



**UNIVERSIDAD ANDINA**  
**NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ**  
**ESCUELA DE POSGRADO**  
**MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL**  
**MENCIÓN: GEOTECNIA Y TRANSPORTES**



**MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE  
SUELOS DE LA CANTERA YOCARA CON PIEDRA  
CHANCADA EN BASES GRANULARES PARA  
PAVIMENTOS - DISTRITO DE JULIACA**

**TESIS PRESENTADA POR:**  
**WILMER ILLACHURA VELAZCO**

**PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE  
MAESTRO EN INGENIERÍA CIVIL  
MENCIÓN: GEOTECNIA Y TRANSPORTES.**

JULIACA – PERÚ  
2024



**UNIVERSIDAD ANDINA  
NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ  
ESCUELA DE POSGRADO**

**MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL  
MENCIÓN: GEOTECNIA Y TRANSPORTES**

**MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE  
SUELOS DE LA CANTERA YOCARA CON PIEDRA  
CHANCADA EN BASES GRANULARES PARA  
PAVIMENTOS - DISTRITO DE JULIACA**

TESIS PRESENTADA POR:

**WILMER ILLACHURA VELAZCO**

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:

**MAESTRO EN INGENIERÍA CIVIL**

**MENCIÓN: GEOTECNIA Y TRANSPORTES**

APROBADA POR:

PRESIDENTE DEL JURADO :

  
Dr. LEONEL SUASACA PELINCO

MIEMBRO DEL JURADO :

  
Dr. EFRAÍN PARILLO SOSA

MIEMBRO DEL JURADO :

  
Mgtr. FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES

ASESOR DE TESIS :

  
Dr. ARNALDO YANA TORRES

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN :

TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – P50



**RESOLUCIÓN DIRECTORAL N° 479-2024-D-EPG-UANCV/J**

Juliaca, 03 de diciembre del 2024

**VISTOS:**

El expediente N° 2024-012763, presentado por el (la) Bachiller **ILLACHURA VELAZCO WILMER**, con número de DNI. **80146587**, asignado (a) con código de matrícula **1510100997**, de la **Maestría en INGENIERIA CIVIL, Mención: GEOTECNIA Y TRANSPORTES**, de la Escuela de Posgrado de la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" de la Sede Central Juliaca.

**CONSIDERANDO:**

Que, el (a) Bach. **ILLACHURA VELAZCO WILMER**, con número de DNI. **80146587**, asignado (a) con código de matrícula **1510100997**, de la **Maestría en INGENIERIA CIVIL, Mención: GEOTECNIA Y TRANSPORTES**, ha solicitado fecha, hora y modalidad de sustentación de la Tesis titulada: **MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE SUELOS DE LA CANTERA YOCARA CON PIEDRA CHANCADA EN BASES GRANULARES PARA PAVIMENTOS - DISTRITO DE JULIACA** La misma que pertenece a la Línea de Investigación: **TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCIÓN - P50** y;

Que, el (a) referido (a) Dictamen de Tesis aprobado por los jurados el 12 de marzo del 2024. Establece la fecha de sustentación; habiendo para el efecto cumplido los requisitos establecidos en el reglamento para la Obtención del Grado Académico de Magíster/Maestro y Doctor de la Escuela de Posgrado de la UANCV;

Que, en el Artículo 66 del Reglamento General de la Escuela de Posgrado de la UANCV, establece que la sustentación de Tesis de Postgrado es un trabajo de investigación original y crítico, de actualidad y de alto valor científico;

En uso de las atribuciones conferidas a la Dirección en el inciso "J" del artículo 17° del Reglamento General de la Escuela de Posgrado, y el Art. 76 del Estatuto Universitario;

**SE RESUELVE:**

**ARTÍCULO PRIMERO. - DECLARAR EXPEDITO** para la Sustentación de la Tesis titulada: **MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE SUELOS DE LA CANTERA YOCARA CON PIEDRA CHANCADA EN BASES GRANULARES PARA PAVIMENTOS - DISTRITO DE JULIACA** Elaborado por el (la) Bachiller **ILLACHURA VELAZCO WILMER**. Integrado por los siguientes docentes:

Presidente del Jurado	:	Dr. LEONEL SUASACA PELINCO
Miembro del Jurado	:	Dr. EFRAIN PARILLO SOSA
Miembro del Jurado	:	Mgr. FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES
Asesor de Tesis	:	Dr. ARNALDO YANA TORRES

**ARTÍCULO SEGUNDO. -** El proceso de la Sustentación de la Tesis en mención, se llevará a cabo:

Fecha	:	Martes 10 de diciembre del 2024
Hora	:	09:00 a.m.
Lugar	:	Aula N° 309 EPG - UANCV - JULIACA

A cuya finalización el Jurado registrará los resultados en el Libro de Actas de Sustentación de Tesis de Maestría con el grado **MAESTRO** de los estudiantes que ingresaron después a la aprobación de la ley Universitaria N° 30220.

**ARTÍCULO TERCERO. -** Elévese la presente Resolución al Rectorado, Vicerrectorado Académico, Vicerrectorado Administrativo y Oficina del Órgano de Inspección y Control para conocimiento.

Regístrese, comuníquese y Archívese.



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
ESCUELA DE POSGRADO  
Dr. Leopoldo Wenceslao Candia Cusi  
DIRECTOR (a)

Du./Andin/EPG/071  
Intermedia (21)  
Código (01)  
Jurados (03)  
Asesor (01)  
Supeditante (01)  
UANCV/ma



# UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ" ESCUELA DE POSGRADO



### RESOLUCION DIRECTORAL N° 841- 2023- USA-EPG/UANCV

Juliaca, 19 de Setiembre del 2023.

#### VISTOS:

El expediente N° 2023 – 07683, de fecha 17 de Agosto de 2023, presentado por el (la) Bach. **WILMER ILLACHURA VELAZCO** con DNI N° 80146587, código de matrícula 1510100997 quien solicita resolución de aprobación de proyecto de tesis titulado: **MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE SUELOS DE LA CANTERA YOCARA CON PIEDRA CHANCADA EN BASES GRANULARES PARA PAVIMENTOS – DISTRITO DE JULIACA** Línea de investigación **TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCIÓN – P50** para optar el grado académico de **MAGISTER** en **INGENIERIA CIVIL** mención en **GEOTECNIA Y TRANSPORTES** en la Escuela de Posgrado de la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez de la Sede Central Juliaca.

#### CONSIDERANDO:

- Que, en el Reglamento General de la Escuela de Posgrado de la UANCV, establece que la sustentación de tesis de Posgrado es un trabajo de investigación original y crítico de actualidad de alto valor científico.
- Que, según Resolución N° 0555-2019-UANCV-CU-R, de fecha 08 de noviembre del 2019, se aprueba el Reglamento para la obtención del grado académico de Magister, Maestro, Doctor y Titulación de los Programas de Segunda Especialidad Profesional de la Escuela de Posgrado.
- Que, el **Art. 17**, establece que la aprobación del proyecto de investigación de tesis para la obtención de grados académicos de Magister, Maestro, Doctor se inicia con la presentación del proyecto de investigación de tesis según corresponda, en forma individual y conforme a las recomendaciones de la Escuela de Posgrado y estándares de la investigación científica, tecnológica y humanística.
- Que, en el **Art.60**, señala que la fecha límite para la presentación del borrador de tesis es de 02 años contados desde la emisión de la resolución de aprobación del proyecto de tesis, vencido el plazo máximo el candidato a Magister, Maestro o Doctor deberá presentar un nuevo proyecto de investigación de tesis.
- Que, el **Art. 21**, establece que el Director de la Escuela de Posgrado y el Director de la Unidad de Investigación de la Escuela de Posgrado, nominarán por sorteo a 03 docentes miembros del comité de investigación.
- Que, mediante oficio circular N° 412 - 2023-USA-EPG/UANCV-J, de fecha 07 de Julio del 2023, se nombra al Comité de Investigación del proyecto de tesis conformado por los siguientes docentes:

Presidente	: Dr. LEONEL SUASACA PELINCO
Primer Miembro	: Dr. EFRAIN PARILLO SOSA
Segundo Miembro	: Mgr. FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES
Asesor	: Mgr. ARNALDO YANATORRES

Que, con registro N° 003608 de fecha 31 de Julio del 2023, el Comité de Investigación del proyecto de tesis titulado: **MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE SUELOS DE LA CANTERA YOCARA CON PIEDRA CHANCADA EN BASES GRANULARES PARA PAVIMENTOS – DISTRITO DE JULIACA** cumple con los lineamientos y contenidos establecidos en reglamento de grado de investigación conducentes al grado académico de Magister/Maestro y Doctor de la Escuela de Posgrado de la UANCV.

En uso de las atribuciones conferidas a la Dirección en el inciso "j" del artículo 17 del Reglamento General de la Escuela de Posgrado y en el artículo 76 del Estatuto Universitario;

#### SE RESUELVE:

**PRIMERO: APROBAR**, el Proyecto de Investigación de Tesis de **MAESTRIA** y **AUTORIZAR** el desarrollo de la Tesis, titulado: **MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE SUELOS DE LA CANTERA YOCARA CON PIEDRA CHANCADA EN BASES GRANULARES PARA PAVIMENTOS – DISTRITO DE JULIACA** presentado por el (la) Bach. **WILMER ILLACHURA VELAZCO** para obtener el grado académico de **MAESTRO** en **INGENIERIA CIVIL** de la UANCV.

**SEGUNDO: ELEVAR** al Rectorado, Vicerectorado Académico, Vicerectorado Administrativo, Vicerectorado de Investigación, Oficina del Órgano de Inspección y Control para conocimiento y cumplimiento de la presente resolución.

Regístrese, Comuníquese y Archívese

CARGO (SI)  
ARCHIVO (SI)  
INFORMADO (SI)  
UANCVCH



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
ESCUELA DE POSGRADO

Dr. Leonardo Wenceslao Córdova Curi  
DIRECTOR (u)



UNIVERSIDAD ANDINA  
"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"

Mg. FERNANDO PUJANA PUJANA  
SECRETARIO ACADÉMICO



## MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPO D... DE LA CANTERA YOCARA CON PIEDRA CHANCADA EN BASES GRANULARES PARA PAVIMENTOS - DISTRITO DE JULIACA

### INFORME DE ORIGINALIDAD

18%

INDICE DE SIMILITUD

15%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

12%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

### FUENTES PRIMARIAS


1	Submitted to Higher Education Commission Pakistan Trabajo del estudiante	5%
2	Submitted to Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez Trabajo del estudiante	4%
3	repositorio.uancv.edu.pe Fuente de Internet	3%
4	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
5	www.coursehero.com Fuente de Internet	1%
6	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	<1%
7	Submitted to Universidad Politécnica de Madrid Trabajo del estudiante	<1%



Metadatos Complementarios

<b>Título de la tesis</b>	
<b>MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE SUELOS DE LA CANTERA YOCARA CON PIEDRA CHANCADA EN BASES GRANULARES PARA PAVIMENTOS - DISTRITO DE JULIACA</b>	
<b>Datos de autor</b>	
Nombres y apellidos	WILMER ILLACHURA VELAZCO
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	80146587
URL de ORCID	<a href="https://orcid.org/0009-0004-6842-1933">https://orcid.org/0009-0004-6842-1933</a>
<b>Datos de asesor</b>	
Nombres y apellidos	ARNALDO YANA TORRES
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	41414676
URL de ORCID	<a href="https://orcid.org/0000-0002-6740-5024">https://orcid.org/0000-0002-6740-5024</a>
<b>Datos del jurado</b>	
<b>Presidente del jurado</b>	
Nombres y apellidos	LEONEL SUASACA PELINCO
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	40865558
<b>Miembro del jurado 1</b>	
Nombres y apellidos	EFRAIN PARILLO SOSA
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02416058
<b>Miembro del jurado 2</b>	
Nombres y apellidos	FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES



Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02442876
<b>Datos de investigación</b>	
Línea de investigación	<b>Tecnología de la Construcción – P50</b>
Grupo de investigación	No aplica.
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento
Ubicación geográfica de la investigación	País: Perú Departamento: Puno Provincia: San Román Distrito: Juliaca Latitud: S 15° 29' 27" Longitud: O 70° 07' 37"
	 <p><a href="https://maps.app.goo.gl/PAEvstH2rCu8SncP6">https://maps.app.goo.gl/PAEvstH2rCu8SncP6</a></p>
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Setiembre 2023 – Diciembre 2024
URL de disciplinas OCDE <a href="https://concytec-pe.github.io/Peru-CRIS/vocabularios/ocde_ford.html">https://concytec-pe.github.io/Peru-CRIS/vocabularios/ocde_ford.html</a> - Librería	<b>Ingeniería Civil</b> <a href="https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.00">https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.00</a> <b>Ingeniería de la construcción</b> <a href="https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.03">https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.03</a>


 VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN  
 ESCUELA DE INVESTIGACIÓN  
 Dr. Segundo Ortiz Gansaya  
 DIRECTOR  
 DE INVESTIGACIÓN - EPO

## DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD

Yo WILMER ILLACHURA VELAZCO, identificado con DNI  
Nro. 80146587, en mi condición de egresado de:

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

INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN: GEOTECNIA Y TRANSPORTES,

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

MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE SUELOS DE LA CANTERA  
YOCARA CON PIEDRA CHANCADA EN BASES GRANULARES PARA PAVIMENTOS  
- DISTRITO DE JULIACA

Asesorado por: Dr. ARNALDO YANA TORRES

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.

El incumplimiento de lo declarado da lugar a responsabilidad del declarante, en consecuencia; a través del presente documento asumo frente a terceros, la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

Juliaca 05 de marzo del 2025



Firma del Asesor  
(obligatoria)



Firma del Estudiante  
(obligatoria)





## DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mis padres, cuya fe en mí y apoyo incondicional han sido la base de todos mis logros. A mis amigos, por su compañía y aliento en cada paso de este camino. Y a mis profesores, por su dedicación y sabiduría, que han inspirado mi pasión por el conocimiento. Este trabajo es un reflejo de su influencia y apoyo constante.



## AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas e instituciones que hicieron posible la realización de este trabajo. En primer lugar, agradezco a mi asesor, por su guía constante, apoyo y valiosas aportaciones a lo largo de este proceso. Agradezco también a mis compañeros de investigación, quienes compartieron su tiempo y conocimiento, enriqueciendo mi experiencia académica. Un especial reconocimiento a mi familia, cuyo amor y paciencia me han sostenido en cada momento de este viaje. Finalmente, agradezco a la universidad NESTOR CACERES VELASQUEZ por su apoyo y recursos, que fueron fundamentales para llevar a cabo esta investigación



## ÍNDICE DE CONTENIDOS

**DEDICATORIA.....i**

**AGRADECIMIENTO.....ii**

**ÍNDICE DE CONTENIDOS .....iii**

**ÍNDICE DE TABLAS.....viii**

**ÍNDICE DE FIGURAS .....ix**

**RESUMEN .....xi**

**ABSTRACT .....xii**

**INTRODUCCIÓN.....xiii**

### CAPÍTULO I

#### EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Análisis de la situación problemática. .... 15

1.2 Planteamiento del problema ..... 16

    1.2.1 Problema general..... 16

    1.2.2 Problemas específicos..... 16

1.3 Justificación de la investigación. .... 17

    1.3.1 Justificación técnica..... 17

    1.3.2 Justificación económica..... 17

    1.3.3 Justificación social ..... 18

    1.3.4 Justificación ambiental..... 19

1.4 Objetivos ..... 19

    1.4.1 Objetivo general ..... 19

    1.4.2 Objetivos específicos ..... 19

1.5 Importancia y alcance de la investigación.....20

1.6 Limitaciones y delimitaciones de la investigación .....20

    1.6.1 Limitaciones .....20

    1.6.2 Delimitación.....21



1.7 Hipótesis.....	21
1.7.1 Hipótesis general .....	21
1.7.2 Hipótesis específicas.....	21
1.8 Variables .....	22
1.8.1 Variable independiente .....	22
1.8.2 Variable dependiente .....	22
1.8.3 Variable evaluación.....	22
1.9 Operacionalización de variables.....	22

## CAPITULO II

### MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación.....	24
2.1.1 Antecedentes internacionales .....	24
2.1.2 Antecedente nacional .....	27
2.1.3 Antecedente local .....	29
2.2 Bases teóricas.....	30
2.2.1 Piedra chancada .....	30
2.2.1.1 Generalidades .....	30
2.2.1.2 Gradación de partículas.....	31
2.2.1.3 Proceso de triturado y cribado.....	31
2.2.1.4 Tipos de gradaciones.....	33
2.2.1.5 Clasificación según el tamaño de partículas .....	33
2.2.1.6 Propiedades para bases granulares.....	34
2.2.2 Capacidad de soporte CBR.....	38
2.2.2.1 Generalidades .....	38
2.2.2.2 Valor relativo de soporte CBR .....	39
2.2.2.3 Lineamientos del CBR .....	40
2.2.2.4 Aplicaciones en pavimentos .....	41
2.2.2.5 Valores de CBR por tipo de construcción .....	42
2.2.2.6 Ensayos de CBR.....	43
2.2.3 Proctor modificado.....	44
2.2.3.1 Compactación de suelos .....	45
2.2.3.2 Compactación con Proctor .....	46



2.2.4	Mejoramiento de suelo granular de canteras .....	48
2.2.4.1	Suelo .....	48
2.2.4.2	Cantera de suelo granular .....	49
2.2.4.3	Tipos de suelo por su gradación .....	50
2.2.4.4	Propiedades de los suelos para bases granulares .....	51
2.2.4.5	Mejora de carpeta asfáltica.....	53
2.2.4.6	Combinaciones de gradaciones .....	54
2.2.5	Requerimientos de materiales para bases-granulares .....	56
2.2.5.1	Base granular .....	56
2.2.5.2	Sub - base granular .....	56
2.2.5.3	Función de la base granular .....	57
2.2.5.4	Materiales que se emplean en la base granular .....	57
2.2.5.5	CBR.....	58
2.2.6	Clasificación de los suelos.....	58
2.2.6.1	Grava.....	58
2.2.6.2	Arena.....	59
2.2.6.3	Limo.....	59
2.2.6.4	Arcillas.....	60
2.2.7	Clasificación de los suelos.....	60
2.2.8	Granulometría por tamizaje .....	62
2.2.9	Análisis por tamizaje con hidrómetro .....	64
2.2.10	Tamaño de partículas del suelo .....	65
2.2.11	Consistencia del suelo .....	65
2.3	Marco conceptual.....	66

### CAPITULO III

#### METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1	Enfoque de investigación.....	70
3.2	Método de investigación .....	70
3.3	Tipo de investigación .....	71
3.4	Nivel de Investigación .....	71
3.5	Diseño de investigación .....	71
3.6	Población y muestra .....	72



3.6.1	Población.....	72
3.6.2	Muestra .....	72
3.6.2.1	Muestreo .....	72
3.7	Técnicas e instrumentos .....	72
3.7.1	Técnicas de recolección de datos .....	72
3.7.2	Instrumentos de recolección de datos.....	73
3.8	Validez y confiabilidad de instrumentos .....	73
3.8.1	Validación de instrumentos.....	73
3.8.2	Confiabilidad de instrumentos .....	73
3.9	Descripción del trabajo de investigación .....	73
3.9.1	Ubicación.....	73
3.9.2	Aspectos de zona de estudio.....	74
3.10	Exploración de los suelos de la zona de estudio .....	74
3.10.1	Reconocimiento del área en estudio .....	75
3.10.2	Planificación de proceso de exploración .....	75
3.11	Trabajos in – situ .....	76
3.11.1	Exploración .....	76
3.11.2	Ubicación de los puntos de exploración .....	76
3.11.3	Registros y consideración de muestras .....	76
3.11.4	Registros y consideración de muestras .....	77

### CAPITULO IV

#### ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

4.1	Resultados obtenidos .....	78
4.1.1	Propiedades físicas y mecánicas de suelos de la cantera Yocará – distrito de Juliaca .....	78
4.1.2	Plan de mejoramiento con piedra chancada para pavimentos en bases granulares – distrito de Juliaca.....	86
4.1.3	Factores aplicados a la capacidad de soporte de la cantera Yocará- distrito de Juliaca .....	94
4.2	Discusiones .....	95
<b>CONCLUSIONES.....</b>		<b>98</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>		<b>99</b>



<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>100</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>101</b>



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Operacionalización de variables .....	23
Tabla 2 Cantera Yocará .....	76
Tabla 4 Resultado de granulometría .....	79
Tabla 5 Resultado de contenido de humedad .....	81
Tabla 6 Límites de consistencia .....	81
Tabla 7 Evaluación de suelos .....	85
Tabla 8 Granulometría de piedra triturada, según EG-2013 .....	88
Tabla 9 comparativa CBR Yocará – EG-2013 -calicata 1 .....	89
Tabla 10 Resumen de resultados calicata 1 .....	91
Tabla 10 CBR Yocará – EG-2013 -CALICATA 2.....	92
Tabla 10 Resumen de resultados calicata 2 .....	93



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Proceso de extracción.....	32
Figura 2 Parámetros de CBR .....	39
Figura 3 Parámetros de compactación .....	47
Figura 4 Curva DMS y %humedad.....	47
Figura 5 Transito de cantera aluvial .....	50
Figura 6 Suelos granulares y cohesivos .....	51
Figura 7 Condiciones de equivalente de arena .....	52
Figura 8 Condiciones de Proctor modificado.....	52
Figura 9 Abaco para medición de gradaciones .....	54
Figura 10 Abaco de porcentajes que pasan(arenas , gravas, finos) .....	55
Figura 11 Especificaciones de pavimento flexible y rígido .....	56
Figura 12 Granulometria calicata 1 .....	79
Figura 12 Granulometria calicata 2 .....	79
Figura 12 Granulometria calicata 3 .....	80
Figura 12 Granulometria calicata 4 .....	80
Figura 12 Granulometria calicata 5 .....	81
Figura 12 Abaco de Casagrande – calicata 1 .....	82
Figura 12 Abaco de Casagrande – calicata 2 .....	83
Figura 12 Abaco de Casagrande – calicata 3 .....	83
Figura 12 Abaco de Casagrande – calicata 4 .....	84
Figura 12 Abaco de Casagrande – calicata 5 .....	84
Figura 12 Curva granulométrica de piedra triturada .....	86
Figura 13 Curva granulométrica de piedra triturada – 40% y 60% - Arenas .....	87
Figura 14 Curva granulométrica de piedra triturada – 40% y 60% - Gravas .....	87
Figura 15 Curva granulométrica de suelos y piedra triturada - Arenas.....	88



Figura 16 Compactación -calicata 1.....	89
Figura 17 Relación CBR – densidad seca calicata 1.....	90
Figura 17 CBR al 95% y 100% de su MDS – calicata 1.....	90
Figura 17 Compactación – suelos cantera Yocará – calicata 2.....	91
Figura 17 Relación CBR – densidad seca calicata 2.....	92
Figura 17 CBR al 95% y 100% de su MDS – calicata 2.....	93
Figura 18 Factor CBR.....	94



## RESUMEN

Para conseguir la mejor compactación posible, es necesario que la capa granular tenga una gradación suficiente. "Montejo" afirma que esta capa es el principal componente estructural de la carretera debido a su composición. Según la EG-2013, los materiales que se utilizan en el proceso de constitución de las bases pueden ser naturales (suelos) o transformados (piedra triturada), o bien una combinación de ambos. Aumentar la capacidad de soporte CBR de los suelos recuperados de la cantera de Yocará es el objetivo principal de este estudio. Esto se logrará mediante la optimización de la gradación de los suelos a través de la utilización de piedra triturada en línea con los rangos granulométricos tipo "A" que se estipulan en la EG-2013 para la construcción de bases granulares en pavimentos. Se realizó un examen granulométrico de los suelos para determinar la cantidad de piedra triturada que debía utilizarse y el tipo de piedra que debía emplearse. A continuación, se realizaron pruebas Proctor modificado y CBR en los suelos originales, así como en los suelos mezclados con piedra triturada. Según los resultados, para que los suelos de la cantera de Yocará cumplan los requisitos de gradación de las bases, necesitan piedra triturada con piedras de tamaño inferior a 4,76 milímetros (arena gruesa) en una proporción superior al treinta por ciento. Utilizando esta combinación concreta, se alcanzaron valores de CBR de hasta el 97%, En pavimentos con bajo volumen de tráfico rodado, superar los límites mínimos establecidos por la EG - 2013 para las bases granulares supone una infracción de la normativa medioambiental.

