



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



**PROPUESTA DE OBTENCIÓN DE C.B.R. EN RELLENOS
CONTROLADOS MEDIANTE PENETRACIÓN UTILIZANDO
ENERGÍA DE COMPACTACIÓN DINÁMICA EN VÍAS DE
EJECUCIÓN DEL DISTRITO DE JULIACA**

TESIS

PRESENTADA POR:

BRAYAN ALEXANDER CHUQUIJA QUISPE

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

PUNO – PERÚ

2024



BRAYAN ALEXANDER CHUQUIJA QUISPE

PROPUESTA DE OBTENCIÓN DE C.B.R. EN RELLENOS CONTROLADOS MEDIANTE PENETRACIÓN UTILIZANDO ENE...

Universidad Nacional del Altiplano

Detalles del documento

Identificador de la entrega
trn:oid::8254:415201812

130 Páginas

Fecha de entrega
11 dic 2024, 5:35 p.m. GMT-5

27,925 Palabras

Fecha de descarga
11 dic 2024, 5:45 p.m. GMT-5

143,807 Caracteres

Nombre de archivo

PROPUESTA DE OBTENCIÓN DE CBR EN RELLENOS CONTROLADOS MEDIANTE PENETRACIÓN UTIL...pdf

Tamaño de archivo
1.8 MB



Ing. Samuel Huanosta Cáceres
DOCENTE UNIVERSITARIO
COD. UNA N° 2007637


VORS
12/12/2024

Ing. Jaime Medina Leiva
DOCENTE UNIVERSITARIO
COD. UNA N° 910945
SUBDIRECTOR DE EDIC





5% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes suprimidas, para ca...

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado
- ▶ Texto mencionado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

- 4% Fuentes de Internet
- 1% Publicaciones
- 3% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alerta de integridad para revisión

Texto oculto

634 caracteres sospechosos en N.º de página

El texto es alterado para mezclarse con el fondo blanco del documento

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirla de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Ing. Samuel Huaguisto Cáceres
DOCENTE UNIVERSITARIO
COD. UNANº 2007537

VOSO

12/12/2024
Ing. Jaime Medina Leiva
DOCENTE UNIVERSITARIO
COD. UNANº 940645
SUBDIRECTOR DE INJEPIC





DEDICATORIA

Esta investigación es la conclusión de un periodo interesante en mi vida, y no se hubiera podido concluir sin el apoyo y confianza de mis padres, Esteban Chuquiya Chuquiya y Maria Quispe Gutiérrez, es para mí reconfortante poder dedicarles mi investigación a mis padres.



AGRADECIMIENTOS

A Dios por mantenerme constante hacia el camino del éxito poniendo en mi camino excelentes personas como familia y amigos, un agradecimiento especial para mis padres Esteban Chuquiya Chuquiya y Maria Quispe Gutiérrez, por demostrarme que la perseverancia y el esfuerzo logran grandes resultados, por la confianza que tuvieron en mi desde mis primeros pasos hasta la actualidad, motivándome más para así poder realizar mi tesis.

A mis hermanos Delia, Raúl y Arcadio, que me dieron pautas, tips y apoyo moral; de estos un agradecimiento especial a Raúl por formarme académica y humanamente en gran parte de lo vivido, también por ayudarme a iniciar esta investigación desde el primer día apoyándome en situaciones buenas y situaciones complicadas, no solo en la ejecución de la tesis, sino también a lo largo de todo el periodo profesional y académico.

A la Lic. Katherine Karina Paredes Ylasaca, por acompañarme en mis días, en los altos y en los bajos de la época universitaria, que con su actitud y forma de ser estuvo dándome el soporte necesario para plantearme y lograr metas cada día.

A los ingenieros Ing. Juan Carlos Mansilla Gallegos, Ing Cristian Toribio Condori Apaza, Ing Wilson Juan Flores Ticona, por ser tan buenas personas conmigo mostrándome los pasos por la vida profesional y por motivarme a poder ser mejor cada día, gracias por creer en mi para que yo pudiese seguir escalando más peldaños.

Finalmente, al Ing. Deywid Wagner Marrón Machaca, por ayudarme con su amplio conocimiento, por las horas y días que me ayudo a perfeccionar la aplicación de ensayos y procedimientos que exige una investigación de calidad, también por los consejos, el apoyo moral y la amistad que construimos a lo largo de la ejecución de la tesis.

Gracias a todos ustedes, se logró un peldaño más.



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
INDICE GENERAL	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE ANEXOS	
ÍNDICE DE ACRONIMOS	
RESUMEN	17
ABSTRACT.....	18
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	19
1.2. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	22
1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	23
1.3.1. Objetivo general	23
1.3.2. Objetivos específicos	23
1.4. HIPOTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	23
1.4.1. Hipótesis general:	23
1.4.2. Hipótesis específicas.	23
CAPÍTULO II	
REVISIÓN DE LA LITERATURA	
1.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	25
1.1.1. Antecedentes Internacionales	25



1.1.1. antecedentes Nacionales.....	30
2.1.3. Antecedentes Regionales	34
2.2. MARCO TEORICO	36
2.2.1. Definición de un prototipo	36
2.2.2. Características Físicas:	36
2.2.3. Características Operativas	36
2.2.4. Características mecánicas:	36
2.2.5. Propiedades Físicas de los suelos.....	37
2.2.6. Propiedades Mecánicas de los suelos.....	37
2.2.7. California Bearing Ratio %C.B.R.	37
2.2.8. Energía de compactación	48
2.2.9. Penetración utilizando Energía de Compactación Dinámica	50
2.2.10. Análisis Granulométrico por Tamizado:	56
2.2.11. Contenido de humedad en suelos.....	61
2.2.12. Determinación del contenido optimo de humedad y la máxima densidad seca. 63	

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ESTUDIO	68
3.2. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN:	68
3.2.1. Tipo de Investigación:	68
3.2.2. Enfoque de la investigación:	68
3.2.3. Diseño de Investigación	69
3.2.4. Nivel de Investigación:	69
3.2.5. Operacionalización de Variables:	69



3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA DEL ESTUDIO	70
3.3.1. Características técnicas de las vías en estudio:	74
3.3.2. Puntos de evaluación de las vías en estudio.....	75
3.4. PROCEDIMIENTO	78
3.4.1. Procedimiento administrativo.	78
3.4.2. Procedimiento Aplicativo.....	79
3.5. MATERIALES	81
3.5.1. Extracción de muestras:	81
3.5.2. Análisis granulométrico de las Muestras.	82
3.5.3. Determinación del Índice Plástico (IP)	83
3.5.4. Ensayo de Proctor Modificado.....	84
3.5.5. Ensayo California Bearing Ratio (C.B.R).....	84
3.5.6. Ensayo de Penetración mediante Prototipo utilizando energía de compactación dinámica.....	85
3.5.7. Ensayo de penetración por prototipo vs C.B.R. de la muestra 01 – Jr. Calixto Arestegui c/n Jr. Unión.....	89
3.5.8. Ensayo de penetración por prototipo vs C.B.R. de la muestra 02 – Jr. Unión – cuadra 01	89
3.5.9. Ensayo de penetración por prototipo vs C.B.R. de la muestra 03 – Av. Néstor Cáceres Velásquez c/n Av. Circunvalación.....	90
3.5.10. Ensayo de penetración por prototipo vs C.B.R. de la muestra 04 – Av. Néstor Cáceres Velásquez c/n Jr. Justino Guillen.	91
3.5.11. Ensayo de penetración por prototipo vs C.B.R. de la muestra 05 – Av. Néstor Cáceres Velásquez c/n Jr. Huayna Cápac.	91



3.5.12. Ensayo de penetración por prototipo vs C.B.R. de la muestra 06 – Av. Los Geranios – Cuadra 03	92
3.5.13. Ensayo de penetración por prototipo vs %C.B.R. de la muestra 07 – Av. Los Geranios – Cuadra 04.....	93
3.5.14. Ensayo de penetración por prototipo vs C.B.R. de la muestra 08 – Av. Los Geranios – Cuadra 05	93
3.5.15. Ensayo de penetración por prototipo vs densidad seca de la muestra 01 – Jr. Calixto Arestegui c/n Jr. Unión.	94
3.5.16. Ensayo de penetración por prototipo vs densidad seca de la muestra 02 – Jr. Unión – cuadra 01	95
3.5.17. Ensayo de penetración por prototipo vs densidad seca de la muestra 03 – Av. Néstor Cáceres Velásquez c/n Av. Circunvalación.....	95
3.5.18. Ensayo de penetración por prototipo vs densidad seca de la muestra 04 - Av. Néstor Cáceres Velásquez c/n Jr. Justino Guillen.	96
3.5.19. Ensayo de penetración por prototipo vs densidad seca de la muestra 05 - Av. Néstor Cáceres Velásquez c/n Jr. Huayna Cápac.....	97
3.5.20. Ensayo de penetración por prototipo vs densidad seca de la muestra 06 – Av. Los Geranios – Cuadra 03	97
3.5.21. Ensayo de penetración por prototipo vs densidad seca de la muestra 07 – Av. Los Geranios – cuadra 04.	98
3.5.22. Ensayo de penetración por prototipo vs densidad seca de la muestra 08 – Av. Los Geranios – cuadra 05.	99



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS:	100
4.1.1. Sobre el objetivo general.....	100
4.1.2. Sobre el objetivo específico número 01	101
4.1.3. Sobre el objetivo específico número 02	102
4.1.4. Sobre el objetivo específico Número 03	108
4.2. DISCUSIÓN	115
V. CONCLUSIONES	120
VI. RECOMENDACIONES	122
VII: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	123
ANEXOS	128

ÁREA : Ensayos en vías

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: Transportes y gestión vial

TEMA: Propuesta metodológica para obtención del valor de C.B.R.

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 19 de diciembre del 2024.



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Cargas patrón para C.B.R.....	39
Tabla 2 Tabla 402-02 consideraciones para sub bases	40
Tabla 3 403-02 Valores de C.B.R. para bases	40
Tabla 4 Penetración de C.B.R. recomendado.....	46
Tabla 5 Esfuerzo patrón	48
Tabla 6 Tamices Estandar.....	57
Tabla 7 Peso mínimo aproximado de la porción.....	59
Tabla 8 Tamices requeridos para la primera fracción	60
Tabla 9 Tamices requeridos para la segunda fracción.....	60
Tabla 10 Masa mínima recomendada para espécimen húmedo	62
Tabla 11 Operacionalización de variables.....	69
Tabla 12 Vías programadas para su ejecución en el semestre I - periodo 2024.....	70
Tabla 13 Coordenadas de extracción de muestras de la vía N° 01	72
Tabla 14 Coordenadas de extracción de muestras de la vía N° 02	72
Tabla 15 Coordenadas de extracción de muestras de la vía N° 03	73
Tabla 16 Coordenadas de evaluación de la vía N° 04.....	73
Tabla 17 Características técnicas de las vías en estudio.	74
Tabla 18 Puntos de evaluación por área.....	75
Tabla 19 Cálculo de puntos de estudio por área.....	76
Tabla 20 Cálculo de puntos de estudio por volumen	77
Tabla 21 Número de puntos de evaluación considerados por vía de estudio.....	78
Tabla 22 Descripción de las muestras en estudio.....	81
Tabla 23 Análisis granulométrico	83
Tabla 24 Ensayo de Proctor Modificado.....	84



Tabla 25 Ensayo de C.B.R.	85
Tabla 26 C.B.R. vs. Penetración - muestra 01	89
Tabla 27 C.B.R. vs. Penetración - muestra 02	90
Tabla 28 C.B.R. vs. Penetración - muestra 03	90
Tabla 29 C.B.R. vs. Penetración - muestra 04	91
Tabla 30 C.B.R. vs. Penetración - muestra 05	92
Tabla 31 C.B.R. vs. Penetración - muestra 06	92
Tabla 32 C.B.R. vs. Penetración - muestra 07	93
Tabla 33 C.B.R. vs. Penetración - muestra 08	94
Tabla 34 Penetración vs. densidad seca - muestra 01	94
Tabla 35 Penetración vs. densidad seca - muestra 02.	95
Tabla 36 Penetración vs. densidad seca - muestra 03.	96
Tabla 37 Penetración vs. densidad seca - muestra 04.	96
Tabla 38 Penetración vs. densidad seca - muestra 5.	97
Tabla 39 Penetración vs. densidad seca - muestra 06.	98
Tabla 40 Penetración vs. densidad seca - muestra 07.	99
Tabla 41 Penetración vs. densidad seca - muestra 08.	99
Tabla 42 Coeficiente R de Pearson: Penetración – C.B.R.	101
Tabla 43 Consolidado de datos: Penetración por prototipo y densidad seca. .	102
Tabla 44 Coeficiente R de Pearson: Penetración - Densidad Seca	105
Tabla 45 Consolidado de datos: Penetración por prototipo y C.B.R.	105
Tabla 46 Coeficiente R de Pearson: Penetración - C.B.R.	108
Tabla 47 Ensayo de Penetración por prototipo en campo - Muestra 01	111
Tabla 48 Ensayo de penetración por prototipo en campo - Muestra 02.....	112
Tabla 49 Ensayo de penetración por prototipo en campo - Muestra 03.....	112



Tabla 50	Ensayo de penetración por prototipo en campo - Muestra 04.....	113
Tabla 51	Ensayo de penetración por prototipo en campo - Muestra 05.....	113
Tabla 52	Ensayo de penetración por prototipo en campo - Muestra 06.....	114
Tabla 53	Ensayo de penetración por prototipo en campo - Muestra 07.....	114
Tabla 54	Ensayo de penetración por prototipo en campo - Muestra 08.....	115



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Moldes para ensayo de C.B.R.	43
Figura 2 Vista en planta de discos de sobrecarga	43
Figura 3 Tripode de expansión	44
Figura 4 Curva esfuerzo - penetración.....	47
Figura 5 Ensayo de penetración mediante prototipo en laboratorio.	54
Figura 6 Ensayo de penetración en campo	56
Figura 7 Molde para Proctor Modificado, método C	65
Figura 8 Vista satelital de las muestras de estudio.....	74
Figura 9 Relación entre golpes del prototipo y la penetración generada.....	86
Figura 10 Nomograma: Penetración mediante prototipo - C.B.R.	109
Figura 11 Nomograma: Penetración mediante prototipo - Densidad seca	110



ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A: Solicitudes presentadas a la municipalidad de San Román.	131
Anexo B: Solicitud de uso de laboratorio y constancia de uso de laboratorio.	134
Anexo C: Constancias de extracción de muestras y evaluación mediante prototipo.	137
Anexo D: Planos del prototipo de penetración.	148
Anexo E: Matriz de consistencia.	150
Anexo F: Análisis granulométrico de las muestras en estudio.	152
Anexo G: Ensayos de Proctor modificado de las vías en estudio.	161
Anexo H: Ensayos de C.B.R. de las vías en estudio.	186
Anexo I: Ensayo de penetración mediante prototipo utilizando energía de compactación dinámica (laboratorio).	227
Anexo J: Consolidado de datos para la generación del nomograma penetración – densidad seca.	262
Anexo K: Consolidado de datos para la generación del nomograma penetración - C.B.R.	265
Anexo L: Ensayo de penetración mediante prototipo utilizando energía de compactación dinámica (campo).	268
Anexo M: Panel fotográfico.	279
Anexo N: Demostración del número de golpes ideal para el prototipo.	296



ÍNDICE DE ACRONIMOS

C.B.R.	: California Bearing Ratio.
ASTM	: American Society for Testing and Materials.
AASHTO	: American Association Standards Highway Transportation officials.
L.P.	: Limite plástico
L.L.	: Limite líquido.
I.P.	: Índice plástico
N.P.	: No plástico
Pen.	: Penetración
MTC.	: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
UTM	: Universal transverse mercator.
Cu.	: Coeficiente de uniformidad.
Cc.	: Coeficiente de curvatura.
M-01	: Muestra 01, Jr. Unión c//n Jr. Calixto Arestegui
M-02	: Muestra 02, Jr. Unión – cuadra 01
M-03	: Muestra 03, Av. Néstor Cáceres Velásquez c/n Av. Circunvalación
M-04	: Muestra 04, Av. Néstor Cáceres Velásquez c/n Jr. Justino Guillen
M-05	: Muestra 05, Av. Néstor Cáceres Velásquez c/n Jr. Mayta Cápac
M-06	: Muestra 06, Av. Los Geranios – cuadra 03
M-07	: Muestra 07, Av. Los Geranios – cuadra 04
M-08	: Muestra 08, Av. Los Geranios – cuadra 05
M-09	: Muestra 09, Jr. Dos de septiembre c/n Huayna Cápac
M-10	: Muestra 10, Jr. Dos de septiembre c/n Cordillera



RESUMEN

Actualmente existen dos metodologías para la obtención del valor de C.B.R. que contempla la normativa peruana, el ensayo de C.B.R. en campo tiene desventajas debido al tiempo y costo de la ejecución de ese ensayo por cada punto; por otro lado, la obtención del valor de C.B.R. en laboratorio es un proceso demoroso que incluye cuatro días de inmersión en agua; debido a esto se necesita una nueva metodología que optimice los recursos, costos y sobre todo el tiempo para la obtención del valor de C.B.R. Esta investigación tiene como objetivo principal: Proponer una alternativa para estimar el valor de C.B.R. en rellenos controlados mediante penetración, utilizando energía de compactación dinámica en vías de ejecución del distrito de Juliaca; la investigación es aplicada con un enfoque cuantitativo, manteniendo un diseño experimental con un nivel de investigación predictivo; la población de estudio está conformada por 13 proyectos viales programados según el sistema de seguimiento de inversiones, la muestra integra 4 de estos proyectos viales, de estos proyectos se realizó la extracción de muestras en diez puntos de estudio para finalmente proponer un nomograma de penetración mediante prototipo vs C.B.R., este nomograma tiene un coeficiente R de Pearson = -0.952 lo cual indica que la relación entre la penetración y el valor de C.B.R. tiene una correlación muy alta e inversamente proporcional; en cuanto al nomograma esta investigación propone la ecuación $Y = 0.0115x^2 - 0.3015x + 2.0462$, donde el valor de x será reemplazado por la penetración medido en (mm) utilizando energía de compactación dinámica y el valor de Y representa el valor de C.B.R. estimado medido en unidades decimales.

Palabras Clave: C.B.R., Dinámica, Nomograma, Penetración, Prototipo.



ABSTRACT

Currently there are two methodologies to obtain the C.B.R. value contemplated by Peruvian regulations, the C.B.R. test in the field has disadvantages due to the time and cost of executing this test for each point; on the other hand, obtaining the C.B.R. value in the laboratory is a lengthy process that includes four days of immersion in water; due to this, a new methodology is needed that optimizes resources, costs and above all the time to obtain the C.B.R. value. The main objective of this research is: To propose an alternative to estimate the C.B.R. value in controlled fillings by penetration, using dynamic compaction energy in construction works in the Juliaca district; the research is applied with a quantitative approach, maintaining an experimental design with a predictive research level; the study population is made up of 13 road projects scheduled according to the investment monitoring system, the sample integrates 4 of these road projects, from these projects samples were extracted at ten study points to finally propose a penetration nomogram by prototype vs C.B.R., this nomogram has a Pearson R coefficient = -0.952 which indicates that the relationship between penetration and the C.B.R. value has a very high and inversely proportional correlation; Regarding the nomogram, this research proposes the equation $Y = 0.0115x^2 - 0.3015x + 2.0462$, where the value of x will be replaced by the penetration measured in (mm) using dynamic compaction energy and the value of Y represents the estimated C.B.R. value measured in decimal units.

Keywords: C.B.R., Dynamics, Nomogram, Penetration, Prototype.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad, a nivel internacionalmente el ensayo de C.B.R. es uno de los principales ensayos de mecánica de suelos que se utiliza para determinar la calidad de un material en función de la resistencia de este suelo. tal como describe la metodología propuesta por la norma ASTM D1883-16 Método de prueba estándar para california Bearing Ratio (C.B.R.) de suelos compactados en laboratorio (ASTM D1883-21, 2021).

En la ejecución de obras viales el valor de C.B.R. es un parámetro fundamental, como lo señala el manual de carreteras, suelos, geología, geotecnia, y pavimentos; este ensayo sirve para determinar el índice de resistencia de los suelos al cual llamaremos valor de soporte, su aplicación es muy común para determinar la calidad de material que se utiliza en las capas estructurales de un pavimento (Ministerio de Transportes y comunicaciones, 2016).

La conformación de estas capas estructurales del pavimento, sub base y base, emplean material seleccionado a los cuales se le denominara rellenos controlados tal como se indica en Reglamento Nacional de Edificaciones (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, 2018).

Nuestra normativa vigente hace énfasis en la calidad del material, tal como indica el manual de carreteras, especificaciones generales para construcción donde se muestra en la tabla 402-02 sub base granular indica que para capas de sub base se exige un valor de C.B.R. mínimo de 40%, mientras que para la conformación de bases granulares según la tabla “403-02 Valor relativo de soporte” indica que para vías con tráfico menores a un



millón de ejes equivalentes se necesita un valor de C.B.R. de 80% como mínimo y para vías con tráfico mayores a un millón de ejes equivalentes se necesitara que el material empleado logre un C.B.R. de 100% como mínimo (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013).

El valor de C.B.R. es importante no solo al momento de evaluar la estructura de un pavimento si no también en el diseño estructural de pavimentos, en el Perú el manual de ensayo de materiales propuesto por el ministerio de transportes y comunicaciones contempla dos metodologías para la obtención del C.B.R. las cuales son: MTC E 132 C.B.R. de suelos y MTC E 133 C.B.R. en el terreno (insitu).

La determinación del C.B.R. en campo esta dado por la siguiente normativa, MTC E 133 C.B.R. en el terreno (insitu), este ensayo requiere diversos equipos y herramientas para obtención de resultados, como son : gato mecánico de 5950 lb, dos anillos de carga, pistón de penetración, soporte de diales, diales, puentes de aluminio, platinas de sobrecarga, pesas de sobrecarga, vehículo de carga, viga metálica acondicionada, dos gatas de capacidad de 15 toneladas y equipos misceláneos, otra desventaja es la movilización de equipos y herramientas, para fines de evaluación calibrar el camión y realizar la instalación en cada punto ocasiona demoras en el tiempo de evaluación por cada punto de estudio (Ministerio de Transportes y comunicaciones, 2016).

Para Gino Cruz la aplicación del ensayo de C.B.R. insitu implica muchos materiales, equipos y herramientas las cuales se mencionaron en el párrafo anterior, adicional a esto su aplicación es costosa aproximadamente S/. 500.00 por punto de ensayo; en relación al tiempo de ejecución que se demora en un solo punto menciona que puede variar alrededor de 4 horas en determinarse el valor de C.B.R. insitu, es lo que se indica en las conclusiones de su investigación (Cruz, 2019).



En cambio, la aplicación de MTC E 132 C.B.R. de suelos (Laboratorio) el procedimiento requiere ensayos previos a este, así como también transportar las muestras hacia laboratorios, muchas veces estos laboratorios no tienen la capacidad para realizar pruebas C.B.R. al instante, debido a que los moldes estén ocupados por otras muestras de suelo; lo anterior mencionado demanda tiempo y recursos; adicional a esto sumamos el tiempo de ensayo para hallar el C.B.R. de un suelo que demanda aproximadamente 5 días, es por esto que conocer el C.B.R. de un suelo en laboratorio es un tiempo considerable de espera, y a la vez costoso debido a que el promedio de ensayo de C.B.R. por cada muestra de suelo varia desde los S/. 200 hasta los S/.280 en promedio.

Finalmente, de estos ensayos descritos anteriormente, tienen ventajas y desventajas en función al costo, los recursos y el tiempo de ejecución de estos ensayos; en los párrafos anteriores se muestra la importancia del valor de C.B.R. de un suelo, sin embargo, actualmente es importante la aplicación de nuevas metodologías que puedan garantizar resultados de obtención de C.B.R. en un menor tiempo y utilizando menos recursos.

Con esta investigación se propone una nueva propuesta metodológica para la obtención del valor de C.B.R. en rellenos controlados mediante penetración, utilizando energía de compactación dinámica; con la aplicación de esta metodología se logrará minimizar costos en la evaluación y el proceso de conformación de capas estructurales de pavimentos; logrando así una mayor eficiencia en el control de tiempos, recursos y costos en ejecución de proyectos viales.

