 2021), *Proceedings of the 5th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*.

La resistencia del concreto rodillado no se mide al azar, sino que se evalúa a través de una serie de ensayos que siguen normas establecidas y que suelen hacerse en laboratorios

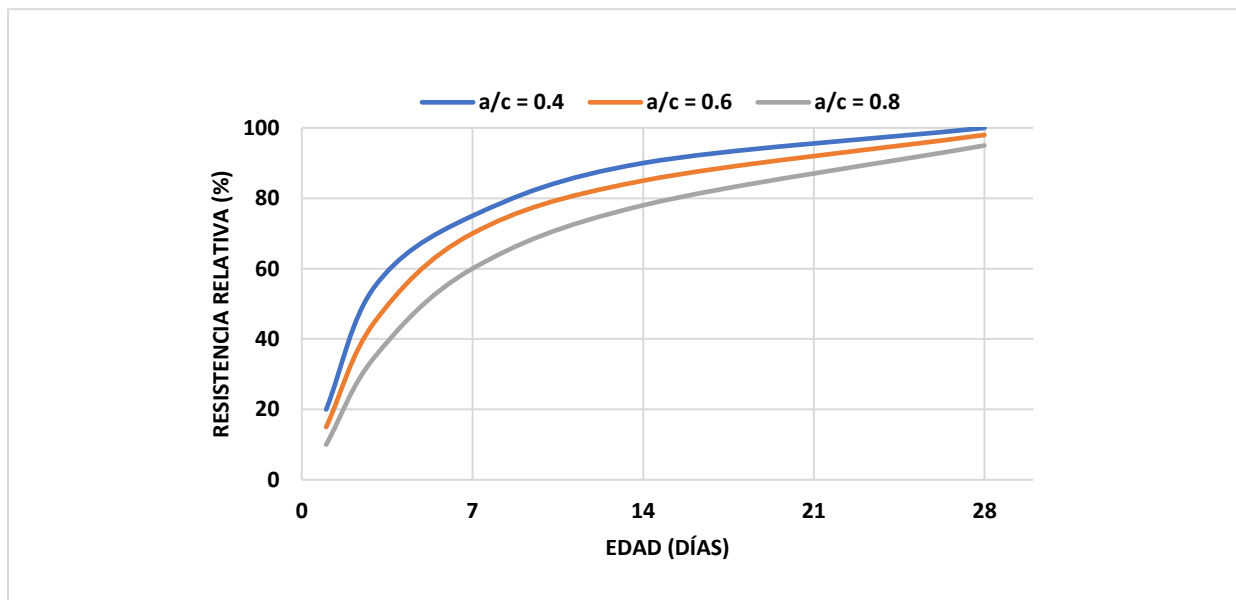
especializados, aunque en algunos casos también se realizan directamente en campo para tener una idea más real del comportamiento del material en el lugar donde va a estar colocado. La resistencia a la compresión, por ejemplo, se determina con pruebas en cilindros o cubos de concreto que se van sometiendo a cargas cada vez mayores hasta que se rompen, y ahí se mide la carga máxima que soportaron. Normalmente estos ensayos se hacen en diferentes etapas de maduración, como a los 7, 14 y 28 días, porque el concreto no adquiere toda su resistencia de golpe, sino que va desarrollándola con el tiempo. Las probetas que se usan para estas pruebas se preparan con la misma mezcla y proceso de compactación que se emplea en el pavimento real, así los resultados reflejan mejor lo que pasará en la obra. Para la resistencia a la flexión se utiliza otro tipo de prueba, conocida como el ensayo de viga, donde una muestra alargada de concreto se carga en el centro hasta que se parte. Este último es muy importante porque permite medir qué tan bien soporta el concreto las tensiones de tracción, esas que suelen generar fisuras en la superficie y con el tiempo provocar deterioros en el pavimento. (Concrelab, 2023)

También, aparte de las pruebas más comunes, se hacen ensayos adicionales que ayudan a entender mejor la durabilidad del concreto rodillado. Entre ellos están las pruebas de resistencia a la abrasión, que sirven para saber cuánto desgaste puede soportar el pavimento con el paso constante de los vehículos, y los ensayos de ciclos de congelación y descongelación, que resultan claves en zonas frías porque el material puede fracturarse con esos cambios bruscos de temperatura. Otro punto que se analiza es cómo el concreto se comporta frente a agentes químicos presentes en el ambiente, como sales o sustancias contaminantes, que a la larga también afectan su vida útil. Todo esto no se hace por gusto, ya que estos ensayos permiten asegurar que el pavimento no solo cumpla con la función estructural, sino que también mantenga sus características con el tiempo en condiciones reales de servicio. Además, la información que se obtiene es útil para

mejorar el proceso de compactación y verificar que se logre la densidad adecuada, porque de ese detalle depende en gran parte que el concreto tenga la resistencia y la durabilidad que se espera en la práctica. (Campos, 2024)

Figura 6

Relación entre la resistencia relativa del concreto en función a la edad de días del ensayo



Nota: En la figura se observa el gráfico de la relación entre resistencia y los días que presenta. Tomado de “*Medida del desempeño real del concreto*”, (Vidaud, 2016), *Ingeniería*.

La resistencia del concreto rodillado tiene un papel clave porque de ella depende que el pavimento dure más tiempo y requiera menos mantenimiento, lo que al final se traduce en carreteras más seguras y también más económicas. En las ciudades, las vías están constantemente sometidas al paso de vehículos, a cambios bruscos de temperatura e incluso a filtraciones de agua que pueden dañar la base de la estructura. Si el concreto rodillado tiene buena resistencia, se logra mantener la estabilidad de la vía, evitando que se desgaste rápidamente y reduciendo la necesidad de estar haciendo reparaciones frecuentes. Eso no solo alarga la vida útil del pavimento, sino que

también ayuda a disminuir los gastos y las molestias que generan los arreglos en el tráfico diario. En pocas palabras, contar con un concreto rodillado resistente no es solo un tema técnico, sino también económico y social, porque asegura calles más duraderas, con menos interrupciones y con un mejor aprovechamiento de la inversión en infraestructura. (MTC, 2014)

2.1.2.2. Elasticidad. La elasticidad del RCC se refiere a su capacidad para deformarse bajo cargas aplicadas y regresar a su forma original una vez que se elimina la carga. (MTC, 2014)

La elasticidad del concreto rodillado (RCC) básicamente se entiende como la capacidad que tiene este material para deformarse cuando recibe una carga y luego volver a su estado inicial cuando dicha carga se retira. Esta característica es bien importante porque el RCC suele usarse en pavimentos que tienen que aguantar bastante peso y condiciones algo duras, como el paso constante de vehículos pesados o los cambios de temperatura. El grado de elasticidad se mide con lo que se llama “módulo de elasticidad”, que no es otra cosa que la relación entre el esfuerzo que se le aplica y la deformación que sufre. Si el módulo es alto, significa que el concreto es más rígido y no se deforma tanto, lo cual es beneficioso para los pavimentos que necesitan resistir deformaciones. En el caso del concreto compactado con rodillo, esa elasticidad suele ser un poco más baja que la del concreto común, y esto se debe principalmente a que se trabaja con una compactación en seco y una relación agua-cemento más baja. Eso hace que la mezcla resulte más densa y fuerte, pero a la vez un poco menos flexible. Por eso, lo ideal es encontrar un equilibrio entre la rigidez y la elasticidad, ya que si el concreto resulta demasiado rígido puede terminar fisurándose con el tiempo por las tensiones internas que se acumulan en el pavimento.

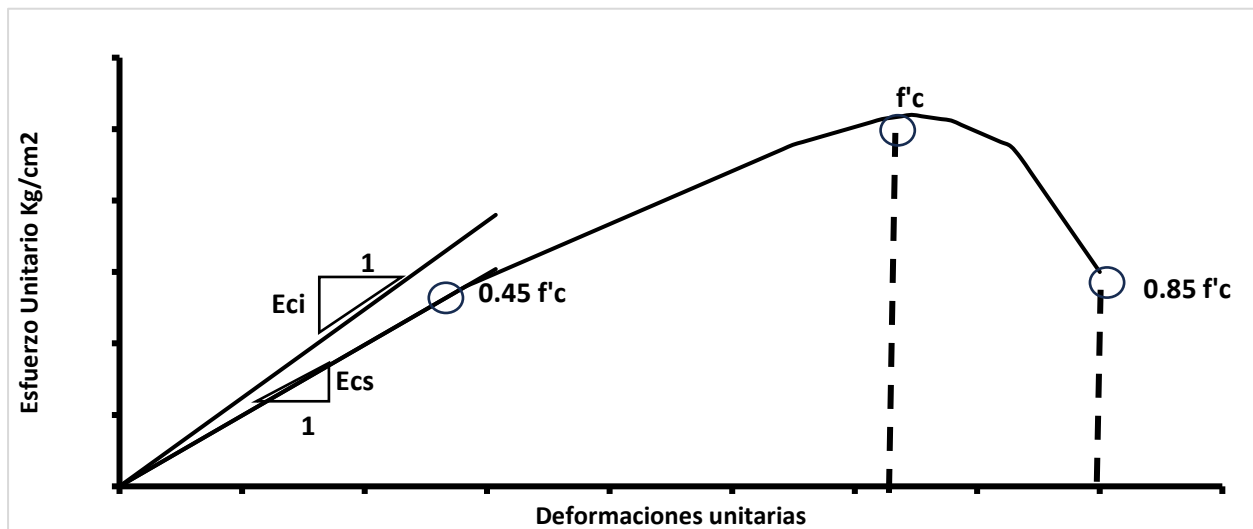
Además, varios estudios coinciden en que la elasticidad del concreto rodillado no está determinada solo por la relación agua-cemento ni por qué tan bien se compacte la mezcla. También

influyen otros factores como la granulometría de los agregados, la calidad de la pasta de cemento y hasta las condiciones de curado. Cuando la granulometría está bien graduada, el material logra distribuir mejor los esfuerzos y se evita que las tensiones se concentren en puntos específicos que luego pueden generar micro fisuras. En cambio, si el proceso de curado es deficiente, el concreto pierde parte de su capacidad de recuperar su forma después de estar sometido a cargas continuas.

De acuerdo con lo que menciona Neville (2011), el módulo de elasticidad del concreto puede ubicarse en un rango bastante amplio, entre 20 y 40 GPa, dependiendo de la composición de la mezcla y de cómo se lleve a cabo el proceso constructivo. Esto confirma que no basta con asumir valores teóricos, sino que resulta clave evaluar y caracterizar con precisión esta propiedad en el caso del RCC. En definitiva, entender bien cómo se comporta la elasticidad en este tipo de concreto es esencial si se quiere asegurar que los pavimentos urbanos hechos con RCC tengan un buen desempeño frente al tráfico pesado.

Figura 7

Módulo de elasticidad en el concreto



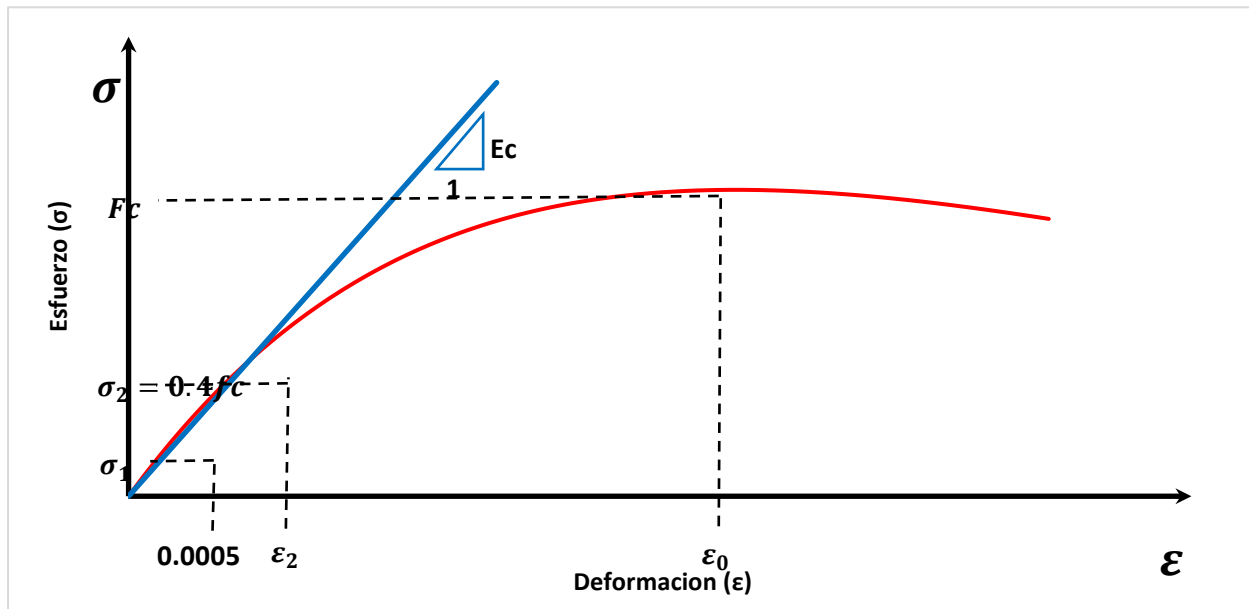
Nota. En la figura se interpreta que las deformaciones unitarias a las que será sometido el concreto aumentan en función al esfuerzo unitario hasta alcanzar la resistencia requerida, y posteriormente disminuyen. Adaptada de *Properties of Concrete*, por Neville, 2011.

La elasticidad del concreto compactado con rodillo suele evaluarse mediante el conocido ensayo de módulo de elasticidad. Para ello, se utilizan probetas cilíndricas a las que se les aplica una carga de manera controlada hasta que alcanzan cierto nivel de deformación. Con este procedimiento se obtiene el llamado módulo de elasticidad estático, que básicamente indica qué tan rígido es el material cuando se encuentra sometido a cargas específicas en condiciones de laboratorio. En algunos casos, además de la prueba estática, se aplican ensayos con cargas cíclicas, donde el cilindro de concreto es sometido a esfuerzos repetidos de manera continua, tratando de simular lo que pasaría en la realidad con el tránsito de vehículos pesados. Esta parte del análisis es muy útil porque permite ver hasta qué punto el concreto es capaz de recuperar su forma y cuál es su comportamiento frente a cargas constantes que se repiten con el tiempo.

Los resultados que se obtienen en este tipo de pruebas no solo sirven para verificar si el concreto cumple con las exigencias mínimas de elasticidad para usarse en pavimentos, sino que también dan pautas para hacer ajustes en la mezcla. De esta forma, se puede mejorar la respuesta del RCC frente a cargas sin que su estructura interna se vea debilitada o más propensa a fallar. (MTC, 2014)

Figura 8

Cálculo del módulo de elasticidad del concreto



Nota. En la figura se aprecia la variación del módulo de elasticidad del concreto en función del aumento de su resistencia a la compresión. Adaptada de *Guide for Roller-Compacted Concrete Pavements*, por ACI, 2010.

La elasticidad del concreto compactado con rodillo juega un papel clave dentro del diseño de los pavimentos, porque es la que marca hasta qué punto el material puede adaptarse a las cargas y movimientos sin terminar rompiéndose o quedando dañado. Cuando el RCC tiene una elasticidad adecuada, el pavimento puede absorber parte de los esfuerzos sin deformarse de forma permanente, lo cual resulta indispensable sobre todo en zonas de alto tránsito, donde pasan vehículos pesados, se producen frenadas constantes y además existen cambios bruscos de temperatura. Contar con una elasticidad apropiada también significa menos problemas de fisuras en la superficie, algo que a la larga ayuda a bajar los costos de mantenimiento y hace que la vía dure mucho más tiempo sin

necesidad de reparaciones constantes. En ese sentido, la elasticidad se convierte en una especie de “colchón” que evita que el concreto se vuelva demasiado frágil frente a las tensiones repetitivas que sufre en el día a día.

Este aspecto cobra todavía más relevancia en climas cambiantes, ya que el concreto tiende a expandirse y contraerse por la acción de la temperatura. Si el material no tiene suficiente elasticidad, esas dilataciones y contracciones generan tensiones internas que terminan abriendo grietas. Pero si el RCC cuenta con un nivel adecuado de elasticidad, soporta mejor esas variaciones, se agrieta menos y en consecuencia puede ofrecer un mejor desempeño con menos reparaciones a corto plazo. (Ruiz, 2017)

Dentro de la infraestructura vial, la elasticidad del concreto compactado con rodillo tiene un papel muy importante porque ayuda a darle más estabilidad a la estructura y, al mismo tiempo, mayor seguridad a quienes usan las vías. Cuando el pavimento tiene un nivel de elasticidad equilibrado, puede disipar las cargas que recibe sin llegar a comprometer su integridad, algo fundamental en carreteras o calles donde el tráfico es constante y pesado. Gracias a esa capacidad, el concreto no se rompe tan fácil ni genera fallos prematuros que luego son costosos de reparar. Otra ventaja es que esta propiedad le da al pavimento la posibilidad de adaptarse a pequeñas deformaciones en la subbase, lo cual permite que las cargas se distribuyan de manera más pareja y se evite el famoso asentamiento diferencial, que suele ser uno de los problemas típicos en pavimentos rígidos. En otras palabras, la elasticidad actúa como un “ajuste interno” que equilibra las tensiones y evita que la estructura se dañe por puntos localizados de presión.

En conjunto, toda esta capacidad hace que el RCC ofrezca una mayor resiliencia frente al paso de vehículos pesados y a los cambios que trae el clima, desde calor extremo hasta lluvias

intensas. Así, se logra que las carreteras o calles hechas con este material duren más tiempo, sean más seguras para los usuarios y, al final, representen un ahorro económico tanto en mantenimiento como en inversión a lo largo de su vida útil. (MTC, 2014)

2.2. Glosario de términos

2.2.1. Consistencia

La consistencia del suelo básicamente se refiere al nivel de firmeza o resistencia que este presenta cuando cambia su contenido de humedad. Es un parámetro clave porque permite identificar si un suelo puede comportarse de manera estable, plástica o incluso como un material casi líquido bajo ciertas condiciones. En los estudios más recientes se sigue resaltando que medir los límites de consistencia es la base para clasificar suelos finos y predecir cómo van a reaccionar frente al agua y las cargas, algo muy importante en proyectos viales. De hecho, se ha visto que cuando un suelo tiene una consistencia baja es mucho más vulnerable al deterioro estructural, mientras que uno con una consistencia más firme da mayor seguridad a la subrasante y contribuye a que el pavimento tenga un mejor desempeño. (Chen et al., 2021)

2.2.2. Limite liquido

El límite líquido básicamente es la cantidad de humedad a partir de la cual un suelo deja de comportarse como una masa plástica y pasa a tener un estado casi líquido. Este valor se expresa en porcentaje con respecto a la masa seca del suelo y normalmente se obtiene en laboratorio usando equipos específicos que ya están estandarizados. En los últimos años varios investigadores han tratado de afinar más la precisión de este parámetro, porque influye de manera directa en el diseño de pavimentos y cimentaciones, sobre todo cuando se trabaja con suelos de tipo arcilloso. Cuando el porcentaje del límite líquido es más alto, el suelo suele ser más débil y compresible, lo cual

representa un riesgo bastante serio cuando se busca usarlo como soporte de losas rígidas. (Ramaiah et al., 2022)

2.2.3. Densidad

La densidad se entiende como la relación que existe entre la masa sólida de un suelo y el volumen total que ocupa. Este parámetro resulta clave porque da una idea de cuán compacto y estable puede ser un terreno cuando recibe cargas externas. En el caso de las obras viales, controlar la densidad es esencial para comprobar si la compactación lograda en la subrasante o en las capas de apoyo realmente va a garantizar un soporte estructural adecuado. Investigaciones más recientes muestran que los suelos con una densidad seca más alta responden mucho mejor frente a cargas repetitivas, deformándose menos y prolongando la vida útil de los pavimentos, lo que finalmente se traduce en menor necesidad de reparaciones y mayor durabilidad de la vía. (Zhou et al., 2020)

2.2.4. Humedad

La humedad en un suelo hace referencia a la cantidad de agua que contiene en comparación con su peso seco. Este aspecto influye de manera directa en varias de sus propiedades, como la resistencia, la deformabilidad y también la compresibilidad. En el caso de los pavimentos rígidos, controlar la humedad es clave, ya que si el suelo tiene demasiada agua pierde capacidad de soporte, y si por el contrario está demasiado seco, resulta difícil lograr una compactación adecuada. Estudios recientes señalan que los cambios en el contenido de humedad modifican el módulo resiliente del suelo y terminan afectando la durabilidad de las subrasantes que deben soportar cargas repetitivas del tránsito. (Liu et al., 2020)

2.2.5. Resistencia

La resistencia de un suelo básicamente refleja qué tanta capacidad tiene para aguantar esfuerzos sin que se deforme demasiado. En el caso del diseño de pavimentos rígidos, esta se mide a través del llamado módulo de reacción, que viene a ser como un indicador de cómo trabaja la losa junto con el suelo que la sostiene. Cuando la resistencia no es suficiente, aumenta el riesgo de que aparezcan grietas y fallas prematuras en la estructura. En los últimos años, varias investigaciones han ido afinando la manera de calcular ese módulo de reacción, con la idea de lograr diseños más acertados y predecir mejor el comportamiento del pavimento a lo largo del tiempo. (Arora et al., 2021)

2.2.6. Elasticidad

La elasticidad en el concreto hace referencia a la capacidad que tiene este material para deformarse cuando recibe una carga y luego volver a su forma original una vez que esa carga se retira, siempre y cuando no se pase el límite elástico. Esta propiedad se mide a través del módulo de elasticidad, el cual indica qué tan rígida es la losa y cómo responde ante el paso constante de vehículos pesados. Investigaciones recientes destacan que los cambios en este módulo influyen de manera directa en cómo se distribuyen los esfuerzos dentro del pavimento y en la posible aparición de grietas a lo largo de su vida útil. (Wang et al., 2022)

2.2.7. Espesor

El espesor del concreto rodillado se entiende como la medida que determina la capacidad de la losa para repartir las cargas hacia la subrasante y así evitar daños prematuros. Mientras mayor sea el espesor, más se prolonga la vida útil del pavimento, aunque también es cierto que esto implica un aumento en los costos de construcción. Por eso, definir un espesor adecuado resulta

clave para mantener un equilibrio entre el rendimiento estructural y la parte económica del proyecto. Investigaciones recientes muestran que incluso pequeñas variaciones en el espesor pueden influir de manera directa en la fatiga del concreto y en la resistencia del pavimento frente a tráfico pesado, lo que confirma la importancia de este parámetro en el diseño vial. (Zhu et al., 2020)

2.2.8. *Densidad natural seca*

La densidad natural seca de un suelo se obtiene al retirar toda el agua de la muestra y calcular la relación entre la masa seca y el volumen total que ocupa. Este parámetro se utiliza mucho como un control de calidad, tanto en campo como en laboratorio, ya que permite comparar si la compactación lograda realmente corresponde con lo que se había previsto en el diseño. Cuando la densidad es baja suele significar que el suelo tiene demasiada porosidad y, por lo mismo, poca resistencia. En cambio, una densidad más alta refleja un mejor comportamiento mecánico del terreno. Investigaciones más recientes han resaltado que este indicador resulta clave para anticipar posibles asentamientos y también para ajustar los modelos de carga repetida en pavimentos rígidos, que dependen mucho de la respuesta real del suelo. (Tang et al., 2021)

2.2.9. *Contenido de humedad*

El contenido de humedad de un suelo normalmente se expresa como un porcentaje, y se obtiene al comparar cuánta agua tiene con respecto a la masa seca del mismo suelo. En la práctica, cuando se está en campo, este valor se calcula usando métodos gravimétricos tradicionales o, en algunos casos, aparatos electrónicos que facilitan la medición. Este dato es muy importante porque sirve como parámetro de control para verificar que el terreno se compacte bajo condiciones adecuadas. Si el suelo se compacta con demasiada o muy poca agua, se corre el riesgo de perder

bastante resistencia y que con el tiempo aparezcan deformaciones acumuladas en la estructura del pavimento. Investigaciones recientes confirman justamente eso: salirse del rango de humedad óptima puede afectar de manera directa el desempeño y la durabilidad de la vía. (Wang et al., 2021)

2.2.10. Módulo de reacción

El módulo de reacción, también conocido como coeficiente de balasto, es un parámetro que básicamente mide la relación entre la presión que se le aplica al terreno y la deformación vertical que este presenta. En cálculos se suele representar con la constante “k” y se utiliza dentro de modelos como el de fundación tipo Winkler, que es bastante usado en el diseño de losas de pavimentos rígidos. Este valor no depende solo del suelo, sino también de las características de la losa que lo recubre, por lo que su análisis siempre debe hacerse en conjunto. Investigaciones más recientes han resaltado que si se considera la variabilidad espacial del módulo de reacción, se logran diseños más cercanos a la realidad y que además prolongan la vida útil de los pavimentos, haciéndolos más resistentes frente a condiciones cambiantes. (Xie et al., 2020)

2.2.11. Módulo de elasticidad del concreto

El módulo de elasticidad del concreto refleja básicamente la rigidez inicial del material, es decir, la pendiente que se forma al inicio de la curva tensión–deformación. En el diseño de pavimentos rígidos, este parámetro es clave porque permite estimar las deflexiones que sufrirá la losa y ayuda a prevenir la aparición temprana de grietas. Estudios recientes destacan que este valor no es totalmente constante y que su variabilidad debería incluirse en modelos probabilísticos de comportamiento del pavimento, ya que influye directamente en la confiabilidad del diseño y en la seguridad estructural a largo plazo. (Sun et al., 2021)

2.2.12. Espesor del concreto

Este parámetro se refiere al espesor de la losa, medido en centímetros, y representa un elemento fundamental en los cálculos de diseño estructural de pavimentos. Cuando el espesor es demasiado bajo, el pavimento es más propenso a sufrir agrietamientos, bombeo y otros fallos prematuros; por otro lado, un espesor excesivo aumenta los costos sin aportar ventajas significativas en el desempeño. Estudios recientes indican que dimensionar correctamente el espesor, considerando módulos de reacción más realistas del suelo, permite construir pavimentos más resistentes, duraderos y con un uso más eficiente de los recursos. (Kim et al., 2021)

III. MÉTODO

3.1. Tipo de investigación

Se trata de investigación aplicada, ya que parte de los conocimientos obtenidos en investigaciones básicas o fundamentales en ciencias fácticas o formales para plantear problemas y generar hipótesis que permitan dar soluciones a situaciones concretas de la vida productiva de la sociedad.