**Palabras Clave:** pavimentos, bases granulares, piedra triturada, CBR



## ABSTRACT

In order to achieve the best possible compaction, it is necessary that the granular layer has a sufficient gradation. Montejo (1998) states that this layer is the main structural component of the road due to its composition. According to the EG-2013, the materials used in the process of constituting the bases can be natural (soils) or transformed (crushed stone), or a combination of both. Increasing the CBR bearing capacity of soils recovered from the Yocará quarry is the main objective of this study. This will be achieved by optimizing the gradation of the soils through the use of crushed stone in line with the granulometric ranges type "A" stipulated in the EG-2013 for the construction of granular bases in pavements. A granulometric examination of the soils was performed to determine the amount of crushed stone to be used and the type of stone to be used. Modified Proctor and CBR tests were then performed on the original soils, as well as on the soils mixed with crushed stone. According to the results, for the Yocará quarry soils to meet base gradation requirements, they require crushed stone with stones smaller than 4.76 millimeters in size (coarse sand) in a proportion greater than thirty percent. Using this particular combination, CBR values of up to 97% were achieved, In pavements with low volume of road traffic, exceeding the minimum limits established by the EG - 2013 for granular bases is a violation of environmental regulations.

**Keywords:** Pavement, granular bases, crushed stone, CBR



## INTRODUCCIÓN

La longevidad de las autopistas y carreteras, es de vital importancia mejorar la capacidad de carga de las estructuras de pavimentación. En este contexto, la utilización de piedra triturada como material de mejora desempeña una función extremadamente importante. Cuando la piedra triturada se añade al suelo de base o subbase, considerablemente las propiedades mecánicas del suelo. Además, puede aumentar la capacidad del suelo para soportar cargas y resistir la deformación cuando se somete al tráfico de vehículos. Durante este proceso de desarrollo, no sólo se refuerza la capacidad estructural del pavimento, sino que también se contribuye a una distribución más uniforme de las cargas. Como resultado, se reduce el riesgo de deformación prematura y colapso de la superficie de la carretera. Por todo ello, la utilización de la piedra triturada como técnica de mejora se convierte en un método esencial para maximizar la vida útil y el rendimiento de las carreteras, garantizando así una infraestructura vial más segura y duradera.

El primer capítulo sienta las bases del estudio identificando y definiendo el problema de investigación mediante una serie de preguntas generales y particulares. Este capítulo también contiene la introducción al estudio. Además, se ofrece la justificación de la investigación y se enuncian los objetivos, tanto generales como particulares, que servirán para orientar el desarrollo del tema de investigación.

El segundo capítulo incluía una revisión y referencia a la investigación previa pertinente que se había llevado a cabo. Se aclararon las palabras más importantes relativas a los suelos, así como los criterios de gradación para las bases de pavimento de suelo granular. Además, se discutió la noción de capacidad de soporte CBR, así como el



procedimiento de compactación del suelo que se llevó a cabo utilizando el método Proctor modificado.

En el tercer capítulo se ofrece una descripción exhaustiva de la metodología empleada, incluidos los procedimientos, las fuentes y los instrumentos utilizados, así como la selección del universo y las muestras. A continuación, se ofrece una descripción exhaustiva de las pruebas realizadas. Estas pruebas incluyen el análisis granulométrico, la compactación mediante el método Proctor modificado y la evaluación de la capacidad de soporte CBR.

En esta última parte en la que se han tenido en cuenta las pruebas de laboratorio realizadas a lo largo del estudio, se exponen y analizan ampliamente en el cuarto capítulo. Además, se lleva a cabo una breve discusión en la que se contrastan estos datos con los resultados que han dado a conocer otros investigadores.



## CAPÍTULO I

### EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

#### 1.1 Análisis de la situación problemática.

El distrito de Juliaca, ubicado en la región de Puno, enfrenta serias dificultades en la construcción y mantenimiento de sus infraestructuras viales debido a las condiciones geotécnicas particulares de sus suelos. La calidad de las bases granulares, que son esenciales para la estabilidad y durabilidad de los pavimentos, es un factor crítico que influye directamente en la capacidad de soporte de las estructuras viales. Sin embargo, los suelos de la región suelen presentar características de baja resistencia, alta compacidad y baja cohesión, lo que incrementa la susceptibilidad a deformaciones y fallas estructurales cuando se exponen a cargas de tráfico continuo y condiciones climáticas adversas. Uno de los recursos naturales disponibles en la zona es la cantera Yocará, que produce piedra chancada utilizada comúnmente en la fabricación de bases granulares para pavimentos. A pesar de su disponibilidad, la calidad de esta piedra y su efecto en la mejora de la capacidad de soporte de los suelos no ha sido estudiada ni aprovechada de manera adecuada. La falta de análisis detallados sobre las propiedades mecánicas y geotécnicas de la piedra chancada de la cantera Yocará limita su aplicación en la construcción de bases



que cumplan con las normas de resistencia y durabilidad exigidas para pavimentos de alta calidad. La situación se complica debido a que la región de Juliaca, por su ubicación geográfica y condiciones climáticas, experimenta ciclos de humedad y sequedad intensos, lo que afecta la estabilidad. Sin un material de base granular optimizado, los pavimentos construidos sufren deterioros rápidos, lo que obliga a realizar constantes reparaciones y aumenta los costos de mantenimiento. Este escenario no solo representa un problema económico para las autoridades locales y los habitantes, sino que también repercute en la seguridad de los usuarios de las vías y en la eficiencia del transporte, fundamental para la conectividad y desarrollo de la región. Además, la actual dependencia de materiales de construcción provenientes de fuentes externas, más costosos y difíciles de obtener, agrava la problemática. La falta de aprovechamiento de recursos locales como la piedra chancada de la cantera Yocará significa que se están desaprovechando oportunidades para desarrollar soluciones más sostenibles y económicamente viables que podrían contribuir a la mejora de la infraestructura vial.

## 1.2 Planteamiento del problema

### 1.2.1 Problema general

¿Cómo realizar el mejoramiento de la capacidad de soporte de suelos de la cantera Yocará con piedra chancada en bases granulares para pavimentos-distrito de Juliaca?

### 1.2.2 Problemas específicos

1. ¿Que propiedades físicas y mecánicas presentan el suelo de la cantera Yocará del distrito de Juliaca?
2. ¿Cómo realizar un plan de mejoramiento con piedra chancada para pavimentos en bases granulares con suelos de la cantera Yocará del distrito de Juliaca?

3. ¿Cómo analizar los factores aplicados en la capacidad de soporte del suelo de la cantera Yocará para mejoramiento de pavimentos en el distrito de Juliaca?

### **1.3 Justificación de la investigación.**

#### **1.3.1 Justificación técnica**

Hay una serie de factores fundamentales que justifican la incorporación de piedra triturada a la base granular del suelo para mejorar su capacidad de soporte. Esta mejora es técnica y funcionalmente justificable. Para empezar, la piedra triturada, debido a su carácter anguloso y fragmentado, favorece una mayor interacción entre las partículas del suelo, lo que en última instancia se traduce en un aumento de la cohesividad y la resistencia interna del material. Debido a este impacto, la capacidad de soporte del suelo mejora significativamente, lo que a su vez se traduce en una mayor estabilidad y seguridad para las estructuras y pavimentos que se apoyan en el suelo. Además, la piedra triturada tiene una gran capacidad de drenaje, lo que permite la rápida evacuación del agua del interior del suelo hacia los sistemas de drenaje. Esto ayuda a evitar que el suelo se sature y se deteriore, lo que es especialmente importante en regiones propensas a las inundaciones o en condiciones de humedad. La incorporación de piedra triturada al suelo es una solución muy eficaz y económicamente viable para aumentar la capacidad de soporte del suelo en una serie de aplicaciones de ingeniería civil y desarrollo de infraestructuras viales. Esto se debe a que la piedra triturada posee una mayor resistencia y capacidad de drenaje.

#### **1.3.2 Justificación económica**

Se puede encontrar una razón económica sólida y persuasiva en la utilización de piedra triturada con el fin de mejorar la capacidad de soporte del suelo contenido en su base granular. Este planteamiento ofrece ventajas considerables, como la reducción de los gastos a largo plazo asociados al mantenimiento y las reparaciones. En conjunto, estas



ventajas son significativas. La inversión inicial en la adición de piedra triturada la estabilidad y resistencia del suelo. Esto, a su vez, reduce la necesidad de futuras intervenciones costosas para reparar daños o mejorar la capacidad de soporte de la infraestructura vial. Además, la longevidad y resistencia de la piedra triturada dan como resultado unos cimientos estables y fiables a lo largo del tiempo. Esto se traduce en una reducción de los costos asociados al mantenimiento y en una ampliación del periodo de tiempo entre mantenimientos programados. Esta estrategia no sólo supone un importante ahorro económico a corto plazo, sino que también mejora la eficiencia y la fiabilidad operativas a lo largo de la vida útil del proyecto. En consecuencia, se trata de una opción económicamente viable y rentable para aumentar la capacidad de soporte del suelo en diversas aplicaciones de ingeniería civil y construcción de infraestructuras viales.

### **1.3.3 Justificación social**

La incorporación de piedra triturada a la base granular del suelo no sólo ofrece ventajas técnicas y económicas, sino que también tiene un importante fundamento social. Esto se debe a que la incorporación de piedra triturada al suelo aumenta su capacidad de soporte. La aplicación de este método contribuye sustancialmente a la seguridad y en infraestructuras viales, lo que a su vez garantiza la protección de vidas humanas y bienes materiales. El riesgo de accidentes de tráfico y colapso estructural puede minimizarse aumentando la resistencia y durabilidad de carreteras, puentes y otras estructuras. Esto, a su vez, fomenta la seguridad pública y la confianza de la comunidad en las infraestructuras viales locales. Además, la utilización de piedra triturada conduce a la expansión de la economía y la creación de nuevos puestos de trabajo en la región, lo que a su vez contribuye al bienestar general y la prosperidad de la sociedad en su conjunto. Esto se debe a que la piedra triturada sirve de base estable y fiable para el desarrollo de proyectos de construcción y urbanización.