Los párrafos anteriores nos llevan a la siguiente interrogante, que representará el punto de inicio para esta metodología de obtención del valor de C.B.R., la cual es: ¿se podrá proponer una alternativa para estimar el valor de C.B.R. en rellenos controlados



mediante penetración, utilizando energía de compactación dinámica en vías de ejecución del distrito de Juliaca?

1.2. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Los procedimientos normados para obtener el valor de C.B.R. de un suelo, tienen desventajas en función a diversos aspectos los cuales se expondrán en comparación a esta propuesta de obtención de C.B.R. que se pretende lograr con esta investigación, aclarando que no se busca el reemplazo de la normativa actual, partiremos así entonces de una justificación económica, una de las principales ventajas de estimar el valor de C.B.R. a través de la penetración generada por el prototipo de la investigación es que se necesitan menos personal y recursos para la obtención del valor de C.B.R. en rellenos controlados.

Sobre el aspecto práctico la propuesta de obtención de C.B.R. que se aborda en esta investigación logra optimizar el tiempo de obtención de resultados en comparación a las normativas actuales, así también podemos mencionar la justificación económica de esta propuesta metodológica para la estimación del valor de C.B.R. en rellenos controlados, debido a que si tenemos optimización de tiempo con la aplicación de menos recursos, esto sin duda es un beneficio económico considerable a comparación de los procedimientos normados nacionalmente.

Esta investigación no solo pretende la optimización de recursos y tiempo; también se espera que con esta metodología se logre obtener una evaluación más rápida y práctica, para así poder lograr un adecuado proceso constructivo con un mayor control de la calidad del material, un mayor grado de compactación y un adecuado valor de C.B.R. en las capas de base y sub base en la conformación de capas estructurales de pavimentos.



1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. Objetivo general

Proponer una alternativa para estimar el valor de C.B.R. en rellenos controlados mediante penetración utilizando energía de compactación dinámica en vías de ejecución del distrito de Juliaca.

1.3.2. Objetivos específicos

- Fabricar un prototipo de estimación del valor de C.B.R. mediante penetración, utilizando energía de compactación dinámica.
- Determinar la relación que tiene las propiedades físico-mecánicas de rellenos controlados y la penetración mediante prototipo utilizando energía de compactación dinámica.
- Proponer un nomograma de penetración utilizando energía de compactación dinámica vs. C.B.R. para rellenos controlados.

1.4. HIPOTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. Hipótesis general:

La propuesta de obtención del valor de C.B.R. en rellenos controlados mediante penetración utilizando energía de compactación dinámica puede aproximarse al valor de C.B.R. significativamente.

1.4.2. Hipótesis específicas.

- El Prototipo fabricado logra determinar aproximadamente el valor de C.B.R. mediante penetración, utilizando energía de compactación dinámica.



- La relación existente entre las propiedades físico-mecánicas y la penetración utilizando energía de compactación dinámica es inversamente proporcional.
- El nomograma de penetración utilizando energía de compactación dinámica vs C.B.R. para rellenos controlados se aproxima satisfactoriamente al valor real de C.B.R.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1. Antecedentes Internacionales

Exponen Christopher Mejía, Jaime Gilces, Eduardo Ortiz y Jimmy García en la revista Riemat su investigación del 2020 que se titula: “Análisis comparativo de suelo de campo y laboratorio para la medición de su capacidad portante con ensayos de Valor de Soporte de California (C.B.R.) y Cono Dinámico de Penetración (DCP) en la Universidad Técnica de Manabí”, esta investigación se centró en la aplicación del DCP en las áreas de estudio seleccionado, para luego realizar la exploración mediante calicatas, de las muestras extraídas realizaron ensayos de mecánica de suelos así como también el C.B.R. de los suelos en estudio, a continuación los investigadores realizaron correlaciones entre el C.B.R. y el DCP donde presentan sus resultados mediante cuadros estadísticos; Finalmente de las conclusiones a las que llegaron los tesisistas indican que se puede encontrar un C.B.R. más conservador cuando se realiza en laboratorio que cuando se utiliza correlaciones como las que realizaron en su investigación, donde la confiabilidad de la correlación es superior al 0.90 el cual se cataloga como adecuado adicional a lo indicado plantean como ecuación: $C.B.R.=292/DCP^{1.12}$ (Mejia et al., 2020).

Así también exponen Joan Castillo y Lenin Mena en el año 2019 publicaron su artículo titulado “Correlación entre el penetrómetro dinámico de cono (DCP) y la relación de soporte de california (C.B.R.) en campo para el suelo



de subrasante de la vía Portoviejo-Manta”, donde los materiales y métodos que se aplican son: Donde se extrajeron muestras de suelo mediante la apertura de calicatas a lo largo de la vía Portoviejo – Manta, donde se obtuvieron muestras a 0.70 m., 0.80 m. y 1.50 m., los tesis indican que se realizó en el ensayo con el penetrómetro dinámico de cono (DCP) donde detallan los resultados a través de tablas los cuales serán comparados con la obtención de C.B.R. de los mismos puntos, los tesis llegan a la conclusión que dependiendo de la penetración de C.B.R. si es a 0.1” o 0.2” se aplicarán diferentes fórmulas de estas su confiabilidad tiene un valor promedio de 0.85, dentro de estas las más conservadora es $C.B.R.=17.884 * e^{-.0032DCP}$ (Castillo & Mena, 2019).

De la misma manera indica Tatiana Lozada en su investigación: “Correlación entre el C.B.R., DCP y las propiedades índice y mecánicas en los suelos de las parroquias: Patate (La matriz) y el Triunfo del cantón Patate, Provincia de Tungurahua” donde planteo como objetivo principal determinar la relación entre el C.B.R., DCP y las propiedades índice y mecánicas en los suelos de las parroquias: Patate (La matriz) y el Triunfo del cantón Patate, Provincia de Tungurahua; y para cumplir el objetivo principal se propuso obtener correlaciones experimentales entre propiedades índice, C.B.R. y DCP, aplicar las correlaciones de laboratorio y zonificar los tipos de suelo estudiados, donde el total de estudio fueron de 12 muestras y sus resultados fueron que obtuvo penetraciones entre 11.44 mm/golpe a 23.1 mm/golpe debido a que los suelos estudiados tiene mayor cantidad de finos, dando como resultados el C.B.R. entre 11% y 45% concluyendo así que para terrenos de subrasante son clasificados como regulares a buenos (Lozada, 2022).



En cambio, para (Meneses, 2023) que realizó la investigación que lleva por título “Comparación Técnica Entre Los Ensayos De Laboratorio De Módulo De Young Y Cbr Para Bases Y Subbases, Caso De Estudio Mina: “Doña Meche”, Ubicada En El Cantón Esmeraldas Provincia De Esmeraldas”, la investigación de Meneses tuvo por objetivo principal pretender obtener el Módulo Resiliente a través de GeoGauge, correlacionándolo con el ensayo de C.B.R. mediante ensayos de laboratorio para las capas de base y sub base de la mina “Doña Meche”; esta investigación tiene un enfoque cuantitativo, con un diseño experimental; dentro de los resultados obtenidos por la investigadora se describe una ecuación de correlación entre el valor de C.B.R. y el módulo resiliente aplicando en bases, la ecuación es la siguiente $Mr(\psi)=28,102 * C.B.R.^2 - 3663.2 * C.B.R. + 127466$ así también determino una ecuación para su aplicación en sub bases la cual es: $Mr(\psi)=15694 * \ln(C.B.R.) - 56785$. Entre las conclusiones más importantes de esta investigación podemos destacar que la investigación se basó en suelos del tipo GW, gravas bien graduadas, gracias a esta clasificación indica que se puede determinar satisfactoriamente el valor del módulo resiliente en una base o sub base en relación al valor de C.B.R. de los mismos.

Otra forma de estimación del valor de C.B.R. es planteado por (Rodriguez, 2020) que realiza una investigación de maestría denominada “Correlaciones entre el C.B.R. de la subrasante y deflexiones medidas con FWD en Colombia, la investigadora define como objetivo principal la obtención del valor de C.B.R. en función a las deflexiones del FWD, la investigación es del tipo cuantitativo, con un enfoque experimental; la investigadora realizó el muestreo de diferentes tipos de suelos, así podemos mencionar que la investigación se utilizaron suelos finos, suelos arenosos y suelos del tipo grava, la investigadora logra proponer



ecuaciones para suelos finos: $C.B.R.=1/(0.1186+0.000041*dr*r*HN)$, en cambio para suelos arenosos plantea: $C.B.R.=1/(0.0125+0.00051*dr*r)$ y finalmente propone la siguiente fórmula para suelos del tipo gravoso: $C.B.R.=1/(0.0095+0.00016*dr*r+0.04562*\%finos)$; entre sus conclusiones podemos destacar que los modelos más apropiados para la estimación del valor de C.B.R. en función de las deflexiones de la viga Benkelman son considerados según la normativa AASHTO 1993, deflexión superficial de pavimentos la cual se encuentra a una distancia determinada.

Otra forma de encontrar el valor de C.B.R. es a través del módulo de reacción tal como investigo (Reátegui & Torres, 2023) en su investigación titulada “Correlación del módulo de reacción y C.B.R. de laboratorio en suelos cohesivos de la subrasante del Jirón Ceticos, Ucayali”; esta investigación plantea como objetivo general la determinación del valor de C.B.R. a través de ecuaciones matemáticas que involucren el módulo de reacción, en cuanto a la metodología de la investigación es del tipo aplicada, con un nivel correlacional un diseño transversal correlacional, considerando una población desde la progresiva 00+000 a la progresiva 00+300, sobre las conclusiones más importantes de este trabajo de investigación, menciona la autora que se obtuvo un valor de $r=0.908$ que interpreta una correlación muy alta, también los investigadores mencionan que para el tipo de suelo estudiado se puede determinar el valor del coeficiente de reacción en función del valor de C.B.R. con la siguiente ecuación $Kr=0.7009*C.B.R.+5.4587$.

En cambio para (Portilla, 2022) en su investigación que lleva por título “correlación entre el C.B.R. de laboratorio, el índice DCP y propiedades físicas y mecánicas de suelos granulares” la investigación tiene como objetivo principal



realizar la correlación existente entre el C.B.R. y el D.C.P. en relación a las propiedades físicas de materiales granulares, la población se consideró 30 muestras de suelo comprendidas entre la sierra y el centro de Ecuador, finalmente el investigador plantea la siguiente ecuación $C:B.R.=425.21*DCP^{-1.017}$ y entre las conclusiones destaca que se tiene un nivel elevado de correlación entre el ensayo de California Bearing Ratio y el ensayo del cono dinámico de penetración.

De la misma manera (Perez, 2023) en su investigación “Análisis de las correlaciones entre el C.B.R, D.C.P, Propiedades índice y mecánicas en suelos de la parroquia Belizario Quevedo, Cantón Latacunga, Provincia de Cotopaxi.” Define como objetivo general analizar la correlación entre el ensayo DCP, C.B.R., las propiedades mecánicas y las propiedades índice de los suelos extraídos de la parroquia Belisario Quevedo, la investigación tiene un enfoque cuantitativo, del tipo explicativo; además de esto la muestra estuvo conformada por 10 puntos de extracción de suelos, las conclusiones más relevantes de la autora son: los suelos estudiados tienen baja plasticidad, se tiene una relación de 95% entre los valores del límite líquido y el límite plástico, finalmente la mayoría de suelos estudiados corresponden SP y SM.

De igual forma los investigadores (Paucara & Quispe, 2024) en su investigación “Correlación entre el CBR de laboratorio y el ensayo DCP in situ en el Campus Universitario de Cota Cota” mencionan como objetivo general poder determinar la correlación que se tiene entre los ensayos de C.B.R: en laboratorio y la cantidad de golpes del ensayo D.C.P; la investigación tiene un enfoque cuantitativo, con un diseño de investigación experimental; esta investigación también plantea una metodología a través de un ensayo normado, lograr determinar el valor de C.B.R. de los diversos tipos de suelos en estudio,



después de realizar los diversos ensayos llegan a la conclusión, que por la naturaleza de las muestras de estudio, estas se clasifican como A-1, A-2-4 y A-4 y para cada uno de ellos plantearon ecuaciones así: $C.B.R.= 17.77+3.86/DN$, $C.B.R.=-2.71+22.19/DN$ y $C.B.R.=2.87*DN^{-0.16}$ respectivamente, indicando que las variables de estudio tienen una correlación muy alta.

2.1.2. antecedentes Nacionales

Exponen Kevin Córdova y Azucena Mori en su investigación que lleva por título: “Modelo matemático para la predicción de la capacidad de soporte (C.B.R.) en suelos expansivos estabilizados con cenizas de cascara de arroz y cal a partir de sus propiedades índice y de compactación” donde se propusieron como objetivo general desarrollar un modelo matemático para predecir el C.B.R. después de estabilizar suelos con cascara de arroz, para cumplir con su objetivo general se propusieron tres problemas específicos los cuales son determinar porcentajes que sean óptimos para la estabilización de suelos con cascara de arroz, obtener un modelo matemático de regresión lineal para predecir los valores de C.B.R. y su aplicación de modelos matemáticos en la evaluación de la vía Sontor hacia el desvío a Selva alegre; Dentro de sus conclusiones más importantes los tesisistas indican que aplicar combinación de cal y cenizas de cascara de arroz puede mejorar hasta más de cinco veces el valor inicial de C.B.R. de un suelo, donde según su modelo matemático, $FACBR = 1.01 + 0.413CCA + 0.9Cal - 0.016CCA^2 - 0.175Cal^2 + 0.01CCA*Cal$, son más óptimos los resultados si se aplican cenizas de cascara de arroz entre el 12% a 15% y cal entre el 2% al 4 % (Cordova & Mori, 2021).



Así también podemos encontrar investigaciones que correlacionan los valores de C.B.R. en función a las propiedades índice de los suelos, tal como indican Luis Suarez, Gloria Santillán y Ronald Calle que su investigación tuvo como objetivo principal. “determinar ecuaciones para calcular el valor del C.B.R. mediante correlación con las propiedades de índice de los suelos y evaluar el nivel de ajuste de las correlaciones mediante el coeficiente de determinación (R^2)” donde utilizaron una población de 30 muestras para realizar las propiedades índices, estas muestras fueron extraídas en diferentes ubicaciones como: Surco, Comas, Miraflores, Chosica. Los investigadores realizaron ensayos de Granulometría, Límite Líquido, Límite Plástico, Proctor y C.B.R., donde utilizaron el método de regresión lineal y se construyeron gráficos para C.B.R. vs máxima densidad seca, donde se puede visualizar que de alguna manera tiene una tendencia lineal directa, los investigadores entre las principales conclusiones llegaron a que: El porcentaje de gravas, el porcentaje de arenas y la máxima densidad seca tiene relación directa con los valores que se obtienen al realizar el ensayo de C.B.R., en cambio se aprecia una relación inversamente proporcional con el límite líquido, límite plástico (Suarez et al., 2023).

Asu vez plantea Gino Cruz en su tesis titulada: “Correlación número de golpes DCP vs Penetración C.B.R. *ínsitu* para resistencia al esfuerzo normal de pavimentos urbanos, Lambayeque, 2018” esta investigación tiene como objetivo principal Determinar la correlación entre la penetración C.B.R. *ínsitu* y el número de golpes DCP, logrando así poder estimar la resistencia al esfuerzo cortante, para lograr el objetivo general el tesista indica los siguientes objetivos específicos, determinar características en suelos de estudio, analizar curvas de resultados en los ensayos DCP y proponer una gráfica en relación al C.B.R. *ínsitu* así como



también la estimación en costos y tiempos entre ambos ensayos; entre las conclusiones más resaltantes se puede apreciar que al analizar las calicatas en estudio el contenido de humedad varia alrededor de 20%, el límite líquido aproximadamente 55% donde la mayoría de suelos son clasificados como arcillas de alta plasticidad, se pudo apreciar que en promedio se dieron 420 golpes por punto de estudio, y su fórmula de correlación que plantea la investigación es la siguiente $C.B.R. (\%) = -5 \times 10^{-5} (\# \text{ golpes})^2 + 0.0318 (\# \text{ de Golpes}) - 0.6041$ y en relación a los costos indican que la obtención de C.B.R. ínsitu es un procedimiento costoso (S/. 500.00) por punto de estudio y una demora en el ensayo de aproximadamente 5 horas (Cruz, 2019).

Propone José Palomino en su tesis titulada: “Factor de Forma para la corrección de valores de densidad y valor de soporte de california con el cuenco de deflexiones producido por el LWD Huancayo 2022” donde se planteó como objetivo general determinar los factores de forma para corrección de valores de densidad y valores de soporte de california, y se planteó como objetivos específicos la obtención de factores de forma para corrección de valores de densidad máxima seca y el valor de soporte de california, así también determino sus factores de corrección entre el C.B.R. y las deflexiones producidas por el deflectómetro de impacto liviano; José palomino llega a la conclusión que realizando correcciones por medio de la ecuación matemática de Nazzal se obtienen valores corregidos de C.B.R. con un factor de 1.2 en promedio para todos los suelos estudiados (Palomino, 2023)

Sustentan los investigadores, Keila Eugenio y Geraldine Ventura en su investigación que tiene por nombre: “Determinación de la relación de soporte de california (C.B.R.) a partir de las propiedades de los suelos para pavimentos de



bajo volumen” estos investigadores proponen como objetivo general de la investigación; Determinar la correlación entre las propiedades mecánicas y físicas en suelos con relación al C.B.R. y su aplicación en pavimentos de carreteras de bajo volumen de tránsito; a su misma vez se plantean objetivos específicos como son: determinar las propiedades mecánicas y físicas de suelos y su relación con el valor de soporte de california, también determinaron la confiabilidad del C.B.R. para su aplicación en carreteras de bajo volumen de tránsito, los tesisistas llegan a concluir que se puede determinar el C.B.R. de un suelo mediante ecuaciones matemáticas que involucran granulometría, máxima densidad seca y contenido óptimos de humedad en los suelos de estudio, dentro de las propiedades mecánicas y físicas que influyen más en el C.B.R. indican los siguientes ensayos limite líquido, limite plástico, índice de plasticidad, máxima densidad seca y el contenido óptimo de humedad (Eugenio & Ventura, 2021).

Por otro lado, en la investigación de Anghela Bazán y Khristy Prado que tiene por título: “Correlación entre el C.B.R. y el P.D.C. en la determinación de la resistencia del suelo en la localidad de Moche”, los investigadores plantean una metodología que lograra correlacionar en ensayo de P.D.C. para estimar los valores de C.B.R. de las 6 calicatas en estudio, el problema principal de esta investigación fue conocer cuál es el modelo de correlación entre el C.B.R. y el P.D.C.; entre las conclusiones más importantes los investigadores destacan que se puede plantear una metodología para la estimación del valor de C.B.R. en suelos que estén clasificados como Arenas SP-SM, SW; utilizando en el ensayo de P.D.C., la fórmula para estimar dicho valor de C.B.R. es $CBR_{LAB} = -0.0386(NPDC)^3 + 4.3395(NPDC)^2 - 160.52(NPDC) + 1972.2$, esta investigación al igual



que anteriores tratan de encontrar modelos matemáticos que logren estimar el valor de C.B.R. de un suelo a través de ensayos ya normados.

2.1.3. Antecedentes Regionales

Así mismo se realizó una investigación que compara resultados entre los ensayos de deflectometría y el ensayo de C.B.R., esta investigación fue realizada por Everd Parisuaña y Adan Quello; para esto se plantearon como objetivo general “Determinar la confiabilidad del Análisis de Deflectometría con Viga Benkelman respecto a los ensayos de C.B.R., para estimar el Módulo Resiliente de una Subrasante de un Pavimento Flexible en la carretera Puno – Tiquillaca” para lo cual evaluaron 4 km. de forma alternada siguiendo el procedimiento del ensayo de deflectometría propuesto por el MTC, después de realizar los ensayos pudieron establecer la correlación de datos, para esta investigación tuvieron un nivel de confiabilidad del 90% utilizando la correlación de Pearson \otimes con un valor de 0.927; y entre sus conclusiones más importantes podemos resaltar que: la ecuación obtenida por los investigadores es confiable ($y = 0.6436 * x + 328.27$), para mediciones futuras tomando la consideración de ser vías de baja tránsito, de segunda y tercera clase que cuenten con características como el material estudiado (Parisuaña & Quello, 2023).

A si también existen investigaciones como la de (Mamani, 2020) que lleva por título “Estimación del valor de C.B.R. en suelos granulares a partir de ensayos de caracterización y compactación de las canteras ubicadas en la ciudad de Juliaca”, esta investigación tiene por objetivo principal determinar el valor de C.B.R. de canteras con suelos granulares mediante correlaciones con los ensayos de caracterización y compactación; la investigación tiene un enfoque cuantitativo,



con un nivel correlacional – explicativo y un diseño experimental; en cuanto a la población de esta investigación se consideraron cinco canteras, la conclusión más interesante que llega el investigador es poder plantear una ecuación en función a las propiedades índice para estimar el valor de C.B.R., la ecuación es la siguiente:
$$C.B.R.=69.289+0.695(Ret N^{\circ}04)-2.991(\%P200)-28.27(Y_{dmax})+0.652(LL).$$

En el ámbito local otra forma de estimación de C.B.R. es lo propuesto por (Pineda, 2020) en su investigación: “Calibración de la ecuación entre el P.D.C. (penetración Dinámica de Cono) y el C.B.R. (capacidad de Soporte California) bajo la incidencia de la humedad, en suelos a nivel de la subrasante caso de estudio vía Juliaca - Caracoto” esta investigación tiene como objetivo general, la calibración de un modelo matemático que correlacione el valor de C.B.R. y el numero de golpes del P.D.C. en suelos que se encuentren en la subrasante de la vía Juliaca – Caracoto los cuales presenten incidencias de humedad, esta investigación es del tipo correlacional exploratoria, con un diseño no experimental; a su vez se consideró como población 4.100 Km; el investigador llega a la conclusión que las variables en estudio tienen una correlación muy alta, para la primera ecuación relaciona el %w y Y_s de la siguiente forma:
$$C.B.R.=18.12-0.15I_{pdc}-0.10\%w-3.84Y_s,$$
 también la investigación plantea la siguiente ecuación
$$C.B.R.=-31-0.60I_{pdc}-0.57\%W+37.53Y_s$$
 esta última aplicable para suelos arenosos.



2.2. MARCO TEORICO

2.2.1. Definición de un prototipo

Para (Corfo, 2015) Un prototipo puede entenderse como una herramienta que facilita y guía el proceso de desarrollo y evaluación de diversas hipótesis de solución, permitiendo la exploración de múltiples alternativas y la comunicación de estas opciones.

2.2.2. Características Físicas:

Para el autor (Palanichamy et al., 1998) indica que las características físicas pueden incluir la coloración, el tamaño, la masa, etc; para nuestro prototipo una característica fundamental es la masa que como define el autor la masa es una característica de la materia que facilita su comparación con otros cuerpos. Esta propiedad también está relacionada con la fuerza de atracción entre cuerpos y sirve como una medida de la oposición que un objeto presenta a los cambios en su velocidad.

2.2.3. Características Operativas

A Comparación de las características físicas que se pueden observar y medir, las características operacionales de un proceso, equipo o instrumento constituyen una serie de pasos, que conforman una guía detallada de cómo lograr una correcta y eficiente aplicación del proceso y/o equipo.

2.2.4. Características mecánicas:

Según (Infinita Industrial Consulting, s.f.) “Las características mecánicas de un material logran determinar las propiedades mecánicas como resistencia y



desempeño cuando está sujeto a la aplicación de fuerzas. En otras palabras, estas propiedades están relacionadas con la capacidad del material para soportar y resistir fuerzas o deformaciones”.

2.2.5. Propiedades Físicas de los suelos

Describe (Rucks et al., 2004) Las propiedades físicas del suelo tienen un impacto significativo en los distintos usos que le da el ser humano. Estas propiedades afectan aspectos como la firmeza y estabilidad del suelo, la cantidad de aire disponible, la capacidad para drenar y almacenar agua, su plasticidad y su habilidad para retener nutrientes.

Dentro de las principales características físicas se puede encontrar la cantidad de agua que este suelo posee en estado natural, (contenido de humedad); así también el autor indica que otra característica física importante es la caracterización por el tamaño de particular, granulometría; otra propiedad física que se puede observar es la composición mineralógica de las fracciones del suelo.