En este caso, se busca resolver un problema práctico y específico: optimizar el dimensionamiento del concreto rodillado sobre suelos colapsables en el Valle del Mantaro. Los resultados obtenidos no solo aportan conocimiento teórico, sino que se aplican directamente en el diseño y la construcción de infraestructuras viales, mejorando su durabilidad y seguridad. (Nicomedes et al., 2018)

En el presente plan de tesis, se presenta una investigación de **tipo aplicativo**.

3.1.1. Método de investigación

El método de investigación se utiliza principalmente para generar conocimiento en las ciencias. Para que un procedimiento sea considerado científico, debe apoyarse en la observación empírica y la medición, siguiendo principios claros de razonamiento y verificación.

Este enfoque implica plantear hipótesis a partir de la observación de problemas o fallas, como las que se presentan en pavimentos, y luego someterlas a experimentación mediante ensayos de suelos y concreto. Los datos recogidos se analizan de manera numérica para confirmar o rechazar la hipótesis inicial, lo que permite obtener conclusiones sólidas y aplicables, asegurando un proceso ordenado, sistemático y replicable. (Hernández et al., 2020)

Según estas consideraciones en la presente investigación se aplicará el método **científico**.

3.1.2. Nivel de investigación

La investigación correlacional es un tipo de estudio que busca comprender y analizar la relación que existe entre dos o más variables, sin que intervenga ninguna variable externa que pueda alterar los resultados.

En este caso, se pretende conocer cómo el comportamiento de los suelos colapsables afecta las propiedades del concreto rodillado, identificando si hay una relación significativa entre ambos factores. Este enfoque no busca modificar las variables, sino medirlas tal como se presentan y estudiar cómo interactúan, con el fin de entender la intensidad y dirección de su relación. (Sánchez et al., 2020)

Bajo estas observaciones la investigación corresponde al **nivel correlacional**.

3.1.3. Diseño de investigación

El diseño de investigación se entiende como el plan o la estrategia que permite comprobar la hipótesis planteada dentro de un contexto específico del estudio.

En este caso, se llevarán a cabo ensayos de laboratorio y pruebas directamente en el campo para observar cómo distintas condiciones de humedad y carga influyen en el comportamiento de los suelos colapsables y, al mismo tiempo, en la resistencia y durabilidad del concreto rodillado. Al plantear un diseño experimental, se busca obtener datos cuantitativos que ayuden a establecer relaciones de causa y efecto, además de evaluar cómo responde el concreto bajo diferentes situaciones, asegurando que los resultados sean confiables y válidos. (Hernández et al., 2020)

Basados en estos criterios la actual investigación a emplear será un **diseño experimental**.

3.2. Población y muestra

3.1.4. Población

Sobre la población Hernández et al. (2020) sostiene que “Una población es el conjunto de todos los casos que concuerdan con una serie de especificaciones” (p. 65). Es la totalidad del fenómeno a estudiar, donde las entidades de la población poseen una característica común la cual se estudia y da origen a los datos de la investigación.

La presente investigación tiene como población a las vías urbanas con presencia de colapso de suelos en Huancayo, las cuales, se indican en la siguiente Tabla:

Tabla 2

Relación de Vías urbanas con presencia de colapso de suelos en Huancayo.

Nombre de la Vía	Tramo
Av. José Carlos Mariátegui	Av. Ferrocarril hasta Av. Circunvalación
Av. San Carlos	Jr. San Judas Tadeo hasta Jr. Santa Cecilia
Av. Progreso	Av. Ferrocarril hasta Av. Mariscal Castilla
Av. Ferrocarril	Av. Evitamiento hasta Av. Circunvalación
Av. Jacinto Ibarra	Av. Leoncio Prado hasta Av. Próceres
Av. Huancavelica	Av. Cantuta hasta Av. Evitamiento
Av. Coronel Santibáñez	Jr. Gálvez hasta Jr. San Agustín
Av. Circunvalación	Av. Giráldez hasta Av. Ocopilla

Av. Independencia	Av. Mantaro hasta Av. Huancavelica
Av. Cantuta	Av. Huancavelica hasta Av. Mariscal Castilla

Nota. La tabla presenta la delimitación de la población de estudio, conformada por diferentes tramos de vías urbanas seleccionadas en la ciudad de Huancayo, las cuales fueron consideradas representativas para el análisis del potencial de colapso de suelos y el dimensionamiento del concreto rodillado. *Elaboración propia (2025).*

3.1.5. Muestra

Para el proceso cuantitativo, la muestra es un subgrupo de la población de interés sobre el cual se recolectarán datos, y que tiene que definirse y delimitarse de antemano con precisión, además de que debe ser representativo de la población. (Hernández et al., 2020)

La muestra, en este estudio es de tipo no probabilística y seleccionada a conveniencia, mediante muestreo intencionado, considerando tres tramos representativos: Av. Ferrocarril (Tramo: Av. Evitamiento - Av. Circunvalación), Av. Huancavelica (Tramo: Av. Evitamiento – Av. Cantuta) y Av. Mariátegui (Tramo: Av. Ferrocarril – Av. Circunvalación).

Tabla 3

Relación de Vías tomadas como muestra para la investigación.

Nombre de la Vía	Tramo
Av. Ferrocarril	Av. Evitamiento hasta Av. Circunvalación
Av. Huancavelica	Av. Cantuta hasta Av. Evitamiento
Av. José Carlos Mariátegui	Av. Ferrocarril hasta Av. Circunvalación

Nota. La tabla muestra la delimitación de la muestra seleccionada para la investigación, conformada por tres tramos específicos de vías urbanas de Huancayo. Estos tramos fueron elegidos por presentar suelos con potencial de colapso significativo y por ser representativos para evaluar el comportamiento del concreto compactado con rodillo en condiciones reales de servicio. *Elaboración propia (2025).*

3.3. Operacionalización de variables

3.1.6. Definición conceptual de las variables

Variable Independiente (X): Potencial de colapso de suelos. Los suelos colapsables son aquellos que, cuando se les aplica carga o se incrementa su humedad, tienden a disminuir su volumen de manera brusca, provocando asentamientos rápidos y fuertes en las construcciones que descansan sobre ellos. Por lo general, se trata de suelos con poca cohesión y con una estructura interna débil, que se desestabiliza fácilmente al modificarse sus condiciones originales. (Redolfi, 2007)

Variable Dependiente (Y): Dimensionamiento Óptimo del Concreto Rodillado. Según el ACI, el dimensionamiento adecuado del concreto compactado con rodillo consiste en definir el espesor y las características mecánicas del concreto necesarias para que el pavimento soporte de manera eficiente las cargas del tráfico y las condiciones ambientales. Este proceso busca optimizar la durabilidad y el rendimiento del pavimento, al mismo tiempo que se reducen los costos tanto de construcción inicial como de mantenimiento a lo largo del tiempo. (ACI, 2020)

3.1.7. Definición operacional de variables

Variable Independiente (X): Potencial de colapso de suelos. El análisis del potencial de colapso de los suelos se realiza considerando ensayos de resistencia, densidad y contenido de

humedad del concreto rodillado, los cuales deben estar planificados para recolectar la información de manera ordenada y sistemática. Para ello, se emplean fichas de registro que incluyen secciones claras para identificar cada muestra, detallando datos como el número de lote, la fecha de realización del ensayo y el tipo de material utilizado. Asimismo, en estas fichas se anotan las mediciones obtenidas durante las pruebas, como la resistencia a la compresión expresada en mega pascales, la densidad en kilogramos por metro cúbico y el porcentaje de humedad del material.

Variable Dependiente (Y): Dimensionamiento Óptimo del Concreto Rodillado. Para el dimensionamiento del concreto rodillado, es necesario realizar ensayos de resistencia, elasticidad y medición del espesor, los cuales deben estar organizados mediante fichas de registro que identifiquen claramente cada muestra, indicando datos como el número de lote y la fecha de realización. Cada ficha debe incluir una descripción del ensayo efectuado y el método empleado, así como los resultados cuantitativos obtenidos, tales como la resistencia a la compresión, el módulo de elasticidad y el espesor del concreto. Además, es importante registrar las condiciones bajo las cuales se realizaron las pruebas, como la temperatura y la humedad del ambiente, y dejar un espacio destinado a observaciones relevantes del operador, que puedan aportar información adicional sobre la ejecución de los ensayos o posibles anomalías detectadas.

Tabla 4

Operacionalización de variables: INFLUENCIA DEL POTENCIAL DE COLAPSO DE SUELOS EN EL DIMENSIONAMIENTO ÓPTIMO DEL CONCRETO RODILLADO EN VÍAS URBANAS DE HUANCAYO – 2025

VARIABLES	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTO	ESCALA
1: Variable Independiente Potencial de colapso de suelos	El potencial de colapso de suelos se presenta en aquellos suelos que, bajo condiciones de carga externa o aumento en su contenido de humedad, sufren una reducción significativa de volumen, ocasionando asentamientos repentinos y severos en estructuras apoyadas sobre ellos. Estos suelos, generalmente de baja cohesión, tienen una estructura interna inestable que colapsa al cambiar sus condiciones iniciales (Redolfi, 2007).	La variable VI 1:	Consistencia	% de Límite líquido	Ensayo en laboratorio	Intervalo
		El potencial de colapso de suelos se analiza mediante los ensayos de resistencia, densidad y humedad del concreto rodillado deberán estar diseñadas para recopilar datos de manera sistemática y organizada. Cada ficha incluirá secciones claramente definidas para la identificación de la muestra, que contendrá información como el número de lote.	Densidad	Densidad natural seca (gr/cc)	Ensayo en laboratorio	Intervalo
			Humedad	(gr/cc) Densidad natural seca	Ensayo en laboratorio	Intervalo
2: Variable Dependiente Dimensionamiento óptimo del concreto rodillado	El dimensionamiento óptimo del concreto compactado con rodillo implica el proceso de determinar el espesor y las propiedades mecánicas necesarias del concreto para garantizar una resistencia adecuada a las cargas de tráfico y a las condiciones ambientales, optimizando la durabilidad y el desempeño del pavimento, minimizando tanto los costos iniciales de construcción como los de mantenimiento (ACI, 2020).	La variable VD 2:	Resistencia	(kg/cc) Módulo de reacción	Ensayo en laboratorio Fichas de laboratorio	Intervalo Intervalo
		El dimensionamiento del concreto requiere los ensayos de resistencia, elasticidad y espesor del concreto se desarrollará mediante el instrumento de fichas de recolección de datos, las cuales incluirán la identificación de la muestra con detalles como número y fecha, una descripción del ensayo realizado y el método utilizado, así como resultados cuantitativos específicos.	Elasticidad	(kg/cc) Módulo de elasticidad del concreto	Ensayo en laboratorio Fichas de laboratorio	Intervalo Intervalo
			Espesor	(cm.) Espesor de concreto rodillado	Ensayo en laboratorio Fichas de laboratorio	Intervalo

Nota. La tabla presenta la definición conceptual y operacional de las variables de investigación. *Elaboración propia (2025)*

3.4. Instrumentos

Se considera como instrumento de recolección de datos a cualquier recurso, dispositivo o formato, utilizado o requerido para obtener, registrar o almacenar información. (Castillo, 2021)

En el desarrollo de esta investigación se utilizarán fichas de registro de datos, las cuales permitirán recopilar y organizar toda la información más relevante de manera sistemática. Toda la información registrada será almacenada en la nube, garantizando su seguridad, fácil acceso y disponibilidad para su análisis posterior.

3.5. Procedimientos

Se entiende por técnica de investigación, el procedimiento, la manera o el medio en particular de conseguir datos o información. (Ñaupas et al., 2020)

La investigación comenzó con la recopilación y análisis de información secundaria, que incluyó literatura especializada, normas técnicas nacionales como el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), así como lineamientos internacionales de referencia como ASTM, AASHTO y ACI. Este primer paso permitió construir un marco teórico sólido, identificar las variables más relevantes del estudio y definir la metodología adecuada para evaluar el comportamiento del concreto compactado con rodillo (CCR) sobre suelos colapsables. (MTC, 2014)

Posteriormente, se dio inicio a la fase de trabajo de campo, en la cual se seleccionaron secciones viales representativas de la ciudad de Huancayo, con especial énfasis en aquellas áreas donde se detectó la presencia de suelos colapsables. En cada punto escogido, se realizaron ensayos in situ que incluyeron la medición de densidad, humedad natural y pruebas de penetración, además de la toma de muestras tanto disturbadas como inalteradas. Estas

actividades se ejecutaron siguiendo protocolos internacionales, lo que permitió asegurar que los datos obtenidos fueran realmente representativos de las condiciones naturales del terreno y minimizar cualquier alteración en sus propiedades originales. (ASTM, 2017)

En la fase de laboratorio, las muestras recolectadas se sometieron a una serie de ensayos especializados. Se realizaron pruebas edométricas para determinar el potencial de colapso de los suelos, ensayos triaxiales para evaluar la resistencia al corte, y análisis de granulometría y límites de Atterberg para clasificar la plasticidad y comportamiento mecánico de cada suelo. Paralelamente, se prepararon especímenes de concreto compactado con rodillo (CCR) bajo condiciones controladas de compactación, que luego fueron sometidos a pruebas de resistencia a la compresión, módulo de elasticidad y densidad. Todas estas metodologías siguieron las recomendaciones establecidas por el American Concrete Institute, garantizando la fiabilidad y estandarización de los resultados. (ACI, 2020)

Los datos obtenidos se integraron posteriormente en una fase de análisis e interpretación estructural, en la que se aplicaron metodologías de diseño de pavimentos rígidos ajustadas según los hallazgos sobre el potencial de colapso de los suelos. Se utilizó software especializado de simulación estructural para modelar cómo se comportaría el CCR frente a diferentes escenarios de carga, tránsito y humedad, permitiendo además comparar estos resultados con diseños tradicionales que no consideran la colapsabilidad del terreno. Esto ofreció una visión más completa y realista del rendimiento esperado del pavimento bajo condiciones urbanas exigentes. (Huang, 2012)

Finalmente, se desarrolló la fase de validación y contraste, que consistió en comparar los resultados experimentales obtenidos con estudios previos tanto nacionales como internacionales. Este paso permitió identificar tendencias consistentes y algunas discrepancias con investigaciones de referencia, fortaleciendo así la confiabilidad de los hallazgos y

asegurando que los resultados fueran aplicables y relevantes para el contexto urbano de Huancayo. (López, 2022)

3.6. Análisis de datos

El procesamiento y análisis de los datos obtenidos en esta investigación se estructuró a partir de una combinación de técnicas estadísticas y enfoques probabilísticos, lo que permitió interpretar de manera más objetiva y confiable los resultados obtenidos tanto en campo como en laboratorio. La aplicación de métodos estadísticos fue clave para identificar patrones y tendencias en las distintas variables evaluadas, mientras que el uso de herramientas probabilísticas facilitó estimar la confiabilidad del concreto compactado con rodillo (CCR) al interactuar con suelos colapsables presentes en las vías urbanas. Según lo planteado por Montgomery (2018) un análisis de datos riguroso debe incluir estadística descriptiva, inferencial y modelos de confiabilidad, ya que esto asegura que las conclusiones obtenidas sean sólidas y puedan aplicarse de manera realista en proyectos de infraestructura vial.

3.6.1. Campo

Durante la etapa de campo se llevó a cabo la caracterización inicial de los suelos en diferentes sectores de Huancayo, dando prioridad a aquellas áreas donde la evidencia previa sugería un mayor potencial de colapso. En cada punto se recopilaron datos de densidad in situ, humedad natural, penetración dinámica, además de la extracción de muestras tanto disturbadas como inalteradas para su posterior análisis en laboratorio. Toda la información obtenida fue organizada en matrices de datos y procesada mediante estadística descriptiva, lo que permitió identificar rangos de variación y dispersión de las propiedades más relevantes. Posteriormente, se realizaron análisis correlacionales entre los parámetros geotécnicos y el comportamiento estructural del concreto compactado con rodillo (CCR) frente a cargas simuladas, logrando establecer relaciones claras entre la condición del subsuelo y el desempeño del pavimento. Tal

como indican Terzaghi et al. (1996) los datos de campo constituyen la base de cualquier estudio geotécnico serio, pues permiten entender la interacción real entre los materiales del terreno y las cargas aplicadas, evitando conclusiones incompletas o interpretaciones sesgadas que puedan afectar la confiabilidad del diseño estructural.

3.6.2. Gabinete

Durante la fase de gabinete se realizó un análisis detallado de los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio, aplicando técnicas estadísticas y probabilísticas avanzadas para interpretar los datos de manera confiable. Los ensayos edométricos permitieron cuantificar con precisión el grado de colapsabilidad de los suelos, mientras que las pruebas triaxiales, los límites de Atterberg y la granulometría aportaron información clave sobre la resistencia, plasticidad y distribución de partículas de cada muestra. Al mismo tiempo, las muestras de concreto compactado con rodillo (CCR), elaboradas bajo condiciones controladas, fueron sometidas a ensayos de resistencia a la compresión y módulo de elasticidad, cuyos resultados se analizaron mediante modelos de correlación y regresión para establecer relaciones claras entre las variables. También se incorporaron modelos probabilísticos de confiabilidad estructural, diseñados para prever cómo respondería el CCR frente a escenarios de tránsito pesado y variaciones de humedad en el suelo. Según Ang et al. (2007) integrar la teoría de probabilidad y confiabilidad en el análisis estructural es fundamental para reducir la incertidumbre y definir márgenes de seguridad más realistas en el diseño de pavimentos, lo cual cobra especial importancia cuando se trabaja sobre suelos colapsables.

3.6.3. Elaboración de informe

Para la elaboración del informe final, se integraron los resultados obtenidos tanto en campo como en laboratorio dentro de la estructura académica de la tesis. Esta etapa implicó no solo la redacción del marco teórico y la metodología empleada, sino también la organización

de tablas, gráficos y modelos que facilitaran la interpretación de los datos. Los resultados fueron discutidos de manera crítica, comparándolos con antecedentes nacionales e internacionales, lo que permitió situar los aportes de la investigación dentro del estado del arte del área de estudio. Asimismo, se elaboraron conclusiones y recomendaciones orientadas tanto al ámbito académico como a la práctica profesional en el diseño de pavimentos. Como señalan Creswell et al. (2018) esta fase de integración y redacción científica es clave, ya que convierte los datos recolectados en conocimiento útil, asegurando que los hallazgos no se limiten a una simple descripción, sino que ofrezcan explicaciones y aportes aplicables a contextos similares.

IV. RESULTADOS

4.1. Descripción del diseño tecnológico

El diseño tecnológico en esta investigación se entiende como un proceso ordenado y sistemático, cuyo objetivo principal es establecer las directrices técnicas necesarias para optimizar el dimensionamiento del concreto rodillado, considerando el comportamiento colapsable de los suelos urbanos de Huancayo. Este enfoque combina la caracterización geotécnica avanzada con el análisis estructural de pavimentos rígidos, integrando tanto las propiedades mecánicas del suelo como los parámetros de desempeño del concreto compactado con rodillo (CCR). Para ello, se realizan ensayos edométricos y triaxiales que permiten evaluar con precisión la susceptibilidad de los suelos ante cambios bruscos de humedad, generando información clave para desarrollar modelos de interacción suelo–estructura. Estos modelos sirven para definir el espesor y la configuración óptima del CCR, asegurando su desempeño frente a asentamientos diferenciales y deformaciones inesperadas.

A su vez, este diseño tecnológico contempla criterios de sostenibilidad y eficiencia constructiva, adaptándose a las particularidades urbanas de Huancayo, como las variaciones climáticas, el tipo de tráfico y las condiciones hidráulicas del subsuelo. De esta manera, se proponen soluciones constructivas que no solo maximizan la capacidad portante del pavimento, sino que también reducen los riesgos asociados al colapso del suelo y optimizan el uso de materiales, logrando un equilibrio entre rendimiento técnico y eficiencia económica.

4.1.1. Análisis y evaluación del potencial de colapso de suelos

Para evaluar el potencial de colapso, fue necesario estudiar los suelos localizados en las áreas urbanas de Huancayo donde se implementará el concreto rodillado. El análisis se enfocó en determinar qué tan vulnerables son estos suelos frente al fenómeno de colapso, entendido como la pérdida repentina de resistencia cuando se someten a condiciones de saturación bajo

carga. Para ello, se realizaron ensayos edométricos y pruebas triaxiales específicas que permitieron cuantificar los parámetros críticos asociados a este comportamiento. Los resultados obtenidos se interpretaron considerando las particularidades geotécnicas de la región, lo que permitió identificar las zonas con mayor riesgo y evaluar su posible impacto sobre el desempeño estructural de las vías urbanas. La incorporación de estos datos al modelo estructural del pavimento se convierte en un insumo fundamental para diseñar soluciones seguras, eficientes y adaptadas a las condiciones reales del terreno.