### 1.3.4 Justificación ambiental

Se puede encontrar una razón medioambiental considerable en la adición de piedra triturada a la base granular del suelo con el fin de aumentar la capacidad de soporte del mismo. Este método reduce los efectos adversos sobre el medio ambiente al fomentar una gestión de los recursos naturales más eficaz y respetuosa con el medio ambiente. Para empezar, el establecimiento de un suelo y estructuras de pavimento más estables reduce la cantidad de recursos y energía adicionales necesarios para las reparaciones y reconstrucciones periódicas. Esto, a su vez, reduce la cantidad de basura que se produce durante la construcción. La piedra triturada también ayuda a minimizar la erosión del suelo y el flujo de contaminantes a las masas de agua vecinas, lo que contribuye a preservar la calidad del agua y los ecosistemas acuáticos. Esto se debe a que la piedra triturada tiene una mayor capacidad de drenaje que otros materiales. Además, con la promoción de infraestructuras viales más resistentes y duraderas, disminuye la necesidad de expansión y desarrollo en lugares sensibles o protegidos, lo que a su vez ayuda a preservar los hábitats naturales y la biodiversidad. Como conclusión, el aumento de su CBR del suelo mediante el uso de piedra triturada no sólo ofrece ventajas tanto tecnológicas como económicas, sino que también fomenta la preservación y protección del medio ambiente.

## 1.4 Objetivos

### 1.4.1 Objetivo general

Realizar el mejoramiento de la capacidad de soporte de suelos de la cantera Yocará con piedra chancada en bases granulares para pavimentos - distrito de Juliaca.

### 1.4.2 Objetivos específicos

1. Determinar las propiedades físicas y mecánicas presentan el suelo de la cantera Yocará del distrito de Juliaca.



2. Determinar un plan de mejoramiento con piedra chancada para pavimentos en bases granulares con suelos de la cantera Yocará del distrito de Juliaca.
3. Analizar los factores aplicados a la capacidad de soporte del suelo de la cantera Yocará para mejoramiento de pavimentos en el distrito de Juliaca.

### **1.5 Importancia y alcance de la investigación**

Mediante la incorporación de piedra triturada a la base granular del suelo, es posible mejorar la capacidad de soporte del suelo, lo que tiene una importancia crítica en diversos proyectos de ingeniería y construcción. Cuando se trata de garantizar la estabilidad y durabilidad de las estructuras de pavimentos sobre los que se instala, esta técnica es absolutamente necesaria. La piedra triturada ayuda a reforzar el suelo, lo que a su vez produce una base firme y fuerte capaz de soportar enormes cargas y distribuirlas uniformemente. Esto ayuda a evitar el hundimiento, la deformación y el deterioro prematuro de las superficies de apoyo. Además, la mayor capacidad de drenaje de la piedra triturada contribuye a evitar la acumulación de agua, lo que a su vez ayuda a prevenir la erosión y el debilitamiento del suelo que normalmente se produce como consecuencia de la influencia de la humedad.

### **1.6 Limitaciones y delimitaciones de la investigación**

#### **1.6.1 Limitaciones**

Es esencial ser consciente de las restricciones que pueden encontrarse al intentar mejorar su CBR incorporando piedra triturada a su base granular, a pesar de que este método presenta una serie de ventajas. La disponibilidad y accesibilidad de la piedra triturada es uno de los principales obstáculos. Esto se debe a que la adquisición de piedra triturada puede ser bastante cara, y su transporte puede aumentar mucho los gastos del proyecto, sobre todo en regiones de difícil acceso o remotas. Además, la eficacia de la mejora puede verse comprometida si la selección de la piedra triturada es inadecuada tanto por su tamaño como por su calidad. Esto se debe a que los distintos tipos de suelo



requieren especificaciones variadas de piedra triturada para obtener los resultados requeridos.

### **1.6.2 Delimitación**

La delimitación concerniente a esta investigación es en el distrito de Juliaca.

## **1.7 Hipótesis.**

### **1.7.1 Hipótesis general**

El mejoramiento de la capacidad de soporte basada en el tipo de suelo y en el tipo de cantera, los factores aplicados en la capacidad de soporte de estos son elementos constructivos y externos.

### **1.7.2 Hipótesis específicas.**

1. Las propiedades físicas – mecánicas que presenta el suelo de la cantera Yocará del distrito de Juliaca la textura, estructura, consistencia, cohesión, plasticidad, color y capacidad de soporte son similares, con diferencias en menor proporción en algunas zonas.
2. El plan de mejoramiento con piedra chancada para pavimentos en bases granulares con suelos de la cantera Yocará del distrito de Juliaca se establecerá en base a la norma E.050 suelos y cimentaciones.
3. Los factores que son aplicados en la capacidad de soporte de los suelos de la cantera Yocará para mejoramiento de pavimentos en el distrito de Juliaca serán la granulometría y Abrasión.



## 1.8 Variables

### 1.8.1 Variable independiente

#### Determinación de propiedades del suelo

##### Indicadores

- Granulometría
- Límites de consistencia
- Contenido de humedad
- Cohesión
- Angulo de fricción

### 1.8.2 Variable dependiente

#### Mejora del suelo

##### Indicadores

- Mejora por la capacidad de soporte
- Mejora por estratigrafía

### 1.8.3 Variable evaluación

#### Factores aplicados en el CBR

##### Indicadores

- Abrasión
- Granulometría
- Proctor modificado

## 1.9 Operacionalización de variables



**Tabla 1**

*Operacionalización de variables*

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
<b>Independiente</b>				-Granulometría
Determinación de propiedades del suelo	Las propiedades del suelo se refieren a las características físicas, químicas y biológicas inherentes al sustrato terrestre que influyen en su comportamiento y función	Los análisis de densidad y compactación son fundamentales para diseñar cimentaciones seguras y estables en proyectos de construcción.	-Propiedades físicas	-Límites de consistencia
			-Propiedades mecánicas	-Contenido de humedad
				-Cohesión
				-Angulo de fricción
<b>Dependiente</b>				
Mejora del suelo	La mejora del suelo se refiere al conjunto de prácticas y técnicas empleadas para modificar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo con el fin de optimizar su calidad y rendimiento	El objetivo de aumentar su productividad, su capacidad de soporte, su resistencia a la erosión u otros parámetros relevantes para su uso	-Mejoramiento	-Mejora de la capacidad de soporte
				-Mejora por estratigrafía
<b>Evaluación</b>				
Factores aplicados en el CBR	Los factores aplicados en el CBR se refieren a las variables que influyen en esta resistencia relativa y que deben ser consideradas al determinar el valor del CBR de un suelo	Estos factores incluyen la densidad de compactación del suelo, el contenido de humedad, la gradación de las partículas, la temperatura, método de compactación,	-Características geotécnicas	-Abrasión
				-Granulometría
				-Máxima densidad seca
				-Humedad optima



## CAPITULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Antecedentes de la investigación.

##### 2.1.1 Antecedentes internacionales

Según Nuñez (2015), en su investigación “Análisis para la utilización sostenible de finos de cantera como componentes de construcción de pavimentos: caracterización de las propiedades intrínsecas de los finos de cantera.”, sostiene que constituye un recurso secundario que posee una cantidad significativa de valor y puede reutilizarse en una serie de aplicaciones dentro del ámbito de los proyectos de ingeniería civil. Además, el uso de cantidades significativas de materiales secundarios, como los finos de cantera, está siendo impulsado por la disminución de las reservas de áridos, en particular por la previsible, Se prevé que en el futuro habrá escasez de áridos de alta calidad, lo que, combinado con el creciente deseo de una sociedad neutra en carbono y una economía que funcione de forma continua, está fomentando el uso de estos materiales. Esta investigación se lleva a cabo con la intención de realizar una evaluación de viabilidad mediante experimentos y análisis de laboratorio para investigar las características de los finos de cantera. El objetivo de esta investigación es determinar si este tipo particular de material puede considerarse adecuado



para su uso en la construcción de pavimentos a gran escala. La vulnerabilidad de los finos de cantera no estabilizados al alud de las heladas queda indicada por los datos de clasificación obtenidos a partir de las pruebas de tamizado e hidrómetro. Por lo tanto, se llevaron a cabo ensayos de hundimiento por heladas, y los resultados indican que es necesaria la estabilización para mejorar sus características. Esto es especialmente cierto en el contexto de las aplicaciones de pavimentación. Además, se revisan y abordan otros hechos y características generales de los finos de cantera no consolidados, en particular en lo que se refiere a su potencial de uso en proyectos de ingeniería de pavimentos. Se trata de algo especialmente relevante para el tema que nos ocupa., sobre todo en capas estructurales como la base, la subbase o las capas filtrantes. El agotamiento de las reservas de áridos es una de las principales causas de la utilización generalizada. Otras razones también contribuyen a este fenómeno, En este estudio, se llevó a cabo una evaluación de viabilidad que incluía una serie de pruebas diferentes en respuesta al deseo de una sociedad neutra en carbono y a la acuciante necesidad de una economía circular. Con el fin de explorar las cualidades de los finos de cantera y determinar si son o no adecuados para su uso en las capas de base, subbase o filtro de los pavimentos, especialmente en proyectos de gran envergadura, se llevaron a cabo investigaciones de laboratorio. Además, se evaluó la resistencia de los finos de cantera al deterioro por heladas.

Según Álvarez (2020), en su investigación “Estudio de la correlación entre el contenido de humedad y la densidad seca en diversas gradaciones para la base granular de carreteras” , sostiene que cuando se trata de materiales granulares, el California Bearing Ratio (CBR) es una métrica técnica esencial para las capas que componen el pavimento flexible. El valor CBR es una medida que ofrece una indicación de la resistencia del material que se utilizó en el diseño del pavimento para la capa base de la carretera. Esto viene determinado por las propiedades de los áridos utilizados. El papel principal de las capas de base en los pavimentos flexibles es mantener una dispersión consistente de



las cargas vehiculares a través de la subrasante durante toda la vida útil de diseño. Numerosos factores influyen en la capacidad de soporte del material. Entre los parámetros más influyentes que tienen resultados sustanciales, la distribución granulométrica de los áridos es uno de los más importantes. El objetivo de este estudio era investigar la capacidad de soporte de los materiales granulares utilizando áridos de granito, basalto y cuarcita. La investigación se llevó a cabo con la intención de estudiar los efectos de las diferentes distribuciones granulométricas de los áridos. Para determinar la capacidad de soporte de la gradación de la capa base, se llevaron a cabo evaluaciones adicionales con respecto a los límites superior e inferior de la gradación. Para ello se utilizó una amplia batería de exámenes físicos y pruebas de resistencia de los áridos.

Según Contreras (2020), en su investigación "Comparación entre la resistencia de las capas del pavimento obtenida a través de ensayos de penetración dinámica en laboratorio (DCP) y el desempeño observado en condiciones reales en campo" sostiene que SANRAL es un proyecto que se centra las metodologías de evaluación basadas y utilizadas, con especial énfasis en las especificaciones para materiales granulares no ligados. Este estudio es un componente del proyecto SANRAL Teniendo en cuenta que, se ha observado que existe una disparidad entre los resultados de los ensayos y las condiciones reales del material en el entorno. Esta disparidad da lugar a una previsión del rendimiento del material que suele ser errónea. Los métodos de ensayo que se basan en el rendimiento están diseñados para caracterizar la resistencia del material y prever cómo se comportará cuando se someta a cargas de tráfico repetidas. Se incorporaron al protocolo de ensayo tres grados distintos de contenido de humedad y dos niveles distintos de energía de compactación. Esto se hizo con el fin de investigar el impacto que la densidad y el contenido de humedad tenían el uno sobre el otro. Para clasificar las características del material, se realizaron pruebas preliminares. A estas pruebas siguió un análisis granulométrico para conocer las proporciones del material. A continuación, se llevó



a cabo un análisis de humedad-densidad para determinar el contenido óptimo de humedad que corresponde a la densidad óptima que puede alcanzarse en el material. Se aplicó energía vibratoria a las probetas mediante el uso de un martillo vibratorio para comprobar que la reproducción de las circunstancias in situ era lo más precisa posible.