2.2.6. Propiedades Mecánicas de los suelos

Indica los autores (Macías Loor et al., 2018) Las propiedades mecánicas que presenta un suelo son las que producen o inciden en la resistencia mecánica y su capacidad de soportar la aplicación de fuerzas externas, estas propiedades mecánicas están vinculadas con las posibilidades de poder resistir deformaciones, contrarrestar fuerzas y con su capacidad de transmisión de cargas.

2.2.7. California Bearing Ratio %C.B.R.

Para (ASTM D1883-21, 2021) el ensayo de C.B.R. se emplea para determinar la resistencia de la subrasante, la subbase y los materiales de la capa



base, incluidos los reciclados, en comparación a un suelo considerado ideal; con el propósito de diseñar pavimentos para carreteras y aeródromos. El valor C.B.R. obtenido a partir de esta prueba es fundamental en diversos enfoques de diseño de pavimentos flexibles.

2.2.7.1. Normativa del ensayo de C.B.R.

2.2.7.1.1. Normativa nacional:

“MTC E 132 C.B.R. de suelos en Laboratorio”

“MTC E 133 C.B.R. en el terreno (Insitu)”

2.2.7.1.2. Normativa Internacional:

“ASTM D1883-21, Standar Test method for California Bearing Ratio (C.B.R.) of laboratory – Compacted Soils”.

“ASTM D4429-09, Standard Test method for C.B.R. (California Bearing Ratio) of soils in Place”

2.2.7.2. Suelo ideal

Para el (Ministerio de Transportes y comunicaciones, 2016) Considera un suelo ideal aquel que al penetrar 0.1” o 2.54 mm. Este suelo tenga la presión de 1 000 lb/plg² o sus equivalentes en los distintos sistemas de unidades tal como se muestra a continuación.

Tabla 1

Cargas patrón para C.B.R.

Penetración		Presión		
mm.	Pulgadas	MN/m ²	Kgf/cm ²	lb/plg ²
2.54	0.1”	6.90	70.31	1000
5.08	0.2”	10.35	105.46	1500

Fuente: (Ministerio de Transportes y comunicaciones, 2016).

2.2.7.3. Valores de C.B.R. utilizados en afirmados:

El (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013) sugiere en su sección 301 Afirmados que el tipo de suelo utilizado en el proceso de conformación de afirmados deben de satisfacer las siguientes exigencias técnicas, desgaste por abrasión los ángulos como máximo un 50%, tener un límite líquido como máximo de 35%, el índice de plasticidad debe de encontrarse entre el 4% y el 9% y Finalmente el valor de %C.B.R. debe de ser 40% como mínimo.

2.2.7.4. Valores de C.B.R. utilizados en Sub Base Granular.

Para el (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013) indica que el los valores de %C.B.R. utilizados en el proceso de conformación de Sub base granulares tanto para carreteras a menos de 3000 m.s.n.m. y para mayores a 3000 m.s.n.m. lo mínimo es un %C.B.R. de 40 % como se muestra en la tabla 402-02 Sub base granular.

Tabla 2

Tabla 402-02 consideraciones para sub bases

Ensayo	Norma MTC	Norma ASTM	Norma AASHTO	Requerimiento	
				< 3000 msnm	≥ 3000 msnm
Abrasión los Ángeles	MTC E 207	C 131	T 96	50 % max	50 % max
C.B.R.	MTC E 132	D 1883	T 193	40 % min	40 % min
Limite Liquido	MTC E 110	D 4318	T 89	25% max	25% max
Índice de Plasticidad	MTC E 111	D 4318	T 90	6% max	4% max
Equivalente de Arena	MTC E 114	D 2419	T 176	25% min	.5% min
Sales Solubles	MTC E 219	--	--	1% max	1% max
Partículas Chatas y Alargadas	--	D 4971	--	20% max	20% max

Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013)

2.2.7.5. Valores de C.B.R. utilizados en base granular.

Indica el (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013) que para la conformación de bases granulares una de las características principales es el valor relativo de soporte y lo especifica en la tabla 403-02, donde se refiere a que el valor de C.B.R. exigido varía en función de los ejes equivalentes como se muestra a continuación:

Tabla 3

403-02 Valores de C.B.R. para bases

Valor Relativo de Soporte (C.B.R.), Referido al 100% de la máxima densidad seca	Tráfico en ejes equivalentes (< 10 ⁶)	Min. 80%
	Tráfico en ejes equivalentes (≥ 10 ⁶)	Min. 100%

Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013)



2.2.7.6. Tipos de ensayo de C.B.R.

Actualmente la normativa peruana contempla dos tipos de ensayos para la obtención de C.B.R., el (Ministerio de Transportes y comunicaciones, 2016) “MTC E 132 C.B.R. de Suelos (Laboratorio)” y “MTC E C.B.R. en el terreno (C.B.R. in situ)” donde el objetivo de ambos ensayos es poder determinar el índice de resistencia del suelo conocido como C.B.R. o también en algunos países como Valor Relativo de Soporte.

2.2.7.7. El ensayo de C.B.R en laboratorio.

Este es el procedimiento más aplicado en el proceso de conformación de vías, a continuación, describiremos el proceso contemplado en “MTC E 132 C.B.R. de Suelos (Laboratorio)” propuesto por el (Ministerio de Transportes y comunicaciones, 2016); el cual hace referencia normativa a “ASTM D1883-21, Standar Test method for California Bearing Ratio (C.B.R.) of laboratory – Compacted Soils”.

2.2.7.7.1. Equipos y materiales para el ensayo

A continuación, describimos los materiales necesarios para realizar el ensayo de C.B.R. según (Ministerio de Transportes y comunicaciones, 2016) pp. 248-249 y como principal equipo se necesita una prensa C.B.R. con capacidad de regular la velocidad de penetración a 1.27mm por minuto, la capacidad de la prensa debe de ser de 10000 lbf o 44.5 KN.

03 moldes de C.B.R. metálicos, cilíndricos con un diámetro interno de 152.4 mm \pm 0.66 mm. Y con una altura de 177.8 mm \pm 0.46 mm., el



cual tendrá un collarín para garantizar la efectividad de compactación de capas con una altura de 50.8 mm.

01 disco espaciador metálico, de forma cilíndrica sólida con 150.8 mm. De diámetro externo y con 61.37 ± 0.127 mm de altura, el cual servirá de base para el proceso de compactación de capas.

01 pistón de compactación de capas con características: peso del pistón 4.54 ± 0.01 Kg. Con una cara plana de contacto de $50.80 \text{ mm} \pm 0.13$ mm y con una altura de caída libre de $457.2 \text{ mm} \pm 1.6$ mm.

01 trípode medidor de expansión del material compactado en los moldes, este instrumento permitirá la medición de la expansión con una precisión de 0.025 mm.

02 pesas circulares que simulen las sobrecargas de las capas estructurales del pavimento, ambas deberán de pesar $4.54 \text{ kg} \pm 0.02 \text{ kg}$, con un diámetro de 149.23 mm a 150.81 mm.

Dial de Recorrido que este acoplada a la prensa de C.B.R., con precisión de 0.025 mm.

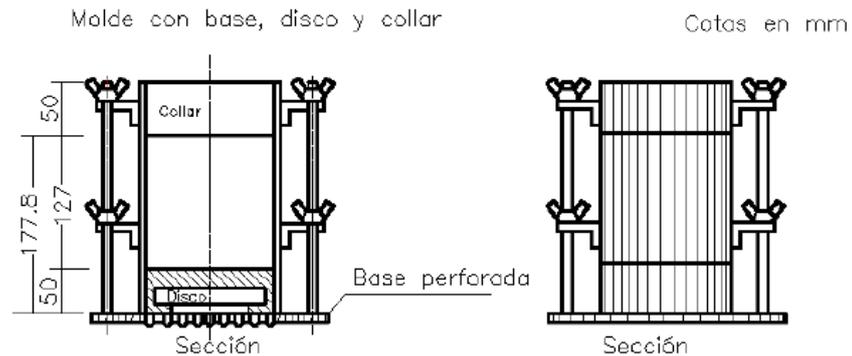
Espacio para almacenaje de agua que permita sumergir los moldes de C.B.R. para llevar a un estado crítico el suelo previamente compactado.

Horno o Estufa, controlada térmicamente con una aproximación de 110 ± 5 °c.

Balanzas de Precisión, con capacidades de 20 kg y 1 kg; estas balanzas deberán estar calibradas y mantener una precisión de 1 g y 0.1 g respectivamente.

Figura 1

Moldes para ensayo de C.B.R.

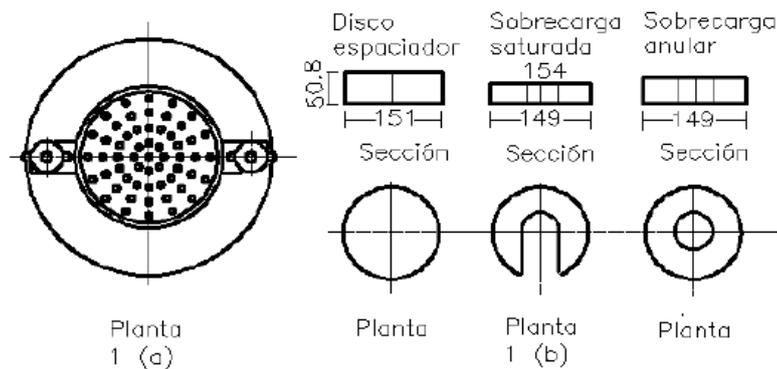


Fuente: (Ministerio de Transportes y comunicaciones, 2016).

A continuación, se muestran los discos espaciadores, pesos de sobrecarga necesarios para realizar el ensayo de C.B.R.

Figura 2

Vista en planta de discos de sobrecarga

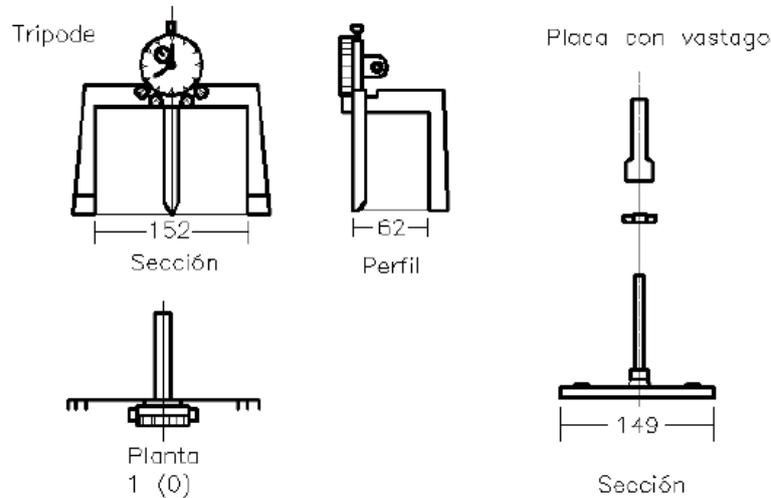


Fuente: (Ministerio de Transportes y comunicaciones, 2016).

Herramientas misceláneas como, enrrasadores, combos de goma, cucharones para introducción de mezclas, etc.

Figura 3

Tripode de expansión



Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013)

2.2.7.7.2. Sobre la muestra para los moldes.

El (Ministerio de Transportes y comunicaciones, 2016) indica que la muestra por espécimen estará preparada de manera similar al ensayo de Proctor modificado, tomando en consideración que el tamaño máximo de partícula admitido es el material que pase el tamiz 3/4, se usara todo el material para la preparación de muestras, de ser el caso y tener la muestra seleccionada partículas mayores a 3/4 se retiraran y se incluirá material pasante con la misma cantidad de peso.

2.2.7.7.3. Procedimiento para preparación de especímenes

El procedimiento para realizar un correcto ensayo C.B.R. parte de un ensayo previo como indica (Ministerio de Transportes y comunicaciones, 2016) y este es el ensayo de Proctor modificado, donde ya se tienen valores del contenido óptimo de humedad y la densidad seca máxima que se puede lograr con nuestro suelo.



Se sugiere seleccionar aproximadamente 5.6 kg para considerar desperdicios o cualquier otro tipo de gaste de material que se va presentando a lo largo de todo el ensayo; el material seleccionado deberá aproximarse al contenido óptimo de humedad para iniciar con las pruebas.

Para empezar el ensayo se deberán de tomar medidas de diámetro y altura del o de los moldes a utilizar, la altura se considera la altura efectiva, es decir cuando el disco espaciador se encuentre dentro del molde de compactación; sin embargo, el peso del molde no se considerará el peso del disco espaciador ni del collarín de apoyo.

El proceso de compactación de capas se debe de realizar en 05 capas distribuidas uniformemente, considerando en la base del molde el disco espaciador; estas capas serán compactadas a diferentes números de golpes, para (Ministerio de Transportes y comunicaciones, 2016) el número de golpes por capa es de 12 golpes, 25 golpes y 56 golpes; mientras que para (ASTM D1883-21, 2021) el número de golpes por capa es de 10 golpes, 25 golpes y 56 golpes.

La compactación comprende la colocación del disco espaciador en la base, una hoja de papel filtro, la colocación del collarín, y la compactación de las 05 capas cuidando de compactar alturas similares entre capa y capa para garantizar un óptimo proceso de compactación, al finalizar la quinta capa compactada esta deberá de quedar al mismo nivel que el molde de C.B.R.

Posteriormente al proceso de compactación se retirará el disco espaciador, quedando la última capa compactada en la base del molde; esta

deberá estar separada del molde por una hoja de papel filtro, finalizado este proceso se realizará el pesaje del molde más la muestra.

Con el trípode de medición de expansión se tendrá una lectura inicial, esta lectura se realizará ya con los anillos de sobrecarga puestos, ahora se debe de sumergir los moldes compactados a diferentes golpes por capa, se tendrán dos lecturas intermedias y una al finalizar los 4 días de estar sumergido los moldes en el agua,

Para el procedimiento de rotura de moldes mediante la prensa de C.B.R., una vez transcurridos los cuatro días se deberá de esperar que escurran los moldes 15 minutos, para obtener el peso sumergido de nuestro molde, a continuación, se deberá de llevarlo a la prensa de C.B.R. donde el pistón de penetración deberá tener una penetración de 1.27 mm/min se anotaran las lecturas recomendablemente a:

Tabla 4

Penetración de C.B.R. recomendado

Tiempo	Penetración	
	Pulgadas	Milímetros
0.00 s.	0.000 “	0.00 mm.
00:30 s.	0.025 “	0.64 mm.
01:00 min.	0.050 “	1.27 mm.
01:30 min.	0.075 “	1.91 mm.
02:00 min.	0.100 “	2.54 mm.
02:30 min.	0.125 “	3.18 mm.
03:00 min.	0.150 “	3.81 mm.
03:30 min.	0.175 “	4.45 mm.

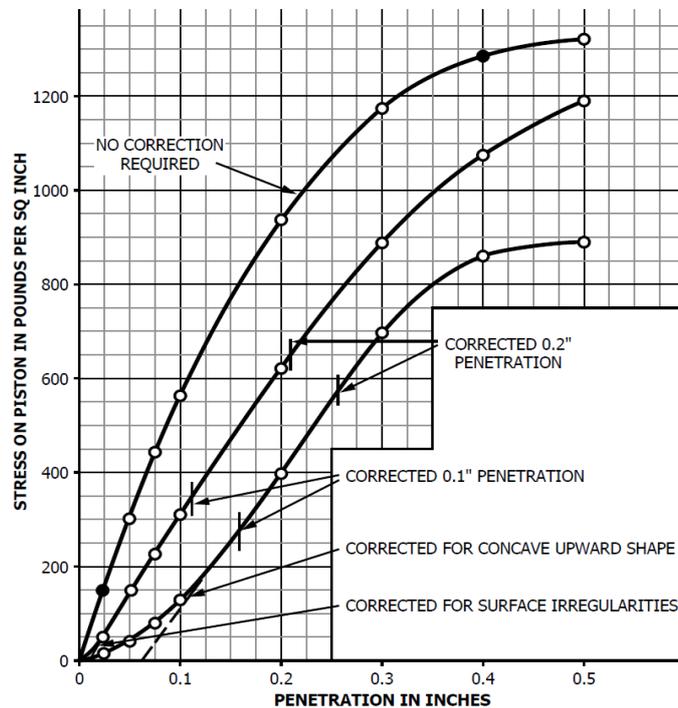
Tiempo	Pulgadas	Milímetros
04:00 min.	0.200 “	5.08 mm.
06:00 min.	0.300 “	7.62 mm.
08:00 min	0.400 “	10.16 mm.
10:00 min	0.500 “	12.70 mm.

Fuente: (ASTM D1883-21, 2021)

Según (ASTM D1883-21, 2021) con las lecturas sugeridas anteriormente, se debería de construir tres gráficos que son penetración vs esfuerzo donde la forma de la curva generada por los puntos indicara si se realizó bien el ensayo o necesita realizar una corrección de origen, así como se muestra la siguiente ilustración.

Figura 4

Curva esfuerzo - penetración



Fuente: (ASTM D1883-21, 2021)..

Finalmente, después de realizar la corrección de origen si fuera el caso, podemos entonces realizar la comparación porcentual entre el

esfuerzo originado a una penetración de 0.1” comparado con el esfuerzo patrón, que según (Ministerio de Transportes y comunicaciones, 2016) indica que es de:

Tabla 5

Esfuerzo patrón

Penetración		Presión		
mm.	Pulgadas	MN/m ²	Kgf/cm ²	lb/plg ²
2.54	0.1”	6.90	70.31	1000
5.08	0.2”	10.35	105.46	1500

Fuente: (Ministerio de Transportes y comunicaciones, 2016).

2.2.8. Energía de compactación

Para el autor (Juarez Badillo & Rico Rodriguez, 2012) la energía de compactación está directamente influenciada por el peso del pistón, la altura desde donde se deja caer, la cantidad de veces que este pistón golpea a una capa de suelo, las capas de suelo que se emplean y el volumen afectado de la muestra de suelo.

El cálculo de la energía potencial que produce un objeto en caída libre viene dado por la siguiente ecuación (ecuación 01):

$$\text{Energía Potencial} = \text{Masa (Kg)} * \text{Gravedad} \left(\frac{m}{s^2}\right) * \text{altura (m)}$$

Así mismo se utiliza este principio en la energía de compactación, multiplicando por la cantidad de veces que se suelta el pistón, posteriormente multiplicándolo por la cantidad de capas con que se compactan un suelo y finalmente que volumen de suelo es afectado, así entonces tenemos la ecuación (2):



$$\text{Energía de Compactación} = \frac{\text{Energía Potencial} * N \text{ Veces} * N^{\circ} \text{ de capas}}{\text{Volumen (m}^3\text{)}}$$

Finalmente reemplazando la ecuación (1) en la ecuación (2) tenemos:

$$\text{Energía de compactación} = \frac{m * g * h * N \text{ veces} * N^{\circ} \text{ de capas}}{\text{Volumen}}$$

Donde:

m = Masa del pistón de compactación (kg).

g = Aceleración, en este caso aceleración gravitacional 9.81 m/s².

h = Altura de caída del pistón (m).

N veces = Número de veces que se suelta el pistón a una altura determina.

N° de Capas= Número de Capas en que se compacta el suelo.

Volumen= Se considera el volumen de suelo afectado por el piston (m³).

En esta investigación se realizaron pruebas con el ensayo de Proctor modificado, por este motivo calcularemos la energía de compactación que el ensayo de Proctor modificado utiliza:

$$\text{Energía de compactación} = \frac{m * g * h * N \text{ veces} * N^{\circ} \text{ de capas}}{\text{Volumen}}$$

$$\text{Energía de compactación} = \frac{4.54 \text{ Kg} * \frac{9.81 \text{ m}}{\text{s}^2} * 0.4572 \text{ m} * 56 * 5}{0.0021233 \text{ m}^3}$$

$$\text{Energía de compactación} = 2685198 \frac{\text{kg} * \text{m} * \text{m}}{\text{s}^2 * \text{m}^3}$$

Recordemos ahora que un Newton “es la fuerza necesaria para proporcionar una aceleración de 1 m/s^2 de un kilogramo de masa”.

$$1N = \frac{1 \text{ Kg} * m}{s^2}$$

Reemplazando las unidades en de Newton en la ecuación anterior tenemos

$$\text{Energía de compactación} = \frac{2685198 \text{ N} * m}{m^3}$$

$$\text{Energía de compactación} = 2658.198 \frac{\text{KN} * m}{m^3}$$

$$\text{Energía de compactación} \cong 2700 \frac{\text{KN} - m}{m^3}$$

En su texto (Juarez Badillo & Rico Rodriguez, 2012) indica que existen pruebas ya estandarizadas que utilizan energías de compactación ya definidas como el ensayo de Proctor estándar con una energía de compactación de 600 KN-m/m^3 , y la energía de compactación del ensayo de Proctor modificado que es de 2700 KN-m/m^3 ; pero también indica que si bien estos dos ensayos ya están estandarizados se puede aplicar otra energía de compactación diferente en los suelos de estudio.

2.2.9. Penetración utilizando Energía de Compactación Dinámica

El termino penetración para fines de esta investigación es una terminología que no está contemplado explícitamente en textos de mecánica de suelos, sin embargo podríamos relacionarlo o tener referencia al concepto que se entiende por consolidación unidimensional así explican (Juarez Badillo & Rico Rodriguez, 2012) “Es un proceso de disminución de volumen, que tenga lugar en un lapso,



provocado por un aumento de las cargas en el suelo, a esta disminución de volumen se define como proceso de consolidación” (Pag.247).

Para nuestra investigación al aplicar energía de compactación dinámica sobre los moldes de compactación estaremos reduciendo el volumen en el cual se aplican las cargas generadas por nuestro prototipo, entonces como se mencionó anteriormente estaremos en el proceso similar al que ocurre en el proceso de consolidación, el cual será un parámetro importante para poder medir la penetración que se genera en un suelo con el prototipo propuesto por esta investigación.

En la práctica y desarrollo de ensayos de esta investigación se puede observar que la reducción de volumen no es el mismo aun así teniendo el mismo tipo de suelo, una característica importante para observar y medir la disminución de volumen es la densidad que se tenga del suelo, esta investigación replico diferentes densidades por medio de la compactación de capas a un número diferente de golpes, siguiendo procesos estandarizados como es el proceso de compactación en el ensayo de C.B.R.

2.2.9.1. Referencia Normativa:

No presenta referencia normativa debido a que se trata de un prototipo.

2.2.9.2. Muestra para ensayos en laboratorio.

Para los ensayos realizados en laboratorio, el material utilizado será la porción de suelo pasante por el tamiz 3/4 “, adicionalmente a esto las muestras serán consideradas 5.600 Kg por cada molde a compactar,



para el procedimiento de compactación se utilizarán los materiales y el procedimiento de compactación de (ASTM D1883-21, 2021) .

Estas porciones de muestra preparadas para cada uno de los moldes de compactación deberán de ser preparadas con el contenido optimo de humedad, para esto se guiará de “MTC E 115 Compactación de suelos en laboratorio utilizando una Energía modificada (Proctor Modificado)”.

2.2.9.3. Procedimiento de penetración utilizando energía de compactación dinámica en laboratorio.

Las muestras preparadas previamente con el contenido optimo de humedad obtenido del ensayo de Proctor modificado se procederán a compactar en 05 capas uniformes de igual espesor, cada una de estas capas será compactada a un número de golpes.

Para el primer molde se compactará la muestra en 05 capas, cada una de estas capas recibirá 10 golpes con el pistón del ensayo de Proctor modificado, para el segundo y el tercer molde el número de golpes por capa será de 25 y 56 golpes respectivamente.

Se deberá de cuidar de que la última capa quede a nivel del molde de compactación, el procedimiento de compactación es similar a lo descrito en “ASTM D1883-21, Standar Test method for California Bearing Ratio (C.B.R.) of laboratory – Compacted Soils”.

Para realizar la prueba de penetración se deberá de tener previamente los datos técnicos del molde y la muestra, como son: el nombre de molde, el peso del molde más base, peso del molde más



muestra, volumen del molde, etc.; ahora se procederán a poner anillos de sobrecarga que se utilizan en el ensayo de C.B.R. convencional de laboratorio.

A continuación, se coloca el pistón de caída el cual pesa 8.770 Kg en el bastón guía del prototipo, una vez hecho este procedimiento se colocará el prototipo en el orificio existente en los anillos de sobrecarga colocados previamente en los moldes compactados.