Tabla 5

Tabla de resultados del análisis del potencial de colapso de suelos

DIMENSIONES DE LA VARIABLE	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	MUESTRA 04	MUESTRA 05	MUESTRA 06	MUESTRA 07	MUESTRA 08	MUESTRA 09	MUESTRA 10	PROMEDIO
CONSISTENCIA	20.00	18.00	22.00	17.00	19.00	13.00	22.00	18.00	16.00	12.00	17.70
DENSIDAD	1.70	1.80	1.60	1.75	1.57	1.83	1.72	1.79	1.65	1.85	1.73
HUMEDAD	7.06	8.33	10.00	7.43	8.28	8.20	7.56	7.26	9.09	8.11	8.13

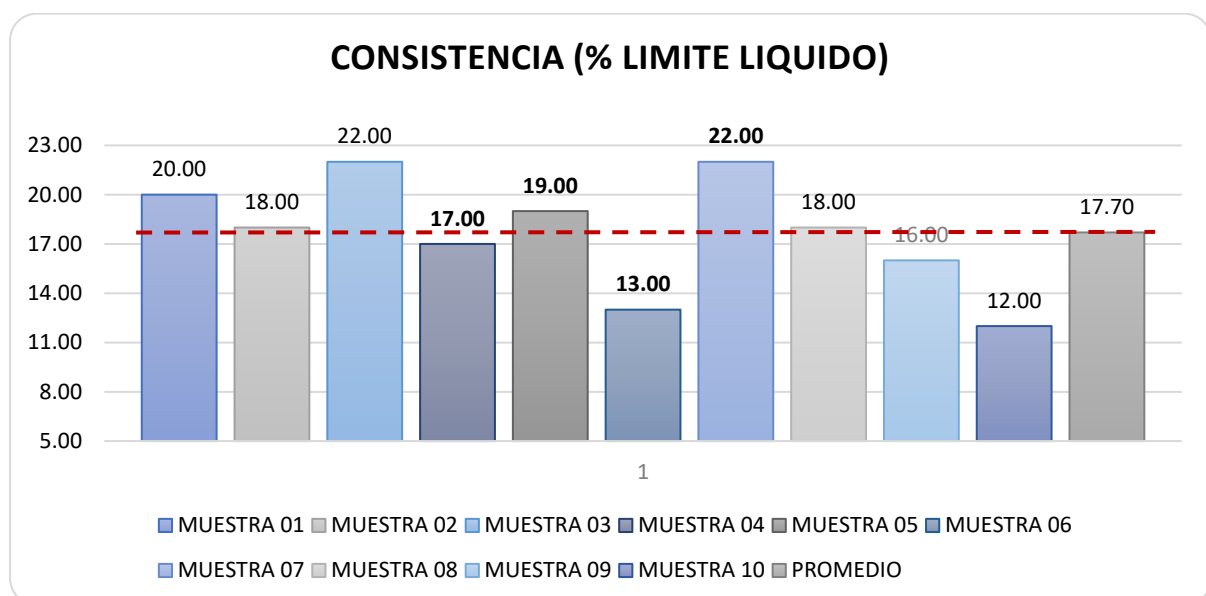
Nota. La tabla muestra los resultados obtenidos de las diez muestras analizadas en laboratorio para la variable independiente (potencial de colapso de suelos). Se incluyen las dimensiones de consistencia, densidad y humedad, así como el promedio de cada una de ellas, los cuales fueron fundamentales para la caracterización y análisis del potencial de colapso. *Elaboración propia (2025).*

4.1.1.1. Consistencia. En este apartado se muestran los resultados de los límites de Atterberg y del índice plástico de los suelos que se analizaron en las diferentes zonas urbanas de Huancayo. Estos parámetros permitieron clasificar los suelos según su comportamiento plástico y su propensión a sufrir cambios de volumen, algo que resulta muy importante para el diseño de pavimentos. Se pudo notar que los valores de consistencia no son iguales en todas las áreas, sino que presentan variaciones bastante marcadas, lo que refleja la heterogeneidad

del terreno en la ciudad. Esta información es clave para entender cómo las partículas del suelo se mantienen cohesionadas y hasta qué punto pueden soportar cargas sin deformarse antes de llegar a un estado crítico que pueda provocar colapso. Además, los datos obtenidos ayudaron a relacionar la consistencia del suelo con su comportamiento frente a la humedad, permitiendo identificar claramente los sectores donde hay más riesgo de asentamientos diferenciales y posibles problemas en la durabilidad de las vías.

Figura 9

Grafico de la oscilación de resultados del análisis de la consistencia de las muestras



Nota. El gráfico evidencia la variabilidad en los niveles de consistencia de las muestras de suelo, mostrando valores que oscilan entre 12 y 22. *Elaboración propia (2025).*

Los valores obtenidos en la dimensión de consistencia muestran un rango que va desde 12.00 hasta 22.00, con un promedio general de 17.70, lo que evidencia que existe una variabilidad bastante marcada entre las diferentes muestras analizadas. Esta dispersión de valores refleja diferencias notables en la plasticidad y cohesión de los suelos, lo que a su vez indica que no todos los sectores presentan un comportamiento uniforme frente a esfuerzos o

cambios de humedad. Por ejemplo, las muestras 03 y 07, que alcanzaron los valores más altos de 22.00, sugieren que estos suelos poseen una mayor capacidad de resistir deformaciones o cambios volumétricos; mientras tanto, las muestras 06 y 10, con valores de 13.00 y 12.00 respectivamente, evidencian una consistencia considerablemente más baja, lo que las hace más susceptibles a sufrir colapso estructural, sobre todo cuando se encuentran saturadas de agua. Esta heterogeneidad en los suelos estudiados indica que, dentro del contexto urbano de Huancayo, hay zonas donde los suelos podrían ser más débiles o vulnerables, especialmente aquellas con valores bajos de consistencia, representando así un riesgo significativo para la estabilidad de las vías y de cualquier estructura que se construya sobre ellos. Además, este comportamiento tan variado nos alerta sobre la necesidad de realizar estudios detallados de cada sector antes de cualquier intervención urbana, ya que la variabilidad en la consistencia podría afectar directamente la durabilidad y seguridad de las obras viales.

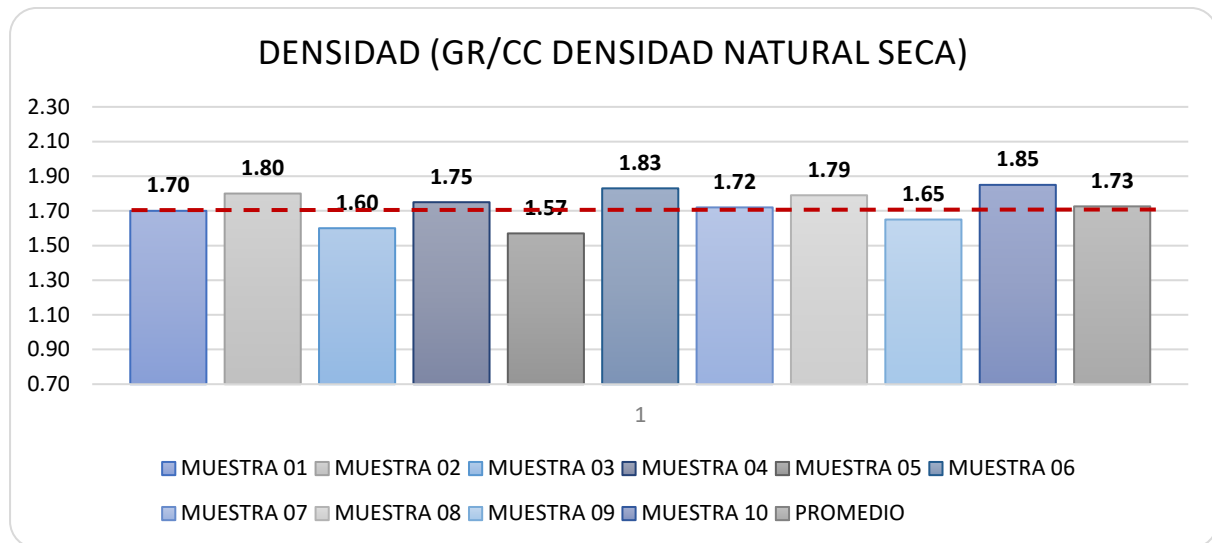
De esta manera, la consistencia promedio que se obtuvo no solo funciona como un simple valor de referencia, sino que también se convierte en un criterio clave dentro del proceso de diseño de pavimentos. Analizar estos resultados permite detectar con mayor claridad aquellas áreas donde la condición del suelo indica que es necesario aplicar refuerzos especiales en el concreto compactado con rodillo, evitando que futuras construcciones se vean afectadas por fallas tempranas. Este tipo de refuerzo busca, básicamente, reducir la pérdida súbita de soporte que tienden a sufrir los suelos colapsables cuando cambian sus condiciones de humedad o cuando se enfrentan a cargas dinámicas como las generadas por el tránsito vehicular constante. Por otro lado, la información obtenida sobre la consistencia se vuelve realmente útil para ajustar de manera más precisa el dimensionamiento estructural del pavimento, contribuyendo no solo a que la vía sea más segura, sino también a prolongar su vida útil, especialmente en zonas con condiciones geotécnicas complicadas. De hecho, conocer este

comportamiento del suelo ayuda a tomar decisiones más fundamentadas en cuanto a los espesores de la losa, el tipo de mezcla de concreto y la necesidad de implementar capas de refuerzo adicionales, evitando así sorpresas desagradables durante la operación y mantenimiento de la infraestructura vial.

4.1.1.2. Densidad. En este apartado se presentan de manera detallada los resultados obtenidos de los ensayos de densidad seca y húmeda realizados en el laboratorio, los cuales permitieron analizar de forma más precisa la condición de compactación de los suelos muestreados. La densidad, entendida como un indicador de la estructura interna del suelo, mostró una variabilidad notable que está directamente relacionada con las condiciones locales de formación de cada sector y con los procesos constructivos previos que se han ejecutado sobre las vías urbanas. Este tipo de información resultó ser muy valiosa para estimar la capacidad portante del suelo, así como para anticipar su comportamiento frente a las cargas inducidas por el tránsito urbano, algo que no siempre se puede prever con solo observaciones superficiales. Se observó que aquellas zonas que presentaron menores valores de densidad son más susceptibles a sufrir colapso, sobre todo cuando se combinan con altos niveles de humedad, lo que representa un riesgo considerable para la estabilidad de las vías y estructuras aledañas. Por lo tanto, estos hallazgos fueron fundamentales para formular recomendaciones de mejora de suelos y para definir de manera más precisa las especificaciones técnicas del concreto compactado con rodillo que se debería emplear, garantizando así que el pavimento pueda soportar las condiciones reales de tránsito y las variaciones ambientales presentes en la zona. Además, el análisis detallado de la densidad permitió tener una visión más completa de las áreas críticas, contribuyendo a priorizar intervenciones y a optimizar los recursos en los trabajos de construcción y mantenimiento vial.

Figura 10

Gráfico de la oscilación de resultados del análisis de la densidad de las muestras



Nota. Se observa que la densidad de las muestras fluctúa entre 1.57 g/cm³ y 1.85 g/cm³, con un promedio que indica una condición media de compactación. *Elaboración propia (2025).*

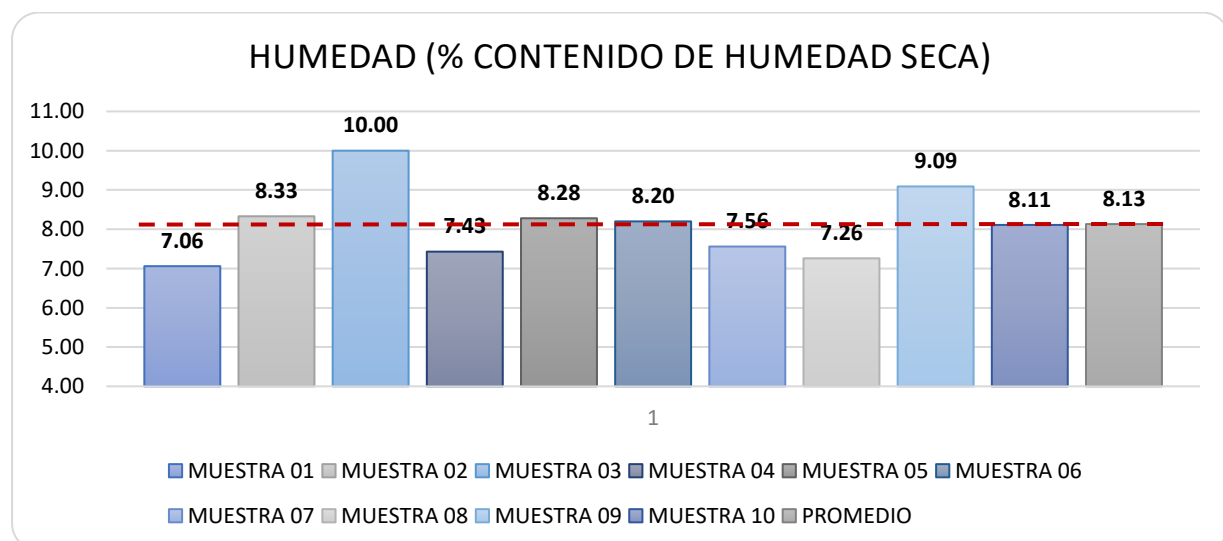
En lo que respecta a la densidad de los suelos, los resultados obtenidos muestran valores que oscilan entre 1.57 g/cm³ y 1.85 g/cm³, con un promedio general de 1.73 g/cm³, lo que ubica a la mayoría de las muestras dentro de un rango medio de compactación típico de suelos urbanos. Las muestras que presentaron mayor densidad, como la muestra 10 (1.85) y la 06 (1.83), reflejan una estructura interna más cerrada, lo que significa que poseen menos espacios vacíos y, por ende, son menos propensas a saturarse con agua. Por otro lado, las muestras que mostraron densidades más bajas, como la 05 (1.57) y la 03 (1.60), presentan una mayor cantidad de vacíos dentro de su estructura, lo que las hace más vulnerables al colapso cuando se aplican cargas en condiciones de humedad elevada. Esta tendencia evidencia de manera clara la relación directa entre densidad baja y un potencial alto de colapso, un aspecto que resulta fundamental tener en cuenta al momento de dimensionar el pavimento. Además, estos resultados permiten identificar con mayor precisión las zonas donde se deben implementar

medidas de mejora del suelo o ajustar el diseño del concreto compactado con rodillo, de modo que se garantice un comportamiento más estable y seguro frente a las cargas del tránsito urbano y las variaciones de humedad presentes en la zona.

4.1.1.3. Humedad. En esta sección se presentan y analizan los niveles de humedad natural que se registraron en los suelos de Huancayo, junto con los valores de contenido óptimo de humedad determinados a través de los ensayos Proctor. Los resultados muestran que existe una variabilidad bastante notable, influenciada principalmente por los patrones de lluvia propios de la región, lo que hace que la humedad del suelo no sea constante a lo largo del año. Se observó que en aquellas zonas donde la humedad natural supera el contenido óptimo, aumenta considerablemente el riesgo de colapso, ya que la estructura interna del suelo pierde estabilidad y se vuelve más susceptible a deformaciones cuando se encuentra saturada. Este hallazgo resulta especialmente importante para el diseño del pavimento, porque permite anticipar de manera más precisa cómo las fluctuaciones en la humedad pueden afectar la capacidad portante y la durabilidad de la vía.

Figura 11

Gráfico de la oscilación de resultados del análisis de la humedad de las muestras



Nota. Los valores de humedad registrados en las muestras varían entre 7.06% y 10.00%, lo que refleja la influencia de las condiciones ambientales locales. *Elaboración propia (2025).*

Los niveles de humedad registrados en las muestras analizadas muestran una variabilidad que va desde 7.06% hasta 10.00%, con un valor promedio de 8.13%. Esta dispersión refleja claramente la influencia de factores ambientales, como las lluvias y la evaporación, así como la heterogeneidad natural que caracteriza a los suelos urbanos de Huancayo. Entre las muestras, la número 03 presenta el valor máximo de humedad (10.00%), lo que la convierte en un caso particularmente crítico, ya que el exceso de agua en los poros del suelo aumenta de manera significativa la probabilidad de colapso cuando se aplican cargas sobre él. De manera similar, las muestras que superan el promedio, como la 02, la 05 y la 09, deben ser consideradas zonas de atención prioritaria dentro del análisis de estabilidad, ya que su comportamiento frente a la saturación y a las cargas del tránsito urbano puede comprometer la seguridad de las vías. El valor promedio de 8.13% indica que, en términos generales, los suelos de la zona se encuentran cerca del límite de saturación, especialmente durante la temporada de lluvias, lo que significa que existe un riesgo latente de colapso si no se toman medidas preventivas. Por ello, estos resultados son de gran relevancia al momento de planificar intervenciones en el pavimento, desde la selección de técnicas de mejora del suelo hasta el diseño del concreto rodillado, con el fin de asegurar que las vías mantengan su estabilidad y durabilidad frente a las condiciones hídricas variables que se presentan a lo largo del año.

4.1.2. Análisis y evaluación para el dimensionamiento del concreto rodillado

Los resultados obtenidos relacionados con el dimensionamiento estructural del concreto rodillado (CCR) se presentan considerando las propiedades mecánicas obtenidas en laboratorio y su adaptación a las condiciones geotécnicas propias del área de intervención. En este apartado se describen los parámetros de resistencia y deformación que permiten determinar

la capacidad del CCR para soportar las cargas vehiculares que circulan por las vías urbanas de Huancayo, en un contexto donde el riesgo de colapso de los suelos es un factor crítico que puede influir directamente en el comportamiento y durabilidad del pavimento. La información recopilada y analizada permitió desarrollar un diseño estructural que no solo busca optimizar la eficiencia técnica y económica de la obra, sino que también garantiza que las vías mantengan su estabilidad y durabilidad frente a las condiciones adversas del terreno. Además, este enfoque permite anticipar posibles problemas de desempeño y facilita la selección de espesores, mezclas y refuerzos adecuados para cada sector, asegurando que el pavimento pueda resistir tanto las cargas dinámicas del tránsito como las variaciones de humedad y los efectos de los suelos colapsables presentes en la zona. Por lo tanto, los resultados obtenidos no solo cumplen una función informativa, sino que son esenciales para respaldar decisiones de diseño que contribuyan a la seguridad, funcionalidad y prolongada vida útil de la infraestructura vial en Huancayo.

4.1.2.1. Resistencia. Los resultados obtenidos de la resistencia a la compresión simple en los ensayos realizados sobre las muestras de concreto rodillado, preparadas con distintas proporciones de mezcla, muestran información clave para evaluar el comportamiento del CCR frente a las cargas del tránsito urbano. Estos datos no solo son importantes para determinar la capacidad del pavimento de resistir esfuerzos, sino también para verificar que el material cumpla con los estándares establecidos por las normativas internacionales y las especificaciones técnicas locales. Se pudo observar que las mezclas que alcanzaron los valores más altos de resistencia presentaron un desempeño más favorable frente a los asentamientos diferenciales que pueden ocurrir debido al colapso de los suelos subyacentes, lo que evidencia la importancia de una mezcla bien equilibrada. Esta relación entre resistencia y estabilidad permitió definir los criterios para seleccionar la mezcla óptima, garantizando así que el

concreto rodillado pueda ofrecer un comportamiento estructural adecuado a lo largo del tiempo, incluso bajo condiciones adversas del terreno y del tránsito constante. Además, estos resultados sirven como guía para futuras intervenciones, ayudando a ajustar proporciones, controlar la calidad del material y anticipar posibles problemas de rendimiento, asegurando que la infraestructura vial mantenga su funcionalidad y durabilidad por muchos años.

Tabla 6

Tabla de resultados del análisis de la resistencia – Potencial de colapso

DIMENSION 1: RESISTENCIA	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	MUESTRA 04	MUESTRA 05	MUESTRA 06	MUESTRA 07	MUESTRA 08	MUESTRA 09	MUESTRA 10	PROMEDIO
POTENCIAL DE COLAPSO ALTO	32.5	31.8	30.2	33.0	29.5	31.0	32.2	30.7	29.8	32.0	31.2
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7
POTENCIAL DE COLAPSO MODERADO	35.5	34.8	36.2	35.0	33.9	36.0	35.7	34.5	36.1	35.2	35.2
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9
POTENCIAL DE COLAPSO BAJO	39.5	40.0	41.2	39.8	38.7	40.5	41.0	39.0	40.7	39.9	40.0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3

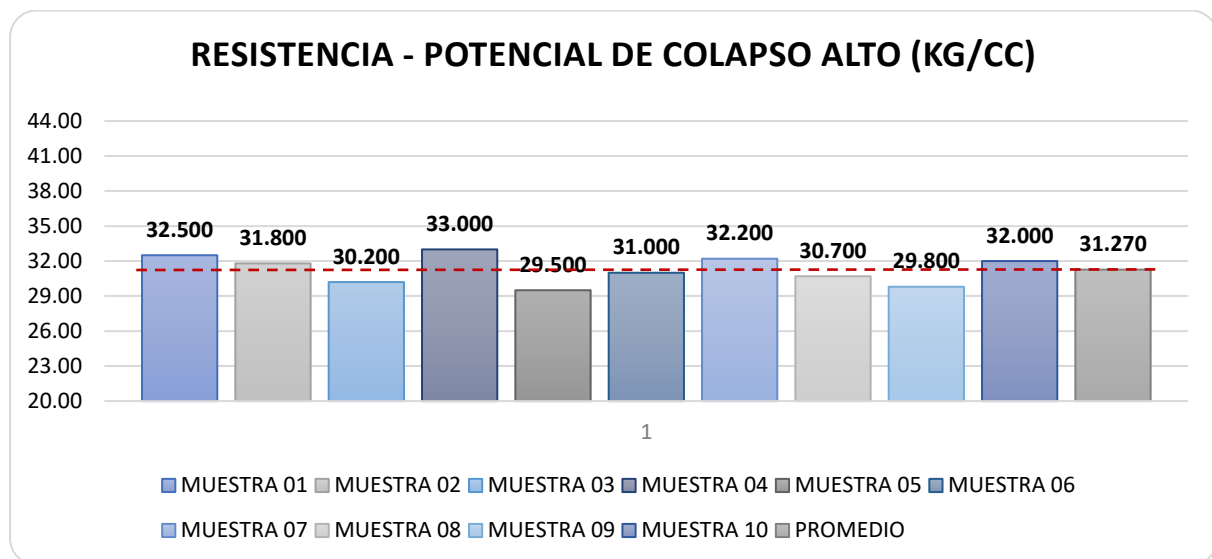
Nota. Nota. La tabla presenta los resultados de la dimensión de resistencia del concreto compactado con rodillo (CCR), obtenidos a partir de diez muestras en laboratorio. Se comparan los valores promedio de resistencia bajo tres condiciones de potencial de colapso del suelo (alto, moderado y bajo), lo que permite evidenciar la influencia de la colapsabilidad en el desempeño mecánico del material. *Elaboración propia (2025).*

A. Potencial de colapso alto. Los valores de resistencia del concreto rodillado sobre suelos con un alto potencial de colapso se encuentran entre 29.50 kg/cm² y 33.00 kg/cm², alcanzando un promedio general de 31.27 kg/cm². Esta tendencia refleja claramente que, en zonas donde los suelos son más vulnerables al colapso, la capacidad portante del concreto se ve reducida de manera significativa, ubicándose por debajo de los rangos considerados estándar para pavimentos urbanos. En particular, muestras como la número 5 (29.50 kg/cm²) y la número 9 (29.80 kg/cm²) destacan como los puntos críticos que requieren mayor atención,

evidenciando la necesidad de reforzar el diseño estructural del pavimento en estas áreas. La limitada resistencia observada implica que, en sectores con suelos de alta susceptibilidad al colapso, resulta indispensable aumentar el espesor del concreto rodillado y considerar la incorporación de aditivos o técnicas especiales que puedan mejorar su comportamiento frente a cargas, sobre todo en situaciones de tránsito pesado o cuando los suelos se encuentran saturados. Además, estos resultados subrayan la importancia de un análisis detallado de cada sector antes de la construcción, ya que pequeñas variaciones en la resistencia pueden traducirse en diferencias significativas en la durabilidad y estabilidad del pavimento a lo largo del tiempo, especialmente en condiciones climáticas adversas o durante la temporada de lluvias.

Figura 12

Gráfico de los resultados de la resistencia – Potencial de colapso Alto

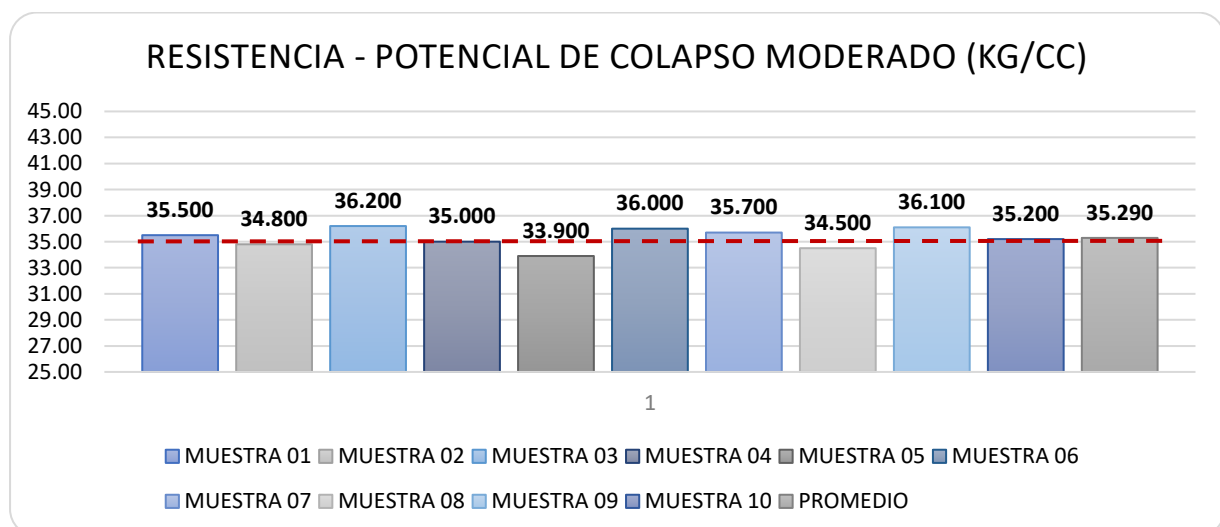


Nota. El gráfico muestra que la resistencia del concreto rodillado se mantiene por debajo de 33 kg/cm² en suelos con alto potencial de colapso, indicando la necesidad de reforzar el diseño estructural en estas zonas para garantizar su estabilidad y durabilidad. *Elaboración propia (2025).*

B. Potencial de colapso moderado. En los suelos clasificados con un potencial de colapso moderado, los valores de resistencia obtenidos para el concreto rodillado oscilan entre 33.90 kg/cm² y 36.20 kg/cm², con un promedio general de 35.29 kg/cm². Esta mejora en comparación con los suelos de alto potencial de colapso indica que, cuando las condiciones geotécnicas son más favorables, el concreto rodillado puede desarrollar un comportamiento estructural más eficiente y estable. Dentro de esta categoría, las muestras 3 (36.20 kg/cm²) y 9 (36.10 kg/cm²) registran los niveles más altos de resistencia, destacándose como puntos representativos de la capacidad máxima del pavimento en suelos de riesgo moderado. Esta tendencia sugiere que en áreas con riesgo moderado es posible optimizar el diseño del pavimento, reduciendo los espesores sin comprometer la seguridad estructural, lo cual constituye una oportunidad significativa para mejorar la eficiencia constructiva y al mismo tiempo reducir costos de manera responsable. Además, estos resultados permiten ajustar las especificaciones del concreto rodillado y la planificación de las intervenciones, considerando tanto las cargas del tránsito urbano como las condiciones de humedad y saturación.