## 2.1.2 Antecedente nacional

Según Acuña (2021), en su investigación "Mejora del material proveniente de una cantera para la subbase mediante el aumento del Índice de Soporte California (CBR) mediante la adición de vidrio soluble, en el distrito de Callería, Ucayali, durante el año 2021", sostiene que se discuten las teorías relevantes, incluyendo la definición de suelo, compactación, clasificación del suelo, estabilidad y mejora. Además, se discuten las definiciones de las pruebas. Estas teorías se discuten en relación con el tema. Los experimentos que se han discutido serán un componente del objetivo primario, que es mejorar la estabilidad del suelo a través de la incorporación de vidrio soluble con la intención de emplearlo como subbase en el Distrito de Callería con el propósito de utilizarlo. Mediante la utilización de un diseño cuasi-experimental, se utilizó una metodología científica que adopta un enfoque cuantitativo a nivel aplicado. Es posible obtener una población y un tamaño de muestra infinitos debido a que se pueden recoger varias muestras de la cantera para crear la subbase mejorada. Se hará una selección deliberada a partir de tres muestras que hayan sido sometidas al método de mejora del vidrio soluble. Esto se hará teniendo en cuenta el tamaño de la muestra. En el Distrito de Callería, Ucayali, las dificultades que se vinculan con el mejoramiento del material de cantera que se pretende utilizar como subbase. Se propone lograr este mejoramiento mediante la incorporación de vidrio soluble. En los procedimientos de categorización y dosificación para la mejora del material de cantera utilizado en subbases, se ha descubierto que existe una falta de estandarización. Debido a que estas técnicas no tienen en cuenta el hecho de que los materiales de cantera no son totalmente homogéneos, es posible que se produzcan



errores en el diseño del porcentaje de materiales. Por ejemplo, en una proporción de 70%-30% de Hormigón y Aglomerante, pueden producirse algunos errores. Existe la posibilidad de que los proyectos relacionados con la subbase o la explanada se vean directamente afectados si no se tienen en cuenta estos criterios o porcentajes principales. A lo largo de la vida de un proyecto de construcción, el método utilizado para estabilizar o mejorar la subbase y la subrasante del material de cantera con el fin de aumentar su capacidad de soporte, también denominada valor portante, se ha convertido en un componente indispensable. Para lograr este objetivo se utilizan varias técnicas, entre las que destacan la estabilidad química y mecánica.

Según Fernández (2021), en su investigación "Mejoramiento de la capacidad de soporte del suelo a nivel de subrasante a través de la utilización del sistema rocamix entre la prolongación de la avenida San antonio de Padua y de la calle 04 de la asociación de vivienda 2 de octubre del centro poblado San Antonio – Moquegua, 2017", sostiene la investigación se realiza con el propósito de determinar si este sistema mejorará considerablemente las cualidades del suelo, transformándolo en una sustancia que posea características adecuadas para mejorar la subrasante. En este trabajo, que es un estudio aplicado, se utiliza un diseño experimental y una metodología descriptiva. Se utilizaron diversas técnicas e instrumentos de recogida de datos, como el examen de fuentes primarias y secundarias, además de la observación directa. A efectos de esta investigación, se llevaron a cabo pruebas tanto de campo como de laboratorio. A una profundidad de 0,2 pulgadas, el sistema Rocamix fue capaz de mejorar el CBR en un 102,67%, y a una profundidad de 0,1 pulgadas, fue capaz de mejorar el CBR en un 86,60%. Además, el sistema redujo significativamente la expansión en un 0,09%. Sin embargo, desde un punto de vista financiero, no fue factible porque resultó en mayores gastos en comparación con la utilización de un estabilizador que fue sugerido por el MTC (uno que estaba compuesto de suelo cemento). En resumen, el sistema Rocamix mostró una mejora considerable en el CBR, con un aumento del 102,67% a una profundidad de 0,2 pulgadas



y del 86,60% a una profundidad de 0,1 pulgadas, así como una reducción del 0,09% en la expansión. Por otro lado, en comparación con la utilización de un estabilizador sugerido por el MTC (suelo-cemento), la aplicación de este método resultó ser económico.

Según Fernández (2021), en su investigación "Análisis de las propiedades físicas, mecánicas y químicas de los agregados de las canteras Diablo, Caracmaca y La Calzada para mejorar la transitabilidad y calidad de la pavimentación en el tramo La Arena – Sanagorán", sostiene que se utilizó una metodología de investigación aplicada y un diseño cuasi-experimental en conjunto con un enfoque explicativo. Los áridos o materiales presentes en las tres canteras examinadas se consideraron como la muestra, mientras que la población en general se consideró como las canteras en sí. En referencia a los hallazgos que se obtuvieron de esta investigación, se ha observado que la región se distingue por la presencia de rocas de origen sedimentario, como calizas, areniscas y filitas, y que está sujeta a eventos geodinámicos regulares que se originan desde el exterior. En cuanto al estudio de los materiales de cantera para la subbase granular, es importante señalar que tanto Caracmaca como La Calzada cumplen con los parámetros establecidos, sin embargo la cantera El Diablo no. Este es el principal hallazgo que se destaca satisface las especificaciones cuando se utiliza una proporción de sesenta por ciento de la primera y cuarenta por ciento de la segunda. En cambio, esta circunstancia no se tiene en cuenta cuando la proporción es del 70% y del 30%, respectivamente.

### 2.1.3 Antecedente local

Según Aquino (2020), en su investigación "Mejora del Índice de Soporte California (CBR) de los suelos extraídos de la cantera Yocará mediante la adición de piedra triturada con la gradación adecuada para ser utilizados en bases granulares de pavimentos en la ciudad de Juliaca", sostiene que es necesario que la base granular tenga una gradación suficiente para producir una compactación óptima; Montejo (1998) afirma que esta capa es



el principal componente estructural de la carretera. De acuerdo con las normas de la EG-2013, los materiales que se utilizan para el desarrollo de la base pueden ser naturales (. Esto se logrará mediante la optimización de la gradación de los suelos a través de la utilización de piedra triturada de conformidad con el tipo "A" rangos granulométricos que se describen en el EG-2103 para bases de pavimento granular. Se realizó un estudio granulométrico de los suelos para determinar el tipo de piedra triturada necesaria y la cantidad adecuada a la situación. Posteriormente, los suelos originales como en los mezclados con piedra triturada durante el proceso posterior. Según los resultados, para cumplir con los rangos granulométricos necesarios para las bases granulares, los suelos de Yocará necesitan que se les añada piedra triturada de tamaño inferior a 4,76 milímetros (también conocida como arena gruesa) en proporciones superiores al treinta por ciento. Además, esta combinación fue capaz de producir valores de CBR de hasta 97%, superiores a los valores mínimos exigidos por la EG-2013 para bases granulares en pavimentos con baja actividad.

## **2.2 Bases teóricas**

### **2.2.1 Piedra chancada**

#### **2.2.1.1 Generalidades**

El término se refiere a un tipo de piedra que se produce triturando grandes rocas por medios mecánicos. En la mayoría de los casos, se utiliza en la construcción y pavimentación de calzadas, carreteras, estructuras de hormigón, rellenos y otros proyectos que entran en el ámbito de la ingeniería civil. Como resultado del proceso de trituración, este material se clasifica en una variedad de tamaños, y su aplicación puede cambiar dependiendo de los requisitos particulares de cada proyecto. En el sector de la construcción, la piedra triturada es muy apreciada por su durabilidad, resistencia y capacidad de ofrecer una base firme y segura para diversas aplicaciones estructurales.

### 2.2.1.2 Gradación de partículas

La gradación granulométrica es la distribución del tamaño de las partículas en materiales granulares como la arena, la grava o la piedra triturada. Se representa mediante una curva granulométrica que ilustra el porcentaje acumulado de partículas inferiores a un determinado tamaño en relación con el tamaño de las partículas. Comprender la gradación de las partículas es crucial en ingeniería civil y construcción, ya que desempeña un papel importante en la determinación de la densidad, permeabilidad, resistencia y estabilidad de los materiales.

### 2.2.1.3 Proceso de triturado y cribado

En el sector de la construcción, el proceso de trituración y cribado es un procedimiento habitual que se utiliza para reducir grandes rocas a tamaños más pequeños y uniformes, adecuados para diversas aplicaciones. Puede dividirse en dos etapas principales:

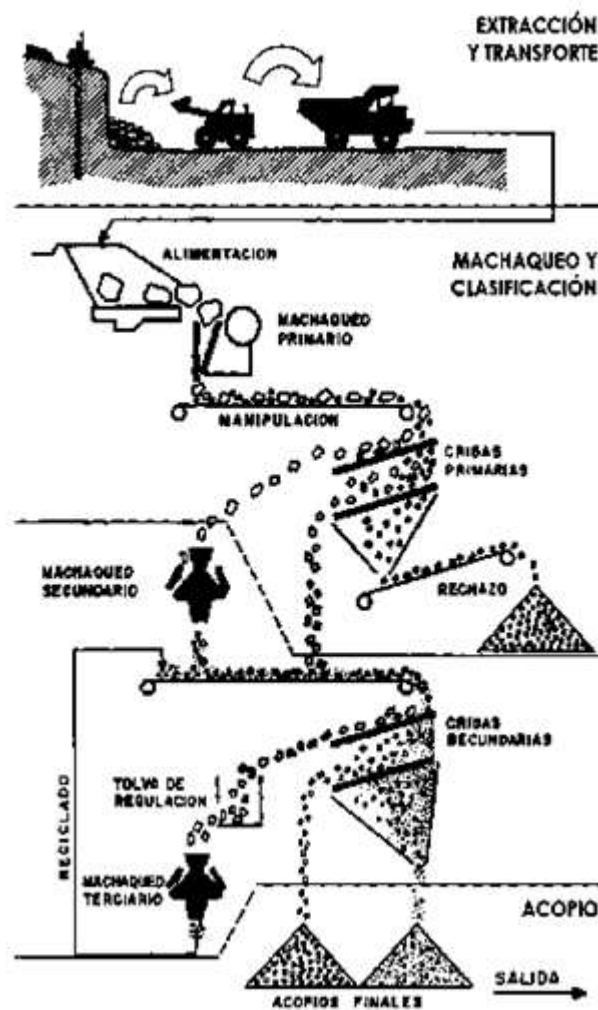
1. **Triturado.** Durante esta etapa se utiliza una intensa cantidad de potencia mecánica, lo que se traduce en la reducción del tamaño de rocas antes enormes. Las trituradoras, las trituradoras de impacto y las trituradoras de cono son sólo ejemplos de los tipos de máquinas especializadas que se utilizan para lograr este objetivo. La trituradora se utiliza para triturar rocas hasta el tamaño correcto una vez que se han introducido en ella. El objetivo de la trituración es generar fragmentos de tamaño más pequeño y consistente, para poder utilizarlos en el paso siguiente.
2. **Cribado.** Una vez que las rocas se han triturado hasta alcanzar un tamaño determinado, se someten a un proceso de cribado. En el proceso de cribado se utiliza una sucesión de mallas o tamices con distintos tamaños de abertura para dividir las partículas trituradas en sus respectivos tamaños. De este modo, es posible dividir las partículas en fracciones de distintos tamaños, lo que facilita su

clasificación y selección para su uso en diversas aplicaciones de construcción. Las cribas dejan pasar las partículas del tamaño adecuado, mientras que las partículas más grandes se retienen y, si es necesario, se devuelven al proceso de trituración antes de seguir procesándolas.