Con la ayuda de un personal se sujeta firme y verticalmente el prototipo, el otro personal se dispondrá de levantar el pistón de caída por las asas del pistón de caída, este a continuación y con velocidad constante realizará el levantamiento del pistón hasta una altura de 30.48 cm. Y se dejara caer libremente hasta la base circular del prototipo, este procedimiento es repetido 10 veces para poder determinar la penetración utilizando energía de compactación dinámica.

Una vez realizado los diez golpes se procede a retirar el prototipo y los discos de sobrecarga, este procedimiento se realiza con sumo cuidado; tratando de no alterar en lo posible el estado de penetración generado por cargas dinámicas, con la ayuda de un vernier se procede a obtener lecturas de la penetración que se ha generado por el prototipo, es recomendable utilizar cinco lecturas para disminuir los posibles errores.

Figura 5

Ensayo de penetración mediante prototipo en laboratorio.



Fuente: Elaboración Propia.

2.2.9.4. Procedimiento de penetración utilizando energía de compactación dinámica in situ.

El procedimiento para la obtención de C.B.R. utilizando energía de compactación dinámica, es decir con la aplicación del prototipo que se plantea en esta investigación es más rápido y económico que métodos tradicionales.

Para este procedimiento se utilizará el disco de base de prototipo, base de acero sólido este compuesto por un disco y un soporte de



acoplamiento para la colocación de un vernier en forma invertida, logrando así tomar una medida inicial y una medida final.

La preparación de terreno, se debe de retirar material que no sea el mismo que se utilizó en el proceso de conformación de capas estructurales ya sea la capa de sub base o la capa de base granular; se limpia la zona de evaluación, para tener una mayor precisión.

Se coloca el disco base en el lugar o en el punto donde se desea evaluar y a continuación se introduce el pistón de caída en el cuerpo del prototipo y estos se insertan en el disco base, situando la base de medición a la misma recta del vernier.

Se procede a soltar el perno asegurador del vernier, lo cual hará que el vernier se apoye de forma horizontal en la base de medición, para esto comenzamos a obtener la lectura inicial del ensayo de penetración mediante cargas dinámicas; una vez obtenida la lectura inicial se retrae el pie fijo.

Un personal procede a agarrar firme y verticalmente el cuerpo del prototipo y el otro personal se dispone a levantar el pistón de caída hasta una altura de 30.48 cm., se deja caer libremente el pistón hacia la base circular del cuerpo del prototipo, y se repite el procedimiento 10 veces.

A continuación, se vuelve a soltar el pie fijo del vernier hasta llegar a la base de medición del prototipo, obteniendo de esta manera la lectura final; teniendo la lectura final y la lectura inicial realizaremos una resta y podremos obtener la penetración generada por el prototipo.

Se repetirán los procedimientos descritos unas 5 veces para así poder lograr un promedio de los valores de penetración utilizando energía de compactación dinámica, una vez obtenido la penetración promedio se introducirá en el nomograma de Penetración vs C.B.R. que esta investigación plantea; para finalmente poder determinar el C.B.R. alcanzado por ese suelo.

Figura 6

Ensayo de penetración en campo



Fuente: Elaboración Propia

2.2.10. Análisis Granulométrico por Tamizado:

Según (Ministerio de Transportes y comunicaciones, 2016) el análisis granulométrico de un suelo consiste en cuantificar el tamaño de partículas que componen un suelo mediante la utilización de tamices normados, estos tamices



van desde el tamiz 3” hasta el tamiz N° 200; la apertura de los juegos de tamices varía desde 75.00 mm. Hasta los 0.075 mm. Respectivamente.

2.2.10.1. Normativa Peruana:

MTC E 107 Análisis granulométrico de suelos por tamizado

2.2.10.2. Materiales empleados

Serie de tamices utilizados según “MTC E 107 Análisis granulométrico de suelos por tamizado”

Tabla 6

Tamices Estandar

Tamices	Abertura (mm.)
3 “	75.000
2 ”	50.800
1 1/2 “	38.100
1 “	25.400
3/4 “	19.000
3/8 “	9.500
N° 04	4.760
N° 10	2.000
N° 20	0.840
N° 40	0.425
N° 60	0.260
N° 100	0.149
N° 200	0.075

Fuente: (Ministerio de Transportes y comunicaciones, 2016)



Juegos de Tamices normados según la tabla anterior.

Taras y recipientes adecuados para un correcto almacenaje de muestras

Brochas y cepillos para realizar la limpieza de mallas

Cucharon metálico para el proceso de tamizado.

2.2.10.3. Muestra para Análisis Granulométrico

Se necesitarán fracciones para realizar el tamizado y de esta manera poder realizar un tamizado representativo de una forma mas rápida, adicionalmente a esto el material que se utilice para tamizar es recomendable que este lavado por los respectivos tamices,

Para esto primero se realiza el tamizado por la malla 3/4 logrando determinar el porcentaje de gravas de la parte retenida, con el material pasante se seleccionará entre 1000 a 1500 gr de esta se tomará el contenido de humedad, la otra parte, se tamizará por la malla N° 04 para ver el porcentaje pasante y retenido.

La porción retenida por la malla N° 04 se deberá de lavar en la malla N°04, la finalidad de esto es desprender todas las partículas adheridas a los granos gruesos, también es disolver los posibles terrones de arcillas que se vayan juntando, culminado este procedimiento se lleva el material a ser secado al horno.

De la Muestra que pasa la Malla N° 04 se deberá de extraer una porción representativa entre 100 a 150 gr para ser lavados por la malla N° 200 y después de lavar el material solo tendremos las arenas listas para el

proceso de secado mediante el horno, al recoger las muestras dejadas al horno nos quedaremos con granos limpios y listos para realizar el tamizado.

Para seleccionar una muestra representativa el (Ministerio de Transportes y comunicaciones, 2016) contempla una tabla para poder estimar el tamaño de porción necesario para poder realizar las porciones de granulometría, así como se detalla:

Tabla 7

Peso mínimo aproximado de la porción

Diámetro nominal de las partículas más grandes mm. (plg.)	Peso mínimo aproximado de la porción (gr.)
9.5 mm. (3/8")	500 gr.
19.6 mm. (3/4")	1000 gr.
25.7 mm. (1")	2000 gr.
37.5 mm. (1 1/2")	3000 gr.
50.00 mm. (2 ")	4000 gr.
75.00 mm. (3")	5000 gr.

Fuente: (Ministerio de Transportes y comunicaciones, 2016).

2.2.10.4. Procedimiento para la fracción retenida en la N° 04

La muestra después de pasar el procedimiento de lavado, y ya retirada del horno se deberá de pesar; para tener el peso que realmente se ha retenido en el tamiz N° 04, para esto se utilizaran el siguiente juego de tamices.

Tabla 8

Tamices requeridos para la primera fracción

Tamices	Abertura (mm.)
3 “	75.000 mm.
2 “	50.800 mm.
1 1/2 “	38.100 mm.
1 “	25.400 mm.
3/4 “	19.000 mm.
3/8 “	9.500 mm.
N° 04	4.760 mm.

Fuente: Elaboración propia

2.2.10.5. Procedimiento para la fracción pasante a la N° 04

Para la fracción de muestra que previamente ha sido lavada por la malla N° 200 y se llevó a ser secada en el horno, se deberá de registrar el peso en seco de esta fracción de muestra y posteriormente se utilizaran los siguientes tamices.

Tabla 9

Tamices requeridos para la segunda fracción

Tamices	Abertura (mm.)
N° 10	2.000 mm.
N° 20	0.840 mm.
N° 40	0.426 mm.
N° 60	0.250 mm.
N° 100	0.149 mm.
N° 200	0.074 mm.

Fuente: Elaboración Propia.



2.2.11. Contenido de humedad en suelos.

Para este ensayo el (Ministerio de Transportes y comunicaciones, 2016) busca determinar la cantidad de agua que esta almacenada entre los granos de un suelo, esta metodología calcula el agua expulsada cuando se someten las muestras a hornos de $110^{\circ} \text{C} \pm 5^{\circ} \text{C}$, la perdida de después de poner las muestras en el horno se considera como el peso del agua, finalmente el contenido de humedad es la relación entre el peso del agua y el peso de material seco.

2.2.11.1. Equipos y materiales.

El principal equipo utilizado en este ensayo es un horno termostáticamente controlado el cual mantenga temperaturas de $110^{\circ} \text{C} \pm 5^{\circ} \text{C}$.

Balanzas con capacidad de más de 200 gr. Y balanzas con capacidades menores a 200 gr, estas balanzas deberán de tener precisión de 0.1 gr y 0.01 gr respectivamente.

Herramientas diversas como, recipientes resistentes a ser sometidos constantemente a exposición de calor, espátulas, secadoras, cucharas, guantes, y demás materiales que garanticen una adecuada operación.

2.2.11.2. Muestra

Las recomendaciones del (Ministerio de Transportes y comunicaciones, 2016) nos indican que para que una muestra no pierda humedad y tampoco absorba humedad del ambiente deberá estar en

contenedores herméticos entre 3° C y 30° C, estos contenedores deben de ser no corrosibles y tampoco estar expuestas a la luz directa del sol.

Para tener una muestra representativa se podrá utilizar el siguiente cuadro:

Tabla 10

Masa mínima recomendada para espécimen húmedo

Máximo tamaño de partícula (Pasa el 100 %)	Tamaño de Malla Estándar	Masa mínima recomendada de espécimen de ensayo húmedo para contenidos de humedad reportados	
		A ± 0.1 %	A ± 0.01 %
2 mm. O menos	N° 10 - 2 mm.	20 g	20 g
4.75 mm.	N° 04 - 4.75 mm.	100 g	20 g
9.50 mm.	3/8" - 9.50 mm.	500 g	50 g
19.00 mm.	3/4 " - 19.00 mm.	2.5 kg	250 g
37.50 mm.	1 1/2" 37.50 mm.	10 kg	1 kg
75.00 mm.	3" - 75.00 mm.	50 kg	5 kg

Fuente: (Ministerio de Transportes y comunicaciones, 2016).

2.2.11.3. Procedimiento

Primero se selecciona una muestra representativa según el cuadro anterior, esta deberá de ponerse en un recipiente resistente a la corrosión, y se registrará su peso inicial, por separado; peso de recipiente y peso de recipiente más muestra.

Si se busca reducir el tiempo de secado en el horno, se podría utilizar recipientes con un área mayor, como ollas o taras grandes, la muestra se coloca en un horno que mantenga temperaturas constantes de



110 °C ± 5°C, se recomienda en la mayoría de casos tener el recipiente más de 12 horas en el horno.

Al final del periodo recomendado se realizará el pesaje del recipiente mas el suelo seco, para posteriormente procede con cálculos que determinen el contenido de humedad de la muestra en estudio, aplicando la siguiente formula:

$$\%W = \frac{\text{Peso del Agua}}{\text{Peso de suelo secado al horno}} * 100$$

2.2.12. Determinación del contenido óptimo de humedad y la máxima densidad seca.

El (Ministerio de Transportes y comunicaciones, 2016) muestra dos tipos de ensayos para determinar el contenido óptimo de humedad que un suelo puede tener para alcanzar la máxima densidad seca, pero en este caso nos situaremos en “MTC E 115 compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (Proctor Modificado)” donde establece una metodología para lograr una compactación de suelos utilizando una energía de 56 000 pie – lbf/pie³ o lo que es el equivalente en el sistema de unidades que utilizamos nosotros de 2700 KN-m/m³ (p. 105)

2.2.12.1.Referencia Normativa:

MTC E 115 compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (Proctor Modificado)”



2.2.12.2. Método A

El método A propuesto por el (Ministerio de Transportes y comunicaciones, 2016) comprende un molde de diámetro 101.6 mm., este molde se utiliza para los suelos que pasen por el tamiz N° 04 o cuando menos del 20% este retenido en el tamiz N°04, el proceso de compactación se realizara en 25 golpes distribuidos uniformemente en 05 capas de compactación.

Para el método B el (Ministerio de Transportes y comunicaciones, 2016) indica que se debe de utilizar un molde con diámetro de 101.6 mm, para aquel suelo que sus partículas sean pasantes a la malla 3/8” o retenga menos del 20 %, también este método es aplicable a aquellos suelos donde más del 20% es retenido en el tamiz N°04, la forma de compactar el material será en 05 capas de 25 golpes cada una.

En cambio el (Ministerio de Transportes y comunicaciones, 2016) para el método C define que su uso es para aquellos materiales que más del 20% es retenido en el tamiz 3/8” y menos de 30 % es retenido en el tamiz de 3/4 “; para los suelos que cumplan con esta característica se utilizara el molde de 152.4 mm de diámetro, este a diferencia de los otros métodos se compactara en 05 capas con 56 golpes por cada capa.

2.2.12.3. Equipos y materiales.

Los equipos y materiales utilizados para investigación pertenecen a l método C y se describen a continuación según el (Ministerio de Transportes y comunicaciones, 2016) el cual indica que los moldes de

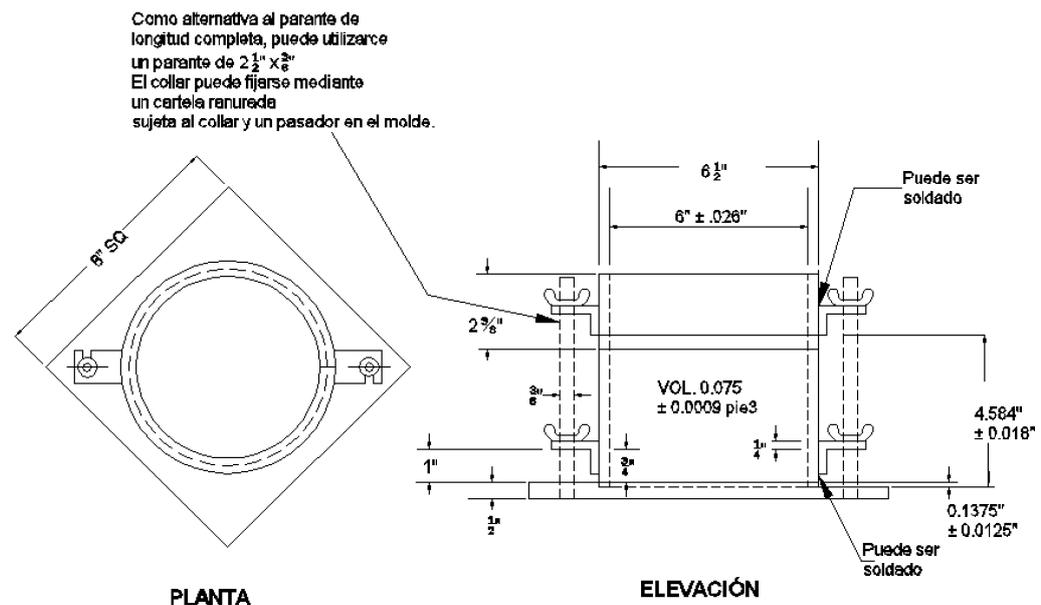
compactación deberán de tener un diámetro promedio de 152.4 ± 0.7 mm. y una altura de $116.4 +0.5$ mm, esto da lugar a un volumen de 2124 ± 25 cm³.

Un pisón o martillo, con una masa de 4.54 ± 0.01 kg, el cual fue operado manualmente con una caída libre de 457.2 ± 1.6 mm., la cara de contacto con el espécimen debe de ser de 50.800 ± 0.25 mm.; este pistón de caída está previsto de 04 agujeros en al parte superior y 04 agujeros en la parte inferior.

Balanza para realizar los pesajes con una precisión de 1g, extractor de núcleos, opcional; horno de secado con control termostático de preferencia el cual pueda mantener constantemente temperaturas de 110° C $\pm 5^\circ$ C, diversos materiales como enrasadores, cucharas, bandejas y atomizadores, a continuación, se muestra el molde descrito.

Figura 7

Molde para Proctor Modificado, método C



VER TABLA 2 PARA EQUIVALENTES METRICOS

Fuente: (Ministerio de Transportes y comunicaciones, 2016).



2.2.12.4.Sobre las muestras.

La muestra para el método C según (Ministerio de Transportes y comunicaciones, 2016) recomienda que se debe de tener alrededor de 29 kg de suelo seco, y para muestras húmedas se recomienda alrededor de 45 kg.; el material seleccionado servirá para realizar cinco puntos y con estos construir la curva de contenido de humedad vs densidad seca de la muestra.

2.2.12.5.Procedimiento para obtener el contenido de humedad óptimo y la máxima densidad seca.

Se preparan 04 especímenes de alrededor de 5.600 kg pero lo recomendable es preparar 05 especímenes, si las muestras tienen un contenido de humedad cercano al óptimo se separa la muestra para posteriormente realizar el ensayo de compactación.

Las demás muestras serán separadas con el mismo peso, dos de estas muestras serán adicionadas uniformemente mediante un atomizador alrededor de 2% de agua, y la siguiente muestra 2% más de agua, pero por ningún motivo el aumento de agua deberá de variar más de 4%.

Dos muestras separadas con el contenido de humedad natural serán llevadas al sol para que se oreen y así pierdan humedad de forma constante, una de estas muestras se compactara primero y la otra deberá de seguir perdiendo humedad.

Para todas las muestras seleccionadas con diferentes contenidos de humedad se seguirá el siguiente procedimiento, se tiene que tener el peso



del molde, a continuación, se coloca un anillo para garantizar que la caída del pistón impacte en el suelo y no en el borde del molde.

Se compactará uniformemente en cinco capas compactadas a 56 golpes cada una, la última capa debe de estar al mismo nivel del molde de compactación, este procedimiento se replica en las cinco muestras que contienen diferentes porcentajes de humedad.

Posteriormente de cada molde compactado se realizará el pesaje de estos, para poder determinar la densidad natural que se obtiene, posteriormente con ayuda de un extractor de núcleos se procederá a tomar una muestra representativa del centro de la masa compactada, y se realizaría el ensayo de contenido de humedad.

Con el contenido de humedad se podrá calcular la densidad seca de las muestras, obtenido este dato se construye un gráfico que tiene en el eje x el contenido de humedad y en el eje y la densidad seca alcanzada, se realizara una curva suave que una todos los puntos logrando así determinar el contenido óptimo de humedad para alcanzar la máxima densidad seca.



CAPÍTULO III

MATERIALES Y METODOS

3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ESTUDIO

Esta investigación se realizó en las vías en proceso de ejecución en la ciudad de Juliaca que está ubicada a 3,824.00 m.s.n.m., Juliaca es uno de los cinco distritos que conforman la Provincia de San Román.

La provincia de San Román a su vez se encuentra entre las 13 provincias que conforman el departamento de Puno.

3.2. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN:

3.2.1. Tipo de Investigación:

Para (Carrasco, 2019) la investigación aplicada se define como “esta investigación se distingue por tener propósitos prácticos inmediatos bien definidos, es decir, se investiga para actuar, transformar, modificar o producir cambios de un determinado sector de la realidad” (p.43).

3.2.2. Enfoque de la investigación:

Según define el libro de metodología de la investigación se utiliza el enfoque cuantitativo para poder comprobar probabilidades, reúne la recolección de datos con base en mediciones numéricas y el análisis estadístico (Hernández et al., 2014) .

3.2.3. Diseño de Investigación

En cuanto al diseño de la investigación sostiene (Arispe et al., 2020) que en el diseño experimental se manipula la variable independiente la cual representa las causas para apreciar que efectos tiene en la variable dependiente.

3.2.4. Nivel de Investigación:

Esta investigación propone la obtención del valor de C.B.R. en rellenos controlados a través de penetración generada por prototipo, por esta razón el nivel de investigación es predictivo como indica (Hurtado, 2000), La investigación predictiva “consiste en prever situaciones futuras, a partir de estudios exhaustivos, también pueden expresarse como estudios de factibilidad en el que el investigador intenta prever el comportamiento de un evento a partir de la transformación de ciertas condiciones”.

3.2.5. Operacionalización de Variables:

Tabla 11

Operacionalización de variables

Variables	Dimensiones	Indicadores	Unidad
Penetración utilizando energía de compactación dinámica	Características físicas	Peso del Pistón	Kg.
	Características operativas	Cantidad de Golpes del Pistón de caída	10 golpes
		Altura de Caída del Pistón	cm.
	Características Mecánicas	Energía dinámica Aplicada	KN-m/m ³
Profundidad de Penetración		mm.	
C.B.R. en rellenos controlados	Propiedades físico-mecánicas de los rellenos controlados	Contenido de Humedad	%
		Análisis Granulométrico	mm. - %
		Resistencia a la penetración	mm.
		Densidad	gr/cm ³
		Capacidad de Soporte	%

3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA DEL ESTUDIO

La Población para esta investigación serán las vías en ejecución del distrito de Juliaca provincia de San Román del departamento de Puno; las cuales su ejecución se programe durante la primera mitad (Semestre I) del año 2024, a la fecha de aprobación del proyecto de tesis, según el sistema de seguimiento de inversiones se cuenta con 63 proyectos, de estos 37 proyectos tendrá intervención en las vías del distrito de Juliaca, entre los cuales 13 se ejecutaran en la primera mitad del año, de esta manera la población de esta investigación está conformada por los 13 proyectos de intervención y ejecución de vías del distrito de Juliaca (Ministerio de Economía y Finanzas, 2024).

Tabla 12

Vías programadas para su ejecución en el semestre I - periodo 2024

Nº	C.U.I.	Vías en proceso de Ejecución, Semestre I - periodo 2024
1	2472464	Mejoramiento del servicio de movilidad urbana en las urb. Los Geranios, urb. Los Geranios II, urb. Santa Ana, Urb. Villa Manuelita del distrito de Juliaca – provincia de San Román – departamento de Puno.
2	2597339	Mejoramiento de los servicios públicos de integración económica y social en espacio público La Pajcha del jr. Bolívar, distrito de Juliaca de la Provincia de San Román del departamento de Puno.
3	2597505	Mejoramiento del servicio de movilidad urbana en el jr. Jauregui, Jr. Unión y Jr. San Román tramo (jr. Salaverry y jr. 9 de diciembre) del distrito de Juliaca de la provincia de San Román del departamento de Puno.
4	2384486	Mejoramiento de los servicios de movilidad urbana en la urbanización Selva Alegre del distrito de Juliaca – provincia de San Román – departamento de Puno II etapa.
5	2483280	Mejoramiento del servicio de movilidad urbana en el jr. Santiago Mamani, jr. Mariano Pandia, jr 4 de noviembre, jr. Arica, jr. Manuel Prado, y la urb. La Rinconada II etapa del distrito de Juliaca – provincia de San Román – departamento de Puno.



N°	C.U.I.	Vías en proceso de Ejecución, Semestre I - periodo 2024
6	2133863	Construcción de infraestructura vial en la urbanización San Santiago (jr. Azángaro, jr. Pumacahua, jr. Miraflores, jr. Mama Oollo, jr. San Salvador y av. Perú) de la ciudad de Juliaca, provincia de San Román – Puno.
7	2244474	Mejoramiento del servicio de infraestructura vial urbano, II etapa en la urbanización municipal Taparachi primer sector de la ciudad de Juliaca, provincia de San Román – Puno.
8	2272789	Mejoramiento de los servicios de transitabilidad vehicular y peatonal de los jirones, calles y pasajes en las urbanizaciones Villa Mercedes, San Apolinar y los Keñuales de la ciudad de Juliaca, provincia de San Román – Puno.
9	2475053	Mejoramiento del servicio de movilidad urbana de la av. Andrés Avelino Cáceres (tramo: av. Tupac Yupanqui - av. Aviación), av. los Geranios del distrito de Juliaca - provincia de San Román - departamento de puno
10	2381545	Mejoramiento de servicio de transitabilidad vehicular y peatonal de la urb. Santa María III de la ciudad de Juliaca del distrito de Juliaca - provincia de San Román - departamento de Puno.
11	2381548	Mejoramiento del servicio de transitabilidad vehicular y peatonal de la urb. Tambopata, Kantutani, Santa Rosa I y II, Villa Hermosa y 3 de octubre – I etapa de la ciudad de Juliaca del distrito de Juliaca - provincia de san Román - departamento de puno
12	2500574	Mejoramiento del servicio de acceso vehicular y peatonal en las urbanizaciones Kantutani y anexo Cincuentenario Miraflores, distrito de San Miguel – Provincia de San Román – departamento de Puno
13	2489607	Mejoramiento del servicio de movilidad urbana en la av. Rinconada, prolongación av. Loreto del distrito de Juliaca - provincia de San Román - departamento de Puno.

Fuente:(Ministerio de Economía y Finanzas, 2024).