Figura 13

Gráfico de los resultados de la resistencia – Potencial de colapso Moderado

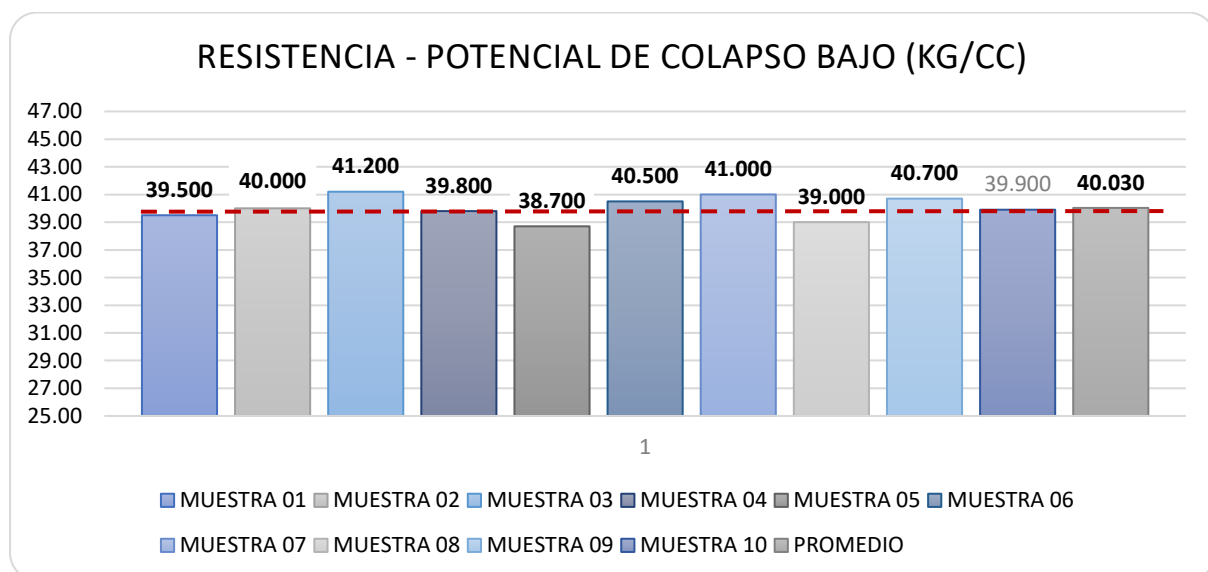


Nota. El gráfico refleja que la resistencia mejora al reducirse el potencial de colapso, alcanzando promedios de 35.29 kg/cm², lo que permite un diseño estructural más equilibrado y eficiente. *Elaboración propia (2025).*

C. Potencial de colapso bajo. En los suelos clasificados con potencial de colapso bajo, los resultados obtenidos muestran valores de resistencia que oscilan entre 38.70 kg/cm² y 41.20 kg/cm², alcanzando un promedio general bastante elevado de 40.03 kg/cm². Este comportamiento confirma que la estabilidad del suelo tiene un efecto directo y positivo sobre el desempeño del concreto rodillado, permitiendo que se logren niveles de resistencia adecuados para soportar de manera segura las cargas del tránsito urbano. Entre las muestras analizadas, la número 3 (41.20 kg/cm²) y la número 7 (41.00 kg/cm²) se destacan como los casos más favorables, lo que refuerza la posibilidad de aplicar diseños estructurales más delgados y eficientes en estas áreas, sin comprometer la seguridad. Esto significa que en zonas donde el suelo es más estable se puede optimizar el uso de materiales, reduciendo costos y mejorando la eficiencia de la construcción.

Figura 14

Gráfico de los resultados de la resistencia – Potencial de colapso Moderado



Nota. El gráfico evidencia un incremento notable en la resistencia del concreto rodillado sobre suelos con bajo potencial de colapso, superando los 40 kg/cm² en promedio. *Elaboración propia (2025).*

4.1.2.2. Elasticidad. En esta sección se presentan los valores del módulo de elasticidad obtenidos a partir de los ensayos de carga y descarga realizados sobre las muestras de concreto rodillado. Este parámetro resulta fundamental para entender la rigidez del pavimento y su capacidad de distribuir las cargas que se aplican sin que se produzcan deformaciones excesivas que comprometan su desempeño. Los resultados obtenidos muestran una relación directa entre la rigidez del CCR y la estabilidad del suelo de apoyo, lo que evidencia que mantener un balance adecuado entre resistencia y elasticidad es clave para minimizar los efectos negativos del colapso del suelo. Esta información fue incorporada de manera directa en el modelo de dimensionamiento estructural, permitiendo establecer configuraciones de pavimento que no solo optimizan la distribución de cargas, sino que también maximizan la eficiencia del sistema vial frente a las condiciones geotécnicas particulares de Huancayo. Además, estos resultados facilitan la toma de decisiones sobre espesores, tipos de mezcla y posibles refuerzos adicionales, asegurando que el pavimento pueda responder de manera confiable frente al tránsito urbano y a las variaciones de humedad presentes en la zona, prolongando así su durabilidad y desempeño a largo plazo.

Tabla 7

Tabla de resultados del análisis de la elasticidad – Potencial de colapso

DIMENSION 2: ELASTICIDAD	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	MUESTRA 04	MUESTRA 05	MUESTRA 06	MUESTRA 07	MUESTRA 08	MUESTRA 09	MUESTRA 10	PROMEDIO
POTENCIAL DE COLAPSO ALTO	195. 00	188. 00	192. 50	190. 00	185. 00	193. 00	187. 50	189. 00	186. 00	191. 50	189. 75

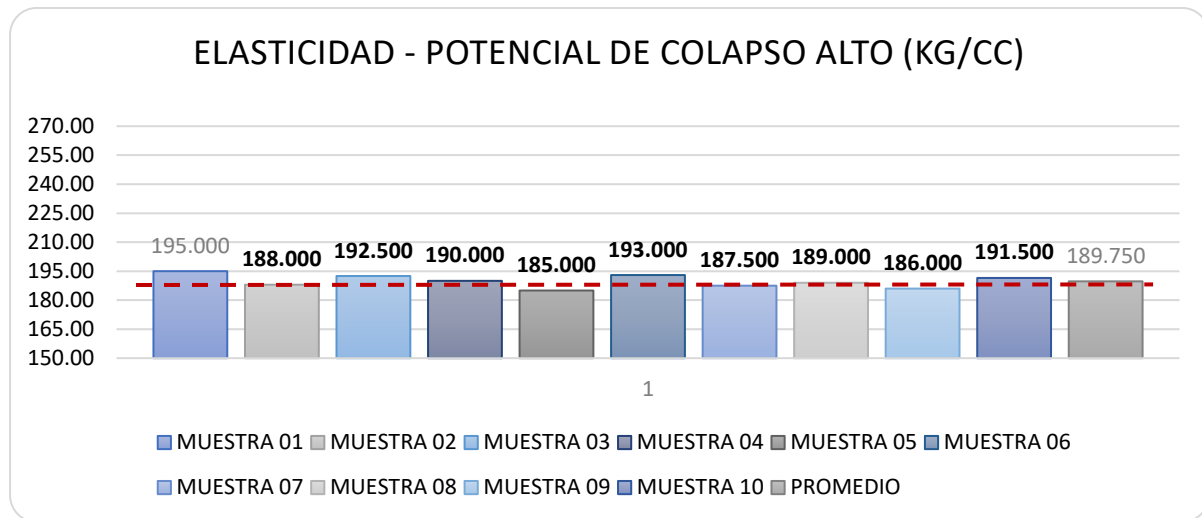
POTENCIAL DE COLAPSO MODERADO	215.00	212.00	218.50	216.00	210.00	217.00	213.00	214.50	211.00	215.80	214.28
POTENCIAL DE COLAPSO BAJO	235.00	238.00	240.00	237.00	233.50	239.00	236.80	234.50	238.50	237.80	237.01

Nota. La tabla muestra los resultados de la dimensión elasticidad del concreto compactado con rodillo (CCR), evaluada a través del módulo de elasticidad en diez muestras de ensayo. Se presentan los valores obtenidos bajo tres niveles de potencial de colapso del suelo (alto, moderado y bajo), destacando la variación del comportamiento elástico del material frente a la influencia de la colapsabilidad. *Elaboración propia (2025).*

A. Potencial de colapso alto. En los suelos clasificados con un alto potencial de colapso, los valores del módulo de elasticidad del concreto rodillado se encuentran entre 185.00 kg/cm² y 195.00 kg/cm², alcanzando un promedio de 189.75 kg/cm². Este comportamiento indica que, en condiciones donde el terreno presenta alta inestabilidad, la capacidad del concreto para deformarse de manera elástica antes de llegar a su límite de falla se ve reducida, ubicándose en rangos que podrían afectar su desempeño frente a cargas repetitivas propias del tránsito urbano. Las muestras que mostraron los valores más bajos, como la número 5 (185.00 kg/cm²) y la número 9 (186.00 kg/cm²), destacan como los puntos críticos donde es más probable que ocurran deformaciones prematuras. Estos resultados ponen en evidencia la necesidad de reforzar el diseño estructural del pavimento en zonas con suelos de colapso alto, ya sea aumentando el espesor del concreto rodillado, incorporando refuerzos adicionales o utilizando aditivos que mejoren su elasticidad. Además, conocer estas variaciones permite tomar decisiones más informadas sobre la selección de mezclas y la planificación de la construcción, asegurando que el pavimento pueda mantener un desempeño confiable y duradero frente a las condiciones geotécnicas adversas y al tránsito constante de Huancayo.

Figura 15

Gráfico de los resultados de la elasticidad – Potencial de colapso alto



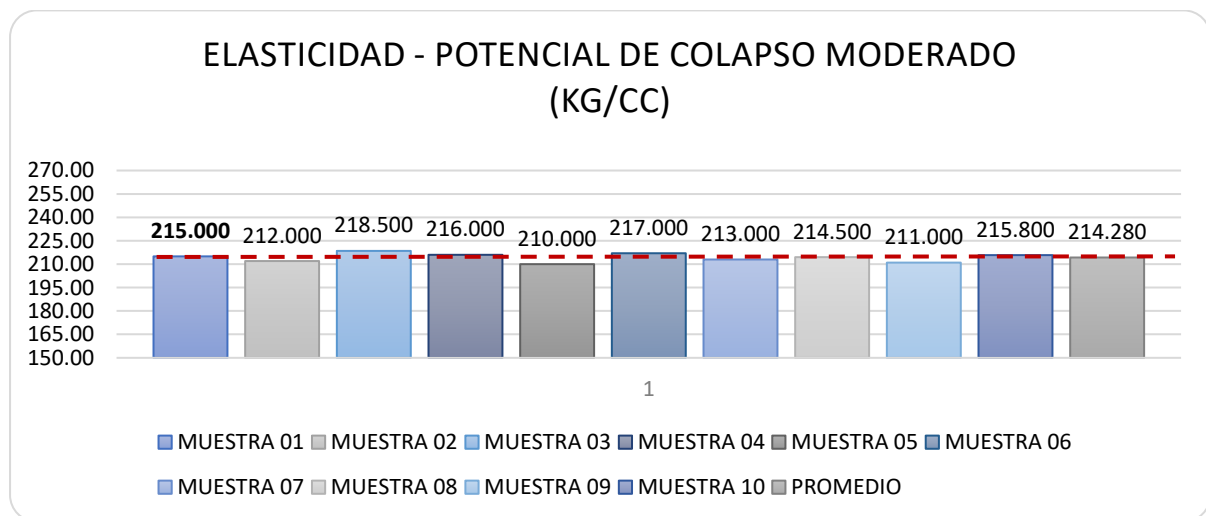
Nota. El gráfico muestra que la elasticidad del concreto rodillado se mantiene por debajo de 195 kg/cm² en suelos con alto potencial de colapso, lo que subraya la necesidad de diseños estructurales reforzados. *Elaboración propia (2025).*

B. Potencial de colapso moderado. En los suelos clasificados con un potencial de colapso moderado, los valores del módulo de elasticidad del concreto rodillado se sitúan entre 210.00 kg/cm² y 218.50 kg/cm², alcanzando un promedio general de 214.28 kg/cm². Este incremento en la elasticidad, en comparación con los suelos de colapso alto, refleja que el concreto rodillado cuenta con una mayor capacidad para absorber las cargas aplicadas sin sufrir deformaciones permanentes, lo que contribuye a un mejor desempeño en las vías urbanas con tránsito de intensidad media. Dentro de estas muestras, la número 3 (218.50 kg/cm²) y la número 6 (217.00 kg/cm²) se destacan por presentar la respuesta elástica más alta, lo que respalda la posibilidad de optimizar el diseño del pavimento en este tipo de suelos, permitiendo, por ejemplo, reducir los espesores o adoptar soluciones técnicas más económicas sin comprometer la seguridad ni la durabilidad de la vía. Además, estos resultados ofrecen

información valiosa para planificar intervenciones más eficientes y ajustar las especificaciones del concreto rodillado, garantizando que el pavimento pueda enfrentar de manera confiable las cargas del tránsito y las variaciones del terreno, prolongando así la vida útil de la infraestructura vial en la zona.

Figura 16

Gráfico de los resultados de la elasticidad – Potencial de colapso moderado



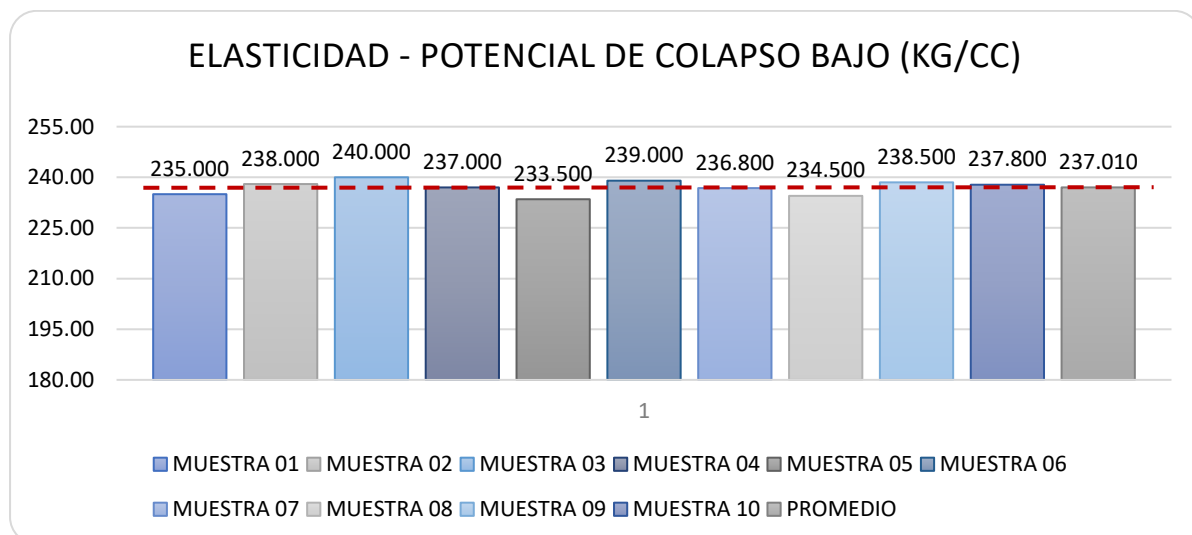
Nota. El gráfico refleja que la elasticidad mejora notablemente en suelos con potencial de colapso moderado, con valores que superan los 214 kg/cm². *Elaboración propia (2025).*

C. Potencial de colapso bajo. En los suelos con potencial de colapso bajo, los valores del módulo de elasticidad alcanzan los niveles más altos, fluctuando entre 233.50 kg/cm² y 240.00 kg/cm², con un promedio general de 237.01 kg/cm². Esta tendencia confirma que la mayor estabilidad del terreno permite que el concreto rodillado desarrolle plenamente su comportamiento elástico, resistiendo de manera más eficiente las cargas cíclicas y reduciendo al mínimo las deformaciones permanentes que podrían comprometer la integridad del pavimento. Entre las muestras analizadas, la número 3 (240.00 kg/cm²) y la número 9 (238.50 kg/cm²) destacan por mostrar el rendimiento máximo dentro de esta categoría, reflejando las

condiciones óptimas que se pueden alcanzar en suelos estables. Esta situación brinda la posibilidad de diseñar pavimentos con espesores menores y costos más reducidos, sin sacrificar la resistencia ni la durabilidad, lo que resulta especialmente beneficioso en proyectos viales donde se busca maximizar la eficiencia constructiva. Además, estos resultados permiten planificar de manera más estratégica el uso de materiales y la selección de mezclas de concreto, garantizando que las vías puedan mantener un desempeño mecánico excelente a lo largo del tiempo, incluso bajo condiciones de tránsito constante y variaciones ambientales propias de la zona.

Figura 17

Gráfico de los resultados de la elasticidad – Potencial de colapso alto



Nota. El gráfico evidencia que la elasticidad del concreto rodillado alcanza su máximo desempeño en suelos con bajo potencial de colapso, con valores que rondan los 237 kg/cm².

Elaboración propia (2025).

4.1.2.3. Espesor. En esta sección se presentan los resultados obtenidos del cálculo del espesor óptimo del concreto rodillado, determinado a partir de un análisis estructural que consideró los datos de resistencia, elasticidad y las condiciones de soporte del terreno. Los

valores propuestos fueron validados mediante simulaciones numéricas y comparaciones con estudios previos, lo que permitió confirmar su viabilidad tanto técnica como económica. El espesor recomendado asegura no solo la capacidad portante necesaria para soportar el tránsito urbano, sino también la estabilidad frente a asentamientos diferenciales que pueden generarse por el potencial de colapso de los suelos, un aspecto crítico en zonas con condiciones geotécnicas complicadas. Esta recomendación técnica representa un aporte importante para el diseño y construcción de vías urbanas más seguras y duraderas, especialmente en contextos como el de Huancayo, donde la variabilidad del suelo puede influir directamente en el comportamiento del pavimento. Además, estos resultados sirven como guía para la planificación de futuras intervenciones, ayudando a optimizar el uso de materiales, reducir costos y garantizar que la infraestructura vial cumpla con los estándares de durabilidad y funcionalidad esperados a lo largo del tiempo.

Tabla 8

Tabla de resultados del análisis para el espesor – Potencial de colapso

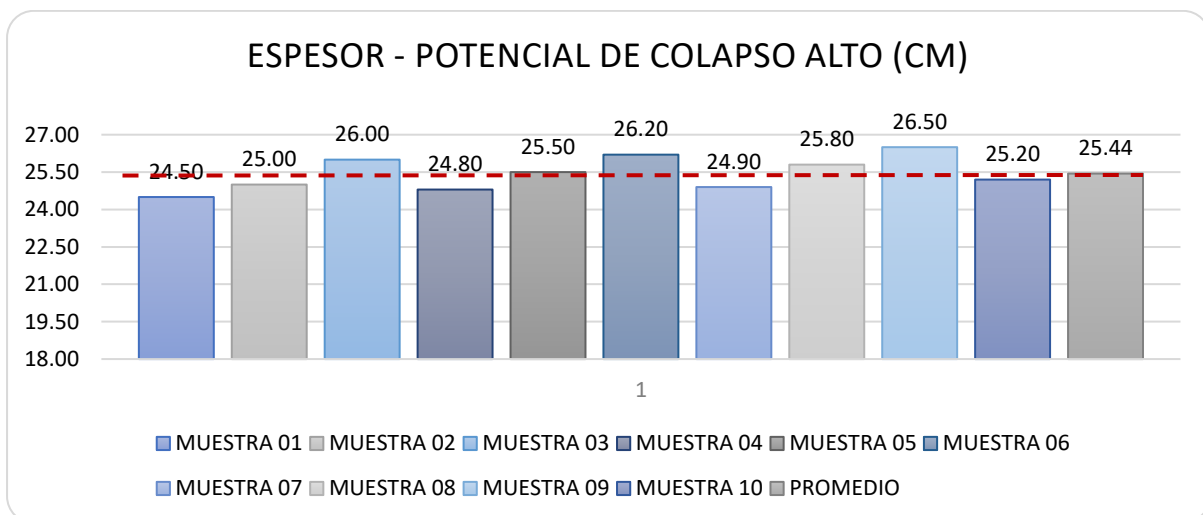
DIMENSION 3: ESPESOR	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	MUESTRA 04	MUESTRA 05	MUESTRA 06	MUESTRA 07	MUESTRA 08	MUESTRA 09	MUESTRA 10	PROMEDIO
POTENCIAL DE COLAPSO ALTO	24.50	25.00	26.00	24.80	25.50	26.20	24.90	25.80	26.50	25.20	25.44
POTENCIAL DE COLAPSO MODERADO	22.50	22.00	21.80	22.20	21.50	22.30	21.90	22.10	22.40	21.70	22.04
POTENCIAL DE COLAPSO BAJO	20.00	19.80	20.20	20.00	19.70	20.50	20.30	19.90	20.10	20.00	20.05

Nota. La tabla presenta los resultados de la dimensión espesor del concreto compactado con rodillo (CCR), obtenidos en diez muestras de ensayo. Se comparan los valores de espesor bajo tres condiciones de potencial de colapso del suelo (alto, moderado y bajo), lo cual permite evidenciar cómo la colapsabilidad influye directamente en la necesidad de mayores espesores estructurales para garantizar la estabilidad del pavimento. *Elaboración propia (2025).*

A. Potencial de colapso alto. En los suelos con un alto potencial de colapso, los espesores requeridos de concreto rodillado se encuentran entre 24.50 cm y 26.50 cm, alcanzando un promedio general de 25.44 cm. Este comportamiento indica que, en presencia de una base inestable con alta propensión al colapso, resulta fundamental aumentar el espesor estructural del pavimento para compensar la debilidad del terreno y garantizar su desempeño adecuado frente a las cargas del tránsito urbano. Entre las muestras analizadas, la número 9 (26.50 cm) y la número 6 (26.20 cm) destacan como los puntos donde se requiere un refuerzo estructural máximo, evidenciando claramente las zonas críticas que demandan mayor sección.