El proceso de trituración y cribado de la piedra tiene como resultado la creación de materiales pétreos de un tamaño adecuado y uniforme. Estos materiales pétreos pueden utilizarse para una serie de aplicaciones, como la construcción de carreteras, la producción de hormigón, la producción de áridos para la construcción y otras razones comparables.

**Figura 1**

*Proceso de extracción*





### 2.2.1.4 Tipos de gradaciones

- **Gradación uniforme.** En este tipo de gradación, todas las partículas del material son del mismo tamaño, lo que da lugar a una curva granulométrica extremadamente empinada y estrecha. Cuando es necesaria una alta densidad o una alta de presas y estructuras de contención, se utiliza con frecuencia esta forma de gradación. Otros ejemplos son la construcción de estructuras de contención.
- **Gradación bien graduada.** Además de denominarse gradación continua, este tipo de gradación abarca un amplio espectro de tamaños de partícula, que van del más pequeño al más grande. La curva de gradación es más suave y menos pronunciada que la curva producida por la gradación uniforme. Se utiliza en una amplia gama de aplicaciones, incluida la construcción de carreteras y pavimentos, donde es necesaria una fuerte compactación y estabilidad.
- **Gradación pobremente graduada.** Con este tipo de gradación, la mayoría de las partículas son de tamaños comparables, lo que da como resultado una curva de gradación extremadamente plana y ancha. Este tipo de granulometría se utiliza con frecuencia en aplicaciones que requieren un alto nivel de permeabilidad, como la instalación de filtros y sistemas de drenaje.

### 2.2.1.5 Clasificación según el tamaño de partículas

Es posible que estas categorías cambien en función del porcentaje de cada tipo de partícula presente en una determinada muestra de suelo. Estas categorías se utilizan para caracterizar la composición de los suelos o de las muestras de suelo:



- **Arcilla.** En términos de diámetro, las partículas de arcilla son inferiores a 0,002 milímetros. Son las partículas más diminutas y, cuando están húmedas, suelen ser excesivamente finas y de aspecto plástico.
- **Limos.** Se estima que el diámetro de las partículas de limo oscila entre 0,002 mm y 0,05 mm. Aunque son mayores que las partículas de arcilla, se considera que son tan diminutas que no pueden verse con el ojo humano. Al tacto, los suelos limosos suelen tener una textura suave y aterciopelada.
- **Arenas.** El diámetro de las partículas de arena oscila entre 0,05 milímetros y 2 milímetros. Las partículas suelen ser visibles para el ojo humano y son mayores que las que componen el limo. Además de ser ásperos al tacto, los suelos arenosos no retienen mucha agua.
- **Gravas** El diámetro de las partículas de grava oscila entre 2 y 64 milímetros. Estas son las partículas más grandes, y normalmente son capaces de ser observadas por el ojo humano. Los suelos de grava se caracterizan por su textura rugosa y su capacidad para drenar el agua eficazmente.

### 2.2.1.6 Propiedades para bases granulares

Es deseable que las bases granulares utilizadas en la ingeniería de pavimentos posean las siguientes propiedades:

- **Resistencia.** Debido a que garantiza sus características rodado sin experimentar deformaciones graves, la resistencia de las bases granulares es una cualidad esencial en el campo de la ingeniería de pavimentos. La integridad estructural del pavimento está garantizada por una base granular sólida, que también facilita la



distribución de las cargas de tráfico a lo largo de la superficie del pavimento y en la subrasante. Esta resistencia se obtiene compactando adecuadamente el material granular y disponiendo de una distribución granulométrica adecuada que favorezca la interacción efectiva entre las partículas. Todos estos factores actúan conjuntamente para conseguir esta resistencia. Además, una base granular resistente ayuda a evitar que el pavimento se deforme permanentemente y se deteriore de forma prematura, lo que garantiza que seguirá funcionando correctamente y será duradero durante ese periodo de tiempo.

- **Durabilidad.** La durabilidad de las bases granulares es una característica clave en la ingeniería de pavimentos. Asegura que el pavimento será capaz de soportar el desgaste y el deterioro inducidos por el tráfico rodado y las severas condiciones ambientales durante toda su vida útil. Para ser considerada duradera, una base granular debe ser capaz de preservar su funcionalidad, incluso cuando está sometida a esfuerzos repetitivos y a variaciones climáticas. Esto indica que el material granular que se utilice en la base debe ser resistente al deterioro por erosión y abrasión, y también debe tener una capacidad de drenaje suficiente para evitar la acumulación de agua, que puede provocar el debilitamiento del pavimento. Además, la durabilidad de la base granular para soportar deformaciones permanentes y mantener su resistencia durante toda su vida útil. Este es un factor que contribuye a la seguridad y longevidad del pavimento. Por lo tanto, es esencial garantizar que las bases granulares tengan una durabilidad adecuada para mantener la funcionalidad y el rendimiento óptimo de los pavimentos a lo largo de su vida útil prevista.
- **Drenaje.** En el campo de la ingeniería de pavimentos, el drenaje en bases granulares es un atributo esencial y facilitar el movimiento efectivo del agua a través de él. Para evitar que el agua se estanque bajo el pavimento, lo que podría dar



lugar a problemas de erosión, el debilitamiento del suelo bajo el pavimento y el deterioro prematuro del pavimento, es vital contar con una base granular que drene eficientemente. Tanto una gradación aceptable de las partículas que favorezca la rápida evacuación del agua como una compactación adecuada que evite la creación de bolsas de agua estancada contribuyen a la capacidad de drenaje de la base granular. Esta capacidad se consigue mediante la combinación de estos dos factores. Al evitar que los finos entren en la base granular y bloqueen los conductos de drenaje, la inclusión de geotextiles u otros materiales filtrantes puede mejorar aún más la capacidad de drenaje. Esto se consigue impidiendo que los finos entren en la base granular. En conclusión, es vital disponer de un drenaje adecuado en las bases granulares para garantizar la estabilidad y durabilidad del pavimento. Esto se consigue asegurando que la subrasante permanezca seca y evitando los problemas asociados a la acumulación de agua.

- **Compactibilidad.** En el contexto de las bases granulares, el término "compactibilidad" se refiere a la capacidad del material granular de compactarse de manera eficaz para obtener una densidad suficiente durante la construcción del pavimento. Es vital disponer de una base granular capaz de compactarse bien para garantizar una distribución uniforme de las cargas que provoca el tráfico rodado sobre el pavimento y ofrecer una superficie resistente y robusta. Es posible obtener la compactibilidad empleando el equipo de compactación adecuado, como rodillos vibratorios o compactadores de placa, que ejercen fuerza sobre el material granular para disminuir la cantidad de espacio que existe entre las partículas y aumentar la densidad del material. Además, la selección de un contenido de humedad óptimo y compactación adecuados son esenciales para garantizar una buena compactibilidad y evitar problemas como la segregación o la falta de cohesión del material compactado. Como conclusión, la compactibilidad de las bases granulares es vital para asegurar la estabilidad y durabilidad del pavimento. Esto se consigue



proporcionando una base firme y fuerte que pueda soportar las cargas que impone el tráfico rodado.

- **Gradación adecuada.** el término "gradación adecuada" se refiere a la distribución óptima del tamaño de las partículas dentro del material granular que se utiliza para la construcción del pavimento. Si la gradación se realiza correctamente, se garantizará que las partículas interactúen entre sí de manera eficiente, lo que contribuirá a la estabilidad y resistencia del pavimento. Una base granular adecuadamente graduada debe consistir en una mezcla bien equilibrada de partículas gruesas, medias y finas, que deben dispersarse uniformemente por toda la capa. Esto permite una adecuada capacidad de drenaje al facilitar el movimiento del agua a través del material, reduce la segregación durante el proceso de compactación y aumenta la resistencia del material a la deformación cuando se somete a las cargas proporcionadas por el tráfico rodado. Para obtener la granulometría deseada, es necesario ejercer un control riguroso sobre la composición y la distribución granulométrica del material granular a lo largo de su selección y procesamiento. En conclusión, es necesario asegurarse de que las bases granulares están adecuadamente graduadas para proporcionar una base estable y consistente para el pavimento. Esto garantizará que el pavimento sea funcional y duradero.
- **Estabilidad.** En el contexto de las bases granulares, el término "estabilidad" se refiere a la capacidad del material granular para preservar su integridad estructural y resistir la deformación ante cargas como las provocadas por el tráfico de automóviles y las duras condiciones ambientales. Es necesario contar con una base granular firme para garantizar la longevidad y funcionalidad del pavimento durante toda su vida útil. La compactación del material durante la construcción, la adecuada gradación granulométrica para favorecer una buena interacción de las partículas y



la adecuada capacidad de drenaje para evitar la acumulación de agua bajo el pavimento son algunos de los elementos que contribuyen a esta estabilidad. Esta estabilidad se consigue mediante una combinación de factores. Para garantizar la estabilidad del pavimento, es esencial elegir materiales granulares de alta calidad y resistentes al desgaste, así como ejercer un control sobre el nivel de compactación y el espesor de la capa de base. En conclusión, la estabilidad de las bases granulares es necesaria para que el pavimento tenga unos cimientos firmes y resistentes, lo que a su vez garantiza que el pavimento siga funcionando y sea duradero a lo largo del tiempo.

Debido a que contribuyen a la durabilidad, seguridad y utilidad del pavimento a lo largo de su vida útil, estas características son esenciales para el correcto desempeño de las bases granulares en pavimentos. Las bases granulares se utilizan en pavimentos.

## **2.2.2 Capacidad de soporte CBR**

### **2.2.2.1 Generalidades**

Es una medida que determina la capacidad de soporte relativa de un material mineral o granular. Cuando se compara con un suelo de referencia estándar, ofrece información relativa a la resistencia del suelo en condiciones particulares de compactación y humedad. La relación de resistencia a la compresión (CBR) perforar un suelo estándar con el mismo nivel de compactación utilizando la misma cantidad de suelo. Es un instrumento esencial en el campo de la ingeniería de pavimentos, con el fin de determinar si un suelo es adecuado o no para su uso como subrasante o base de pavimentos, así como para desarrollar espesores de pavimento adecuados. Cuando se trata de la planificación y construcción de carreteras, aeropuertos y otros tipos de infraestructuras viales, el CBR se utiliza con gran frecuencia.