Por otro lado, para la muestra citaremos a Tulio Ramírez que indica: “la mayoría de autores coinciden que con tomar aproximadamente 30% de la población se tendría un nivel elevado de representatividad” (Ramírez, 2010) basándose en lo que el autor indica se considerará una muestra no probabilística por conveniencia, la muestra de esta investigación consistirá en 4 vías en ejecución.



Al ser esta una investigación que busca proponer una metodología de obtención del valor de C.B.R., se tendrá 10 puntos de estudio y/o de extracción de muestra para realizar los ensayos correspondientes, el cálculo de estos puntos de estudio se detalla en los siguientes folios, los puntos de evaluación considerados para la generación del nomograma de penetración vs C.B.R. se detallan a continuación.

Tabla 13

Coordenadas de extracción de muestras de la vía N° 01

Vía 01: Mejoramiento del servicio de movilidad urbana en el jr. Jauregui, jr. Unión y jr. San Román tramo (jr. Salaverry y jr. 9 de diciembre) del distrito de Juliaca de la provincia de San Román del departamento de Puno			
C.U.I.	Muestra	Coordenada Este	Coordenada Norte
2597505	Muestra 01	378428	8286680
2597505	Muestra 02	378526	8286564

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 14

Coordenadas de extracción de muestras de la vía N° 02

Vía 02: Mejoramiento del servicio de movilidad urbana de la av. Néstor Cáceres Velásquez del distrito de Juliaca - provincia de San Román - departamento de Puno			
C.U.I.	Muestra	Coordenada Este	Coordenada Norte
2555041	Muestra 03	377479	8287902
2555041	Muestra 04	377371	8287923
2555041	Muestra 05	377211	8287950

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 15*Coordenadas de extracción de muestras de la vía N° 03*

Vía 03: Mejoramiento del servicio de movilidad urbana de la av. Andrés Avelino Cáceres (tramo: av. Tupac Yupanqui - av. Aviación), av. los Geranios del distrito de Juliaca - provincia de San Román - departamento de Puno

C.U.I.	Muestra	Coordenada Este	Coordenada Norte
2475053	Muestra 06	376045	8286456
2475053	Muestra 07	376083	8286375
2475053	Muestra 08	376121	8286297

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 16*Coordenadas de evaluación de la vía N° 04*

Vía 04: Mejoramiento del servicio de acceso vehicular y peatonal en las urbanizaciones Kantutani y anexo Cincuentenario Miraflores, distrito de San Miguel – Provincia de San Román – departamento de Puno

C.U.I.	Muestra	Coordenada Este	Coordenada Norte
2500574	Muestra 09	379750	8288315
2500574	Muestra 10	379766	8288365

Fuente: Elaboración Propia.

A continuación, se visualiza desde una perspectiva panorámica, las 4 vías que conforman la muestra de esta investigación, detallando también los lugares donde se realizaron la extracción de muestras para realizar los diversos ensayos de mecánica de suelos, requeridos para realizar esta propuesta de obtención de C.B.R. en rellenos controlados.

Figura 8

Vista satelital de las muestras de estudio



Fuente: Elaboración Propia, Basado en Google Earth.

3.3.1. Características técnicas de las vías en estudio:

A continuación, se describe las principales características técnicas necesarias para una correcta evaluación y control de calidad de las 4 vías que se ejecutaron en el primer semestre del año 2024, estas características técnicas ayudaran a determinar los puntos de evaluación por cada vía.

Tabla 17

Características técnicas de las vías en estudio.

C.U.I.	Nº de calzadas	Ancho de extremo a extremo	Nº de carriles por calzada	Ancho de carril	Separador Central	Longitud	Clasificación
2597505	1	6.60 m.	1	4.00 m.	No	170 m.	Local
2555041	2	14.00 m.	2	3.30 m.	0.8 m.	320 m.	Colectora
2475053	2	15.00 m.	2	3.30 m.	1.80 m.	380 m.	Colectora
2500574	1	6.60 m.	2	3.30 m.	no	210 m.	Local

3.3.2. Puntos de evaluación de las vías en estudio.

EL reglamento nacional de edificaciones en capítulo de pavimentos urbanos “II.2 Componentes estructurales” establece puntos de investigación según el tipo de vía, además indica el (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, 2018) que los puntos investigación deberán de extraerse preferentemente en la intersección de vías, y de no ser posible se pueden realizar puntos de investigación en puntos intermedios.

Tabla 18

Puntos de evaluación por área.

Tipo de vía	Número de puntos de evaluación	Área (m²)
Expresas	01 cada	1000
Arteriales	01 cada	1200
Colectoras	01 cada	1500
Locales	01 cada	1800

Fuente: (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, 2018)

La frecuencia del ensayo de C.B.R. en el control de materiales que se emplean en la conformación de capas de sub base o base según la normativa de pavimentos urbanos propuesto por el (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, 2018) indica que se debe de realizados el ensayo de C.B.R. cada 1000 m³ realizados en cantera.

El control de calidad para esta investigación por un criterio técnico no se tomó en cantera debido a que todas las vías en estudio realizaron la mezcla de materiales provenientes de diferentes canteras, siguiendo este criterio técnico es

más representativo realizar la extracción de muestras una vez combinado los materiales provenientes de las diferentes canteras.

3.3.2.1. Puntos de evaluación por área de conformación

Para determinar los puntos de evaluación mediante el área de conformación utilizaremos la siguiente tabla, donde se realizaron cálculos matemáticos y aproximaciones para determinar los puntos de estudio.

Tabla 19

Cálculo de puntos de estudio por área

C.U.I.	Ancho de extremo a extremo m. (a)	Separador Central m. (b)	Longitud m. (c)	Clasificación (d)	Ancho Efectivo m. (e)=a-b	1 punto cada m ² (f)	1 punto cada ml (g)=f/e
2597505	6.60	No	170	Local	6.60	1500	272.73
2555041	14.00	0.80	320	Colectora	13.20	1800	113.64
2475053	15.00	1.80	380	Colectora	13.20	1800	113.64
2500574	6.60	no	210	Local	6.60	1500	272.73

Fuente: Elaboración Propia

Del cuadro al dividir la columna “g” entre la columna “c”, por ejemplo, para determinar el número de puntos de evaluación en la vía de estudio número 01, la división sería $272.73/170=1.60$ indica que debemos de tomar 2 puntos de evaluación; de forma similar para las siguientes vías determinaremos los puntos de evaluación, finalmente se tomarán dos (02) puntos de evaluación en las vías Locales y tres (03) puntos de evaluación en las vías Colectoras.

3.3.2.2. Puntos de Evaluación por Volumen de conformación

El ensayo de control de materiales en bases y sub bases se debe de realizar cada mil 1000 m³, específicamente nos referimos al valor relativo de soporte C.B.R. que es una variable fundamental en esta investigación, a continuación, se detalla el cálculo de puntos de estudio por volumen.

Tabla 20

Cálculo de puntos de estudio por volumen

C.U.I.	Ancho de extremo a extremo m. (a)	Separador Central m. (b)	Longitud m. (c)	Ancho Efectivo m. (d)=a-b	Espesor de capa m. (e)	Cant. De puntos (f)= (c*d*e)/1000
2597505	6.60	No	170	6.60	0.20	0.22
2555041	14.00	0.80	320	13.20	0.20	0.84
2475053	15.00	1.80	380	13.20	0.20	1.00
2500574	6.60	no	210	6.60	0.20	0.28

Fuente: Elaboración Propia

Se Observa en la fila “f” la cantidad de puntos requeridos para la evaluación por volumen de conformación, todos estos datos son menores a la unidad, entonces podemos indicar que el numero requerido de puntos a evaluar mediante el volumen de conformación es 1 por cada vía de estudio.

3.3.2.3. Número de Puntos de evaluación considerados.

La sección de pavimentos urbanos nos plantea dos alternativas para saber el número de puntos de evaluación que se considera en este tipo de pavimentos, por un criterio técnico siempre se toman los valores más



críticos; por esta razón se adopta el número de puntos de evaluación por el área a conformar, tal como se muestra continuación:

Tabla 21

Número de puntos de evaluación considerados por vía de estudio

C.U.I.	Clasificación	Longitud m.	Puntos de Evaluación
2597505	Local	170	2
2555041	Colectora	320	3
2475053	Colectora	380	3
2500574	Local	210	2

Fuente: Elaboración Propia

3.4. PROCEDIMIENTO

3.4.1. Procedimiento administrativo.

- Para iniciar con esta investigación se presentaron solicitudes de extracción de muestras y evaluaciones mediante prototipo, estas solicitudes fueron presentadas a la Sub gerencia de Obras Públicas y a la Sub gerencia de infraestructura y mantenimiento vial de la municipalidad provincial de Juliaca (Anexo A).

- A continuación, se realizó la solicitud de uso de laboratorio de Mecánica de Suelos de la Facultad de ingeniería Civil y arquitectura, que pertenece a la universidad nacional del altiplano; para que después de realizados los ensayos se obtenga la constancia de uso de equipos y laboratorio (Anexo B).

- De todas las vías en las cuales se extrajo material y posteriormente se realizó la evaluación mediante el prototipo se obtuvieron constancias de



extracción de muestras y evaluación de capas estructurales mediante prototipo (Anexo C).

3.4.2. Procedimiento Aplicativo.

- Esta investigación tiene como punto de partida el diseño de un prototipo que genere una correcta y eficiente aplicación de cargas dinámicas al suelo, estas cargas dinámicas aplicadas al suelo en evaluación deben ser lo suficientemente medible.

- Una vez definido el diseño del prototipo se procedió a realizar la cotización de insumos, materiales y herramientas necesarias para la fabricación del prototipo.

- Posteriormente cuando ya se tenía un diseño de prototipo que cumpla con las características antes mencionadas y a su vez con los insumos necesarios, se procedió a su fabricación, considerando varias etapas desde la etapa inicial, etapas de incremento de carga y etapas de mejoras.

- Según las respuestas a las solicitudes presentadas en las distintas subgerencias, se realizó la extracción de muestras de la primera vía en ejecución que nos abrió las puertas para esta investigación; extrayendo material necesario para realizar diversos ensayos de mecánica de suelos.

- Se realizaron ensayos de mecánica de suelos siguiendo el procedimiento descrito en el manual de ensayo de materiales; para esta investigación se utilizó: “MTC E 107 Análisis granulométrico de suelos por tamizado”, “MTC E 108 Determinación del contenido de humedad de un suelo”, “MTC E 110 Determinación del límite líquido de los suelos”, “MTC E 111 Determinación del



límite plástico (L.P.) de los suelos e índice de Plasticidad (I.P.)”, “MTC E 115 Compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (Proctor Modificado)” y “MTC E 132 C.B.R. de Suelos (Laboratorio)”.

- Se realizaron pruebas de ensayo y ensayo error, para lograr determinar la aplicación más óptima de nuestro prototipo, dentro de estas pruebas de ensayo y error podemos mencionar los principales como son, altura de caída, número de golpes, altura de penetración, tiempo de caída.

- Para la muestra piloto se logró determinar la manera más eficiente de aplicación del prototipo, para así poder tener bosquejos de la correlación que mantiene el valor de %C.B.R. de este suelo con la penetración generada por el prototipo.

- una vez estandarizados los procedimientos aplicativos y las características físicas y mecánicas del prototipo, se aplicó la misma metodología para las demás muestras extraídas de diversas vías que contempla esta investigación.

- Al finalizar los diversos ensayos de mecánica de suelos se pudo observar similitud entre los resultados obtenidos, debido a las vías en ejecución que se consideraron en esta investigación estaban en el proceso de conformación de sub base y base, las cuales utilizaron materiales granulares como indica el EG-2013..

- Se realizó la aplicación del prototipo en el proceso constructivo de la vía en ejecución, vía en la que se realizó la extracción de muestras; esto para lograr determinar el valor de C.B.R. que se puede lograr en su proceso de conformación de cada una de estas vías.

- Finalmente se generó un nomograma en base a todos los puntos de estudio que se realizaron en laboratorio, para poder así obtener la propuesta de obtención de C.B.R. en rellenos controlados mediante penetración utilizando energía de compactación dinámica.

3.5. MATERIALES.

3.5.1. Extracción de muestras:

Para esta investigación se necesitaron diez muestras, 8 de estas para la elaboración del nomograma y 2 puntos de evaluación para comprobación; después de realizar la extracción de muestras se generaron constancias de extracción firmados por los responsables de cada obra (ANEXO C), el siguiente cuadro detalla con mayor precisión lo correspondiente a la extracción de muestras.

Tabla 22

Descripción de las muestras en estudio.

Muestra N°	Ubicación	Código Único de Inversiones	Uso y Aplicación
M – 01	Jr. Calixto Arestegui c/n Jr Unión	2597505	Ensayos de mecánica de suelos y evaluación mediante prototipo.
M – 02	Jr. Unión – Cuadra 01	2597505	Ensayos de mecánica de suelos y evaluación mediante prototipo.
M – 03	Av. Circunvalación c/n Av. Nestor Caceres Velasquez	2555041	Ensayos de mecánica de suelos y evaluación mediante prototipo.
M – 04	Av. Nestor Caceres Velasquez c/n Jr. Justino Guillen	2555041	Ensayos de mecánica de suelos y evaluación mediante prototipo.



Muestra N°	Ubicación	Código Único de Inversiones	Uso y Aplicación
M – 05	Av. Nestor Caceres Velasquez c/n Jr. Huayna Capac	2555041	Ensayos de mecánica de suelos y evaluación mediante prototipo.
M – 06	Av. Los geranios – Cuadra 03	2475053	Ensayos de mecánica de suelos y evaluación mediante prototipo.
M – 07	Av. Los geranios – Cuadra 04	2475053	Ensayos de mecánica de suelos y evaluación mediante prototipo.
M – 08	Av. Los Geranios – Cuadra 05	2475053	Ensayos de mecánica de suelos y evaluación mediante prototipo.
M – 09	Jr. Dos de Septiembre c/n Jr. Huayna Capac	2500574	Evaluación mediante prototipo.
M – 10	Jr. Dos de Septiembre c/n Jr. Cordillera	2500574	Evaluación mediante prototipo.

Fuente: Elaboración Propia.

3.5.2. Análisis granulométrico de las Muestras.

Se utilizó: (Ministerio de Transportes y comunicaciones, 2016) “MTC E 107 Análisis granulométrico de suelos por tamizado”.

En el siguiente cuadro se detalla de forma explícita el porcentaje de material pasante por las diversas mallas granulométricas, Las curvas granulométricas de cada muestra se muestran en (ANEXO F).

Tabla 23*Análisis granulométrico*

Tamiz	M – 01 (%)	M – 02 (%)	M – 03 (%)	M – 04 (%)	M – 05 (%)	M – 06 (%)	M – 07 (%)	M – 08 (%)
3”	100.00	100.00	100.00	99.33	98.58	100.00	99.45	98.32
2”	91.80	100.00	99.40	97.84	96.83	99.24	98.48	96.32
1 ½”	84.40	98.74	95.53	93.26	91.56	94.90	92.32	93.70
1 “	70.25	91.45	85.48	85.48	83.29	84.96	84.78	89.90
¾ “	60.65	82.42	76.97	76.64	74.05	76.40	76.69	84.66
3/8 “	37.59	62.71	58.84	57.87	51.80	58.40	55.72	63.38
N° 04	23.50	47.03	43.18	43.59	33.49	42.86	38.40	45.15
N° 10	14.68	32.52	26.37	26.52	20.25	25.64	23.35	27.96
N° 20	9.31	23.56	14.87	13.83	10.43	14.89	13.14	16.26
N° 40	5.31	16.69	7.18	6.48	5.00	7.34	6.49	9.07
N° 60	2.72	10.60	3.46	3.55	2.48	3.87	3.83	4.81
N° 100	1.07	5.08	1.53	1.09	0.97	1.43	1.48	2.31
N° 200	0.04	0.21	0.04	0.02	0.02	0.03	0.03	0.04
S.U.C.S.	GW	GW	GW	GW	GW	GW	GW	GW

Fuente: Elaboración Propia.

3.5.3. Determinación del Índice Plástico (IP)

Según indica (Ministerio de Transportes y comunicaciones, 2016) “el índice plástico de un suelo es la diferencia entre su límite líquido y su límite plástico.”

Para las muestras en estudio han sido clasificadas como NP (no plástico) debido a una mayor presencia de gruesos y la poca o casi nula presencia de finos, por lo tanto, al no tener el límite plástico no se puede determinar el índice plástico.

3.5.4. Ensayo de Proctor Modificado.

Se utilizó el procedimiento “MTC E 115 Compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (Proctor Modificado)”. Al tener un análisis granulométrico similar, se entiende que las características mecánicas como los valores obtenidos de compactación serán muy similares.

Los procedimientos y cálculos se describen en (Anexo G).

Tabla 24

Ensayo de Proctor Modificado

Proyecto	CUI: 2597505		CUI: 2555041			CUI: 2475053		
	M - 01	M - 02	M - 03	M - 04	M - 05	M - 06	M - 07	M - 08
Muestra	M - 01	M - 02	M - 03	M - 04	M - 05	M - 06	M - 07	M - 08
% C.H.	6.394 %	6.394 %	7.329 %	7.329 %	7.329 %	6.294 %	6.294 %	6.294 %
γ seca (gr/cm ³)	2.203	2.203	2.117	2.117	2.117	2.158	2.158	2.158

Fuente: Elaboración Propia.

3.5.5. Ensayo California Bearing Ratio (C.B.R)

Se aplicaron los procedimientos según lo que suscribe “MTC E 132 C.B.R. de suelos en laboratorio” (Ministerio de Transportes y comunicaciones, 2016); los resultados continuación muestran los distintos valores de C.B.R. que se obtuvieron de las muestras en estudio:

Tabla 25*Ensayo de C.B.R.*

Golpes	CUI: 2597505		CUI: 2555041			CUI: 2475053		
	M - 01	M - 02	M - 03	M - 04	M - 05	M - 06	M - 07	M - 08
10 Gol	5.06%	5.06%	12.98%	11.60%	11.60%	13.39%	13.39%	13.66%
25 Gol	50.67%	50.67%	114.83%	79.05%	79.05%	53.15%	53.15%	62.59%
56 Gol	141.07%	141.07%	149.54%	140.54%	140.54%	135.37%	135.37%	142.01%

Fuente: Elaboración Propia.

3.5.6. Ensayo de Penetración mediante Prototipo utilizando energía de compactación dinámica.

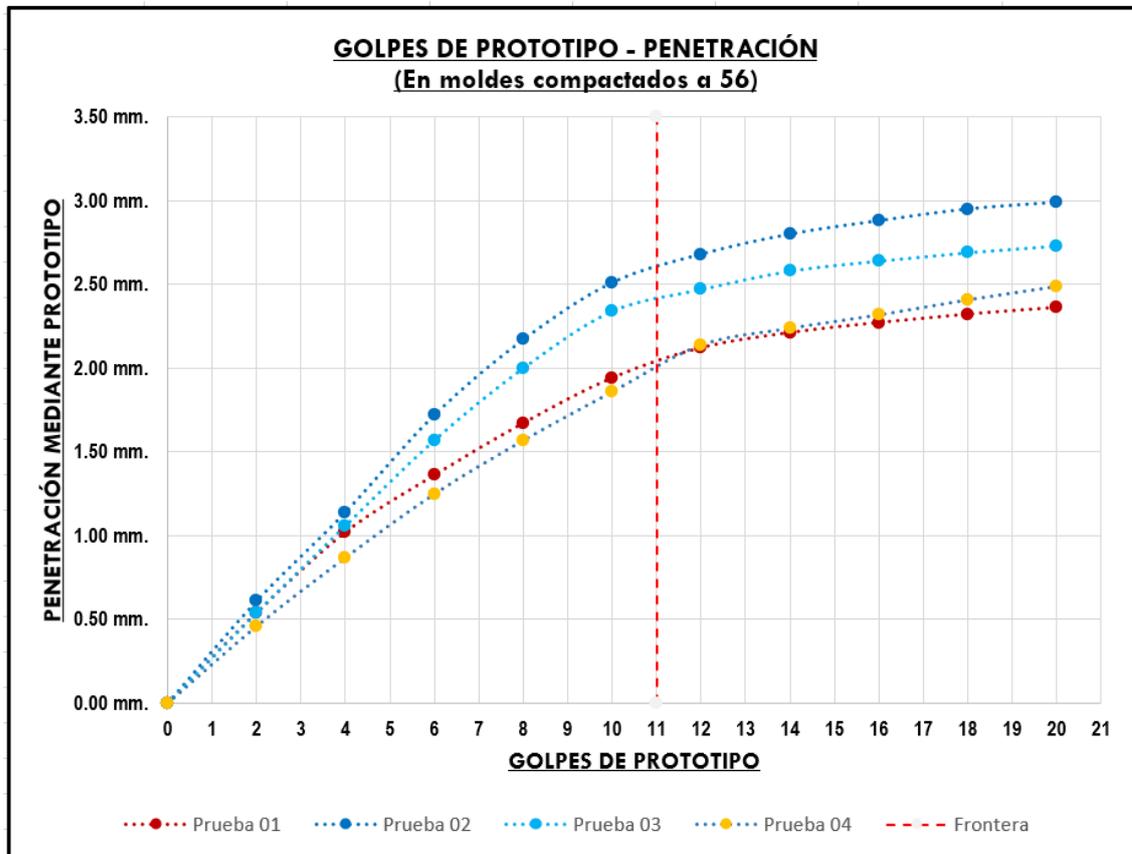
- Etapa inicial: Al ser este un prototipo nuevo, se tuvo muchos procedimientos de ensayo y error para establecer una metodología que logre determinar de manera óptima nuestros objetivos propuestos.

Así entonces se puede mencionar en la etapa de fabricación el incremento del pistón de caída, el cual está elaborado con seis discos circulares de espesor de 1" para esto se muestran los planos del prototipo de obtención de C.B.R. (Anexo D)

Adicionalmente a esto se realizaron ensayos de penetración en laboratorio, donde se puede describir los resultados, según los ensayos de penetración obtenidos por cada vía en estudio y su relación con los valores de C.B.R. obtenidos para esa vía en estudio, a continuación, las pruebas en diversos moldes para ver la penetración en relación a los golpes del prototipo.

Figura 9

Relación entre golpes del prototipo y la penetración generada



Fuente: Elaboración Propia

Se puede observar en la figura anterior que la penetración del prototipo en un suelo determinado comienza a reducir a medida que va aumentando el número de golpes, es así que se denota dos zonas donde la penetración a partir del golpe número 11 comienza a ser menor; se observa que en el gráfico que con diez golpes es un valor ideal para el prototipo, se puede observar con más detalle la justificación de los diez golpes en el Anexo N.

Las características operativas logran una adecuada interpretación de resultados tanto en la evaluación de especímenes en laboratorio como pruebas de campo; las características operativas para el prototipo de esta investigación fueron: 10 Golpes de caída libre, a una altura constante de 30.48 cm. Medidos a



partir de la base del pistón de caída; el desarrollo y cálculo del ensayo de penetración mediante prototipo en laboratorio se describe en (Anexo I).

3.5.6.1. Sobre la energía de compactación dinámica generada por el prototipo.

Para este apartado haremos mención a líneas anteriores donde se demuestra la energía aplicada por el ensayo de Proctor modificado, los cálculos de la energía de compactación dinámica para el prototipo de esta investigación usan las mismas formulas.

$$\text{Energía de compactación} = \frac{m * g * h * N \text{ veces} * N^{\circ} \text{ de capas}}{\text{Volumen}}$$

Donde:

m = Masa del pistón de compactación (kg).

g = Aceleración, en este caso aceleración gravitacional 9.81 m/s².

h = Altura de caída del pistón (m).

N veces = Número de veces que se suelta el pistón a una altura determina.

N° de Capas= Número de Capas en que se compacta el suelo.

Volumen= Se considera el volumen de suelo afectado por el pistón (m³).

Para realizar el reemplazo en la formula anterior, definiremos todos los parámetros:

Masa (m) = 8.770 kg.

g = 9.81 m/s²



$$h = 0.3048 \text{ m}$$

$$N \text{ Veces} = 10 \text{ golpes del pistón}$$

N de Capas = 01 al tratarse de que el ensayo se aplica solo en una capa.