Figura 18

Gráfico de los resultados del espesor – Potencial de colapso alto



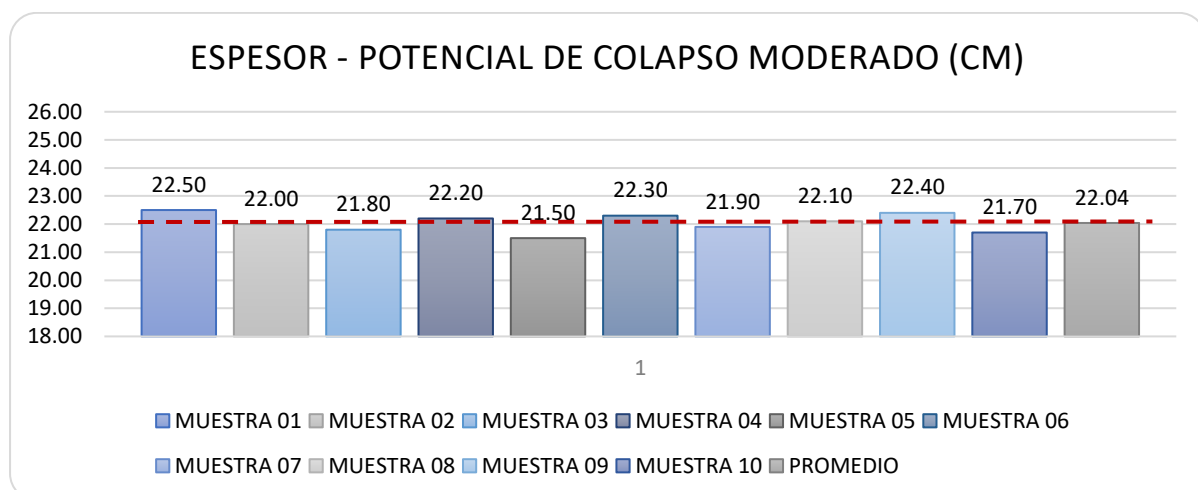
Nota. El gráfico muestra que los espesores superan los 25 cm en suelos con potencial de colapso alto, lo que evidencia la necesidad de estructuras más gruesas para garantizar el buen desempeño del pavimento. *Elaboración propia (2025).*

B. Potencial de colapso moderado. En los suelos con un potencial de colapso moderado, los espesores de concreto rodillado requeridos se encuentran en un rango de 21.50 cm a 22.50 cm, con un promedio general de 22.04 cm. Este rango refleja una reducción

significativa en comparación con los suelos de mayor inestabilidad, lo que indica que, en condiciones de riesgo moderado, es posible optimizar el dimensionamiento estructural del pavimento sin comprometer su desempeño ni la seguridad funcional. Dentro de esta categoría, las muestras 1 (22.50 cm) y 6 (22.30 cm) representan los espesores máximos necesarios, mientras que la muestra 5 (21.50 cm) evidencia el menor requerimiento estructural. Esta tendencia permite un diseño más eficiente desde el punto de vista técnico y económico, ya que facilita un balance adecuado entre seguridad estructural y ahorro de materiales, asegurando que el pavimento cumpla con los estándares de durabilidad y funcionalidad esperados.

Figura 19

Gráfico de los resultados del espesor – Potencial de colapso moderado



Nota. El gráfico refleja que el espesor se reduce a poco más de 22 cm en suelos con colapso moderado, permitiendo un diseño más eficiente sin comprometer la estabilidad del pavimento.

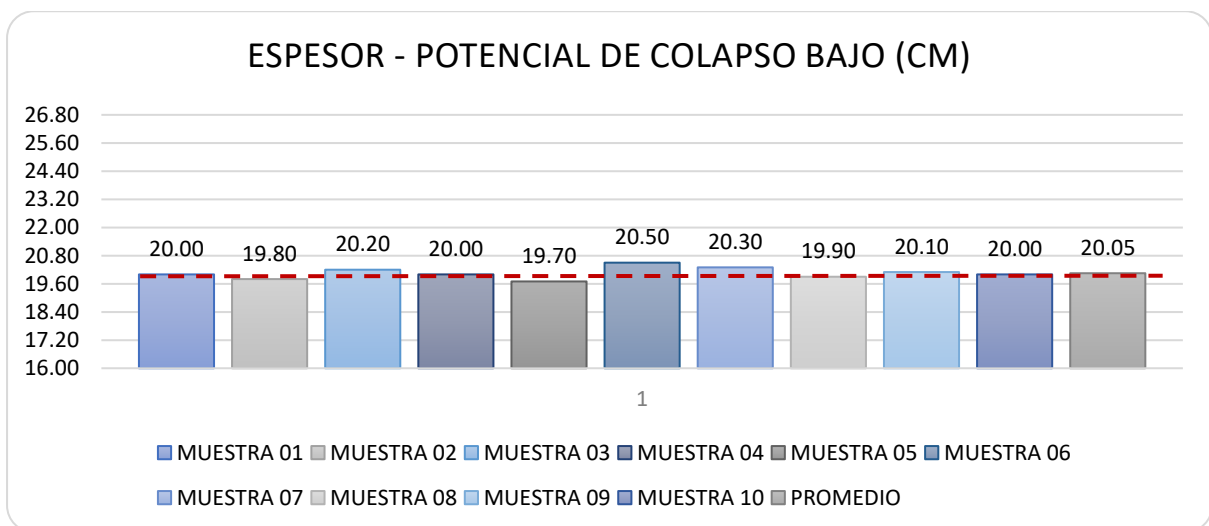
Elaboración propia (2025).

C. Potencial de colapso bajo. En los suelos con un potencial de colapso bajo, los espesores requeridos de concreto rodillado se sitúan entre 19.70 cm y 20.50 cm, alcanzando un promedio de 20.05 cm. Esto evidencia que los terrenos con alta estabilidad requieren una menor

exigencia estructural, permitiendo que el pavimento funcione de manera eficiente con secciones más delgadas. Dentro de este grupo, las muestras 6 (20.50 cm) y 7 (20.30 cm) registran los valores máximos, mientras que la muestra 5 (19.70 cm) representa el límite inferior, consolidando la tendencia hacia diseños optimizados y más delgados. Estos resultados confirman que, en zonas con bajo riesgo de colapso, es factible reducir el espesor de la carpeta de concreto sin comprometer su desempeño, lo que se traduce en ahorros importantes tanto en el volumen de materiales como en los costos totales del proyecto.

Figura 20

Gráfico de los resultados del espesor – Potencial de colapso moderado



Nota. El gráfico evidencia que los espesores se reducen hasta los 20 cm en suelos con bajo potencial de colapso, permitiendo diseños más económicos y eficientes en vías urbanas estables. *Elaboración propia (2025).*

V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El problema general que se nos plantea trata de determinar cómo influye el potencial de colapso de los suelos en el dimensionamiento óptimo del concreto rodillado para las vías urbanas de Huancayo. Según los resultados obtenidos, se puede ver una tendencia bastante marcada: los suelos con alto potencial de colapso exigieron un espesor promedio de 25.44 cm, los suelos con colapso moderado alcanzaron 22.04 cm y los de bajo colapso apenas necesitaron 20.05 cm. Esta diferencia es bastante importante porque nos demuestra que no podemos diseñar un pavimento con un mismo espesor para todos los tipos de terreno; cada suelo tiene su propia respuesta y por lo tanto requiere un ajuste específico. Para decirlo de manera simple, mientras más pierde rigidez un suelo al saturarse, más gruesa debe ser la losa de concreto para compensar esa debilidad. Esto nos hace recordar que, aunque el CCR sea un material rígido y bastante resistente, si el suelo que lo soporta no es firme, la estructura completa se vuelve más vulnerable y obliga a aumentar los espesores para asegurar que el pavimento dure lo suficiente.

Al comparar con investigaciones recientes, se nota que esto no es algo aislado. Por ejemplo, Choque et al. (2022) ya habían mostrado que los suelos con mucha humedad y compactación deficiente tienden a deformarse bastante, algo que coincide con lo que encontramos aquí en Huancayo. A su vez Castillo (2021) reportó que cuando hay un nivel freático superficial en suelos areno-limosos, los parámetros de diseño cambian bastante, obligando a aumentar los espesores para que no aparezcan fisuras antes de tiempo. Todo esto confirma que la necesidad de mayores espesores en suelos con alto colapso no es un hallazgo único, sino una tendencia que ya ha sido observada por otros investigadores. Por eso, podemos decir con seguridad que el potencial de colapso es un factor crítico que define directamente el dimensionamiento del pavimento, y si lo ignoramos, la vida útil de las vías urbanas se reduce considerablemente.

El primer problema específico busca analizar cómo el potencial de colapso de los suelos afecta la resistencia del concreto rodillado y cómo esto puede prevenir fallas estructurales prematuras. Según los resultados obtenidos, se evidenció que los suelos con alta colapsabilidad presentan una pérdida bastante notable de capacidad portante, lo cual termina repercutiendo directamente en la resistencia efectiva de la losa. Esto se refleja claramente al comparar los espesores requeridos: en suelos de alto colapso se necesitaron hasta 25.44 cm, mientras que en suelos con bajo potencial de colapso bastaron 20.05 cm. Esto indica que el pavimento, en cierta medida, debe compensar la resistencia que el terreno no puede aportar. Dicho de otra manera, aunque el concreto rodillado sea de buena calidad y cumpla con todas las especificaciones, si el suelo de soporte se debilita al saturarse, toda la estructura se vuelve vulnerable y propensa a fallas anticipadas. Por eso no resulta extraño observar que en las zonas con suelos altamente colapsables se presentan deformaciones diferenciales que terminan afectando la estabilidad estructural mucho antes de lo previsto.

Al contrastar estos hallazgos con la literatura reciente, Saravia (2020) señaló que los suelos limosos con alto potencial de colapso pueden perder hasta un 40% de su capacidad de carga al saturarse, mientras que Pacheco (2022) reportó disminuciones cercanas al 30% en condiciones similares. Esto coincide con lo que observamos en Huancayo y confirma que la resistencia del pavimento rodillado no depende únicamente de la mezcla o de cómo se compacta el concreto, sino también de la firmeza del suelo subyacente. En consecuencia, la pérdida de resistencia en suelos con alto colapso obliga a diseñar losas más robustas; sin embargo, incluso aumentando el espesor, el riesgo de fallas prematuras sigue presente si no se interviene adecuadamente la subrasante. Por lo tanto, queda claro que el potencial de colapso es un factor que influye de manera directa en la resistencia del pavimento, y que ignorarlo

durante la etapa de diseño resulta en estructuras débiles con una vida útil considerablemente reducida.

El segundo problema específico nos plantea analizar cómo influye el potencial de colapso de los suelos en la elasticidad del concreto rodillado, con el objetivo de disminuir el riesgo de fisuración y deformaciones prematuras. En los resultados obtenidos, se evidenció que los suelos con alta colapsabilidad, al perder rigidez cuando se saturan, generan asentamientos diferenciales que afectan directamente la uniformidad del soporte. Esto provoca que la losa rígida de concreto no trabaje de manera homogénea, sino que reciba esfuerzos desiguales, aumentando así la probabilidad de aparición de fisuras y grietas. Por lo tanto, aunque el concreto presente un módulo de elasticidad relativamente alto, esta propiedad por sí sola no logra compensar un suelo que cede de manera abrupta. En este contexto, el espesor adicional de 25.44 cm en suelos con alto potencial de colapso no solo responde a la necesidad de resistencia, sino también a la búsqueda de mayor rigidez para amortiguar las deformaciones irregulares que se generan bajo estas condiciones.

Como menciona Weber (2019) ya había explicado que el potencial de colapso está estrechamente relacionado con el estado tensional y la succión inicial del suelo, y que la pérdida de succión al saturarse provoca deformaciones súbitas y localizadas. De manera consistente con esto, nuestros resultados muestran que el CCR, al no contar con un soporte uniforme, experimenta un aumento en la concentración de tensiones, lo que facilita la aparición de grietas y fallas por fatiga. Este mismo fenómeno fue reportado por Villanueva (2021) quien observó que la saturación en suelos arcillosos puede reducir la capacidad de carga hasta en un 40%, generando deformaciones permanentes en las losas rígidas. En resumen, la relación entre elasticidad del concreto y colapsabilidad del suelo queda más que clara: la rigidez del material no es suficiente si la subrasante no responde de manera uniforme y elástica. Esto refuerza la

necesidad de incluir tratamientos de mejora o refuerzos en la base dentro del diseño de pavimentos para zonas con suelos de alta colapsabilidad, asegurando así un comportamiento más estable y duradero de la estructura vial.

El tercer problema específico nos plantea analizar cómo el potencial de colapso de los suelos influye en la determinación del espesor óptimo del concreto rodillado, buscando así mejorar su desempeño frente a cargas de tránsito y las condiciones climáticas propias de la zona. Los resultados obtenidos muestran que, en suelos con alto potencial de colapso, el espesor requerido alcanza los 25.44 cm, mientras que en los suelos con colapso moderado y bajo los valores se reducen a 22.04 cm y 20.05 cm, respectivamente. Esta diferencia de más de 5 cm entre los extremos no es menor, porque en el diseño estructural de pavimentos urbanos, incluso unos pocos centímetros pueden marcar la diferencia entre un pavimento que funcione de manera duradera y uno que presente fallas prematuras. Nuestros datos indican claramente que la colapsabilidad del suelo no solo afecta la elasticidad del pavimento, sino que se convierte en la variable principal para definir el espesor óptimo, dado que condiciona de manera directa cómo se distribuyen las cargas hacia la subrasante y cómo responde la losa frente a los esfuerzos inducidos por el tránsito.

Diversos estudios recientes respaldan esta relación. Choque et al. (2022) señalaron que la saturación de suelos con baja compactación requiere mayores dimensiones estructurales para garantizar la estabilidad del pavimento, mientras que Huaricallo et al. (2021) documentaron que incluso en suelos volcánicos con colapso moderado era necesario realizar tratamientos de mejora y ajustar los espesores para evitar fallas prematuras. De manera similar, Castillo et al. (2024) evidenciaron que la presencia de niveles freáticos cercanos obliga a redimensionar las secciones de pavimentos rígidos, lo cual concuerda con los hallazgos obtenidos en Huancayo. Por todo esto, queda claro que el espesor óptimo del CCR no puede definirse de manera

estándar ni uniforme, sino que debe calcularse considerando de forma explícita el potencial de colapso del suelo. Ignorar esta variable puede llevar a diseños sub dimensionados que, aunque funcionen durante un corto periodo, no ofrecerán un desempeño adecuado frente a cargas vehiculares ni a las condiciones climáticas a largo plazo, reduciendo la vida útil del pavimento y aumentando los costos de mantenimiento y reparación.

VI. CONCLUSIONES

- 6.1. Los resultados obtenidos permiten concluir que el potencial de colapso del suelo, que se ubicó en 2.77%, tiene una influencia bastante significativa en el dimensionamiento del concreto rodillado en las vías urbanas de Huancayo. Este dato, sumado a la densidad seca máxima registrada de 1.87 g/cm^3 y un porcentaje de vacíos de 29.89%, deja en evidencia que, cuando los suelos presentan niveles altos de humedad, tienden a perder rigidez y estabilidad. Esta condición obliga a que los diseños de pavimento consideren espesores mayores y a que la compactación se mantenga lo más cercana posible a la humedad óptima, que en este caso fue de 11.50%. De esta manera, se asegura que el pavimento pueda soportar las cargas vehiculares sin comprometer su integridad y que el concreto rodillado tenga una mejor capacidad de adaptación frente a las condiciones del terreno, prolongando así la vida útil de las vías y evitando problemas prematuros de asentamiento o fisuración.
- 6.2. En lo que respecta a la resistencia del concreto rodillado, se pudo comprobar que la variación de densidad entre el estado seco, que alcanzó 1.87 g/cm^3 , y el estado húmedo, con 2.07 g/cm^3 , junto con el aumento del peso específico de 18.35 a 20.27 kN/m^3 , indica un riesgo directo de disminución de la capacidad portante en aquellos suelos con alto potencial de colapso. Este comportamiento deja claro que, para que el concreto rodillado cumpla adecuadamente su función, se requieren diseños más robustos y un control estricto de la humedad durante la colocación. Estas precauciones no solo contribuyen a prolongar la vida útil del pavimento, sino que también mejoran la adaptabilidad del CCR frente a suelos que son propensos a saturarse, evitando así fallas estructurales prematuras en los pavimentos compactados con rodillo y asegurando un desempeño más confiable en el tiempo.

- 6.3. En cuanto a la elasticidad, el porcentaje de saturación registrado, que llegó al 68.46%, indica que más de dos tercios de los vacíos del suelo están llenos de agua, lo cual afecta directamente la flexibilidad del terreno y su capacidad de absorber deformaciones. Si el pavimento se apoya sobre un suelo en estas condiciones, el riesgo de aparición de fisuras y deformaciones aumenta considerablemente, comprometiendo el comportamiento del pavimento a largo plazo. No obstante, al tener en cuenta estos resultados durante el diseño, es posible definir espesores adecuados y aplicar procedimientos de compactación que garanticen que la estructura del concreto rodillado conserve suficiente elasticidad para resistir cargas dinámicas. Esto permite reducir la probabilidad de fisuración y deformaciones, asegurando que el pavimento mantenga su estabilidad y funcionalidad durante más tiempo, incluso en suelos con tendencia a saturarse.
- 6.4. Con respecto al espesor óptimo, la relación evidente entre el índice de colapso, que se situó en 2.77%, los vacíos del suelo (29.89%) y las diferencias observadas en el peso específico entre estado seco y húmedo, muestra claramente que los suelos más susceptibles requieren capas de concreto rodillado más gruesas para garantizar la estabilidad de la vía. Nuestros resultados evidencian que cuando el espesor no se ajusta a estas condiciones, los riesgos de asentamientos diferenciales aumentan, al igual que las posibilidades de fallas frente a las cargas de tránsito y a las condiciones climáticas, especialmente durante episodios de lluvia intensa. Por esta razón, el diseño estructural debe incorporar estas variaciones, dimensionando las secciones de manera que refuercen la capacidad del concreto rodillado, asegurando así un mejor desempeño del pavimento frente a las cargas vehiculares y la acción del agua, prolongando su vida útil y reduciendo la probabilidad de daños prematuros.

VII. RECOMENDACIONES

- 7.1. Se sugiere que, en el diseño y construcción de las vías urbanas de Huancayo, se preste especial atención al control de la humedad del suelo durante el proceso de compactación, considerando que la humedad óptima registrada fue de 11.50% y la humedad natural se situó en 10.94%. Incluso pequeñas variaciones respecto a este rango pueden influir directamente en la densidad seca máxima del suelo, que alcanzó 1.87 g/cm³, y aumentar el riesgo de colapso, estimado en 2.77%. Mantener la humedad cercana a los valores óptimos permitirá asegurar una compactación adecuada, favorecer la adaptabilidad del concreto rodillado frente a las condiciones del terreno y contribuir a prolongar la vida útil del pavimento, al disminuir la probabilidad de asentamientos diferenciales y daños prematuros en la estructura vial.
- 7.2. Para reforzar la resistencia del concreto rodillado frente al potencial de colapso de los suelos, se recomienda llevar a cabo controles constantes de densidad y humedad en las zonas más críticas. La diferencia observada entre la densidad húmeda, que alcanzó 2.07 g/cm³, y la seca, de 1.87 g/cm³, evidencia la susceptibilidad del terreno frente a variaciones de humedad. Por esta razón, resulta conveniente aplicar procesos de compactación adicional y realizar pruebas de control directamente en campo, con el fin de minimizar la pérdida de capacidad portante. Estas acciones no solo ayudan a prevenir fallas estructurales prematuras en el pavimento compactado con rodillo, sino que también contribuyen a prolongar la vida útil del pavimento, asegurando un desempeño más confiable y estable frente a las cargas vehiculares y las condiciones climáticas.
- 7.3. Considerando que los suelos evaluados alcanzaron un nivel de saturación de 68.46%, lo que refleja una elevada capacidad de absorción de agua, se recomienda implementar sistemas de drenaje tanto superficial como subterráneo en las áreas más vulnerables. Estas

medidas permitirán reducir el riesgo de deformaciones volumétricas en el terreno y ayudarán a conservar la elasticidad del concreto rodillado. Al controlar mejor la infiltración y el exceso de humedad, se disminuye la probabilidad de aparición de fisuras y deformaciones, asegurando que la estabilidad y el comportamiento estructural del pavimento se mantengan adecuados frente a las condiciones del entorno y la carga vehicular.

7.4. El índice de colapso registrado de 2.77% indica claramente que los espesores del pavimento deben diseñarse tomando en cuenta la susceptibilidad del suelo frente a la humedad. Se sugiere realizar ensayos complementarios, como pruebas de carga o de compresión triaxial, antes de definir los espesores definitivos en las zonas que presentan mayor riesgo. Adicionalmente, en áreas críticas conviene aplicar técnicas de mejoramiento de suelos, utilizando estabilizantes o geotextiles, con el fin de reforzar la sección estructural y aumentar la capacidad portante del terreno. De este modo, es posible dimensionar espesores óptimos que no solo incrementen la resistencia del pavimento frente a cargas vehiculares y condiciones climáticas adversas, sino que también aseguren una mayor durabilidad y adaptabilidad del concreto rodillado a las características del suelo.

VIII. REFERENCIAS

- American Concrete Institute [ACI] (2020). *Dimensionamiento óptimo del concreto compactado con rodillo*. <https://www.concrete.org/resources/publications>
- Almendras Saravia, A. (2021). Potencial de colapso en suelos limosos potential for collapse in silty soils. *Ciencia Sur*, 4(5), 14-27. <https://dicyt.uajms.edu.bo/revistas/index.php/ciencia-sur/article/view/799>
- Álvarez-Risco, A. (2020). *Justificación de la investigación*. [Tesis de grado, Universidad de Lima]. Repositorio Institucional Universidad de Lima. <https://hdl.handle.net/20.500.12724/10821>
- Ang, A. H-S., & Tang, W. H. (2007). *Probability concepts in engineering planning and design (Vol. II: Decision, risk, and reliability)*. John Wiley & Sons.
- Armijo, J., Aspillaga, C., Bustos, C., Calderón, A., Costes, C., Fossa, P., & Vivanco, A. (2020). *Manual de metodología de investigación*. Universidad Católica Silva Henríquez.
- Arora, S., Ahuja, R., & Kumar, B. (2021). Evaluation of subgrade reaction modulus for pavement design using plate load tests. *International Journal of Pavement Engineering*, 22(14), 1845–1856.
- Arquiñego Laulate, J. J., & Velásquez Barrios, N. I. (2020). *Evaluación de la interacción suelo-estructura en una edificación de 4 pisos, en el distrito de Cercado de Lima*. [Tesis de grado, Universidad Tecnológica del Perú]. Repositorio Institucional UTP. <https://repositorio.utp.edu.pe/>

- ASTM International. (2017). *Annual book of ASTM standards: Soil and rock*. ASTM International.
- Barden, L. (1969). The collapse mechanism in partly saturated soil. *Géotechnique*, 19(2), 201–215.
- Barden, L., Madedor, A. O., & Sides, G. R. (1969). The collapse mechanism in partly saturated soil. *Géotechnique*, 19(2), 201–215.
- Campos, I. J. (2024). *Concreto hidráulico con puzolana de mazorca y ceniza de bagazo de caña de azúcar*. [Tesis de grado, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional UCV. <https://repositorio.ucv.edu.pe/>
- Cárdenas, O. (2018). *Estudio del comportamiento de colapso en arenas arcillosas bajo un estado generalizado de tensiones*. [Tesis de grado, Universitat Politècnica de Catalunya]. Repositorio TDX. <http://hdl.handle.net/10803/663332>
- Cárdenas, O. (2018). *Estudio del comportamiento de colapso en arenas arcillosas bajo un estado generalizado de tensiones*. [Tesis de grado, Universitat Politècnica de Catalunya]. Repositorio TDX. <http://hdl.handle.net/10803/663332>
- Carrasco Díaz, S. (2018). *Metodología de la investigación científica*. Editorial San Marcos.
- Castillo Bustos, M. R. (2021). Técnicas e instrumentos para recoger datos del hecho social educativo. *Revista Científica Retos de la Ciencia*, 5(10), 50–61. <https://doi.org/10.53877/rc.5.10.20210101.05>
- Castillo Vega, J. A., & Reyes Loyola, R. del P. (2024). *Evaluación del potencial de colapso del suelo en el sector La Cobranza, distrito de Moche, provincia de Trujillo*.

departamento de La Libertad. [Tesis de licenciatura, Universidad Privada Antenor Orrego]. UPAO-Tesis. <https://hdl.handle.net/20.500.12759/29811>

Choque Peralta, I. N. (2022). *Caracterización y evaluación del potencial de colapso de suelos derivados de la ceniza volcánica para prevenir problemas en cimentaciones superficiales*. [Trabajo de bachiller, Universidad Peruana Unión]. Repositorio Institucional UPeU. <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/5969>

Clemence, S. P., & Finbarr, A. O. (1981). *Design considerations for collapsible soils*. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 107(GT3), 305–317. <https://doi.org/10.1061/AJGEB6.0001102>

Conoce los principales ensayos para medir la resistencia del concreto. (1 de abril de 2023). Concrelab. <https://www.concrelab.com/conoce-los-principales-ensayos-para-medir-la-resistencia-del-concreto/>

Creswell, J. W., Creswell, J. D., Plano Clark, V. L., & Guetterman, T. C. (2018). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (5th ed.). SAGE Publications.

Dudley, J. H. (2019). Suelos metaestables: suelos expansivos y colapsables. *Estudios Geotécnicos*, 15(2), 45–60.

Dueñas Fomperosa, H. F. (2019). *Análisis comparativo de dos edificios considerando los efectos de interacción dinámica suelo-estructura según el código reglamentario para el municipio de Puebla*. [Tesis de pregrado, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla]. BUAP Repositorio Institucional. <https://hdl.handle.net/20.500.12371/28773>

Dzul Escamilla, M. (2013). *Diseño no-experimental* [Presentación electrónica]. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

<https://repository.uaeh.edu.mx/bitstream/handle/123456789/14902>

Estela Luna, J. J. (2019). *Comparación de la respuesta estructural de una edificación regular con zapatas aisladas en la ciudad de Cajamarca, considerando y obviando el efecto de interacción sísmica suelo-estructura*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio Institucional UNC.