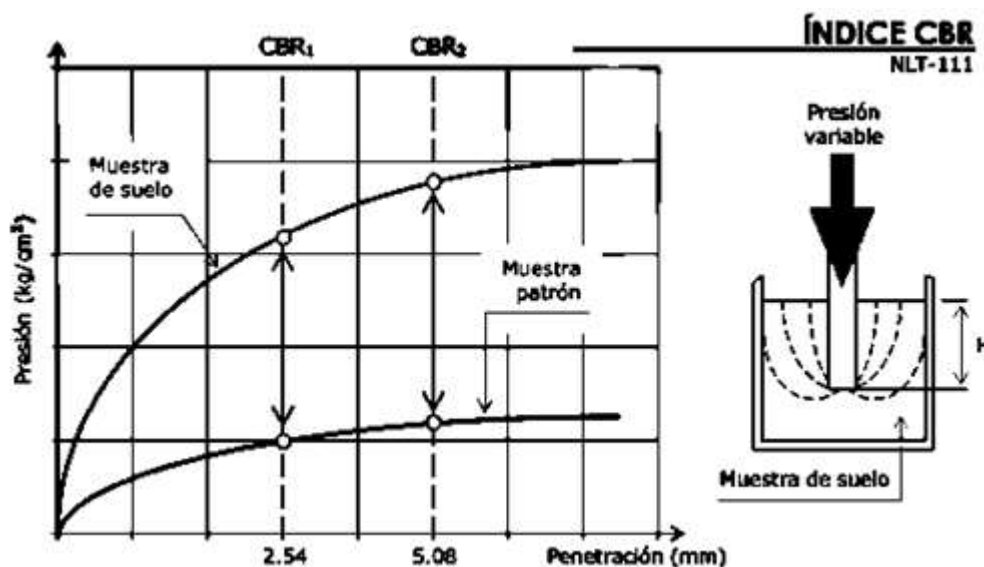
### 2.2.2.2 Valor relativo de soporte CBR

En el campo de la ingeniería de pavimentos, el valor de soporte CBR, también conocido como California Bearing Ratio, es una medida importante que refleja la capacidad de soporte relativa de un suelo o material granular. Para determinar este valor se utilizan experimentos de laboratorio. Estas pruebas examinan la resistencia del suelo penetrándolo con un penetrómetro convencional a una profundidad específica y en condiciones de compactación. Un aumento del valor CBR indica que el suelo tiene una mayor capacidad para soportar cargas sin experimentar una distorsión excesiva. El valor CBR se utiliza ampliamente en el diseño y construcción de pavimentos. Se utiliza para evaluar la idoneidad del suelo como subrasante o cimentación, y también se utiliza para determinar los espesores necesarios del pavimento con el fin de lograr una capacidad de soporte adecuada. Los pavimentos y otras estructuras que son el resultado de la ingeniería civil están sujetos a esta medida esencial, que está diseñada para asegurar su estabilidad y resistencia.

$$\text{CBR} = \frac{\text{carga unitaria de la muestra (0.1plg)}}{\text{carga unitaria de suelo patrón (1000lb/plg2)}}$$

Figura 2

Parámetros de CBR





### 2.2.2.3 Lineamientos del CBR

En el contexto del cálculo del California Bearing Ratio (CBR), se respetan unas normas particulares coherentes. Además de estas directrices son:

1. **Preparación de muestra.** Para garantizar que las muestras de suelo que se van a analizar están libres de contaminantes y que están adecuadamente compactadas, es importante elegir y preparar muestras representativas del suelo.
2. **Ensayo de penetración.** Se recomienda realizar el ensayo de penetración con un penetrómetro estándar en circunstancias precisas de compactación y humedad, ciñéndose en general a las normas o estándares establecidos siempre que sea posible.
3. **Determinación de la presión de penetración.** Con el penetrómetro, anote la presión que debe aplicarse para alcanzar un nivel predeterminado de penetración en el suelo.
4. **Ensayo de referencia.** Vuelva a realizar la prueba, esta vez con un suelo de referencia estándar que tenga los mismos parámetros de compactación y humedad.
5. **Cálculo del CBR.** Calcule el valor CBR multiplicando el cociente de la presión de penetración del suelo ensayado por la presión de penetración del suelo de referencia. Esto le dará el valor CBR.



6. El valor CBR obtenido debe interpretarse en función de los requisitos de diseño y las especificaciones técnicas, teniendo en cuenta elementos como el tipo de pavimento, las circunstancias de carga y las propiedades del suelo.

Con el fin de garantizar que los resultados del CBR sean coherentes y fiables, lo que resulta crucial para su uso en el diseño y la construcción de pavimentos y otras estructuras relacionadas con la ingeniería civil, se han establecido estas directrices.

#### 2.2.2.4 Aplicaciones en pavimentos

El California Bearing Ratio (CBR) es una medida que se utiliza habitualmente en la ingeniería de pavimentos. Se aplica a una variedad de pavimentos para analizar la capacidad de soporte del suelo y construir estructuras de pavimento que sean apropiadas para el pavimento. Los siguientes son algunos ejemplos de pavimentos que han sido tratados con CBR:

1. **Pavimentos de carreteras.** Cuando se trata de la planificación y construcción de carreteras, el CBR se utiliza para determinar si el suelo es adecuado o no para su uso como subrasante o base para el pavimento. Ofrece información esencial necesaria.
2. **Pavimentos de aeropuertos.** El CBR se utiliza para analizar su CBR y diseñar pavimentos capaces de soportar el tráfico pesado de aviones en los aeropuertos, que tienen cargas de tráfico sustancialmente superiores a las de las carreteras normales. Gracias a este método, las operaciones aeroportuarias pueden ser más seguras y eficientes mediante la determinación de la resistencia del suelo.
3. **Pavimentos industriales.** Con el fin de determinar si el suelo es capaz o no de soportar cargas concentradas y distribuidas, el CBR se utiliza en zonas industriales



o de carga, que son lugares que albergan instalaciones equipadas con maquinaria y vehículos pesados. A la hora de construir pavimentos capaces de soportar las circunstancias de las operaciones industriales y evitar un colapso prematuro, se trata de una consideración extremadamente importante.

4. **Pavimentos urbanos.** En contextos metropolitanos, donde se experimenta una gran variedad de tipos de tráfico automovilístico y peatonal, el CBR cargas cambiantes y construir pavimentos que sean duraderos y seguros. Nunca se insistirá lo suficiente en su importancia en lugares con mucho tráfico peatonal, como las calles y avenidas principales.

### 2.2.2.5 Valores de CBR por tipo de construcción

Tanto el tipo de construcción como las características del suelo pueden influir en los valores del California Bearing Ratio (CBR). A continuación, se muestra una estimación de los valores de CBR para varios tipos de construcción a modo de guía general:

#### 1. Carreteras y autopistas

- Subrasante: 2% - 10%
- Base granular: 20% - 80%
- Subbase: 5% - 30%
- Capa de rodadura: 60% - 100%

#### 2. Aeropuertos

- Subrasante: 4% - 15%
- Base granular: 25% - 90%
- Subbase: 8% - 40%
- Capa de rodadura: 70% - 100%



### 3. Pavimentos industriales

- Subrasante: 2% - 10%
- Base granular: 20% - 80%
- Subbase: 5% - 30%
- Capa de rodadura: 60% - 100%

### 4. Pavimentos urbanos

- Subrasante: 2% - 10%
- Base granular: 20% - 80%
- Subbase: 5% - 30%
- Capa de rodadura: 60% - 100%

Es esencial tener en cuenta que las cifras aquí presentadas son sólo estimaciones y que pueden variar en función de las condiciones propias del proyecto, como el tipo de suelo, la carga de tráfico prevista y las normas de diseño. Antes de iniciar la construcción, se recomienda realizar pruebas de laboratorio para determinar los valores exactos de CBR para cada forma de construcción y las condiciones del suelo.

#### 2.2.2.6 Ensayos de CBR

El CBR de un suelo, la prueba del coeficiente portante de California (CBR) puede realizarse de varias formas diferentes. Estas son algunas de las pruebas más utilizadas:

1. **Ensayo estándar de CBR.** Es el ensayo más utilizado para determinar el valor CBR de un suelo. Para realizar este ensayo, se aplica una carga axial a una muestra de suelo compactado a una velocidad de deformación constante y se mide la resistencia del suelo a la penetración. Los experimentos se realizan en condiciones saturadas y no saturadas.

2. **Ensayo modificado de CBR.** Para imitar mejor las condiciones de campo o adaptarse a las condiciones particulares de un proyecto, este ensayo varía ciertas condiciones del ensayo convencional, como la velocidad de deformación y la técnica de aplicación de la carga.
3. **Ensayo de CBR dinámico.** Al realizar este ensayo, se utiliza una carga dinámica en lugar de una carga estática para determinar el CBR del suelo. La mayoría de las veces, se utiliza en circunstancias que requieren una evaluación rápida del CBR o en las que las condiciones del suelo son difíciles de reproducir en un ensayo estático.
4. **Ensayo de CBR in.situ.** Para realizar este ensayo se lleva a cabo una penetración estática del suelo in situ con la ayuda de un penetrómetro CBR. Permite realizar una evaluación directa de la capacidad de soporte del suelo en condiciones prácticas.

A pesar de que estos son algunos de los tipos más típicos de pruebas CBR, puede haber ajustes y modificaciones en función de los requisitos particulares del proyecto y de las condiciones del suelo. Una de las cosas más importantes que hay que hacer es elegir la prueba adecuada en función de las propiedades del suelo y los objetivos del proyecto.

### 2.2.3 Proctor modificado

Luego, se mide la densidad seca obtenida en cada nivel de compactación. Estos datos se utilizan para determinar la humedad óptima y la densidad máxima alcanzable del suelo, lo que proporciona información crucial para el diseño y la construcción de estructuras de pavimentos y terraplenes. El ensayo Proctor Modificado se realiza de



acuerdo con estándares específicos, como ASTM D1557 en Estados Unidos, y es fundamental para garantizar la calidad y la estabilidad de las obras civiles.

### 2.2.3.1 Compactación de suelos

La compactación se describe como el proceso de consolidación del suelo que implica la eliminación de aire mediante el uso de energía mecánica, según Das (2015). Se evalúa en proporción a su densidad seca, que se define como su peso por unidad de volumen. Así se determina el grado de compactación.

Según Montejo (1998), la compactación tiene un impacto sustancial en la permeabilidad del suelo porque modifica las fuerzas interparticulares en términos de dirección y amplitud. Esto, a su vez, provoca cambios en la resistencia del suelo y en su capacidad para soportar fuerzas de corte, lo que puede resultar en el desplazamiento del suelo.

Como afirman Bañón y Bevíá (2010), es de suma importancia ya que está íntimamente relacionada con la resistencia, estabilidad y capacidad de deformación del firme. Esto pone de manifiesto la importancia de su papel, especialmente en terraplenes y en todo tipo de rellenos en general

En el estudio realizado por Bañón y Bevíá (2010), se determinó que existen tres factores que inciden en el nivel de compactación del suelo o relleno.

Humedad. Las partículas de tierra están rodeadas de agua, que actúa como agente lubricante al reducir la cantidad de fricción que se produce dentro de la sustancia. Como consecuencia de ello, cuando el suelo está ligeramente húmedo, se requiere una menor cantidad de energía para comprimirlo en comparación cuando el suelo está completamente seco, que requiere una mayor cantidad de fuerza de compactación para superar la fricción interna.

Este fenómeno se produce cuando el mismo suelo se somete a cantidades variables de energía o fuerza de compactación.



La clase de suelo. Un factor importante que determina la forma de la curva de compactación es el tipo de suelo, y más concretamente su distribución granulométrica. A bajos niveles de humedad, los suelos bien clasificados que contienen una cantidad modesta de partículas son capaces de alcanzar sus densidades máximas. Estos suelos presentan curvas pronunciadas, lo que indica su susceptibilidad a la humedad. En comparación, los suelos que tienen distribuciones granulométricas extremadamente estrechas o uniformes presentan curvas más suaves, lo que indica que son más difíciles de compactar.

El ensayo Proctor, que puede ser estándar o modificado, es el procedimiento de laboratorio que se utiliza para calcular el peso unitario seco de compactación máxima y el contenido de humedad óptimo, tal y como indica (Das ,2015).