Volumen = 0.000141554 m³; se considera el área de impacto del pistón 5.08 cm (0.0508 m.) de diámetro y la altura afectada del suelo en el molde; en procedimientos de laboratorio se ha podido observar que el impacto llega a deformar hasta la tercera capa; por esta razón se considera los 3/5 de la altura efectiva del molde de C.B.R. es decir 0.1164*3/5 = 0.06984 m. de altura del suelo afectado.

$$\text{Energía de compactación} = \frac{m * g * h * N \text{ veces} * N^{\circ} \text{ de capas}}{\text{Volumen}}$$

$$\text{Energía de compactación} = \frac{8.770 \text{ Kg} * \frac{9.81 \text{ m}}{\text{s}^2} * 0.3048 \text{ m} * 10 * 1}{0.000141554 \text{ m}^3}$$

$$\text{Energía de compactación} = 1852516 \frac{\text{kg} * \text{m} * \text{m}}{\text{s}^2 * \text{m}^3}$$

Recordemos ahora que un Newton “es la fuerza necesaria para proporcionar una aceleración de 1 m/s² de un kilogramo de masa”.

$$1N = \frac{1 \text{ Kg} * \text{m}}{\text{s}^2}$$

Reemplazando las unidades en de Newton en la ecuación anterior tenemos

$$\text{Energía de compactación} = 1852516 \frac{N * \text{m}}{\text{m}^3}$$



$$\text{Energía de compactación} = 1852.516 \frac{KN * m}{m^3}$$

$$\text{Energía de compactación} \cong 1850 \frac{KN - m}{m^3}$$

3.5.7. Ensayo de penetración por prototipo vs C.B.R. de la muestra 01 – Jr. Calixto Arestegui c/n Jr. Unión

Se muestra a continuación los resultados de los ensayos de penetración (Penetración 01 y penetración 02) generados por el prototipo propuesto en diferentes moldes a diferentes golpes de compactación, y su relación con el C.B.R, alcanzado en laboratorio de la muestra número 01.

Tabla 26

C.B.R. vs. Penetración - muestra 01

C.B.R. vs Penetración Mediante Prototipo Proyecto con C.U.I.: 2597505				
Muestra	Golpes	% C.B.R.	Penetración 1 M01 – T01	Penetración 2 M01 – T02
Muestra - 01	10 golpes	5.06 %	11.366 mm.	11.970 mm.
Muestra - 01	25 golpes	50.67 %	5.618 mm.	6.150 mm.
Muestra - 01	56 golpes	141.07 %	2.466 mm.	2.328 mm.

Fuente: Elaboración Propia.

3.5.8. Ensayo de penetración por prototipo vs C.B.R. de la muestra 02 – Jr. Unión – cuadra 01

Se muestra a continuación los resultados de los ensayos de penetración (Penetración 01 y penetración 02) generados por el prototipo propuesto en diferentes moldes a diferentes golpes de compactación, y su relación con el C.B.R, alcanzado en laboratorio de la muestra número 02.

Tabla 27*C.B.R. vs. Penetración - muestra 02*

C.B.R. vs Penetración Mediante Prototipo Proyecto con C.U.I.: 2597505				
Muestra	Golpes	% C.B.R.	Penetración 1 M02 – T01	Penetración 2 M02 – T02
Muestra – 02	10 golpes	5.06 %	11.972 mm.	11.350 mm.
Muestra – 02	25 golpes	50.67 %	6.138 mm.	6.408 mm.
Muestra - 02	56 golpes	141.07 %	2.394 mm.	2.612 mm.

Fuente: Elaboración Propia.

3.5.9. Ensayo de penetración por prototipo vs C.B.R. de la muestra 03 – Av. Néstor Cáceres Velásquez c/n Av. Circunvalación.

Se muestra a continuación los resultados de los ensayos de penetración (Penetración 01 y penetración 02) generados por el prototipo propuesto en diferentes moldes a diferentes golpes de compactación, y su relación con el C.B.R, alcanzado en laboratorio de la muestra número 03.

Tabla 28*C.B.R. vs. Penetración - muestra 03*

C.B.R. vs Penetración Mediante Prototipo Proyecto con C.U.I.: 2555041				
Muestra	Golpes	% C.B.R.	Penetración 1 M03 – T01	Penetración 2 M03 – T02
Muestra – 03	10 golpes	12.98 %	11.182 mm.	11.302 mm.
Muestra – 03	25 golpes	114.83 %	6.160 mm.	5.708 mm.
Muestra – 03	56 golpes	149.54 %	1.642 mm.	2.188 mm.

Fuente: Elaboración Propia.

3.5.10. Ensayo de penetración por prototipo vs C.B.R. de la muestra 04 –

Av. Néstor Cáceres Velásquez c/n Jr. Justino Guillen.

Se muestra a continuación los resultados de los ensayos de penetración (Penetración 01, penetración 02 y penetración 03) generados por el prototipo propuesto en diferentes moldes a diferentes golpes de compactación, y su relación con el C.B.R, alcanzado en laboratorio de la muestra número 04.

Tabla 29

C.B.R. vs. Penetración - muestra 04

C.B.R. vs Penetración Mediante Prototipo Proyecto con C.U.I.: 2555041					
Muestra	Golpes	% C.B.R.	Penetración 1 M04 – T01	Penetración 2 M04 – T02	Penetración 3 M04 – T03
Muestra – 04	10 golpes	11.60 %	10.814 mm.	11.930 mm.	11.192 mm.
Muestra – 04	25 golpes	79.05 %	5.164 mm.	5.802 mm.	5.314 mm.
Muestra – 04	56 golpes	140.54 %	2.938 mm.	2.232 mm.	2.940 mm.

Fuente: Elaboración Propia.

3.5.11. Ensayo de penetración por prototipo vs C.B.R. de la muestra 05 –

Av. Néstor Cáceres Velásquez c/n Jr. Huayna Cápac.

Se muestra a continuación los resultados de los ensayos de penetración (Penetración 01 y penetración 02) generados por el prototipo propuesto en diferentes moldes a diferentes golpes de compactación, y su relación con el C.B.R, alcanzado en laboratorio de la muestra número 05.

Tabla 30*C.B.R. vs. Penetración - muestra 05*

C.B.R. vs Penetración Mediante Prototipo Proyecto con C.U.I.: 2555041				
Muestra	Golpes	% C.B.R.	Penetración 1 M05 – T01	Penetración 2 M05 – T02
Muestra – 05	10 golpes	11.60 %	11.334 mm.	10.806 mm.
Muestra – 05	25 golpes	79.05 %	5.448 mm.	5.548 mm.
Muestra – 05	56 golpes	140.54 %	2.228 mm.	2.608 mm.

Fuente: Elaboración Propia.

3.5.12. Ensayo de penetración por prototipo vs C.B.R. de la muestra 06 –**Av. Los Geranios – Cuadra 03**

Se muestra a continuación los resultados de los ensayos de penetración (Penetración 01 y penetración 02) generados por el prototipo propuesto en diferentes moldes a diferentes golpes de compactación, y su relación con el C.B.R, alcanzado en laboratorio de la muestra número 06.

Tabla 31*C.B.R. vs. Penetración - muestra 06*

C.B.R. vs Penetración Mediante Prototipo Proyecto con C.U.I.: 2475053				
Muestra	Golpes	% C.B.R.	Penetración 1 M06 – T01	Penetración 2 M06 – T02
Muestra – 06	10 golpes	13.39 %	10.538 mm.	11.450 mm.
Muestra – 06	25 golpes	53.15 %	5.216 mm.	5.682 mm.
Muestra – 06	56 golpes	135.37 %	3.098 mm.	2.386 mm.

Fuente: Elaboración Propia.



3.5.13. Ensayo de penetración por prototipo vs %C.B.R. de la muestra 07 –

Av. Los Geranios – Cuadra 04

Se muestra a continuación los resultados de los ensayos de penetración (Penetración 01 y penetración 02) generados por el prototipo propuesto en diferentes moldes a diferentes golpes de compactación, y su relación con el C.B.R, alcanzado en laboratorio de la muestra número 07.

Tabla 32

C.B.R. vs. Penetración - muestra 07

C.B.R. vs Penetración Mediante Prototipo Proyecto con C.U.I.: 2475053				
Muestra	Golpes	% C.B.R.	Penetración 1 M07 – T01	Penetración 2 M07 – T02
Muestra – 07	10 golpes	13.39 %	11.352 mm.	11.214 mm.
Muestra – 07	25 golpes	53.15 %	5.630 mm.	5.634 mm.
Muestra – 07	56 golpes	135.37 %	1.902 mm.	2.476 mm.

Fuente: Elaboración Propia.

3.5.14. Ensayo de penetración por prototipo vs C.B.R. de la muestra 08 –

Av. Los Geranios – Cuadra 05

Se muestra a continuación los resultados de los ensayos de penetración (Penetración 01 y penetración 02) generados por el prototipo propuesto en diferentes moldes a diferentes golpes de compactación, y su relación con el C.B.R, alcanzado en laboratorio de la muestra número 08.

Tabla 33*C.B.R. vs. Penetración - muestra 08*

%C.B.R. vs Penetración Mediante Prototipo Proyecto con C.U.I.: 2475053				
Muestra	Golpes	% C.B.R.	Penetración 1 M08 – T01	Penetración 2 M08 – T02
Muestra – 08	10 golpes	13.66 %	10.898 mm.	11.502 mm.
Muestra – 08	25 golpes	62.59 %	6.024 mm.	5.694 mm.
Muestra – 08	56 golpes	142.01 %	2.326 mm.	2.534 mm.

Fuente: Elaboración Propia.

3.5.15. Ensayo de penetración por prototipo vs densidad seca de la muestra**01 – Jr. Calixto Arestegui c/n Jr. Unión.**

Se muestra a continuación los resultados de los ensayos de penetración (Penetración 01 y penetración 02) generados por el prototipo propuesto en diferentes moldes a diferentes golpes de compactación, y su relación con la densidad seca alcanzada en los moldes, resultados de laboratorio de la muestra número 01.

Tabla 34*Penetración vs. densidad seca - muestra 01*

Penetración mediante prototipo vs. densidad seca Proyecto con C.U.I.: 2597505					
Muestra	Golpes	Penetración 1 M01 – T01	Densidad seca M01-T01	Penetración 2 M01 – T02	Densidad seca M01-T02
Muestra – 01	10 golpes	11.366 mm.	1.961 gr/cm ³	11.970 mm.	1.986 gr/cm ³
Muestra – 01	25 golpes	5.618 mm.	2.108 gr/cm ³	6.150 mm.	2.049 gr/cm ³
Muestra – 01	56 golpes	2.466 mm.	2.171 gr/cm ³	2.328 mm.	2.140 gr/cm ³

Fuente: Elaboración Propia.

3.5.16. Ensayo de penetración por prototipo vs densidad seca de la muestra

02 – Jr. Unión – cuadra 01

Se muestra a continuación los resultados de los ensayos de penetración (Penetración 01 y penetración 02) generados por el prototipo propuesto en diferentes moldes a diferentes golpes de compactación, y su relación con la densidad seca alcanzada en los moldes, resultados de laboratorio de la muestra número 02.

Tabla 35

Penetración vs. densidad seca - muestra 02.

Penetración mediante prototipo vs. densidad seca					
Proyecto con C.U.I.: 2597505					
Muestra	Golpes	Penetración 1 M02 – T01	Densidad seca M02-T01	Penetración 2 M02 – T02	Densidad seca M02-T02
Muestra – 02	10 golpes	11.972 mm.	2.004 gr/cm ³	11.350 mm.	1.934 gr/cm ³
Muestra – 02	25 golpes	6.138 mm.	2.068 gr/cm ³	6.408 mm.	2.037 gr/cm ³
Muestra – 02	56 golpes	2.394 mm.	2.133 gr/cm ³	2.612 mm.	2.126 gr/cm ³

Fuente: Elaboración Propia.

3.5.17. Ensayo de penetración por prototipo vs densidad seca de la muestra

03 – Av. Néstor Cáceres Velásquez c/n Av. Circunvalación.

Se muestra a continuación los resultados de los ensayos de penetración (Penetración 01 y penetración 02) generados por el prototipo propuesto en diferentes moldes a diferentes golpes de compactación, y su relación con la densidad seca alcanzada en los moldes, resultados de laboratorio de la muestra número 03.

Tabla 36*Penetración vs. densidad seca - muestra 03.*

Penetración mediante prototipo vs. densidad seca Proyecto con C.U.I.: 2555041					
Muestra	Golpes	Penetración 1 M03 – T01	Densidad seca M03 -T01	Penetración 2 M03 – T02	Densidad seca M03-T02
Muestra – 03	10 golpes	11.182 mm.	1.912 gr/cm ³	11.302 mm.	1.958 gr/cm ³
Muestra – 03	25 golpes	6.160 mm.	2.022 gr/cm ³	5.708 mm.	2.063 gr/cm ³
Muestra – 03	56 golpes	1.642 mm.	2.068 gr/cm ³	2.188 mm.	2.104 gr/cm ³

Fuente: Elaboración Propia.

3.5.18. Ensayo de penetración por prototipo vs densidad seca de la muestra**04 - Av. Néstor Cáceres Velásquez c/n Jr. Justino Guillen.**

Se muestra a continuación los resultados de los ensayos de penetración (Penetración 01, penetración 02 y penetración 03) generados por el prototipo propuesto en diferentes moldes a diferentes golpes de compactación, y su relación con la densidad seca alcanzada en los moldes, resultados de laboratorio de la muestra número 04.

Tabla 37*Penetración vs. densidad seca - muestra 04.*

Penetración mediante prototipo vs. densidad seca Proyecto con C.U.I.: 2555041							
Muestra	Golpes	Penetración 1 M04 – T01	Densidad seca M04 -T01	Penetración 2 M04 – T02	Densidad seca M04-T02	Penetración 3 M04– T03	Densidad seca M04-T03
M-04	10 golpes	10.814 mm.	1.915 gr/cm ³	11.930 mm.	1.848 gr/cm ³	11.192 mm.	1.947 gr/cm ³
M-04	25 golpes	5.164 mm.	1.971 gr/cm ³	5.802 mm.	2.016 gr/cm ³	5.314 mm.	2.011 gr/cm ³

Muestra	Golpes	Penetración 1 M04 – T01	Densidad seca M04 -T01	Penetración 2 M04 – T02	Densidad seca M04-T02	Penetración 3 M04– T03	Densidad seca M04-T03
M-04	56 golpes	2.938 mm.	2.059 gr/cm ³	2.232 mm.	2.082 gr/cm ³	2.094 mm.	2.100 gr/cm ³

Fuente: Elaboración Propia.

3.5.19. Ensayo de penetración por prototipo vs densidad seca de la muestra

05 - Av. Néstor Cáceres Velásquez c/n Jr. Huayna Cápac.

Se muestran los resultados de los ensayos de penetración (Penetración 01 y penetración 02) generados por el prototipo propuesto en diferentes moldes a diferentes golpes de compactación, y su relación con la densidad seca alcanzada en los moldes, resultados de laboratorio de la muestra número 05.

Tabla 38

Penetración vs. densidad seca - muestra 5.

Penetración mediante prototipo vs. densidad seca Proyecto con C.U.I.: 2555041					
Muestra	Golpes	Penetración 1 M05 – T01	Densidad seca M05 -T01	Penetración 2 M05 – T02	Densidad seca M05-T02
Muestra – 05	10 golpes	11.334 mm.	1.947 gr/cm ³	10.806 mm.	1.940 gr/cm ³
Muestra – 05	25 golpes	5.448 mm.	2.055 gr/cm ³	5.548 mm.	2.041 gr/cm ³
Muestra – 05	56 golpes	2.228 mm.	2.092 gr/cm ³	2.608 mm.	2.090 gr/cm ³

3.5.20. Ensayo de penetración por prototipo vs densidad seca de la muestra

06 – Av. Los Geranios – Cuadra 03

Se muestra a continuación los resultados de los ensayos de penetración (Penetración 01 y penetración 02) generados por el prototipo propuesto en

diferentes moldes a diferentes golpes de compactación, y su relación con la densidad seca alcanzada en los moldes, resultados de laboratorio de la muestra número 06.

Tabla 39

Penetración vs. densidad seca - muestra 06.

Penetración mediante prototipo vs. densidad seca Proyecto con C.U.I.: 2475053					
Muestra	Golpes	Penetración 1 M06 – T01	Densidad seca M06 -T01	Penetración 2 M06 – T02	Densidad seca M06-T02
Muestra – 06	10 golpes	10.538 mm.	1.957 gr/cm ³	11.450 mm.	1.981 gr/cm ³
Muestra – 06	25 golpes	5.216 mm.	2.067 gr/cm ³	5.682 mm.	2.053 gr/cm ³
Muestra – 06	56 golpes	3.098 mm.	2.106 gr/cm ³	2.386 mm.	2.104 gr/cm ³

Fuente: Elaboración Propia.

3.5.21. Ensayo de penetración por prototipo vs densidad seca de la muestra 07 – Av. Los Geranios – cuadra 04.

Se muestra a continuación los resultados de los ensayos de penetración (Penetración 01 y penetración 02) generados por el prototipo propuesto en diferentes moldes a diferentes golpes de compactación, y su relación con la densidad seca alcanzada en los moldes, resultados de laboratorio de la muestra número 07.

Tabla 40*Penetración vs. densidad seca - muestra 07.*

Penetración mediante prototipo vs. densidad seca Proyecto con C.U.I.: 2475053					
Muestra	Golpes	Penetración 1 M07 – T01	Densidad seca M07 -T01	Penetración 2 M07 – T02	Densidad seca M07-T02
Muestra – 07	10 golpes	11.352 mm.	1.990 gr/cm ³	11.214 mm.	1.974 gr/cm ³
Muestra – 07	25 golpes	5.630 mm.	2.096 gr/cm ³	5.634 mm.	2.078 gr/cm ³
Muestra – 07	56 golpes	1.902 mm.	2.143 gr/cm ³	2.476 mm.	2.151 gr/cm ³

Fuente: Elaboración Propia.

3.5.22. Ensayo de penetración por prototipo vs densidad seca de la muestra 08 – Av. Los Geranios – cuadra 05.

Se muestra a continuación los resultados de los ensayos de penetración (Penetración 01 y penetración 02) generados por el prototipo propuesto en diferentes moldes a diferentes golpes de compactación, y su relación con la densidad seca alcanzada en los moldes, resultados de laboratorio de la muestra número 08.

Tabla 41*Penetración vs. densidad seca - muestra 08.*

Penetración mediante prototipo vs. densidad seca Proyecto con C.U.I.: 2475053					
Muestra	Golpes	Penetración 1 M08 – T01	Densidad seca M08 -T01	Penetración 2 M0 8 T02	Densidad seca M08-T02
Muestra – 08	10 golpes	10.898 mm.	2.015 gr/cm ³	11.502 mm.	1.908 gr/cm ³
Muestra – 08	25 golpes	6.024 mm.	2.119 gr/cm ³	5.694 mm.	1.989 gr/cm ³
Muestra – 08	56 golpes	2.326 mm.	2.168 gr/cm ³	2.534 mm.	2.058 gr/cm ³

Fuente: Elaboración Propia.



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS:

4.1.1. Sobre el objetivo general

El objetivo general fue: Proponer una alternativa para estimar el valor de C.B.R. en rellenos controlados mediante penetración utilizando energía de compactación dinámica en vías de ejecución del distrito de Juliaca; Para lograr el objetivo general se tuvieron que cumplir satisfactoriamente cada uno de los objetivos específicos planteados; los cuales se describirán de forma más detallada en posteriores líneas.

Esta investigación después de realizar todos los ensayos necesarios, teniendo minucioso cuidado en cada etapa, proceso y ensayo finalmente se puede indicar que, la metodología de obtención del % C.B.R. propuesto cumple con el objetivo general de manera satisfactoria debido a que la relación existente entre las variables de estudio, tienen un valor r de Pearson de: -0.952 ; esto nos indica que las variables se comportan de forma inversa con un nivel de correlación muy alta.

Con lo anterior mencionado podemos aceptar la hipótesis general la cual es: La propuesta de obtención del valor de C.B.R. en rellenos controlados mediante penetración utilizando energía de compactación dinámica puede aproximarse al valor de CBR significativamente, debido a que el coeficiente R de Pearson nos indica un valor de -0.952 , este dato se interpreta que la relación entre las variables: Penetración utilizando energía de compactación dinámica y C.B.R.

en rellenos controlados tienen una correlación muy alta e inversamente proporcional.

Tabla 42

Coficiente R de Pearson: Penetración – C.B.R.

R de Pearson			
	Correlaciones	C.B.R.	Penetración
	Correlación de Pearson	1.000	- 0.952
C.B.R.	Sig (Bilateral)	--	0.000
	N	51	51
	Correlación de Pearson	-0.952	1.000
Penetración	Sig. (Bilateral)	0.000	--
	N	51	51

Fuente: Elaboración Propia.

4.1.2. Sobre el objetivo específico número 01

Para lograr el objetivo general de la investigación fue necesario la implementación de objetivos específicos, para esta investigación el primer objetivo propuesto es: fabricar un prototipo de estimación del valor de C.B.R. mediante penetración, utilizando energía de compactación dinámica; este objetivo específico ha sido concluido exitosamente, desde el inicio de su fabricación, y sus mejorar de en cada proceso; se ha logrado obtener un prototipo con parámetros estandarizados, por la naturaleza de las muestras en estudio todas más muestras están clasificados como como GW.

Adicionalmente a esto el prototipo planteado por esta investigación cumple con las exigencias del planteamiento del problema, el cual es impulsar una nueva metodología para la obtención de C.B.R., no con la visión de



reemplazar métodos tradicionales, más bien que esta metodología sirva de elemento de apoyo, con este prototipo se logra determinar el C.B.R. de suelos, con un menor costo en materiales, equipos; no solo eso sino también la optimización de tiempos en comparación a los métodos tradicionales, resaltando así que esta propuesta metodológica resulta ser optima en comparación de metodologías normadas.

4.1.3. Sobre el objetivo específico número 02

Esta investigación plantea como segundo objetivo: Determinar la relación que tiene las propiedades físico-mecánicas de rellenos controlados y la penetración mediante prototipo utilizando energía de compactación dinámica; esta investigación para lograr determinar la relación entre las propiedades físico mecánicas más importantes al momento de la conformación de bases y sub bases (rellenos controlados) se realizó un consolidado de datos que logran determinar la relación existente y se detalla a continuación.

Primero analizaremos la relación existente entre la penetración y la densidad seca, para esto se desarrolló un consolidado de datos de las muestras de estudio y se resumen en el siguiente cuadro, a continuación, se realizó el análisis de correlación r de Pearson.

Tabla 43

Consolidado de datos: Penetración por prototipo y densidad seca.