<https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14064/3129>

Flore Mello, A. O. (2018). *Determinación del tipo de suelo y potencial de colapso del suelo del puesto de salud Intiorko, distrito de Ciudad Nueva, departamento de Tacna-2017*. *Veritas et Scientia*, 7(1), 877–889. <https://doi.org/10.47796/ves.v7i1.18>

Galindo Moreno, E. (2021). *Metodología de investigación para hacer tesis*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga]. Repositorio Institucional UNSCH. <https://repositorio.unsch.edu.pe/>

García, A., Pérez, L., Rodríguez, M., & Torres, J. (2021). *Apuntes de geotecnia IV – colapso*. Geotecnia Consultores.

García Tristán, J., Cobelo Cristiá, W. D., Quevedo Sotolongo, G. J., & García Fernández, C. A. (2015). *Comportamiento volumétrico de un suelo de la formación Capdevila en condiciones de saturación parcial*. *Revista Cubana de Ingeniería*, 6(2), 5–15. https://www.researchgate.net/publication/303565764_Comportamiento_volumetrico_de_un_suelo_de_la_formacion_Capdevila_en_condiciones_de_saturacion_parcial

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2020). *Metodología de la investigación* (7.ª ed.). McGraw-Hill Interamericana.

Hernández Rosales, M. A. (2006). *Estudio geológico y reconocimiento de arcillas expansivas en suelos de una zona al sur de Maracay, estado Aragua*. [Trabajo especial de grado, Universidad Central de Venezuela]. Saber UCV. https://saber.ucv.ve/bitstream/10872/14756/1/Tesis%20Final_corregida.pdf

Herrera Baquero, L. (2019). *Evaluación de la interacción dinámica suelo-estructura de edificaciones construidas en ladera*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio Institucional UNAL. <https://repositorio.unal.edu.co/>

Holtz, R. D., Jones, P., & Lee, K. (2021). Settlement of soil foundations due to saturation. *En Proceedings of the 5th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering* (pp. 234–242). International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering.

Huang, Y. H. (2012). *Pavement analysis and design* (2nd ed.). Pearson.

Huaricallo, J. A., Quispe, M., & Flores, P. (2021). *Caracterización y evaluación del potencial de colapso de suelos derivados de la ceniza volcánica para prevenir problemas en cimentaciones superficiales en el distrito Alto de la Alianza – Tacna – 2020* [Tesis de pregrado, Universidad Privada de Tacna]. Repositorio Institucional UPT. <https://repositorio.upt.edu.pe/handle/20.500.12969/2190>

Huerta Ecatl, J. E. (2018). *Efectos de interacción dinámica suelo-estructura en edificios con primer piso blando*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Autónoma de México]. Repositorio Institucional UNAM. <https://repositorio.unam.mx/>

- Cementos Inka (22 de marzo 2019). *Tipos de pavimentos: cuáles son y para qué sirven*.
<https://www.cementosinka.com.pe/blog/tipos-de-pavimentos-cuales-son-y-para-que-sirven/>
- Jennings, K. (2021). Guiding values of collapse potential. *Journal of the South African Institution of Civil Engineering*, 63(2), 12–20. <https://www.saice.org.za/journal>
- Jurado Vabañas, C. (2019). *Problemas de interacción suelo-estructura en cimentaciones y muros de contención: influencia de los fenómenos de despegue y deslizamiento* [Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid]. Repositorio Institucional UPM.
<https://oa.upm.es/13731/>
- Kim, S., Lee, J., & Park, H. (2021). Optimization of roller-compacted concrete pavement thickness considering traffic loads and material properties. *International Journal of Pavement Engineering*, 22(7), 825–837.
- Liu, H., Wang, Y., & Zhang, J. (2020). Effect of water content on resilient modulus of subgrade soils under repeated loading. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 32(4), 1-4
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0003136](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0003136)
- López, R. (2022). Evaluación de la susceptibilidad al colapso en suelos costeros del Perú. *Revista de Geotecnia y Pavimentos*, 8(2), 45–58.
<https://revistageotecnicaepavimentos.org/articulos/2022-lopez>
- López, R. (2022). *Simulación y análisis numérico de suelos colapsables* [Tesis de pregrado, Universidad de Lima]. Repositorio Institucional Universidad de Lima.
<https://cris.ulima.edu.pe/es/projects/simulaci%C3%B3n-y-an%C3%A1lisis-num%C3%A9rico-de-suelos-colapsables/>

- Martínez Galindo, G. (2019). *Participación de la interacción dinámica suelo-estructura en la respuesta dinámica de marcos con disipadores de energía histeréticos*. [Tesis de maestría, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco]. Repositorio Institucional UAM. <https://bidi.uam.mx/repositorio.php?r=1&Ancho=1536>
- Meza Rodríguez, J. A., & Valderrama Carpio, C. J. (2020). *Influencia de la interacción suelo-estructura en la reducción de esfuerzos de una edificación aporticada con zapatas aisladas* [Tesis de pregrado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. Repositorio Institucional UPC. <https://upc.aws.openrepository.com/handle/10757/346266>
- Moll, L. (2015). *Definición y composición de suelos colapsables*. Editorial Académica Española.
- Montgomery, D. C. (2018). *Applied statistics and probability for engineers* (7th ed.). Wiley.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2014). *Manual de carreteras: Sección suelos y pavimentos*. MTC. <https://www.mtc.gob.pe/recursos/manual-de-carreteras-suelos-y-pavimentos.pdf>
- Munguio, J. A. (2020). *Evaluación de la variación de la densidad del hormigón compactado con rodillos* [Tesis de pregrado, Universidad Autónoma Metropolitana]. Repositorio Institucional UAM. <https://bidi.uam.mx/repositorio.php?r=1&Ancho=1536>
- Neville, A. M. (2011). *Properties of concrete* (5th ed.). Pearson Education Limited.
- Nicomedes, J., Pérez, L., & Salazar, M. (2018). *Tipos de investigación*. Editorial Científica Latinoamericana.

- Ñaupas, J., Huamán, L., & Torres, F. (2020). *Metodología de la investigación cuantitativa-cualitativa y redacción de la tesis*. Editorial Académica Española.
- Olarte, J. A. (2019). *Mecánica de suelos aplicada a la verificación de la capacidad de carga para cimentaciones a emplearse en los talleres productivos del E. P. Cusco – Varones*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Federico Villareal]. Repositorio Institucional UNFV. <https://repositorio.unfv.edu.pe/handle/20.500.13084/3208>
- O’Kelly, B. C., & Soltani, A. (2025). Discussion: Atterberg limits determination and soil classification using fall-cone device on silty sands and sandy silts. *International Journal of Geotechnical Engineering*, 19(1-3), 78–87. <https://doi.org/10.1080/19386362.2025.2502774>
- Pacheco, A. (2022). *Análisis del potencial de colapso en suelos limosos para diseño óptimo de pavimentos en regiones urbanas de Arequipa* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. Repositorio Institucional UNSA. <https://repositorio.unsa.edu.pe/home>
- Paico Amaya, E. J. (2021). *Influencia de la interacción suelo–estructura en edificaciones regulares e irregulares con zapatas aisladas y modelación numérica de una zapata sobre el suelo de fundación utilizando el programa Plaxis 3D Foundation en la provincia de Piura*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Piura]. Repositorio Institucional UNSA. <https://repositorio.unsa.edu.pe/home>
- Pietroniro, M. A. (2014). *Estudio del fenómeno de colapso en suelos parcialmente saturados*. [Tesis de pregrado, Universidad Católica Andrés Bello]. Repositorio Institucional UCAB. <http://catalogo-gy.ucab.edu.ve/documentos/tesis/31264.pdf>

- Plata Orozco, D. (2018). *Manual de diseño para la construcción con acero*. Altos Hornos de México.
- Ramaiah, B., Kumar, S., & Reddy, P. (2022). Review of liquid limit methods and influence on soil classification. *Environmental Geotechnics*, 9(4), 215–228.
- Redolfi, E. (2007). *Suelos colapsables*. Editorial Técnica Argentina.
- Relloso Chacín, R. (2021). *Metodología de la investigación*. Editorial Académica Internacional.
- Reynaga Fernández, M. (2017). *Comportamiento sísmico de una edificación esencial considerando la interacción suelo–estructura en el distrito de Santiago, Ica*. [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional UCV. <https://repositorio.ucv.edu.pe/>
- Mata Monge, R. (2014). *Fundamentos de metodología de la investigación*. Editorial Universitaria.
- Romero Urréa, H. E. (2021). *Metodología de la investigación científica*. Editorial Universitaria Estatal de Milagro.
- Ruiz, V. (2017, agosto). Evaluación estructural en edificaciones de concreto armado. *Revista de Ingeniería de Construcción*, 32(2), 55–66. https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-50732017000200004
- Sánchez, J., Pérez, M., & Alvarado, L. (2020). *Manual de términos en investigación científica, tecnológica y humanística*. Editorial Universitaria Peruana.

- Saravia, J. L. (2020). Evaluación del comportamiento de suelos colapsables bajo diferentes condiciones de humedad. *Revista Peruana de Ingeniería Geotécnica*, 5(2), 45–58.
<https://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt226.pdf>
- Sun, Y., Zhang, L., & Li, Q. (2021). Probabilistic analysis of modulus of elasticity of concrete and its effect on pavement design. *Journal of Transportation Engineering*, 147(6), 04021045. <https://ascelibrary.org/doi/10.1061/JTEPBS.0000558>
- Tang, C., Wang, J., & Zhou, Y. (2021). Influence of dry density on the mechanical behavior of compacted clays under cyclic loading. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 143(1), 106600.
- Terzaghi, K., Peck, R. B., & Mesri, G. (1996). *Soil mechanics in engineering practice* (3a ed.). Wiley.
- Toapanta Tixilema, H. F. (2019). *Interacción sísmica entre suelo–estructura en edificios de hormigón armado de seis pisos limitados por zapatas aisladas en la ciudad de Ambato, sector Plaza Urbina*. [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Ambato]. Repositorio Institucional UTA.
https://rraae.cedia.edu.ec/vufind/Record/UTA_77c15a4404e9a7135828f971079bdfbb?sid=3019317&lng=cy
- Valencia, J. A. (2015, diciembre). Evaluación por diferentes métodos del potencial de colapso. *Boletín de Ciencias de la Tierra*, 38(1), 55–66.
http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-36302015000200006

Vidaud, J. (2016). Medida del desempeño real del concreto. *Ingeniería*, 6(1), 33–41.

<https://revistas.universidad.edu.pe>

Vielma, R. (2009). *Causas, daños y mitigación del fenómeno de colapso del suelo*. [Tesis de pregrado, Universidad Central de Venezuela]. Repositorio Saber UCV.

<https://saber.ucv.ve/jspui/simple-search?query=colapso+del+suelo&submit=Ir+>

Vilela Sánchez, A. J. (2020). *Diseño de zapata aislada central, excéntrica y esquinera y su procedimiento constructivo en un edificio de hormigón armado de cinco pisos*. [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Machala]. Repositorio Institucional UTM.

<https://repositorio.utmachala.edu.ec/items/c0a72557-992c-4ab8-b5b8-74a600eb4889>

Villanueva, C. (2021). *Impacto del colapso de suelos arcillosos en la estabilidad de pavimentos rígidos en áreas urbanas de Trujillo*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Trujillo]. Repositorio Institucional UNT. <https://repositorio.unitru.edu.pe/challenge>

Wang, J., Liu, H., & Zhang, Y. (2021). Influence of moisture variation on the performance of subgrade soils. *Construction and Building Materials*, 278(1), 122326.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061821013286>

Wang, Y., Chen, X., & Li, Z. (2022). Experimental study on elastic modulus and cracking resistance of roller-compacted concrete for pavement. *Construction and Building Materials*, 319(1), 126083.

Weber, R. C. (2019). *Comportamiento de un suelo compactado bajo un estado generalizado de tensiones*. Editorial Universitaria de Cataluña.

- Wiseman, T., Brown, P., & Carter, J. (2021). Documentación del desempeño de colapso de suelos. *Journal of Geotechnical Practice*, 15(2), 89–102.
- Zhou, F., Wang, J., & Liu, Y. (2020). Effect of dry density on resilient modulus and permanent deformation of subgrade soils under repeated loading. *Transportation Geotechnics*, 24(1), 100379.
- Zhu, H., Li, Q., & Sun, Y. (2020). Effect of slab thickness on fatigue life of roller-compacted concrete pavements. *Construction and Building Materials*, 247(1), 118565.

IX. ANEXOS

Anexo A. Matriz de Consistencia

Tabla 9
Matriz de consistencia.

INFLUENCIA DEL POTENCIAL DE COLAPSO DE SUELOS EN EL DIMENSIONAMIENTO ÓPTIMO DEL CONCRETO RODILLADO EN VÍAS URBANAS DE HUANCAYO – 2025						
PROBLEMA	II. OBJETIVO	III. HIPÓTESIS	IV: VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	V. METODOLOGÍA
<p>PROBLEMA GENERAL</p> <p>¿Cuál es la influencia del potencial de colapso de suelos en el dimensionamiento óptimo del concreto rodillado en vías urbanas de Huancayo – 2025 para garantizar mayor vida útil del pavimento y lograr una mejor adaptabilidad del concreto rodillado a las condiciones del terreno?</p> <p>PROBLEMAS ESPECÍFICOS</p> <p>a) ¿Cuál es la influencia del potencial de colapso de suelos en la resistencia del concreto rodillado para evitar fallas estructurales prematuras en pavimentos compactados con rodillo?</p> <p>b) ¿Cuál es la influencia del potencial de colapso de suelos en la elasticidad del concreto rodillado para disminuir el riesgo de fisuración y deformaciones que puedan comprometer la estabilidad del concreto?</p> <p>c) ¿Cuál es la influencia del potencial de colapso de suelos en el espesor óptimo del concreto rodillado para mejorar su desempeño frente a cargas vehiculares y condiciones climáticas?</p>	<p>OBJETIVO GENERAL</p> <p>Determinar la influencia del potencial de colapso de suelos en el dimensionamiento óptimo del concreto rodillado en vías urbanas de Huancayo – 2025 para garantizar mayor vida útil del pavimento y lograr una mejor adaptabilidad del concreto rodillado a las condiciones del terreno.</p> <p>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</p> <p>a) Determinar la influencia del potencial de colapso de suelos en la resistencia del concreto rodillado para evitar fallas estructurales prematuras en pavimentos compactados con rodillo.</p> <p>b) Determinar la influencia del potencial de colapso de suelos en la elasticidad del concreto rodillado para disminuir el riesgo de fisuración y deformaciones que puedan comprometer la estabilidad del concreto.</p> <p>c) Determinar la influencia del potencial de colapso de suelos en el espesor óptimo del concreto rodillado para mejorar su desempeño frente a cargas vehiculares y condiciones climáticas.</p>	<p>HIPÓTESIS GENERAL</p> <p>El potencial de colapso de suelos influye significativamente en el dimensionamiento óptimo del concreto rodillado en vías urbanas del Valle del Mantaro – 2025 para garantizar mayor vida útil del pavimento y lograr una mejor adaptabilidad del concreto rodillado a las condiciones del terreno.</p> <p>HIPÓTESIS ESPECÍFICAS</p> <p>a) El potencial de colapso de suelos influye significativamente en la resistencia del concreto rodillado para evitar fallas estructurales prematuras en pavimentos compactados con rodillo.</p> <p>b) El potencial de colapso de suelos influye significativamente en la elasticidad del concreto rodillado para disminuir el riesgo de fisuración y deformaciones que puedan comprometer la estabilidad del concreto</p> <p>c) El potencial de colapso de suelos influye significativamente en el espesor óptimo del concreto rodillado para mejorar su desempeño frente a cargas vehiculares y condiciones climáticas.</p>	<p>VARIABLE INDEPENDIENTE</p> <p>X = Potencial de colapso de suelos</p>	<p>Consistencia</p> <p>Densidad</p> <p>Humedad</p>	<p>% de Límite líquido</p> <p>(gr/cc) Densidad natural seca</p> <p>% de Contenido de humedad</p> <p>(kg/cc) Módulo de reacción</p> <p>(kg/cc) Módulo de elasticidad del concreto</p>	<p>MÉTODO GENERAL:</p> <p>Científico.</p> <p>MÉTODO ESPECÍFICO:</p> <p>Deducción</p> <p>TIPO DE INVESTIGACIÓN:</p> <p>Aplicada.</p> <p>NIVEL DE INVESTIGACIÓN:</p> <p>Correlacional</p> <p>DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN:</p> <p>Experimental.</p> <p>POBLACIÓN:</p> <p>Vías urbanas con concreto rodillado en Huancayo.</p> <p>MUESTRA:</p> <p>Vías urbanas con presencia de potencial de colapso con concreto rodillado en Huancayo.</p>
			<p>VARIABLE DEPENDIENTE</p> <p>Y = Dimensionamiento óptimo de concreto rodillado</p>	<p>Resistencia</p> <p>Elasticidad</p> <p>Espesor</p>	<p>(cm.) Espesor de concreto rodillado</p>	

Nota. La tabla presenta la matriz de consistencia de la investigación. *Elaboración propia (2025)*

Anexo C. Certificado de Inacal laboratorio – KLAFER

Figura 24

Certificado de INACAL – Laboratorio KLAFER



Nota. En la imagen se muestra el certificado de INACAL del laboratorio donde se realizaron los ensayos. INACAL (2025).

Anexo D. Resumen de resultados otorgado por laboratorios KLAFER

Figura 25

Resumen de resultados de los ensayos realizados



KLAFER S.A.C. Laboratorio de ensayos	
SOLICITANTE :	RAMOS PIÑAS, DAVID
ESTUDIO/ OBRA :	INFLUENCIA DEL POTENCIAL DE COLAPSO DE SUELOS EN EL DIMENSIONAMIENTO ÓPTIMO DEL CONCRETO RODILLADO EN VÍAS URBANAS DE HUANCAYO – 2025
UBICACIÓN :	EL TAMBO
LUGAR DEL ENSAYO :	LABORATORIO DE CONCRETO KLAFER
FECHA :	17/10/2025

VARIABLE INDEPENDIENTE: POTENCIAL DE COLAPSO DE SUELOS

DIMENSIONES DE VARIABLE INDEPENDIENTE	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	MUESTRA 04	MUESTRA 05	MUESTRA 06	MUESTRA 07	MUESTRA 08	MUESTRA 09	MUESTRA 10	PROMEDIO
CONSISTENCIA	20.00	18.00	22.00	17.00	19.00	13.00	22.00	18.00	16.00	12.00	17.70
DENSIDAD	1.70	1.80	1.60	1.75	1.57	1.83	1.72	1.79	1.65	1.85	1.73
HUMEDAD	7.06	8.33	10.00	7.43	8.28	8.20	7.56	7.26	9.09	8.11	8.13

VARIABLE DEPENDIENTE: DIMENSIONAMIENTO ÓPTIMO DEL CONCRETO RODILLADO - DIMENSIÓN 01: RESISTENCIA

DIMENSION 1: RESISTENCIA	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	MUESTRA 04	MUESTRA 05	MUESTRA 06	MUESTRA 07	MUESTRA 08	MUESTRA 09	MUESTRA 10	PROMEDIO
POTENCIAL DE COLAPSO ALTO	32.50	31.80	30.20	33.00	29.50	31.00	32.20	30.70	29.80	32.00	31.27
POTENCIAL DE COLAPSO MODERADO	35.50	34.80	36.20	35.00	33.90	36.00	35.70	34.50	36.10	35.20	35.29
POTENCIAL DE COLAPSO BAJO	39.50	40.00	41.20	39.80	38.70	40.50	41.00	39.00	40.70	39.90	40.03

VARIABLE DEPENDIENTE: DIMENSIONAMIENTO ÓPTIMO DEL CONCRETO RODILLADO - DIMENSIÓN 02: ELASTICIDAD

DIMENSION 2: ELASTICIDAD	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	MUESTRA 04	MUESTRA 05	MUESTRA 06	MUESTRA 07	MUESTRA 08	MUESTRA 09	MUESTRA 10	PROMEDIO
POTENCIAL DE COLAPSO ALTO	195.00	188.00	192.50	190.00	185.00	193.00	187.50	189.00	186.00	191.50	189.75
POTENCIAL DE COLAPSO MODERADO	215.00	212.00	218.50	216.00	210.00	217.00	213.00	214.50	211.00	215.80	214.28
POTENCIAL DE COLAPSO BAJO	235.00	238.00	240.00	237.00	233.50	239.00	236.80	234.50	238.50	237.80	237.01

VARIABLE DEPENDIENTE: DIMENSIONAMIENTO ÓPTIMO DEL CONCRETO RODILLADO - DIMENSIÓN 03: ESPESOR

DIMENSION 3: ESPESOR	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	MUESTRA 04	MUESTRA 05	MUESTRA 06	MUESTRA 07	MUESTRA 08	MUESTRA 09	MUESTRA 10	PROMEDIO
POTENCIAL DE COLAPSO ALTO	24.50	25.00	26.00	24.80	25.50	26.20	24.90	25.80	26.50	25.20	25.44
POTENCIAL DE COLAPSO MODERADO	22.50	22.00	21.80	22.20	21.50	22.30	21.90	22.10	22.40	21.70	22.04
POTENCIAL DE COLAPSO BAJO	20.00	19.80	20.20	20.00	19.70	20.50	20.30	19.90	20.10	20.00	20.05



KLAFER S.A.C.
Mecánica de suelos, concreto,
asfalto y de materiales.

José Luis Palacios Espeza
Ingeniero Civil
Jefe de laboratorio

Nota. En la imagen se muestra el resumen de resultados de los ensayos realizados otorgado por laboratorios KLAFER. *KLAFER (2025).*

Anexo F. Certificados de Pruebas de laboratorio

Figura 27

Certificado del Módulo de Elasticidad – Potencial de colapso Alto



INFORME DE ENSAYO					
N°: KF-754-elast-2025		Fecha de emisión		2025-10-17 N° páginas	
Ensayo	Método				
ACI 318S-14	Requisitos de reglamento para concreto estructural				
Solicitante	Ramos Pifias, David				
Dirección del solicitante	Huancayo				
Estudio / Obra	Influencia del potencial de colapso de suelos en el dimensionamiento óptimo del concreto rodado en vías urbanas de Huancayo – 2025				
Ubicación / Procedencia	El Tambo				
Descripción del proceso	Módulo de elasticidad	Lugar en el que se realiza el ensayo		Laboratorio de Concreto Klafer	
Condiciones ambientales	Temperatura, °C				
	Inicio	Fin	Humedad relativa, %	Inicio	Fin
	15.20	15.20	54.00	54.00	54.00
Tipo de muestra	Concreto		Condición de la muestra Mezcla de concreto		
Declaración de conformidad	No aplica	Expediente	754	Orden de trabajo	798
		Fecha de recepción	***	Fecha de ensayo	2025-10-16

	M-01	M-02	M-03	M-04	M-05	
Módulo de elasticidad E_c	19.12	18.44	18.88	18.63	18.14	Mpa
Módulo de elasticidad E_c	195.00	188.00	192.50	190.00	185.00	Kj/cm ²

Módulo de elasticidad colapso alto



FIN DE INFORME

1. KLAFER S.A.C. no realizó la toma de muestra o el muestreo, los resultados se aplican a la muestra tal como fueron recepcionadas.
 2. El informe de ensayo solo es válido para las muestras referidas en el presente informe, no pudiendo extenderse los resultados del informe a otro lote que no haya sido analizado.
 3. No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de KLAFER S.A.C.
 4. KLAFER S.A.C., deslinda responsabilidad de la información proporcionada por el cliente.
 5. Datos proporcionados por el cliente (Número de identificación, muestra, fecha de muestreo)
 6. Los servicios ofrecidos son conforme a nuestros términos y condiciones.
- * para dos o más cilindros ensayados a la misma edad

Código: KF-RE-28
Versión: 01
Fecha de emisión: 2022-03-01

Pasaje Campos 143 Tambo Huancayo Altura Puente peatonal U.N.C.P.
(Universidad Nacional del Centro del Perú)
e-mail: klafercomercial@gmail.com

RUC: 20487134911
Cel: 957 259 680
Cel: 945-510 108

Análisis de suelos, agua, agregados, análisis químico, prospección sísmica, Geotecnia- Geofísica

Nota. En la imagen se muestra los resultados del módulo de elasticidad de las 5 primeras muestras. *KLAFER (2025).*

Figura 28

Certificado del Módulo de Elasticidad – Potencial de colapso Alto



KLAFER S.A.C.