Muestra	Penetración	Compactado a	Penetración	Densidad Seca
Muestra 01	Torito 01	10 Golpes	11.366 mm.	1.961 gr./cm ³
Muestra 01	Torito 01	25 Golpes	5.618 mm.	2.108 gr./cm ³
Muestra 01	Torito 01	56 Golpes	2.466 mm.	2.171 gr./cm ³



Muestra	Penetración	Compactado a	Penetración	Densidad Seca
Muestra 01	Torito 02	10 Golpes	11.970 mm.	1.986 gr./cm ³
Muestra 01	Torito 02	25 Golpes	6.150 mm.	2.049 gr./cm ³
Muestra 01	Torito 02	56 Golpes	2.328 mm.	2.140 gr./cm ³
Muestra 02	Torito 01	10 Golpes	11.972 mm.	2.004 gr./cm ³
Muestra 02	Torito 01	25 Golpes	6.138 mm.	2.068 gr./cm ³
Muestra 02	Torito 01	56 Golpes	2.394 mm.	2.133 gr./cm ³
Muestra 02	Torito 02	10 Golpes	11.350 mm.	1.934 gr./cm ³
Muestra 02	Torito 02	25 Golpes	6.408 mm.	2.037 gr./cm ³
Muestra 02	Torito 02	56 Golpes	2.612 mm.	2.126 gr./cm ³
Muestra 03	Torito 01	10 Golpes	11.182 mm.	1.912 gr./cm ³
Muestra 03	Torito 01	25 Golpes	6.160 mm.	2.022 gr./cm ³
Muestra 03	Torito 01	56 Golpes	1.642 mm.	2.068 gr./cm ³
Muestra 03	Torito 02	10 Golpes	11.302 mm.	1.958 gr./cm ³
Muestra 03	Torito 02	25 Golpes	5.708 mm.	2.063 gr./cm ³
Muestra 03	Torito 02	56 Golpes	2.188 mm.	2.104 gr./cm ³
Muestra 04	Torito 01	10 Golpes	10.814 mm.	1.915 gr./cm ³
Muestra 04	Torito 01	25 Golpes	5.164 mm.	1.971 gr./cm ³
Muestra 04	Torito 01	56 Golpes	2.938 mm.	2.059 gr./cm ³
Muestra 04	Torito 02	10 Golpes	11.930 mm.	1.848 gr./cm ³
Muestra 04	Torito 02	25 Golpes	5.802 mm.	2.016 gr./cm ³
Muestra 04	Torito 02	56 Golpes	2.232 mm.	2.082 gr./cm ³
Muestra 04	Torito 03	10 Golpes	11.192 mm.	1.947 gr./cm ³
Muestra 04	Torito 03	25 Golpes	5.314 mm.	2.011 gr./cm ³
Muestra 04	Torito 03	56 Golpes	2.094 mm.	2.100 gr./cm ³
Muestra 05	Torito 01	10 Golpes	11.334 mm.	1.947 gr./cm ³
Muestra 05	Torito 01	25 Golpes	5.448 mm.	2.055 gr./cm ³
Muestra 05	Torito 01	56 Golpes	2.228 mm.	2.092 gr./cm ³
Muestra 05	Torito 02	10 Golpes	10.806 mm.	1.940 gr./cm ³
Muestra 05	Torito 02	25 Golpes	5.548 mm.	2.041 gr./cm ³
Muestra 05	Torito 02	56 Golpes	2.608 mm.	2.090 gr./cm ³
Muestra 06	Torito 01	10 Golpes	10.538 mm.	1.957 gr./cm ³



Muestra	Penetración	Compactado a	Penetración	Densidad Seca
Muestra 06	Torito 01	25 Golpes	5.216 mm.	2.067 gr./cm ³
Muestra 06	Torito 01	56 Golpes	3.098 mm.	2.106 gr./cm ³
Muestra 06	Torito 02	10 Golpes	11.450 mm.	1.981 gr./cm ³
Muestra 06	Torito 02	25 Golpes	5.682 mm.	2.053 gr./cm ³
Muestra 06	Torito 02	56 Golpes	2.386 mm.	2.104 gr./cm ³
Muestra 07	Torito 01	10 Golpes	11.352 mm.	1.990 gr./cm ³
Muestra 07	Torito 01	25 Golpes	5.630 mm.	2.096 gr./cm ³
Muestra 07	Torito 01	56 Golpes	1.902 mm.	2.143 gr./cm ³
Muestra 07	Torito 02	10 Golpes	11.214 mm.	1.974 gr./cm ³
Muestra 07	Torito 02	25 Golpes	5.634 mm.	2.078 gr./cm ³
Muestra 07	Torito 02	56 Golpes	2.476 mm.	2.151 gr./cm ³
Muestra 08	Torito 01	10 Golpes	10.898 mm.	2.015 gr./cm ³
Muestra 08	Torito 01	25 Golpes	6.024 mm.	2.119 gr./cm ³
Muestra 08	Torito 01	56 Golpes	2.326 mm.	2.168 gr./cm ³
Muestra 08	Torito 02	10 Golpes	11.502 mm.	1.908 gr./cm ³
Muestra 08	Torito 02	25 Golpes	5.694 mm.	1.989 gr./cm ³
Muestra 08	Torito 02	56 Golpes	2.534 mm.	2.058 gr./cm ³

Fuente: Elaboración Propia.

Con los datos mostrados en la tabla superior se logro determinar el coeficiente R de Pearson, el cual muestra que la correlación que se tiene entre la penetración generada por prototipo y la densidad seca de las muestras tiene un valor de R de Pearson = -0.862, esto indica que se tiene una correlación muy alta e inversamente proporcional.

Tabla 44*Coefficiente R de Pearson: Penetración - Densidad Seca*

R de Pearson			
Correlaciones		Penetración	Densidad Seca
Penetración	Correlación de Pearson	1.000	- 0.862
	Sig. (Bilateral)		0.000
	N	51	51
Densidad Seca	Correlación de Pearson	-0.862	1.000
	Sig. (Bilateral)	0.000	
	N	51	51

Por otro lado, el valor de soporte relativo es otro indicador muy importante dentro de las características físico-mecánicas de los rellenos controlados, para poder obtener la penetración generada por el prototipo planteado, cada procedimiento ha sido realizado con minucioso cuidado, logrando así poder determinar el valor de C.B.R. que se tiene a una penetración de 0.1” en diferentes moldes compactados a número distinto de golpes, para posteriormente reproducir la compactación de moldes y aplicar el ensayo de penetración; a continuación, se muestra un cuadro donde se expone la base de datos de los ensayos que se realizaron y fueron las variables de esta investigación:

Tabla 45*Consolidado de datos: Penetración por prototipo y C.B.R.*

Muestra	Penetración	Compactado a	Penetración	%C.B.R.
Muestra 01	Torito 01	10 Golpes	11.366 mm.	5.06%
Muestra 01	Torito 01	25 Golpes	5.618 mm.	50.67%
Muestra 01	Torito 01	56 Golpes	2.466 mm.	141.07%



Muestra	Penetración	Compactado a	Penetración	%C.B.R.
Muestra 01	Torito 02	10 Golpes	11.970 mm.	5.06%
Muestra 01	Torito 02	25 Golpes	6.150 mm.	50.67%
Muestra 01	Torito 02	56 Golpes	2.328 mm.	141.07%
Muestra 02	Torito 01	10 Golpes	11.972 mm.	5.06%
Muestra 02	Torito 01	25 Golpes	6.138 mm.	50.67%
Muestra 02	Torito 01	56 Golpes	2.394 mm.	141.07%
Muestra 02	Torito 02	10 Golpes	11.350 mm.	5.06%
Muestra 02	Torito 02	25 Golpes	6.408 mm.	50.67%
Muestra 02	Torito 02	56 Golpes	2.612 mm.	141.07%
Muestra 03	Torito 01	10 Golpes	11.182 mm.	12.98%
Muestra 03	Torito 01	25 Golpes	6.160 mm.	114.83%
Muestra 03	Torito 01	56 Golpes	1.642 mm.	149.54%
Muestra 03	Torito 02	10 Golpes	11.302 mm.	12.98%
Muestra 03	Torito 02	25 Golpes	5.708 mm.	114.83%
Muestra 03	Torito 02	56 Golpes	2.188 mm.	149.54%
Muestra 04	Torito 01	10 Golpes	10.814 mm.	11.60%
Muestra 04	Torito 01	25 Golpes	5.164 mm.	79.05%
Muestra 04	Torito 01	56 Golpes	2.938 mm.	140.54%
Muestra 04	Torito 02	10 Golpes	11.930 mm.	11.60%
Muestra 04	Torito 02	25 Golpes	5.802 mm.	79.05%
Muestra 04	Torito 02	56 Golpes	2.232 mm.	140.54%
Muestra 04	Torito 03	10 Golpes	11.192 mm.	11.60%
Muestra 04	Torito 03	25 Golpes	5.314 mm.	79.05%
Muestra 04	Torito 03	56 Golpes	2.094 mm.	140.54%
Muestra 05	Torito 01	10 Golpes	11.334 mm.	11.60%
Muestra 05	Torito 01	25 Golpes	5.448 mm.	79.05%
Muestra 05	Torito 01	56 Golpes	2.228 mm.	140.54%
Muestra 05	Torito 02	10 Golpes	10.806 mm.	11.60%
Muestra 05	Torito 02	25 Golpes	5.548 mm.	79.05%
Muestra 05	Torito 02	56 Golpes	2.608 mm.	140.54%
Muestra 06	Torito 01	10 Golpes	10.538 mm.	13.39%



Muestra	Penetración	Compactado a	Penetración	%C.B.R.
Muestra 06	Torito 01	25 Golpes	5.216 mm.	53.15%
Muestra 06	Torito 01	56 Golpes	3.098 mm.	135.37%
Muestra 06	Torito 02	10 Golpes	11.450 mm.	13.39%
Muestra 06	Torito 02	25 Golpes	5.682 mm.	53.15%
Muestra 06	Torito 02	56 Golpes	2.386 mm.	135.37%
Muestra 07	Torito 01	10 Golpes	11.352 mm.	13.39%
Muestra 07	Torito 01	25 Golpes	5.630 mm.	53.15%
Muestra 07	Torito 01	56 Golpes	1.902 mm.	135.37%
Muestra 07	Torito 02	10 Golpes	11.214 mm.	13.39%
Muestra 07	Torito 02	25 Golpes	5.634 mm.	53.15%
Muestra 07	Torito 02	56 Golpes	2.476 mm.	135.37%
Muestra 08	Torito 01	10 Golpes	10.898 mm.	13.66%
Muestra 08	Torito 01	25 Golpes	6.024 mm.	62.59%
Muestra 08	Torito 01	56 Golpes	2.326 mm.	142.01%
Muestra 08	Torito 02	10 Golpes	11.502 mm.	13.66%
Muestra 08	Torito 02	25 Golpes	5.694 mm.	62.59%
Muestra 08	Torito 02	56 Golpes	2.534 mm.	142.01%

Fuente: Elaboración Propia.

El procesamiento de los datos mencionados en la tabla anterior, con la intervención de paquetes estadísticos nos indican que la correlación entre la penetración generada por prototipo y el valor de C.B.R. de los suelos en estudio poseen un coeficiente R de Pearson= -0.952, lo cual indica que se tiene una correlación inversamente proporcional muy alta.

Tabla 46*Coefficiente R de Pearson: Penetración - C.B.R.*

R de Pearson			
	Correlaciones	C.B.R.	Penetración
C.B.R.	Correlación de Pearson	1.000	- 0.952
	Sig. (Bilateral)		0.000
	N	51	51
Penetración	Correlación de Pearson	-0.952	1.000
	Sig. (Bilateral)	0.000	
	N	51	51

Fuente: Elaboración Propia.

4.1.4. Sobre el objetivo específico número 03

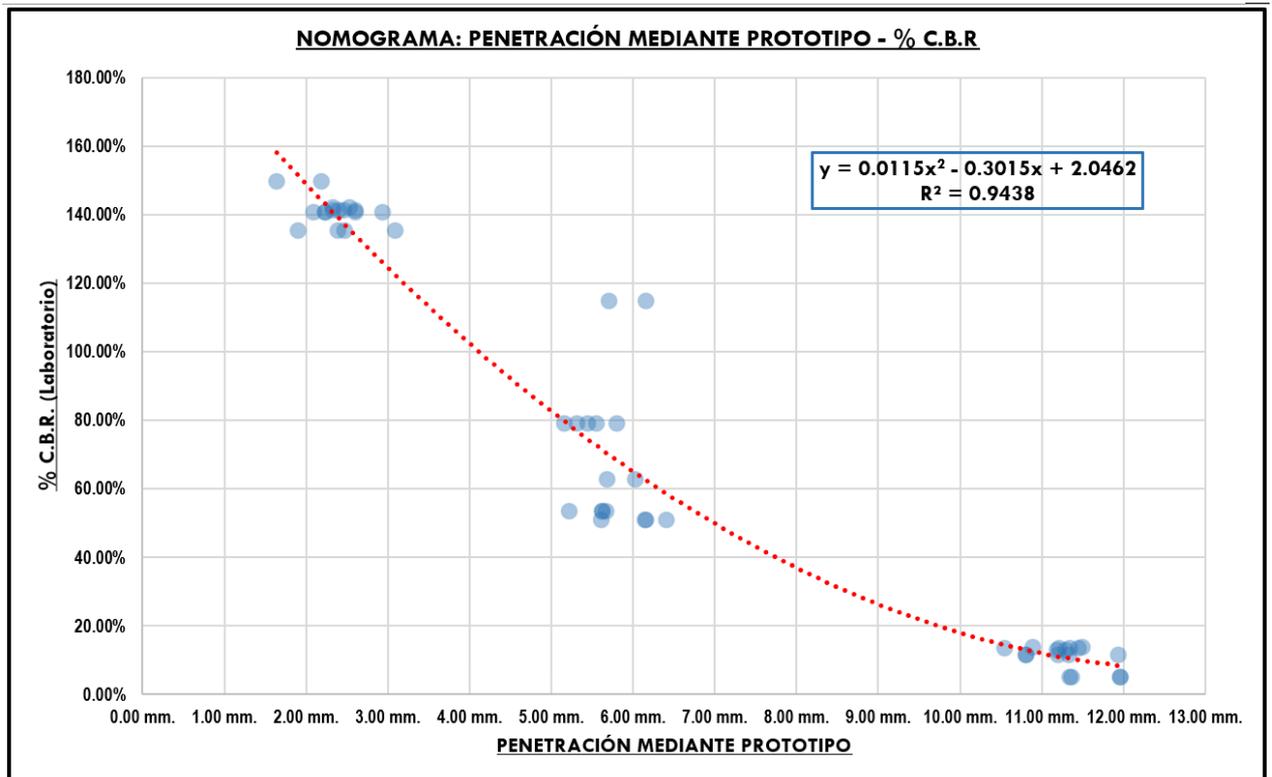
El tercer objetivo específico en esta investigación es: Proponer un nomograma de penetración utilizando energía de compactación dinámica vs. C.B.R. para rellenos controlados; Se lograron realizar varios ensayos de C.B.R. de las vías en ejecución, siguiendo minuciosamente los procedimientos que se detallan tanto en normas nacionales como internacionales, a su misma vez se puede observar que el tipo de material que se es predominante en todas las muestras ofrece un rango amplio de valores, los cuales pudieron facilitar la construcción del nomograma penetración – C.B.R.

Los resultados de los ensayos de california Bearing ratio % C.B.R. se detallan con más precisión en el (anexo G), con todos estos datos procesados mediante paquetes informáticos, se ha podido determinar la curva representativa para la obtención del % C.B.R. mediante penetración utilizando energía de

compactación dinámica, a continuación, detallamos el nomograma de penetración mediante prototipo vs % C.B.R.

Figura 10

Nomograma: Penetración mediante prototipo - C.B.R.



Fuente: Elaboración Propia.

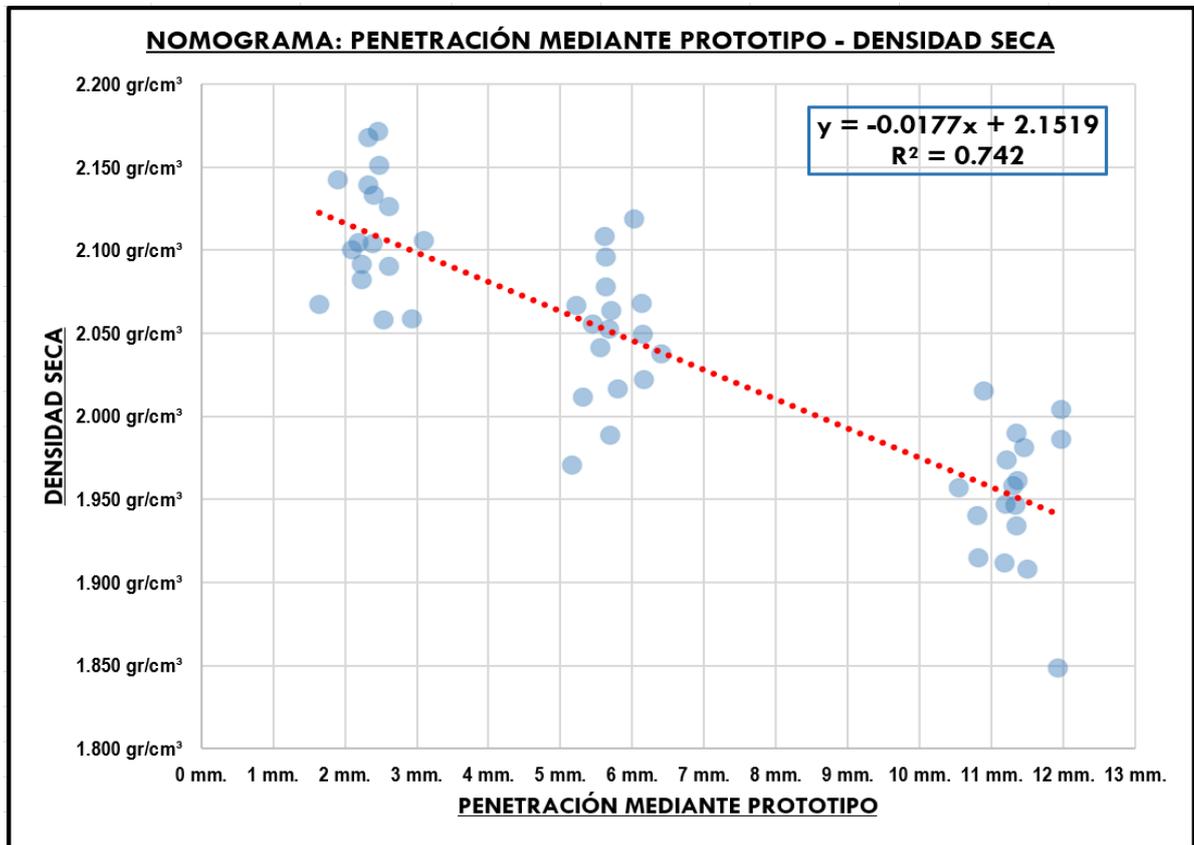
El nomograma de Penetración mediante prototipo vs % C.B.R. finalmente logra predecir el valor de C.B.R. para este tipo de suelo (GW), para optimizar el tiempo en la obtención de resultados esta investigación determino que la ecuación que puede enlazar estas dos variables es $Y = 0.0115x^2 - 0.3015x + 2.0462$, donde el valor de x será reemplazado por la penetración utilizando energía de compactación dinámica y el valor de Y representa el valor de C.B.R. estimado en unidades decimales.

Adicional a lo mencionado con la intervención de paquetes estadísticos se generó un nomograma para la estimación de la densidad seca, con el consolidado

de datos que se muestran en cumplimiento al objetivo específico N° 02, a continuación, el nomograma para penetración por prototipo vs. Densidad seca.

Figura 11

Nomograma: Penetración mediante prototipo - Densidad seca



Fuente: Elaboración Propia.

El nomograma de Penetración mediante prototipo vs Densidad seca, finalmente logra estimar la densidad seca que se logra en este tipo de suelo (GW), para optimizar el tiempo en la obtención de resultados esta investigación determino que la ecuación que puede enlazar estas dos variables es $Y = -0.0177x + 2.1519$, donde el valor de x será reemplazado por la penetración utilizando energía de compactación dinámica y el valor de Y representa el valor de densidad seca del suelo en estudio.

Esta investigación realizó la evaluación de las capas estructurales del pavimento en los lugares donde se extrajeron las muestras para la realización de los diversos ensayos de mecánica de suelos.

Para poder obtener datos más exactos se incorporó una base con un soporte para el acople de un vernier invertido (medición en campo); al utilizar el vernier podemos garantizar lecturas con precisión de 0.02 mm.; la forma de lectura planteado por este prototipo consiste en la diferencia de una lectura final menos una lectura inicial; esto con la finalidad de disminuir errores al momento de la aplicación del ensayo, se muestra enseguida la aplicación del nomograma: penetración mediante prototipo– C.B.R.

Tabla 47

Ensayo de Penetración por prototipo en campo - Muestra 01

Ensayo de Penetración por prototipo en campo – Muestra 01						
Punto:	Altura de Caída	Golpes del Prototipo	Penetración por Prototipo	Valores Centro	Penetración Promedio (Pen)	% C.B.R.
Punto 01	30.48 cm.	10 golpes	3.46 mm.	3.46 mm.		
Punto 02	30.48 cm.	10 golpes	3.78 mm.	3.78 mm.		
Punto 03	30.48 cm.	10 golpes	3.98 mm.	3.98 mm.	3.74 mm.	108 %
Punto 04	30.48 cm.	10 golpes	3.38 mm.	---		
Punto 05	30.48 cm.	10 golpes	5.02 mm.	---		

$\% C.B.R. = 0.0115*(Pen)^2 - 0.3015*(Pen) + 2.0462$

Fuente: Elaboración Propia.

Enseguida se muestra la penetración generada por el prototipo y el valor de C.B.R. alcanzado para la muestra 02:

Tabla 48*Ensayo de penetración por prototipo en campo - Muestra 02*

Ensayo de Penetración por prototipo en campo – Muestra 02						
Punto:	Altura de Caída	Golpes del Prototipo	Penetración por Prototipo	Valores Centro	Penetración Promedio (Pen)	% C.B.R.
Punto 01	30.48 cm.	10 golpes	4.16 mm.	3.16 mm.		
Punto 02	30.48 cm.	10 golpes	3.82 mm.	3.82 mm.		
Punto 03	30.48 cm.	10 golpes	2.36 mm.	---	4.01 mm.	102 %
Punto 04	30.48 cm.	10 golpes	6.42 mm.	---		
Punto 05	30.48 cm.	10 golpes	4.04 mm.	4.04 mm.		

$\% C.B.R. = 0.0115*(Pen)^2 - 0.3015*(Pen) + 2.0462$

Fuente: Elaboración Propia.

Continuando con la secuencia se muestra la penetración generada por el prototipo y el valor de C.B.R. alcanzado para la muestra 03:

Tabla 49*Ensayo de penetración por prototipo en campo - Muestra 03*

Ensayo de Penetración por prototipo en campo – Muestra 03						
Punto:	Altura de Caída	Golpes del Prototipo	Penetración por Prototipo	Valores Centro	Penetración Promedio (Pen)	% C.B.R.
Punto 01	30.48 cm.	10 golpes	3.80 mm.	3.80 mm.		
Punto 02	30.48 cm.	10 golpes	3.38 mm.	3.38 mm.		
Punto 03	30.48 cm.	10 golpes	3.44 mm.	3.44 mm.	3.54 mm.	112 %
Punto 04	30.48 cm.	10 golpes	4.46 mm.	---		
Punto 05	30.48 cm.	10 golpes	3.04 mm.	---		

$\% C.B.R. = 0.0115*(Pen)^2 - 0.3015*(Pen) + 2.0462$

Fuente: Elaboración Propia.

Enseguida se muestra la penetración generada por el prototipo y el valor de C.B.R. alcanzado para la muestra 04:

Tabla 50*Ensayo de penetración por prototipo en campo - Muestra 04*

Ensayo de Penetración por prototipo en campo – Muestra 04						
Punto:	Altura de Caída	Golpes del Prototipo	Penetración por Prototipo	Valores Centro	Penetración Promedio (Pen)	% C.B.R.
Punto 01	30.48 cm.	10 golpes	3.80 mm.	---		
Punto 02	30.48 cm.	10 golpes	3.76 mm.	3.76 mm.		
Punto 03	30.48 cm.	10 golpes	3.48 mm.	3.48 mm.	3.67 mm.	109 %
Punto 04	30.48 cm.	10 golpes	3.78 mm.	3.78 mm.		
Punto 05	30.48 cm.	10 golpes	2.74 mm.	---		

$\% C.B.R. = 0.0115*(Pen)^2 - 0.3015*(Pen) + 2.0462$

Fuente: Elaboración Propia.

Proseguimos mostrando la penetración generada por el prototipo y el valor de C.B.R. alcanzado para la muestra 05:

Tabla 51*Ensayo de penetración por prototipo en campo - Muestra 05*

Ensayo de Penetración por prototipo en campo – Muestra 05						
Punto:	Altura de Caída	Golpes del Prototipo	Penetración por Prototipo	Valores Centro	Penetración Promedio (Pen)	% C.B.R.
Punto 01	30.48 cm.	10 golpes	3.50 mm.	3.50 mm.		
Punto 02	30.48 cm.	10 golpes	2.70 mm.	---		
Punto 03	30.48 cm.	10 golpes	3.68 mm.	3.68 mm.	3.64 mm.	110 %
Punto 04	30.48 cm.	10 golpes	3.92 mm.	---		
Punto 05	30.48 cm.	10 golpes	3.74 mm.	3.74 mm.		