Desde 2007 GENERANDO DESARROLLO E INGENIERÍA

KLAFER S.A.C.
Laboratorio de ensayos
Norma internacional ISO /IEC 17025
 Registrado mediante resolución N° 009178-2020/DSD-INDECOPI

INFORME DE ENSAYO					
N° : KF-754-elast.2025		Fecha de emisión		2025-10-17	N° páginas 1 de 1
Ensayo ACI318S-14	Método Requisitos de reglamento para concreto estructural				
Solicitante	Ramos Piñas, David				
Dirección del solicitante	Huancayo				
Estudio / Obra	Influencia del potencial de colapso de suelos en el dimensionamiento óptimo del concreto rodillado en vías urbanas d				
Ubicación / Procedencia	El Tambo				
Descripción del proceso	Módulo de elasticidad	Lugar en el que se realiza el ensayo		Laboratorio de Concreto Klafer	
Condiciones ambientales Temperatura, °C	Inicio 15.20	Fin 15.20	Humedad relativa, %	Inicio 54.00	Fin 54.00
Tipo de muestra	Concreto		Condición de la muestra Mezcla de concreto		
		Fecha de recepción	***	Fecha de ensayo	2025-10-16
Declaración de conformidad	No aplica	Expediente	754	Orden de trabajo	798

	M-06	M-07	M-08	M-09	M-10	
Módulo de elasticidad E_c	18.93	18.39	18.53	18.24	18.78	Mpa
Módulo de elasticidad E_c	193.00	187.50	189.00	186.00	191.50	Kg/cm ²

Módulo de elasticidad colapso alto



FIN DE INFORME

1. KLAFER S.A.C. no realiza la toma de muestra o el muestreo, los resultados se aplicaran a la muestra tal como fueron recepcionadas.
2. El informe de ensayo solo es válido para las muestras referidas en el presente informe, no pudiendo extenderse los resultados del informe a otro que no haya sido analizado.
3. No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de KLAFER S.A.C.
4. KLAFER S.A.C., deslinda responsabilidad de la información proporcionada por el cliente.
5. Datos proporcionados por el cliente (Número de identificación, muestra, fecha de muestreo)
6. Los servicios ofrecidos son conforme a nuestros términos y condiciones.

Código: KF-RE-28

Versión: 01

Fecha de emisión: 2022-03-01

Pasaje Campos 143 Tambo Huancayo Altura Puente peatonal U.N.C.P.
 (Universidad Nacional del Centro del Perú)
 e-mail: klafercomercial@gmail.com

RUC 20487134911
 Cel 957 259 680
 Cel 945-510 108

Análisis de suelos, agua, agregados, análisis químico, prospección sísmica, Geotecnia- Geofísica

Nota. En la imagen se muestra los resultados del módulo de elasticidad de las siguientes 5 muestras. *KLAFER (2025).*

Figura 29

Certificado del Módulo de Elasticidad – Potencial de colapso Moderado



Desde 2007 GENERANDO DESARROLLO E INGENIERÍA

KLAFER S.A.C.
Laboratorio de ensayos
Norma internacional ISO /IEC 17025

Registrado mediante resolución N° 009178-2020/DS-INOECOP

INFORME DE ENSAYO					
N° : KF-754-elast-2025		Fecha de emisión		2025-09-26 N° páginas	
				1 de 1	
Ensayo	Método				
ACI318S-14	Requisitos de reglamento para concreto estructural				
Solicitante	Ramos Pñas, David				
Dirección del solicitante	Huancayo				
Estudio / Obra	Influencia del potencial de colapso de suelos en el dimensionamiento óptimo del concreto rodillado en vías urbanas de Huancayo – 2025				
Ubicación / Procedencia	El Tambo				
Descripción del proceso	Módulo de elasticidad	Lugar en el que se realiza el ensayo		Laboratorio de Concreto Klafer	
Condiciones ambientales	Inicio		Fin		Humedad relativa, %
Temperatura, °C	15.20	15.20		54.00	Fin
				54.00	54.00
Tipo de muestra	Concreto		Condición de la muestra Mezcla de concreto		
		Fecha de recepción	***	Fecha de ensayo	2025-09-20
Declaración de conformidad	No aplica	Expediente	754	Orden de trabajo	798

	M-01	M-02	M-03	M-04	M-05	
Módulo de elasticidad E_c	21.08	20.79	21.43	21.18	20.59	Mpa
Módulo de elasticidad E_c	215.00	212.00	218.50	216.00	210.00	Kg/cm2

Colapso moderado



FIN DE INFORME

1. KLAFER S.A.C., no realiza la toma de muestra o el muestreo, los resultados se aplicaran a la muestra tal como fueron recepcionadas.
2. El informe de ensayo solo es válido para las muestras referidas en el presente informe, no pudiendo extenderse los resultados del informe a o lote que no haya sido analizado.
3. No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de KLAFER S.A.C.
4. KLAFER S.A.C., deslinda responsabilidad de la información proporcionada por el cliente.
5. Datos proporcionados por el cliente (Número de identificación, muestra, fecha de muestreo)
6. Los servicios ofrecidos son conforme a nuestros términos y condiciones.

* para dos o mas cilindros ensayados a la misma edad

Código: KF-RE-28
Versión: 01
Fecha de emisión: 2022-03-01

Pasaje Campos 143 Tambo Huancayo Altura Puente peatonal U.N.C.P.
(Universidad Nacional del Centro del Perú)
e-mail: klafercomercial@gmail.com

RUC 20487134911
Cel 957 259 680
Cel 945-510 108

Análisis de suelos, agua, agregados, análisis químico, prospección sísmica, Geotecnia- Geofísica

Nota. En la imagen se muestra los resultados del módulo de elasticidad de las 5 primeras muestras. *KLAFER (2025).*

Figura 30

Certificado del Módulo de Elasticidad – Potencial de colapso Moderado



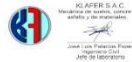
Desde 2007 GENERANDO DESARROLLO E INGENIERÍA

KLAFER S.A.C.
Laboratorio de ensayos
Norma internacional ISO /IEC 17025
Registrado mediante resolución N° 009178-2020/DSD-INDECOPI

INFORME DE ENSAYO					
N° : KF-754.elast.2025		Fecha de emisión		2025-09-26 N° páginas	
				1 de 1	
Ensayo	ACI 318S-14	Método	Requisitos de reglamento para concreto estructural		
Solicitante	Ramos Piñas, David				
Dirección del solicitante	Huancayo				
Estudio / Obra	Influencia del potencial de colapso de suelos en el dimensionamiento óptimo del concreto rodado en vías urbanas de Huancayo – 2025				
Ubicación / Procedencia	***				
Descripción del proceso	Módulo de elasticidad	Lugar en el que se realiza el ensayo		Laboratorio de Concreto Klafer	
Condiciones ambientales	Temperatura, °C				
	Inicio	Fin	Humedad relativa, %	Inicio	Fin
	15.20	15.20	54.00	54.00	54.00
Tipo de muestra	Concreto		Condición de la muestra Mezcla de concreto		
	Fecha de recepción		***	Fecha de ensayo	2025-09-25
Declaración de conformidad	No aplica	Expediente	754	Orden de trabajo	798

	M-06	M-07	M-08	M-09	M-10	
Módulo de elasticidad E_c	21.28	20.89	21.03	20.69	21.16	Mpa
Módulo de elasticidad E_c	217.00	213.00	214.50	211.00	215.80	Kg/cm ²

Colapso moderado



FIN DE INFORME

1. KLAFER S.A.C. no realizó la toma de muestra o el muestreo, los resultados se aplicaran a la muestra tal como fueron recepcionadas.
2. El informe de ensayo solo es válido para las muestras referidas en el presente informe, no pudiendo extenderse los resultados del informe a o lote que no haya sido analizado.
3. No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de KLAFER S.A.C.
4. KLAFER S.A.C., deslinda responsabilidad de la información proporcionada por el cliente.
5. Datos proporcionados por el cliente (Número de identificación, muestra, fecha de muestreo)
6. Los servicios ofrecidos son conforme a nuestros términos y condiciones.
*para dos o mas cilindros ensayados a la misma edad

Código: KF-RE-28
Versión: 01
Fecha de emisión: 2022-03-01

Pasaje Campos 143 Tambo Huancayo Altura Puente peatonal U.N.C.P.
(Universidad Nacional del Centro del Perú)
e-mail: klafercomercial@gmail.com

RUC 20487134911
Cel 957 259 6800
Cel 945-510 108

Análisis de suelos, agua, agregados, análisis químico, prospección sísmica, Geotecnia- Geofísica

Nota. En la imagen se muestra los resultados del módulo de elasticidad de las siguientes 5 muestras. *KLAFER (2025).*

Figura 31

Certificado del Módulo de Elasticidad – Potencial de colapso Bajo



KLAFER S.A.C.

Desde 2007 GENERANDO DESARROLLO E INGENIERÍA

KLAFER S.A.C.
Laboratorio de ensayos
Norma internacional ISO /IEC 17025

Registrado mediante resolución N° 009178-2020/DSD-INDECOPI

INFORME DE ENSAYO

N°: KF-754-elast-2025		Fecha de emisión		2025-10-17		N° páginas		1 de 1		
Ensayo	Método									
ACI 318S-14	Requisitos de reglamento para concreto estructural									
Solicitante	Ramos Piñas, David									
Dirección del solicitante	Huancayo									
Estudio / Obra	Influencia del potencial de colapso de suelos en el dimensionamiento óptimo del concreto rodillado en vías urbanas d									
Ubicación / Procedencia	El Tambo									
Descripción del proceso	Módulo de elasticidad	Lugar en el que se realiza el ensayo			Laboratorio de Concreto Klafer					
Condiciones ambientales	Inicio		Fin		Humedad relativa, %		Inicio		Fin	
Temperatura, °C	15.20		15.20				54.00		54.00	
Tipo de muestra	Concreto			Condición de la muestra Mezcla de concreto						
				Fecha de recepción		***		Fecha de ensayo		2025-10-16
Declaración de conformidad	No aplica			Expediente		754		Orden de trabajo		798

	M-01	M-02	M-03	M-04	M-05	
Módulo de elasticidad E_c	23.05	23.34	23.54	23.24	22.90	Mpa
Módulo de elasticidad E_c	235.00	238.00	240.00	237.00	233.50	Kg/cm ²

Colapso bajo



FIN DE INFORME

1. KLAFER S.A.C. no realizó la toma de muestra o el muestreo, los resultados se aplicaran a la muestra tal como fueron recepcionadas.
2. El informe de ensayo solo es válido para las muestras referidas en el presente informe, no pudiendo extenderse los resultados del informe a o bta que no haya sido analizado.
3. No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de KLAFER S.A.C.
4. KLAFER S.A.C., deslinda responsabilidad de la información proporcionada por el cliente.
5. Datos proporcionados por el cliente (Número de identificación, muestra, fecha de muestreo)
6. Los servicios ofrecidos son conforme a nuestros términos y condiciones.

* para dos o mas cilindros ensayados a la misma edad

Código: KF-RE-28
Versión: 01
Fecha de emisión: 2022-03-01

Pasaje Campos 143 Tambo Huancayo Altura Puente peatonal U.N.C.P.
(Universidad Nacional del Centro del Perú)
e-mail: klafercomercial@gmail.com

RUC 20487134911
Cel 957 259 680
Cel 945-510 108

Análisis de suelos, agua, agregados, análisis químico, prospección sísmica, Geotecnia- Geofísica

Nota. En la imagen se muestra los resultados del módulo de elasticidad de las 5 primeras muestras. *KLAFER (2025).*

Figura 32

Certificado del Módulo de Elasticidad – Potencial de colapso Bajo



KLAFER S.A.C.

Desde 2007 GENERANDO DESARROLLO E INGENIERÍA

KLAFER S.A.C.
Laboratorio de ensayos
Norma internacional ISO /IEC 17025
 Registrado mediante resolución N° 009178-2020/DSD-INDECOPI

INFORME DE ENSAYO

N° : KF-754-elast-2025		Fecha de emisión		2025-10-17		N° páginas		1 de 1	
Ensayo	ACI 318S-14	Método	Requisitos de reglamento para concreto estructural						
Solicitante	Ramos Piñas, David								
Dirección del solicitante	Huancayo								
Estudio / Obra	Influencia del potencial de colapso de suelos en el dimensionamiento óptimo del concreto rodillado en vías urbanas d								
Ubicación / Procedencia	El Tambo								
Descripción del proceso	Módulo de elasticidad	Lugar en el que se realiza el ensayo			Laboratorio de Concreto Klafer				
Condiciones ambientales									
Temperatura, °C	Inicio	Fin	Humedad relativa, %		Inicio	Fin			
	15.20	15.20			54.00	54.00			
Tipo de muestra	Concreto		Condición de la muestra Mezcla de concreto						
			Fecha de recepción	***	Fecha de ensayo	2025-10-16			
Declaración de conformidad	No aplica	Expediente	754	Orden de trabajo	798				

	M-06	M-07	M-08	M-09	M-10	
Módulo de elasticidad Ee	23.44	23.22	23.00	23.39	23.32	Mpa
Módulo de elasticidad Ee	239.00	236.80	234.50	238.50	237.80	Kg/cm ²

Colapso bajo



FIN DE INFORME

1. KLAFER S.A.C. no realizó la toma de muestra o el muestreo, los resultados se aplicaran a la muestra tal como fueron recepcionadas.
2. El informe de ensayo solo es válido para las muestras referidas en el presente informe, no pudiendo extenderse los resultados del informe a o lote que no haya sido analizado.
3. No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de KLAFER S.A.C.
4. KLAFER S.A.C. deslinda responsabilidad de la información proporcionada por el cliente.
5. Datos proporcionados por el cliente (Número de identificación, muestra, fecha de muestreo)
6. Los servicios ofrecidos son conforme a nuestros términos y condiciones.

* para dos o mas cilindros ensayados a la misma edad

Código: KF-RE-28
 Versión: 01
 Fecha de emisión: 2022-03-01

Pasaje Campos 143 Tambo Huancayo Altura Puente peatonal U.N.C.P.
(Universidad Nacional del Centro del Perú)
 e-mail: klafercomercial@gmail.com

RUC 20487134911
Cel 957 259 680
Cel 945-510 108

Análisis de suelos, agua, agregados, análisis químico, prospección sísmica, Geotecnia- Geofísica

Nota. En la imagen se muestra los resultados del módulo de elasticidad de las siguientes 5 muestras. *KLAFER (2025).*

Figura 33

Certificado de Caracterización de suelos



KLAFER S.A.C.
Desde 2007 GENERANDO DESARROLLO E INGENIERÍA

KLAFER S.A.C.
Laboratorio de ensayos
Norma internacional ISO /IEC 17025
Registrado mediante resolución N° 009178-2020/DSD-INDECOPI

INFORME DE ENSAYO

Expediente: 754 Fecha de emisión: 2025-09-18 N° páginas: 1 de 1

Ensayo: ASTM D1556 **Método:** Método de ensayo estándar para determinar densidad y peso unitario del suelo en su lugar por Cono De Arena

Solicitante: Ingeniero Ramos Piñas, David

Dirección solicitante: Huancayo

Estudio / Obra: Influencia del potencial de colapso de suelos en el dimensionamiento óptimo del concreto rodillado en vías urbanas de Huancayo – 2025

Ubicación / Procedencia: Huancayo

Descripción del proceso: Caracterización de suelos **Lugar en el que se realiza el ensayo:** Laboratorio de KLAFER S.A.C.

Tipo de muestra: Grava + arena + finos **Condición de la muestra:** Balde con tapa

Condiciones ambientales:

Temperatura, °C	Inicio		Fin		Humedad relativa, %	Inicio		Fin	
	18.90	18.70	55.00	56.00					
Fecha de ensayo: Inicio: 2025-09-16 Fin: 2025-09-18									

Declaración de conformidad: No aplica **Expediente:** 754 **Orden de trabajo:** 798

Punto de ensayo		1	2	3	4	5
Muestra		M-01	M-01	M-01	M-01	M-01
Profundidad	cm	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
Progresiva	km	=	=	=	=	=
Densidad natural húmeda insitu	gr/cc	1.70	1.80	1.60	1.75	1.57
Contenido de humedad	%	7.06	8.33	10.00	7.43	8.28



Consideraciones previas:

Jefe de laboratorio

FIN DE INFORME

1. El CLIENTE, realiza la toma de muestra o el muestreo, los resultados se aplicaran al ensayo tal como fueron recepcionadas
2. El informe de ensayo solo es válido para las muestras referidas en el presente informe, no pudiendo extenderse los resultados del informe a ninguna otra unidad o lote que no haya sido analizado.
3. No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de KLAFER S.A.C.
4. KLAFER S.A.C., deslinda responsabilidad de la información proporcionada por el cliente.
5. Datos proporcionados por el cliente (calicata, muestra, profundidad, progresiva)
6. La selección de la ubicación de los punto de ensayo fueron elegidos por el cliente
6. Los servicios ofrecidos son conforme a nuestros términos y condiciones.

Código: KF-RE-14
Versión: 01
Fecha de emisión: 2021-09-26

Pasaje Campos 143 Tambo Huancayo Altura Puente peatonal U.N.C.P.
(Universidad Nacional del Centro del Perú)
e-mail: klafercomercial@gmail.com

RUC 20487134911
Cel 957 259 680
Cel 945-510 108

Análisis de suelos, agua, agregados, análisis químico, prospección sísmica, Geotecnia- Geofísica

Nota. En la imagen se muestra el certificado de caracterización de suelos de las 5 primeras muestras. *KLAFER (2025).*

Figura 34

Certificado de Caracterización de suelos



KLAFER S.A.C.
Desde 2007 GENERANDO DESARROLLO E INGENIERÍA

KLAFER S.A.C.
Laboratorio de ensayos
Norma internacional ISO /IEC 17025
Registrado mediante resolución N° 009178-2020/DSD-INDECOPI

INFORME DE ENSAYO

Expediente: 754 Fecha de emisión: 2025-09-18 N° páginas: 1 de 1

Ensayo: ASTM D1556 **Método:** Método de ensayo estandar para determinar densidad y peso unitario del suelo en su lugar por Cono De Arena

Solicitante: Ingeniero Ramos Piñas, David

Dirección solicitante: Huancayo

Estudio / Obra: Influencia del potencial de colapso de suelos en el dimensionamiento óptimo del concreto rodillado en vías urbanas de huancayo – 2025

Ubicación / Procedencia: Huancayo

Descripción del proceso: Caracterización de suelos **Lugar en el que se realiza el ensayo:** Laboratorio de KLAFER S.A.C.

Tipo de muestra: Grava + arena + finos **Condición de la muestra:** Balde con tapa

Condiciones ambientales

Temperatura, °C	Inicio		Fin		Humedad relativa, %: Inicio	Fin
	18.90	18.70	55.00	56.00		
Fecha de ensayo: Inicio: Fin						
2025-09-16 2025-09-18						

Declaración de conformidad: No aplica **Expediente:** 754 **Orden de trabajo:** 798

Punto de ensayo		6	7	8	9	10
Muestra		M-01	M-01	M-01	M-01	M-01
Profundidad	cm	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
Progresiva	km	=	=	=	=	=

Densidad natural húmeda insitu	gr/cc	1.83	1.72	1.79	1.65	1.85
Contenido de humedad	%	8.20	7.56	7.26	9.09	8.11



KLAFER S.A.C.
Laboratorio de ensayos, control de calidad y de materiales.

José Luis Ramos Piñas
Ingeniero Civil
Jefe de Laboratorio

Consideraciones previas: **Jefe de laboratorio**

FIN DE INFORME

1. El CLIENTE, realiza la toma de muestra o el muestreo, los resultados se aplicaran al ensayo tal como fueron recepcionadas
2. El informe de ensayo solo es válido para las muestras referidas en el presente informe, no pudiendo extenderse los resultados del informe a ninguna otra unidad o lote que no haya sido analizado.
3. No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de KLAFER S.A.C.
4. KLAFER S.A.C., deslinda responsabilidad de la información proporcionada por el cliente.
5. Datos proporcionados por el cliente (calicata, muestra, profundidad, progresiva)
6. La selección de la ubicación de los punto de ensayo fueron elegidos por el cliente
6. Los servicios ofrecidos son conforme a nuestros términos y condiciones.

Pasaje Campos 143 Tambo Huancayo Altura Puente peatonal U.N.C.P.
(Universidad Nacional del Centro del Perú)
e-mail: klafercomercial@gmail.com

RUC 20487134911
Cel 957 259 680
Cel 945-510 108


Análisis de suelos, agua, agregados, análisis químico, prospección sísmica, Geotecnia- Geofísica

Código: KF-RE-14
Versión: 01
Fecha de emisión 2021-09-26

Nota. En la imagen se muestra el certificado de caracterización de suelos de las 5 siguientes muestras. *KLAFER (2025).*

Figura 35

Certificado del ensayo de resistencia del concreto – Potencial colapso Alto



KLAFER S.A.C.
Desde 2007 GENERANDO DESARROLLO E INGENIERÍA

KLAFER S.A.C.
Laboratorio de ensayos
Norma internacional ISO /IEC 17025
Registrado mediante resolución N° 009178-2020/DSD-INDECOPI


INFORME DE ENSAYO

N° : KF-754-RCP-2025	Fecha de emisión	2025-10-17	N° páginas	1 de 1
----------------------	------------------	------------	------------	--------

Ensayo	Método				
ASTM C39	Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens (1) Método de ensayo estándar de esfuerzo de compresión en especímenes cilíndricos de concreto (1)				
Solicitante	Ramos Piñas, David				
Dirección del solicitante	Huancayo				
Estudio / Obra	Influencia del potencial de colapso de suelos en el dimensionamiento óptimo del concreto rodillado en vías urbanas de Huancayo – 2025				
Ubicación / Procedencia	El Tambo				
Descripción del proceso	Resistencia	Lugar en el que se realiza el ensayo			Laboratorio de Concreto Klatfer
Condiciones ambientales					
Temperatura, °C	Inicio	Fin	Humedad relativa, %	Inicio	Fin
	14.5	14.5		48	48
Tipo de muestra	Concreto		Condición de la muestra	Probeta cilíndrica 6"	
Fecha de muestreo	2025-09-18	Fecha de recepción	=	Fecha de ensayo	2025-10-16
Declaración de conformidad	No aplica	Expediente	754	Orden de trabajo	798

Muestra	M-01	M-02	M-03	M-04	M-05	M-06
Edad de la muestra	28	28	28	28	28	28
Diametro promedio (mm)	150.25	151.50	151.75	151.25	151.00	150.75
Longitud altura (cm)	28.2	28.7	28.8	28.5	29.7	28.0
Área (mm ²)	177.3	180.3	180.9	179.7	179.1	178.5
Carga máxima (KN)	56.51	56.21	53.57	58.15	51.81	58.11
Resistencia Individual (Kg/cm ²)	32.5	31.8	30.2	33.0	29.5	33.2
Tipo de fractura	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 4	Tipo 3	Tipo 2	Tipo 1
Defectos de la muestra	No	No	No	No	No	No
Identificación	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03	Muestra 04	Muestra 05	Muestra 06

Potencial colapso alto



KLAFER S.A.C.
Laboratorio de ensayos, control, análisis y de materiales
Jorge Luis Paredes Espinoza
Ingeniero Civil
Jefe de laboratorio

FIN DE INFORME

1. KLAFER S.A.C. no realiza la toma de muestra o el muestreo, los resultados se aplicaran a la muestra tal como fueron recepcionadas.
2. El informe de ensayo solo es válido para las muestras referidas en el presente informe, no pudiendo extenderse los resultados del informe a ninguna o lote que no haya sido analizado.
3. No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de KLAFER S.A.C.
4. KLAFER S.A.C. deslinda responsabilidad de la información proporcionada por el cliente.
5. Datos proporcionados por el cliente (Número de identificación, muestra, fecha de muestreo)
6. Los servicios ofrecidos son conforme a nuestros términos y condiciones.

* para dos o mas cilindros ensayados a la misma edad

Código: KF-RE-28
Versión: 01
Fecha de emisión: 2022-03-01


Pasaje Campos, 143 Tambo Huancayo Altura Puente peatonal U.N.C.P.
(Universidad Nacional del Centro del Perú)
e-mail: klatfercomercial@gmail.com

RUC 20487134911
Cel 957 259 680
Cel 945-510 108

Nota. En la imagen se muestra el certificado de la resistencia del concreto rodillado en las 5 primeras muestras. *KLAFER (2025).*

Figura 36

Certificado del ensayo de resistencia del concreto – Potencial colapso Alto



KLAFER S.A.C.
Desde 2007 GENERANDO DESARROLLO E INGENIERÍA

KLAFER S.A.C.
Laboratorio de ensayos
Norma internacional ISO /IEC 17025
Registrado mediante resolución N° 009178-2020/DSD-INDECOPI

INFORME DE ENSAYO

N° : KF-754-RCP-2025	Fecha de emisión	2025-10-17	N° páginas	1 de 1
-----------------------------	-------------------------	------------	-------------------	--------

Ensayo	Método				
ASTM C39	Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens (1) Método de ensayo estandar de esfuerzo de compresión en especímenes cilíndricos de concreto (1)				
Solicitante	Ramos Piñas, David				
Dirección del solicitante	Huancayo				
Estudio / Obra	Influencia del potencial de colapso de suelos en el dimensionamiento óptimo del concreto rodillado en vías urbanas de Huancayo – 2025				
Ubicación / Procedencia	El Tambo				
Descripción del proceso	Resistencia	Lugar en el que se realiza el ensayo			Laboratorio de Concreto Klafer
Condiciones ambientales					
Temperatura, °C	Inicio	Fin	Humedad relativa, %	Inicio	Fin
	14.5	14.5		48	48
Tipo de muestra	Concreto		Condición de la muestra	Probeta cilíndrica 6"	
Fecha de muestreo	2025-09-18	Fecha de recepción	=	Fecha de ensayo	2025-10-16
Declaración de conformidad	No aplica	Expediente	754	Orden de trabajo	798

Muestra	M-06	M-07	M-08	M-09	M-10
Edad de la muestra	28	28	28	28	28
Diametro promedio (mm)	150.25	151.50	151.75	151.25	151.25
Longitud altura (cm)	28.2	28.7	28.8	28.5	28.5
Área (mm ²)	177.3	180.3	180.9	179.7	179.7
Carga máxima (KN)	53.9	53.38	54.45	52.5	56.39
Resistencia Individual (Kg/cm ²)	31.0	30.2	30.7	29.8	32.0
Tipo de fractura	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 4	Tipo 3	Tipo 3
Defectos de la muestra	No	No	No	No	No
Identificación	Muestra 06	Muestra 07	Muestra 08	Muestra 09	Muestra 10

Potencial colapso alto

KLAFER S.A.C.
Ingeniería de suelos, concreto,
asfalto y de materiales.

José Luis Palacios Espinoza
Ingeniero Civil
Jefe de laboratorio

FIN DE INFORME

1. KLAFER S.A.C. no realiza la toma de muestra o el muestreo, los resultados se aplicaran a la muestra tal como fueron recepcionadas.
2. El informe de ensayo solo es válido para las muestras referidas en el presente informe, no pudiendo extenderse los resultados del informe a ninguna otra que no haya sido analizado.
3. No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de KLAFER S.A.C.
4. KLAFER S.A.C., deslinda responsabilidad de la información proporcionada por el cliente.
5. Datos proporcionados por el cliente (Número de identificación, muestra, fecha de muestreo)
6. Los servicios ofrecidos son conforme a nuestros términos y condiciones.

*para dos o mas cilindros ensayados a la misma edad

Código: KF-RE-28
 Versión: 01
 Fecha de emisión: 2022-03-01

Pasaje Campos 143 Tambo Huancayo Altura Puente peatonal U.N.C.P.
(Universidad Nacional del Centro del Perú)
e-mail: klafercomercial@gmail.com


RUC 20487134911
Cel 957 259 680
Cel 945 510 108

Análisis de suelos, agua, agregados, análisis químico, prospección sísmica, Geotecnia- Geofísica

Nota. En la imagen se muestra el certificado de la resistencia del concreto rodillado en las 5 siguientes muestras. *KLAFER (2025).*

Figura 37

Certificado del ensayo de resistencia del concreto – Potencial colapso Moderado



KLAFER S.A.C.
Desde 2007 GENERANDO DESARROLLO E INGENIERÍA

KLAFER S.A.C.
Laboratorio de ensayos
Norma internacional ISO /IEC 17025
Registrado mediante resolución N° 009178-2020/DSD-INDECOPI


INFORME DE ENSAYO

N° : KF-754-RCP-2025	Fecha de emisión	2025-10-17	N° páginas	1 de 1
-----------------------------	-------------------------	------------	-------------------	--------

Ensayo	Método				
ASTM C39	Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens (1) Método de ensayo estandar de esfuerzo de compresión en especímenes cilíndricos de concreto (1)				
Solicitante	Ramos Piñas, David				
Dirección del solicitante	Huancayo				
Estudio / Obra	Influencia del potencial de colapso de suelos en el dimensionamiento óptimo del concreto rodillado en vías urbanas de huancayo – 2025				
Ubicación / Procedencia	Huancayo.				
Descripción del proceso	Resistencia	Lugar en el que se realiza el ensayo			Laboratorio de Concreto Klafer
Condiciones ambientales					
Temperatura, °C	Inicio	Fin	Humedad relativa, %	Inicio	Fin
	14.5	14.5		48	48
Tipo de muestra	Concreto		Condición de la muestra	Probeta cilíndrica 6"	
Fecha de muestreo	2025-09-18	Fecha de recepción	=	Fecha de ensayo	2025-10-16
Declaración de conformidad	No aplica	Expediente	754	Orden de trabajo	798

Muestra	M-01	M-02	M-03	M-04	M-05
Edad de la muestra	28	28	28	28	28
Diametro promedio (mm)	150.25	151.50	151.75	151.25	151.00
Longitud altura (cm)	28.2	28.7	28.8	28.5	29.7
Área (mm²)	177.3	180.3	180.9	179.7	179.1
Carga máxima (KN)	61.72	61.52	64.2	61.67	59.53
Resistencia Individual (Kg/cm²)	35.5	34.8	36.2	35.0	33.9
Tipo de fractura	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 4	Tipo 3	Tipo 2
Defectos de la muestra	No	No	No	No	No
Identificación	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03	Muestra 04	Muestra 05

Potencial colapso moderado



KLAFER S.A.C.
Laboratorio de suelos, concreto,
asfalto y de materiales.

José Luis Patarico Estaca
Ingeniero Civil
Jefe de laboratorio

FIN DE INFORME

1. KLAFER S.A.C. no realiza la toma de muestra o el muestreo, los resultados se aplicaran a la muestra tal como fueron recepcionadas.
2. El Informe de ensayo solo es válido para las muestras referidas en el presente informe, no pudiendo extenderse los resultados del informe a ninguna otra que no haya sido analizado.
3. No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de KLAFER S.A.C.
4. KLAFER S.A.C. deslinda responsabilidad de la información proporcionada por el cliente.
5. Datos proporcionados por el cliente (Número de identificación, muestra, fecha de muestreo)
6. Los servicios ofrecidos son conforme a nuestros términos y condiciones.

* para dos o mas cilindros ensayados a la misma edad

Código: KF-RE-28
 Versión: 01
 Fecha de emisión: 2022-03-01

Pasaje Campos 143 Tambo Huancayo Altura Puente peatonal U.N.C.P.
(Universidad Nacional del Centro del Perú)
e-mail: klafercomercial@gmail.com


RUC 20487134911
Cel 957 259 680
Cel 945-510 108

Análisis de suelos, agua, agregados, análisis químico, prospección sísmica, Geotecnia- Geofísica

Nota. En la imagen se muestra el certificado de la resistencia del concreto rodillado en las 5 primeras muestras. *KLAFER (2025).*

Figura 38

Certificado del ensayo de resistencia del concreto – Potencial colapso Moderado




KLAFER S.A.C.
Desde 2007 GENERANDO DESARROLLO E INGENIERÍA

KLAFER S.A.C.
Laboratorio de ensayos
Norma internacional ISO /IEC 17025
Registrado mediante resolución N° 009178-2020/DSD-INDECOPI

INFORME DE ENSAYO

N° : KF-754-RCP-2025		Fecha de emisión		2025-10-17		N° páginas		1 de 1	
Ensayo	Método								
ASTM C39	Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens (1) Método de ensayo estándar de esfuerzo de compresión en especímenes cilíndricos de concreto (1)								
Solicitante	Ramos Piñas, David								
Dirección del solicitante	Huancayo								
Estudio / Obra	Influencia del potencial de colapso de suelos en el dimensionamiento óptimo del concreto rodillado en vías urbanas de Huancayo – 2025								
Ubicación / Procedencia	El Tambo								
Descripción del proceso	Resistencia	Lugar en el que se realiza el ensayo				Laboratorio de Concreto Klafer			
Condiciones ambientales									
Temperatura, °C	Inicio	Fin	Humedad relativa, %			Inicio	Fin		
	14.5	14.5				48	48		
Tipo de muestra	Concreto		Condición de la muestra			Probeta cilíndrica 6"			
Fecha de muestreo	2025-09-18	Fecha de recepción	=	Fecha de ensayo	2025-10-16				
Declaración de conformidad	No aplica	Expediente	754	Orden de trabajo	798				

Muestra	M-06	M-07	M-08	M-09	M-10
Edad de la muestra	28	28	28	28	28
Diámetro promedio (mm)	150.25	151.50	151.75	151.25	151.00
Longitud altura (cm)	28.2	28.7	28.8	28.5	29.7
Área (mm ²)	177.3	180.3	180.9	179.7	179.1
Carga máxima (KN)	62.59	63.11	61.19	63.6	61.81
Resistencia Individual (Kg/cm ²)	36.0	35.7	34.5	36.1	35.2
Tipo de fractura	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 4	Tipo 3	Tipo 2
Defectos de la muestra	No	No	No	No	No
Identificación	Muestra 06	Muestra 07	Muestra 08	Muestra 09	Muestra 10



KLAFER S.A.C.
Laboratorio de ensayos de concreto, suelos y de materiales.
José Luis Piñeros Espinoza
Ingeniero Civil
Calle del laboratorio

Potencial colapso moderado

FIN DE INFORME

- KLAFER S.A.C. no realiza la toma de muestra o el muestreo, los resultados se aplicaran a la muestra tal como fueron recepcionadas.
- El informe de ensayo solo es válido para las muestras referidas en el presente informe, no pudiendo extenderse los resultados del informe a ninguna otra que no haya sido analizado.
- No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de KLAFER S.A.C.
- KLAFER S.A.C., deslinda responsabilidad de la información proporcionada por el cliente.
- Datos proporcionados por el cliente (Número de identificación, muestra, fecha de muestreo)
- Los servicios ofrecidos son conforme a nuestros términos y condiciones.

* para dos o mas cilindros ensayados a la misma edad

Código: KF-RE-28
Versión: 01
Fecha de emisión: 2022-03-01

Pasaje Campos 143 Tambo Huancayo Altura Puente peatonal U.N.C.P.
(Universidad Nacional del Centro del Perú)
e-mail: klafercomercial@gmail.com

RUC 20487134911
Cel 957 259 680
Cel 945-510 108

Análisis de suelos, agua, agregados, análisis químico, prospección sísmica, Geotecnia- Geofísica

Nota. En la imagen se muestra el certificado de la resistencia del concreto rodillado en las 5 siguientes muestras. *KLAFER (2025).*

Figura 39

Certificado del ensayo de resistencia del concreto – Potencial colapso Bajo



KLAFER S.A.C.
Desde 2007 GENERANDO DESARROLLO E INGENIERÍA

KLAFER S.A.C.
Laboratorio de ensayos
Norma internacional ISO /IEC 17025

Registrado mediante resolución N° 009178-2020/DSD-INDECOPI

INFORME DE ENSAYO

N° : KF-754-RCP-2025		Fecha de emisión		2025-10-17	N° páginas	1 de 1
Ensayo	Método					
ASTM C39	Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens (1) Método de ensayo estándar de esfuerzo de compresión en especímenes cilíndricos de concreto (1)					
Solicitante	Ramos Piñas, David					
Dirección del solicitante	Huancayo					
Estudio / Obra	Influencia del potencial de colapso de suelos en el dimensionamiento óptimo del concreto rodillado en vías urbanas de Huancayo – 2025					
Ubicación / Procedencia	El Tambo					
Descripción del proceso	Resistencia	Lugar en el que se realiza el ensayo			Laboratorio de Concreto Klafer	
Condiciones ambientales						
Temperatura, °C	Inicio	Fin	Humedad relativa, %	Inicio	Fin	
	14.5	14.5		48	48	
Tipo de muestra	Concreto		Condición de la muestra	Probeta cilíndrica 6"		
Fecha de muestreo	2025-09-18	Fecha de recepción	=	Fecha de ensayo	2025-10-16	
Declaración de conformidad	No aplica	Expediente	754	Orden de trabajo	798	

Muestra	M-01	M-02	M-03	M-04	M-05
Edad de la muestra	28	28	28	28	28
Diametro promedio (mm)	150.25	151.50	151.75	151.25	151.00
Longitud altura (cm)	28.2	28.7	28.8	28.5	29.7
Área (mm ²)	177.3	180.3	180.9	179.7	179.1
Carga máxima (KN)	68.68	70.72	73.08	70.12	67.96
Resistencia Individual (Kg/cm ²)	39.5	40.0	41.2	39.8	38.7
Tipo de fractura	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 4	Tipo 3	Tipo 2
Defectos de la muestra	No	No	No	No	No
Identificación	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03	Muestra 04	Muestra 05

Potencial colapso bajo



KLAFER S.A.C.
Laboratorio de ensayos, concreto, análisis de materiales.
José Luis Palacios España
Ingeniero Civil
Jefe de Laboratorio

FIN DE INFORME

1. KLAFER S.A.C. no realizó la toma de muestra o el muestreo, los resultados se aplicaran a la muestra tal como fueron recepcionadas.
2. El informe de ensayo solo es válido para las muestras referidas en el presente informe, no pudiendo extenderse los resultados del informe a ninguna o bile que no haya sido analizado.
3. No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de KLAFER S.A.C.
4. KLAFER S.A.C., deslinda responsabilidad de la información proporcionada por el cliente.
5. Datos proporcionados por el cliente (Número de identificación, muestra, fecha de muestreo)
6. Los servicios ofrecidos son conforme a nuestros términos y condiciones.

* para dos o mas cilindros ensayados a la misma edad

Código: KF-RE-28
Versión: 01
Fecha de emisión: 2022-03-01

Pasaje Campos 143 Tambo Huancayo Altura Puente peatonal U.N.C.P.
(Universidad Nacional del Centro del Perú)
e-mail: klafercomercial@gmail.com


RUC 20487134911
Cel 957 259 680
Cel 945-510 108

Análisis de suelos, agua, agregados, análisis químico, prospección sísmica, Geotecnia- Geofísica

Nota. En la imagen se muestra el certificado de la resistencia del concreto rodillado en las 5 primeras muestras. *KLAFER (2025).*

Figura 40

Certificado del ensayo de resistencia del concreto – Potencial colapso Bajo



KLAFER S.A.C.
Desde 2007 GENERANDO DESARROLLO E INGENIERÍA

KLAFER S.A.C.
Laboratorio de ensayos
Norma internacional ISO /IEC 17025
Registrado mediante resolución N° 009178-2020/DSD-INDECOPI

INFORME DE ENSAYO

N° : KF-754-RCP-2025	Fecha de emisión	2025-10-17	N° páginas	1 de 1
----------------------	------------------	------------	------------	--------

Ensayo	Método				
ASTM C39	Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens (1) Método de ensayo estándar de esfuerzo de compresión en especímenes cilíndricos de concreto (1)				
Solicitante	Ramos Piñas, David				
Dirección del solicitante	Huancayo				
Estudio / Obra	Influencia del potencial de colapso de suelos en el dimensionamiento óptimo del concreto rodillado en vías urbanas de Huancayo – 2025				
Ubicación / Procedencia	El Tambo				
Descripción del proceso	Resistencia	Lugar en el que se realiza el ensayo			Laboratorio de Concreto Klafer
Condiciones ambientales					
Temperatura, °C	Inicio	Fin	Humedad relativa, %	Inicio	Fin
	14.5	14.5		48	48
Tipo de muestra	Concreto	Condición de la muestra			Probeta cilíndrica 6"
Fecha de muestreo	2025-09-18	Fecha de recepción	=	Fecha de ensayo	2025-10-16
Declaración de conformidad	No aplica	Expediente	754	Orden de trabajo	798

Muestra	M-06	M-07	M-08	M-09	M-10
Edad de la muestra	28	28	28	28	28
Diámetro promedio (mm)	150.25	151.50	151.75	151.25	151.00
Longitud altura (cm)	28.2	28.7	28.8	28.5	29.7
Área (mm ²)	177.3	180.3	180.9	179.7	179.1
Carga máxima (KN)	70.42	72.48	69.18	71.72	70.08
Resistencia Individual (Kg/cm ²)	40.5	41.0	39.0	40.7	39.9
Tipo de fractura	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 4	Tipo 3	Tipo 2
Defectos de la muestra	No	No	No	No	No
Identificación	Muestra 06	Muestra 07	Muestra 08	Muestra 09	Muestra 10

Potencial colapso bajo

KLAFER S.A.C.
Laboratorio de ensayos, materiales,
suelos y de materiales

José Luis Piñero Espinoza
Ingeniero Civil

FIN DE INFORME

1. KLAFER S.A.C. no realiza la toma de muestra o el muestreo, los resultados se aplicaran a la muestra tal como fueron recepcionadas.
2. El informe de ensayo solo es válido para las muestras referidas en el presente informe, no pudiendo extenderse los resultados del informe a ninguna o lote que no haya sido analizado.
3. No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de KLAFER S.A.C.
4. KLAFER S.A.C. deslinda responsabilidad de la información proporcionada por el cliente.
5. Datos proporcionados por el cliente (Número de identificación, muestra, fecha de muestreo)
6. Los servicios ofrecidos son conforme a nuestros términos y condiciones.

Código: KF-RE-28
 Versión: 01
 Fecha de emisión: 2022-03-01

Pasaje Campos 143 Tambo Huancayo Altura Puente peatonal U.N.C.P.
(Universidad Nacional del Centro del Perú)
e-mail: klafercomercial@gmail.com

RUC 20487134911
Cel 957 259 680
Cel 945-510 108

Análisis de suelos, agua, agregados, análisis químico, prospección sísmica, Geotecnia- Geofísica

Nota. En la imagen se muestra el certificado de la resistencia del concreto rodillado en las 5 siguientes muestras. *KLAFER (2025).*

Figura 41

Certificado del ensayo del Módulo de elasticidad



INFORME DE ENSAYO					
N° : KF-754-elast-2025		Fecha de emisión		2025-10-17 N° páginas	
Ensayo	ACI 318S-14	Método	Requisitos de reglamento para concreto estructural		
Solicitante	Ramos Piñas, David				
Dirección del solicitante	Huancayo				
Estudio / Obra	Influencia del potencial de colapso de suelos en el dimensionamiento óptimo del concreto rodillado en vías urbanas de huancayo – 2025				
Ubicación / Procedencia	El Tambo				
Descripción del proceso	Módulo de elasticidad	Lugar en el que se realiza el ensayo		Laboratorio de Concreto Klafer	
Condiciones ambientales	Temperatura, °C				
	Inicio	Fin	Humedad relativa, %	Inicio	Fin
	15.20	15.20		54.00	54.00
Tipo de muestra	Concreto	Condición de la muestra Mezcla de concreto			
Fecha de muestreo	2025-09-18	Fecha de recepción	***	Fecha de ensayo	2025-10-16
Declaración de conformidad	No aplica	Expediente	754	Orden de trabajo	798

	M-01	M-02	M-03	M-04	M-05	
Espesor	24.50	25.00	26.00	24.80	25.50	cm



FIN DE INFORME

1. KLAFER S.A.C. no realiza la toma de muestra o el muestreo, los resultados se aplicaran a la muestra tal como fueron recepcionadas.
 2. El informe de ensayo solo es válido para las muestras referidas en el presente informe, no pudiendo extenderse los resultados del informe a lote que no haya sido analizado.
 3. No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de KLAFER S.A.C.
 4. KLAFER S.A.C. deslinda responsabilidad de la información proporcionada por el cliente.
 5. Datos proporcionados por el cliente (Número de identificación, muestra, fecha de muestreo)
 6. Los servicios ofrecidos son conforme a nuestros términos y condiciones.
- * para dos o mas cilindros ensayados a la misma edad

Código: KF-RE-28
Versión: 01
Fecha de emisión: 2022-03-01

Pasaje Campos 143 Tambo Huancayo Altura Puente peatonal U.N.C.P.
(Universidad Nacional del Centro del Perú)
e-mail: klafercomercial@gmail.com

RUC 20487134911
Cel 957 259 600
Cel 945-510 108

Análisis de suelos, agua, agregados, análisis químico, prospección sísmica, Geotecnia- Geofísica

Nota. En la imagen se muestra el certificado del módulo de elasticidad del concreto rodillado en las 5 primeras muestras. *KLAFER (2025).*

Figura 42

Certificado del ensayo de Módulo de elasticidad



INFORME DE ENSAYO					
N°: KF-754-elas-2025		Fecha de emisión		2025-10-17	N° páginas 1 de 1
Ensayo	Método				
ACI 318S-14	Requisitos de reglamento para concreto estructural				
Solicitante	Ramos Piñas, David				
Dirección del solicitante	Huancayo				
Estudio / Obra	Influencia del potencial de colapso de suelos en el dimensionamiento óptimo del concreto rodado en vías urbanas de Huancayo – 2025				
Ubicación / Procedencia	El Tambo				
Descripción del proceso	Módulo de elasticidad	Lugar en el que se realiza el ensayo		Laboratorio de Concreto Klafer	
Condiciones ambientales	Inicio		Fin		Humedad relativa, %
Temperatura, °C	15.20	15.20	54.00	54.00	
Tipo de muestra	Concreto		Condición de la muestra Mezcla de concreto		
Fecha de muestreo	2025-09-18	Fecha de recepción	***	Fecha de ensayo	2025-10-16
Declaración de conformidad	No aplica	Expediente	754	Orden de trabajo	798

	M-06	M-07	M-08	M-09	M-10	
Espesor	26.20	24.90	25.80	26.50	25.20	cm



Colapso alto

FIN DE INFORME

1. KLAFER S.A.C. no realizó la toma de muestra o el muestreo, los resultados se aplican a la muestra tal como fueron recepcionadas.
2. El informe de ensayo solo es válido para las muestras referidas en el presente informe, no pudiendo extenderse los resultados del informe a o lote que no haya sido analizado.
3. No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de KLAFER S.A.C.
4. KLAFER S.A.C. destina responsabilidad de la información proporcionada por el cliente.
5. Datos proporcionados por el cliente (Número de identificación, muestra, fecha de muestreo)
6. Los servicios ofrecidos son conforme a nuestros términos y condiciones.

* para dos o mas cilindros ensayados a la misma edad

Código: KF-RE-28
Versión: 01
Fecha de emisión: 2022-03-01

Pasaje Campos 143 Tambo Huancayo Altura Puente peatonal U.N.C.P.
(Universidad Nacional del Centro del Perú)
e-mail: klafercomercial@gmail.com

RUC 20487134911
Cel 957 259 680
Cel 945-510 108

Análisis de suelos, agua, agregados, análisis químico, prospección sísmica, Geotecnia- Geofísica

Nota. En la imagen se muestra el certificado del módulo de elasticidad del concreto en las 5 siguientes muestras. *KLAFER (2025).*

Anexo G. Panel Fotográfico.**Figura 43**

Toma de muestras calicata N° 01



Nota. En la imagen se muestra el lugar de la toma de muestra en uno de los puntos de estudio.

Elaboración propia (2025).

Figura 44

Toma de muestras calicata N° 02



Nota. En la imagen se muestra el lugar de la toma de muestra en la Calicata 2 de estudio.

Elaboración propia (2025).

Figura 45

Toma de muestras calicata N° 08



Nota. En la imagen se muestra el lugar de la toma de muestra en la calicata N° - 08. *Elaboración propia (2025).*

Figura 46

Toma de muestras calicata N° 05



Nota. En la imagen se muestra el lugar de la toma de muestra en la calicata N° - 05. *Elaboración propia (2025).*

Figura 47

Toma de muestras calicata N° 03



Nota. En la imagen se muestra el lugar de la toma de muestra en la calicata N° - 03. *Elaboración propia (2025).*

Figura 48

Toma de muestras calicata N° 04



Nota. En la imagen se muestra el lugar de la toma de muestra en la calicata N° - 04. *Elaboración propia (2025).*

Figura 49

Toma de muestras calicata N° 06



Nota. En la imagen se muestra el lugar de la toma de muestra en la calicata N° - 06. *Elaboración propia (2025).*

Figura 50

Toma de muestras calicata N° 07



Nota. En la imagen se muestra el lugar de la toma de muestra en la calicata N° - 07. *Elaboración propia (2025).*