$\% C.B.R. = 0.0115*(Pen)^2 - 0.3015*(Pen) + 2.0462$

Se aprecia penetración generada por el prototipo y el valor de C.B.R. alcanzado para la muestra 06:

Tabla 52*Ensayo de penetración por prototipo en campo - Muestra 06*

Ensayo de Penetración por prototipo en campo – Muestra 06						
Punto:	Altura de Caída	Golpes del Prototipo	Penetración por Prototipo	Valores Centro	Penetración Promedio (Pen)	% C.B.R.
Punto 01	30.48 cm.	10 golpes	2.42 mm.	2.42 mm.		
Punto 02	30.48 cm.	10 golpes	4.08 mm.	---		
Punto 03	30.48 cm.	10 golpes	3.90 mm.	3.90 mm.	2.79 mm.	129 %
Punto 04	30.48 cm.	10 golpes	2.06 mm.	2.06 mm.		
Punto 05	30.48 cm.	10 golpes	1.74 mm.	---		

$\% C.B.R. = 0.0115*(Pen)^2 - 0.3015*(Pen) + 2.0462$

Fuente: Elaboración Propia.

Continuamos con mostrar la penetración generada por el prototipo y el valor de C.B.R. alcanzado para la muestra 07:

Tabla 53*Ensayo de penetración por prototipo en campo - Muestra 07*

Ensayo de Penetración por prototipo en campo – Muestra 07						
Punto:	Altura de Caída	Golpes del Prototipo	Penetración por Prototipo	Valores Centro	Penetración Promedio (Pen)	% C.B.R.
Punto 01	30.48 cm.	10 golpes	1.64 mm.	---		
Punto 02	30.48 cm.	10 golpes	2.72 mm.	2.72 mm.		
Punto 03	30.48 cm.	10 golpes	1.68 mm.	1.68 mm.	2.61 mm.	134 %
Punto 04	30.48 cm.	10 golpes	3.50 mm.	---		
Punto 05	30.48 cm.	10 golpes	3.44 mm.	3.44 mm.		

$\% C.B.R. = 0.0115*(Pen)^2 - 0.3015*(Pen) + 2.0462$

Finalmente podemos observar la penetración que es generada por el prototipo y el valor de C.B.R. alcanzado para la muestra 08:

Tabla 54

Ensayo de penetración por prototipo en campo - Muestra 08

Ensayo de Penetración por prototipo en campo – Muestra 08						
Punto:	Altura de Caída	Golpes del Prototipo	Penetración por Prototipo	Valores Centro	Penetración Promedio (Pen)	% C.B.R.
Punto 01	30.48 cm.	10 golpes	5.66 mm.	5.66 mm.		
Punto 02	30.48 cm.	10 golpes	7.12 mm.	---		
Punto 03	30.48 cm.	10 golpes	1.66 mm.	---	4.91 mm.	84 %
Punto 04	30.48 cm.	10 golpes	3.14 mm.	3.14 mm.		
Punto 05	30.48 cm.	10 golpes	5.94 mm.	5.94 mm.		

$% C.B.R. = 0.0115*(Pen)^2 - 0.3015*(Pen) + 2.0462$

Fuente: Elaboración Propia.

4.2. DISCUSIÓN

Internacionalmente se tiene diversas investigaciones sobre el ensayo de california Bearing ratio, C.B.R., estos procedimientos y su metodología para el uso de herramientas, equipos, cálculos y resultados ya están estandarizados como por ejemplo en la norma (ASTM D1883-21, 2021), la cual fue aplicada en la investigación de (Mejia et al., 2020) que busco la manera de poder obtener el valor de C.B.R. de un suelo en función a los números de golpes del ensayo de cono dinámico de penetración; este autor sostiene que el valor correlacional que obtuvo es de 0.90; de igual manera los investigadores (Castillo & Mena, 2019) aplicaron los mismos ensayos logrando un valor correlacional de 0.85.



Estos investigadores no son los únicos que plantearon formulas para la estimación del valor de C.B.R. a través de los golpes generados por energía de compactación dinámica del D.C.P., en el ámbito internacional autores como: (Lozada, 2022), (Portilla, 2022), (Perez, 2023), (Paucara & Quispe, 2024) los mismos que en sus investigaciones refuerzan la idea de que se puede predecir el valor de C.B.R. de un suelo en función a el número de golpes del ensayo D.C.P.

De estas investigaciones que se mencionan en el párrafo anterior, se puede apreciar que aplican energía dinámica para poder obtener de una forma indirecta el valor de C.B.R. y nuestro país no es ajeno a esto como indicó (Cruz, 2019) logrando estimar el valor de C.B.R. mediante la penetración que se genera al aplicar el ensayo DCP; así también refuerza este planteamiento (Bazán & Prado, 2020) que también planteo una metodología similar; adicional a esto en nuestra región también se realizaron investigaciones como la de (Pineda, 2020).

Pero la aplicación del ensayo de DCP no es la única alternativa metodológica para poder obtener el valor de C.B.R. de un suelo, en nuestro país existen diversas investigaciones y una de estas es la de (Suarez et al., 2023) donde lograron determinar la relación que existe entre las propiedades índice de los suelos y su relación con el % C.B.R. determinando que la relación del valor relativo de soporte tiene una un comportamiento de tendencia lineal en función a la granulometría y la máxima densidad seca, de manera similar afirman en su investigación (Cordova & Mori, 2021) y (Eugenio & Ventura, 2021) los cuales realizaron sus investigación a nivel nacional logrando predecir el valor de C.B.R. en función a las propiedades índice de un suelo, pero nuestro contexto no es ajeno a esto tal como indica (Mamani, 2020) que también logro estimar el valor de C.B.R. de un suelo a través de propiedades físicas del mismo.



Podemos entonces indicar que: ¿se puede predecir el valor de C.B.R. de un suelo solamente en función del ensayo DCP y/o las propiedades índices de un suelo?, pues definitivamente no, con el pasar del tiempo, el aumento tecnológico y la basta información que se puede encontrar siguen surgiendo nuevas metodologías, este es el caso de (Palomino, 2023) el cual analiza cual es la relación que se tiene las deflexiones producidas por el ensayo LWD y el valor de C.B.R. de un suelo; así mismo en el contexto regional podemos guiarnos de la investigación de (Parisuaña & Quello, 2023) que compara el valor de deflexiones generados por viga Benkelman para obtener un valor de C.B.R..

De los párrafos anteriores podemos mencionar que el ensayo DCP es medible mediante penetración en el suelo, las correlaciones mediante deflexiones tanto de viga Benkelman y de LWD no es más que la deformación de las capas del suelo, un concepto que está relacionado a la penetración del mismo.

Podemos así mencionar que cada día surgen nuevas metodologías que traten de optimizar costos y tiempo en función de correlaciones con ensayo existentes, podemos así mencionar a: (Meneses, 2023) el cual estima el valor de C.B.R. de un suelo en función al módulo de Young, de la misma forma podemos citar a (Rodríguez, 2020) que emplea el uso del deflectómetro de impacto FWD, a la fecha existen investigación que siguen planteando nuevas formas de obtención o estimación del valor de C.B.R., refuerza a esta idea (Palomino, 2023) que utilizó el deflectómetro de impacto liviano LWD, otras formas de estimar el valor de C.B.R. lo plantean (Reátegui & Torres, 2023) y (Parisuaña & Quello, 2023) que implican la aplicación del módulo de reacción y el uso de viga Benkelman respectivamente.



Entonces surge la interrogante, ¿solo es posible estimar o predecir el valor de C.B.R. de un suelo mediante otros ensayos?, pues definitivamente no, la presente investigación busca la optimización en recursos, costo y tiempo que se necesitan para la obtención del valor de C.B.R. de un suelo, es así que se plantea la fabricación de un prototipo y paralelamente la propuesta metodológica para la obtención del valor de C.B.R. mediante penetración, utilizando energía de compactación dinámica.

En nuestra investigación considerando que los antecedentes que refuerzan esta investigación consideran uno de los parámetros más usados, con una alta confiabilidad y relación entre los resultados es la penetración, son así estas variables la línea base de esta investigación; para la presente investigación se logró diseñar un prototipo, que como lo conceptualiza (Corfo, 2015) “un prototipo puede entenderse como una herramienta que guía y facilita el proceso y evaluación de diversas hipótesis de solución” y para esta investigación la hipótesis principal fue: La propuesta de obtención del valor de C.B.R. en rellenos controlados mediante penetración utilizando energía de compactación dinámica puede aproximarse al valor de C.B.R. significativamente; y después de realizar los diversos estudios siguiendo los procedimientos estandarizados tanto de (ASTM D1883-21, 2021) y (Ministerio de Transportes y comunicaciones, 2016) se logró determinar que la penetración utilizando energía de compactación dinámica puede predecir el valor de C.B.R., para los suelos que estén clasificados como GW.

Esta investigación con los resultados obtenidos de los diversos ensayos de mecánica de suelos logro establecer una ecuación matemática como propuesta de obtención de C.B.R. en función de la penetración que se genera al utilizar el prototipo propuesto; esta ecuación es: $Y=0.0115x^2-0.3015x+2.0462$, x es la penetración que general el prototipo medido en milímetros e Y es el valor de % C.B.R. obtenido en porcentaje; Se puede definir la validez de esta fórmula con una alta confiabilidad como lo demuestra



el coeficiente R de Pearson= -0.952 que logra definir qué tan fuerte es la correlación entre la penetración generada por prototipo y el valor de C.B.R. en rellenos controlados, el valor del coeficiente R de Pearson indica que las variables se comportan de forma inversa con un nivel de correlación muy alta.



V. CONCLUSIONES

PRIMERA: En relación al objetivo general de la investigación el cual es: Proponer una alternativa para estimar el valor de C.B.R. en rellenos controlados mediante penetración utilizando energía de compactación dinámica en vías de ejecución del distrito de Juliaca; esta investigación demuestra que es posible la obtención del valor de C.B.R. en función de la penetración generada por el prototipo planteado; siempre y cuando los suelos en estudio sean clasificados como GW; esta propuesta metodológica a comparación de otras metodologías de correlación y métodos normados para la obtención del valor de C.B.R. logra optimizar costos, recursos y tiempo; afirmando la hipótesis general que fue: La propuesta de obtención del valor de C.B.R. en rellenos controlados mediante penetración utilizando energía de compactación dinámica puede aproximarse al valor de CBR significativamente.

SEGUNDA: En relación al objetivo específico número uno: Fabricar un prototipo de estimación del valor de C.B.R. mediante penetración utilizando energía de compactación dinámica; esta investigación logro satisfactoriamente diseñar, fabricar, modificar y acondicionar este prototipo pasando por varias fases de mejora continua, el cual genere penetración en los suelos utilizando energía de compactación dinámica, para finalmente poner en aplicación este prototipo con el fin de predecir el valor de C.B.R. de un suelo.

TERCERA: En relación al objetivo específico numero dos: Determinar la relación que tiene las propiedades físico-mecánicas de rellenos controlados y la



penetración mediante prototipo utilizando energía de compactación dinámica; las dos características más importantes consideradas para esta investigación fueron la relación entre la penetración generada por el prototipo vs la densidad seca alcanzada, esta relación tiene un comportamiento lineal con un coeficiente R de Pearson de:-862, el cual nos indica que se tiene una correlación inversa muy alta; de la misma manera al obtener la correlación entre la penetración generada por prototipo y el valor de C.B.R. se puede observar que tiene una tendencia parabólica, el coeficiente R de Pearson=-0.952 también nos indica que se tiene una correlación muy alta e inversa.

Por lo tanto, se acepta la hipótesis específica número 2: el cual fue La relación existente entre las propiedades físico-mecánicas y la penetración mediante prototipo utilizando energía de compactación dinámica es inversamente proporcional.

CUARTO: En relación al objetivo específico número tres: Proponer un nomograma de penetración utilizando energía de compactación dinámica vs. C.B.R. para rellenos controlados, después de realizar todos los ensayos respectivos en las diferentes muestras extraídas, esta investigación determinó la ecuación que logra estimar el valor de C.B.R. en rellenos controlados (sub base y Base); finalmente el nomograma propuesto por esta investigación implementa la siguiente ecuación que puede enlazar nuestras variables de estudio: $Y = 0.0115x^2 - 0.3015x + 2.0462$, donde el valor de x será reemplazado por la penetración medido en (mm) utilizando energía de compactación dinámica y el valor de Y representa el valor de C.B.R. estimado medido en unidades decimales.



VI. RECOMENDACIONES

PRIMERA: Si bien esta investigación logro estimar el valor de C.B.R. en función de la penetración de este prototipo, se recomienda que futuras investigaciones logren determinar el valor de C.B.R. en otros tipos de suelos, debido a que la propuesta metodológica que esta investigación desarrollo tiene bastantes beneficios en cuanto a los recursos, costos y tiempos en comparación a otros ensayos y correlaciones.

SEGUNDA: Se recomienda continuar con las mejoras del prototipo para la optimización de procesos de operacionalización y así lograr obtener un prototipo de penetración con la mínima cantidad vicios ocultos, logrando en un futuro la aplicación más constante del prototipo diseñado en esta investigación.

TERCERO: Si bien esta investigación logro determinar la relación entre la penetración por el prototipo, la densidad de muestras y la capacidad de soporte, teniendo ambas correlaciones inversamente proporcionales y muy altas, se recomienda que se continúen con más muestras de diversos suelos para así poder generar más curvas de estimación de C.B.R. vs penetración mediante prototipo.

CUARTO: La propuesta metodológica para la obtención del valor de C.B.R. a partir de la penetración tiene un valor muy alto de correlación, se recomienda que los valores de entrada sean calculados en campo con minucioso cuidado, adicionalmente se recomienda que el nomograma generado por la presente investigación se aplique como un medio de inspección rápida en el proceso de conformación de capas estructurales en vías, mas no para reemplazar métodos tradicionales y normados nacional e internacionalmente.



VII: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arispe, C., Yangali, J., Guerrero, M., Lozada, O., Acuña, L., & Arellano, C. (2020). *La Investigación Científica* (primera).
<https://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/4310>
- ASTM D1883-21. (2021). *Standar Test Method For California Bearing Ratio (CBR) of Laboratory-Compacted Soils*.
<https://cdn.standards.iteh.ai/samples/111306/a987fdb1a52405baa558b30b6af0480/ASTM-D1883-21.pdf>
- Bazán, A., & Prado, K. (2020). *Correlación entre el CBR y el PDC en la determinación de la resistencia del suelo en la localidad de Moche*.
- Carrasco, S. (2019). *Metodología de la investigación científica*.
https://www.sancristoballibros.com/libro/metodologia-de-la-investigacion-cientifica_45761
- Castillo, J., & Mena, L. (2019). *Correlación entre el penetrómetro dinámico de cono (DCP) y la relación de soporte de california (CBR) en campo para el suelo de subrasante de la vía Portoviejo - Manta*.
<http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/17728>
- Cordova, K., & Mori, A. (2021). *Modelo matemático para la predicción de la capacidad de soporte (CBR) en suelos expansivos estabilizados con cenizas de cáscara de arroz y cal a partir de sus propiedades índice y de compactación*.
<http://hdl.handle.net/10757/657405>
- Corfo. (2015). *Innova Prototipos* (Primera edición).
<https://corfo.cl/sites/Satellite?blobcol=urldata&blobkey=id&blobtable=MungoBlobs&blobwhere=1475166831877&ssbinary=true>



- Cruz, G. (2019). *Correlación Número de golpes DCP vs Penetración CBR in situ para resistencia al esfuerzo normal de pavimentos urbanos, Lambayeque. 2018.*
<https://hdl.handle.net/20.500.12802/6885>
- Eugenio, K., & Ventura, G. (2021). *determinación de la relación de soporte de California (CBR) a partir de las propiedades de los suelos para pavimentos de bajo volumen.*
<https://hdl.handle.net/20.500.14138/4689>
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *metodología de la investigación.*
<https://www.esup.edu.pe/wp-content/uploads/2020/12/2.%20Hernandez,%20Fernandez%20y%20Baptista-Metodolog%C3%ADa%20Investigacion%20Cientifica%206ta%20ed.pdf>
- Hurtado, J. (2000). *Metodología de la Investigación Holística* (tercera edición).
<https://ayudacontextos.wordpress.com/wp-content/uploads/2018/04/jacqueline-hurtado-de-barrera-metodologia-de-investigacion-holistica.pdf>
- Infinita Industrial Consulting. (n.d.). *Propiedades Mecánicas*. Retrieved September 2, 2024, from <https://www.infinitiaresearch.com/laboratorio-ingenieria-industrial/propiedades-mecanicas/>
- Juarez Badillo, E., & Rico Rodriguez, A. (2012). *Mécanica de Suelos* (Limusa, Ed.; Primera edición). <https://veteranos1927.wordpress.com/wp-content/uploads/2014/05/mecanica-de-suelos-tomo-1-juarez-badillo.pdf>
- Lozada, T. (2022). *Correlación entre el CBR, DCP y las propiedades índice y mecánicas en los suelos de las parroquias: Patate (La Matriz) y el Triunfo del Cantón Patate, provincia de Tungurahua.* <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/34703>
- Macías Loor, A. O., Carvajal Rivadeneira, D. D., Cobos Lucio, D. A., Fienco Sanchez, B. E., Peralta Delgado, J. A., & Zambrano Acosta, J. M. (2018). *Mécanica de Suelos.*
https://www.researchgate.net/publication/324453545_Mecanica_de_suelo_Tomo_I



- Mamani, C. (2020). *Estimación del valor de C.B.R. en suelos granulares a partir de ensayos de caracterización y compactación de las canteras ubicadas en la ciudad de Juliaca*. <https://repositorio.upeu.edu.pe/server/api/core/bitstreams/0ad06c7c-7437-4691-ac79-b39e114ba465/content>
- Mejia, C., Gilces, J., Ortiz, E., & Garcia, J. (2020). Análisis comparativo de suelo de campo y laboratorio para la medición de su capacidad portante con ensayos de Valor de Soporte de California (CBR) y Cono Dinámico de Penetración (DCP) en la Universidad Técnica de Manabí. *Revista RIEMAT*, 4. <https://revistas.utm.edu.ec/index.php/Riemat/article/view/2491>
- Meneses, M. (2023). *Comparación técnica entre los ensayos de laboratorio de módulo de Young y C.B.R. para bases y sub bases, caso de estudio mina: "Doña Meche", ubicada en el cantón Esmeraldas, provincia de Esmeraldas*. <https://repositorio.puce.edu.ec/server/api/core/bitstreams/9cbdd37e-049e-4c09-8687-990fff12583d/content>
- Ministerio de Economía y Finanzas. (2024, January 31). *Transparencia Económica*. <https://apps5.mineco.gob.pe/transparencia/Navegador/default.aspx>
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2013). *Manual de carreteras especificaciones técnicas generales para construcción*. http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/normas_legales/1_0_4522.pdf
- Ministerio de Transportes y comunicaciones. (2016). *Manual de Ensayo de Materiales*. https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH_PDF/MAN_5%20%20EM-2016.pdf
- Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento. (2018). *Reglamento Nacional de Edificaciones*. <https://www.gob.pe/institucion/vivienda/informes-publicaciones/2309793-reglamento-nacional-de-edificaciones-rne>



- Palanichamy, M., Nagan, S., & Elango, P. (1998). *Engineering mechanics: dynamics*.
https://www.researchgate.net/profile/Elango-P-2/publication/324439459_ENGINEERING_MECHANICS_DYNAMICS/links/5acf0eff0f7e9b18965a9982/ENGINEERING-MECHANICS-DYNAMICS.pdf
- Palomino, J. (2023). *Factor de forma para la corrección de valores de densidad y valor de soporte california con el cuenco de deflexiones producido por el LWD Huancayo 2022*. <http://hdl.handle.net/20.500.12894/9994>
- Parisuaña, E., & Quello, A. (2023). *Análisis comparativo entre deflectometría y ensayos de CBR para la estimación del módulo resiliente de subrasante en pavimentos flexibles, Puno - Tiquillaca, 2022*.
<https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/19935>
- Paucara, L., & Quispe, M. (2024). *Correlación entre el C.B.R. de laboratorio y el ensayo D.C.P. in situ en el campus universitario de Cota Cota*.
<https://repositorio.umsa.bo/xmlui/handle/123456789/37664>
- Perez, V. (2023). *Análisis de las correlaciones entre el C.B.R, D.C.P, Propiedades índice y mecánicas en suelos de la parroquia Belizario Quevedo, Canton Latacunga, Provincia de Cotopaxi*.
<https://repositorio.uta.edu.ec/server/api/core/bitstreams/eadd4651-e12c-49e4-8001-0bc192e14b84/content>
- Pineda, J. (2020). *Calibración de la ecuación de correlación entre el P.D.C. (Penetración Dinámica de Cono) y el C.B.R. (Capacidad de Soporte California) bajo incidencia de la humedad, en suelos a nivel de sub rasante caso de estudio vía Juliaca - Caracoto*. <http://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/1680>
- Portilla, F. (2022). *Correlación entre el C.B:R. de laboratorio, el índice DCP y propiedades físicas y mecánicas de suelos granulares. Conciencia Digital*.



- <https://cienciadigital.org/revistacienciadigital2/index.php/ConcienciaDigital/article/download/2396/5882/>
- Ramírez, T. (2010). *Cómo hacer un proyecto de investigación* (primera).
<https://institutorambell.blogspot.com/2021/05/como-hacer-un-proyecto-de-investigacion.html>
- Reátegui, C., & Torres, T. (2023). *Correlación del módulo de reacción y C.B.R. de laboratorio en suelos cohesivos de la subrasante del jiron Ceticos, Ucayali, 2022*.
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/111063>
- Rodriguez, I. (2020). *Correlaciones entre el C.B.R. de la Subrasante y Deflexiones Medidas con FWD en Colombia*.
[https://repositorio.escuelaing.edu.co/bitstream/handle/001/1254/Rodr%
c3%adguez%20Torres%2c%20Ingrid%20Adriana%20-%202020.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.escuelaing.edu.co/bitstream/handle/001/1254/Rodr%c3%adguez%20Torres%2c%20Ingrid%20Adriana%20-%202020.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Rucks, L., Garcia, F., Kaplán, A., Ponce de León, J., & Hill, M. (2004). *Propiedades Físicas del Suelo*.
<https://bibliofagro.pbworks.com/f/propiedades+fisicas+del+suelo.pdf>
- Suarez, L., Santillán, G., & Calle, R. (2023). *Correlación entre los valores de CBR y las propiedades de índice de los suelos; un estudio de caso en la ciudad de Lima*.
[https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UEPU_554922dd1a784df4c0b8a058f
fc649a9](https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UEPU_554922dd1a784df4c0b8a058ffc649a9)



ANEXOS

	Pág.
Anexo A: Solicitudes presentadas a la municipalidad de San Román.	131
Anexo B: Solicitud de uso de laboratorio y constancia de uso de laboratorio.	134
Anexo C: Constancias de extracción de muestras y evaluación mediante prototipo.	137
Anexo D: Planos del prototipo de penetración.	148
Anexo E: Matriz de consistencia.	150
Anexo F: Análisis granulométrico de las muestras en estudio.	152
Anexo G: Ensayos de Proctor modificado de las vías en estudio.	161
Anexo H: Ensayos de C.B.R. de las vías en estudio.	186
Anexo I: Ensayo de penetración mediante prototipo utilizando energía de compactación dinámica (laboratorio).	227
Anexo J: Consolidado de datos para la generación del nomograma penetración – densidad seca.	262
Anexo K: Consolidado de datos para la generación del nomograma penetración - C.B.R.	265
Anexo L: Ensayo de penetración mediante prototipo utilizando energía de compactación dinámica (campo).	268
Anexo M: Panel fotográfico.	279
Anexo N: Demostración del número de golpes ideal para el prototipo.	296



DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo BRYAN ALEXANDER CHUQUIJA QUSPE
identificado con DNI 77208213 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

INGENIERIA CIVIL

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

"PROPUESTA DE OBTENCIÓN DE CBR EN RELLENOS CONTROLADOS MEDIANTE
PENETRACIÓN UTILIZANDO ENERGÍA DE COMPOSIÇÃO DINÁMICA EN VÍAS DE
EJECUCIÓN DEL DUTITO DE JUJOCÁ"

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y no existe plagio/copia de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 11 de Diciembre del 20 24

FIRMA (obligatoria)



Huella



AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo BRYAN ALEXANDER CHUQUISTA QUISE identificado con DNI 77208213 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

INGENIERO CIVIL
informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

“ PROPUESTA DE OBTENCIÓN DE C.B.R. EN RELLENOS CONTROLADOS MEDIANTE PENETRACIÓN UTILIZANDO ENERGÍA DE COMPACTACIÓN DINÁMICA EN VIBS DE EJECUCIÓN DEL DISTRITO DE JUJUYA ”

para la obtención de Grado, Título Profesional o Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los “Contenidos”) que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 11 de NOVIEMBRE del 20 24


FIRMA (obligatoria)



Huella