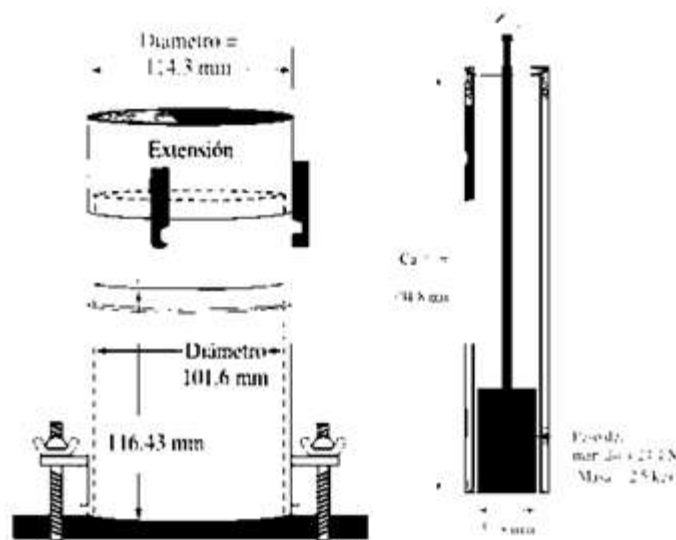
### **2.2.3.2 Compactación con Proctor**

Es la cantidad de energía de compactación que se emplea lo que diferencia la prueba Proctor modificada de la prueba estándar. La prueba estándar utiliza 2700 kNm/m<sup>3</sup>, mientras que la prueba Proctor modificada utiliza 600 kNm/m<sup>3</sup>. La razón de esta variación es que el aumento de la carga por eje de los vehículos hace necesaria la utilización de maquinaria más pesada para la compactación.

En las circunstancias en que nos encontramos, llevamos a cabo este método utilizando el ensayo Proctor en sus dos variantes, a saber, la versión modificada según el MTC E 115 y la versión estándar según el MTC E 116 cada una.

**Figura 3**

*Parámetros de compactación*

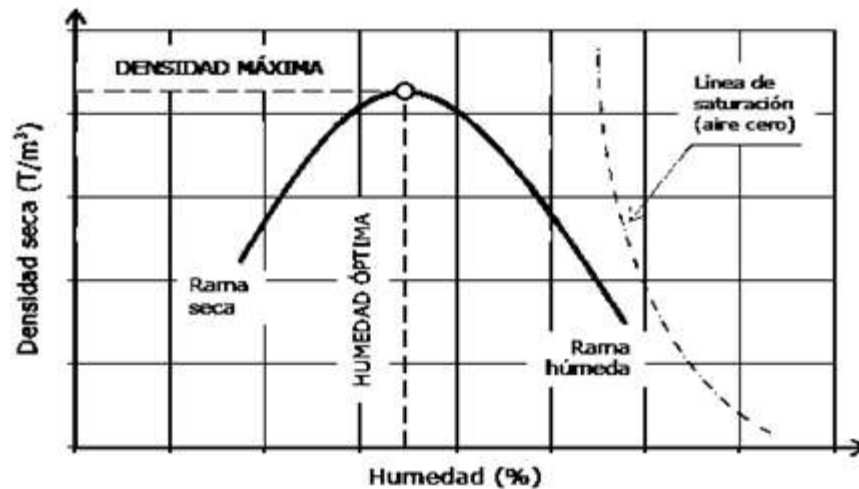


Mediante el uso de un proceso de compactación, este procedimiento, como se indica en el Manual. Durante este procedimiento, cuatro muestras con diferentes grados de humedad se comprimen en un recipiente que se especifica que es de seis pulgadas de diámetro y 4,6 pulgadas de altura. A continuación, los recipientes se apilan en cinco capas, y cada capa recibe 56 golpes.

Las siguientes ecuaciones se utilizan para calcular la densidad, el contenido de humedad y el contenido de agua de la sustancia. La aplicación del gráfico o figura que se adjunta permite determinar el contenido óptimo de agua, así como la densidad seca máxima.

**Figura 4**

*Curva DMS y %humedad*



## 2.2.4 Mejoramiento de suelo granular de canteras

### 2.2.4.1 Suelo

Como resultado, están compuestos por un conjunto de partículas inorgánicas que tienen una cantidad diversa de minerales diferentes en su composición.

- **Desprendimiento mecánico.** Dado que implica la disolución de las rocas de forma tanto física como química, el proceso de meteorización es un componente esencial en la formación del suelo. La ocurrencia de este fenómeno puede tener lugar de diversas formas, entre ellas la actividad de las corrientes de agua en los ríos, la erosión provocada por el viento, la influencia de las olas del mar en la costa, el efecto del deshielo de los glaciares y otras causas como las variaciones de temperatura. Estos agentes exógenos son responsables de la fragmentación de las rocas, lo que da lugar a la formación de partículas inorgánicas que son los constituyentes de los suelos.
- **Desprendimiento químico.** El término "meteorización" se refiere al proceso por el que las rocas sufren tanto una desintegración física como una posterior transformación química. Las rocas se meteorizan y fragmentan por acción física, como la exposición a las corrientes de agua, el viento, las olas del mar y el deshielo



de los glaciares. Sin embargo, la modificación química afecta a la composición mineralógica de las rocas. El segundo fenómeno tiene lugar como resultado de una serie de procesos, que incluyen, entre otros, la interacción con el dióxido de carbono presente en el aire y la oxidación que se genera por la presencia de agua presente. Estas transformaciones químicas tienen un impacto sustancial en el contenido y la estructura de las rocas inicialmente presentes.

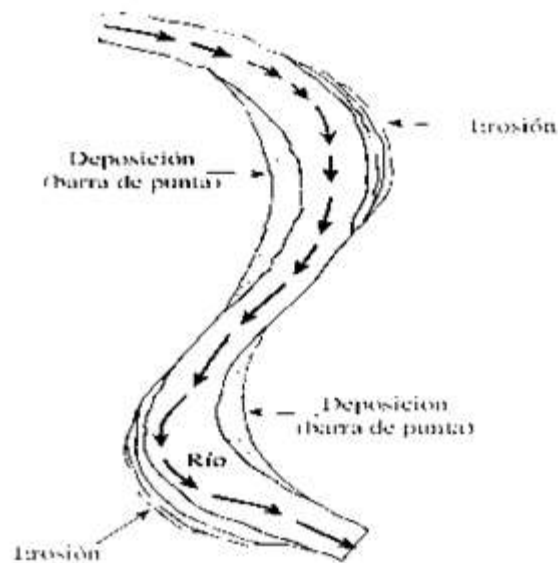
#### 2.2.4.2 Cantera de suelo granular

En el contexto de la industria de la construcción y la obra civil, el término "cantera" se refiere al lugar geográfico donde tiene lugar la extracción de los materiales que se emplean con estos fines. Son varios los procesos de explotación que pueden darse en este lugar. Estos procedimientos varían en función del origen y la naturaleza del material presente en el yacimiento. Existen dos categorías distintas que pueden aplicarse a los materiales que se extraen de las canteras en la actualidad.

- **Cantera de tipo aluvial.** El término "cantera aluvial" se refiere a un tipo específico de cantera en la que los materiales de construcción se depositan en forma de depósitos aluviales, que son depósitos consecuencia de procesos de erosión fluvial y transporte. Estos depósitos suelen consistir en una combinación de arena, grava, limo y elementos pétreos de mayor tamaño. Estos materiales se han depositado y recogido como resultado de la acción del agua en ríos, arroyos u otros cursos de agua. El proceso de explotación de canteras aluviales implica la recuperación de estos materiales mediante procedimientos de excavación y dragado para su posterior procesamiento y utilización en la construcción y otros aspectos del mercado.

Figura 5

*Transito de cantera aluvial*



- **Cantera tipo residual.** En el contexto de la explotación de canteras, el término "cantera de tipo residual" se refiere a un tipo de extracción de material que se descubre en el mismo sitio donde se generó inicialmente, ya que se encuentra en el lugar donde comenzó. La extracción de material que ha quedado en el lugar por procesos geológicos naturales, como la erosión, la sedimentación o la acumulación de sedimentos, es el proceso que interviene en este tipo de cantera. Este tipo de cantera suele encontrarse en regiones donde los procesos naturales han dejado depósitos de material valioso, como arcilla, arena, grava u otros tipos de roca. Cuando se trata de este tipo de cantera, la extracción puede llevarse a cabo mediante técnicas de excavación a cielo abierto o técnicas de minería subterránea, dependiendo de las características del yacimiento y de su profundidad.

#### 2.2.4.3 Tipos de suelo por su gradación

Según Bañón (2010), la distribución de tamaños de partículas dentro de un suelo tiene un efecto significativo. Además, esta distribución ofrece información sustancial sobre el comportamiento del suelo. Existen dos tipos principales de gradaciones que pueden

encontrarse en los suelos: los suelos pobremente graduados, que tienen una distribución limitada de tamaños de partículas, y los suelos bien graduados, que tienen una distribución más equilibrada de tamaños de partículas. Ambos tipos de suelos se distinguen entre sí. En lo que respecta a las capas granulares del firme, Blázquez y García (2010) subrayan la importancia de los suelos bien graduados. Esto se debe a que los suelos bien graduados contribuyen a la reducción de huecos, lo que a su vez promueve el aumento de la densidad, la estabilidad y la capacidad de soporte.

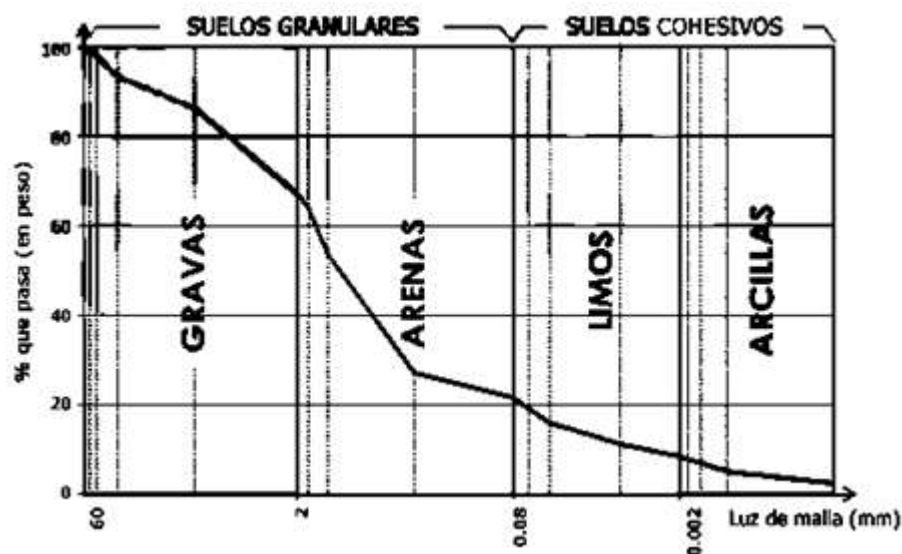
### 2.2.4.4 Propiedades de los suelos para bases granulares

Según Beviá y Bañón (2010), el objetivo principal de las propiedades de un suelo es proporcionar el mayor nivel posible de estabilidad mecánica. Esto se logra asegurando que las tensiones se transmitan de manera gradual y uniforme, evitando así el hundimiento excesivo o incluso el colapso. Según el Manual los siguientes ensayos se realizan con el propósito de determinar sus características.

- **Ensayo por tamizado.** Empleando una serie de tamices con aberturas normalizadas de acuerdo con los requisitos de la serie ASTM.

Figura 6

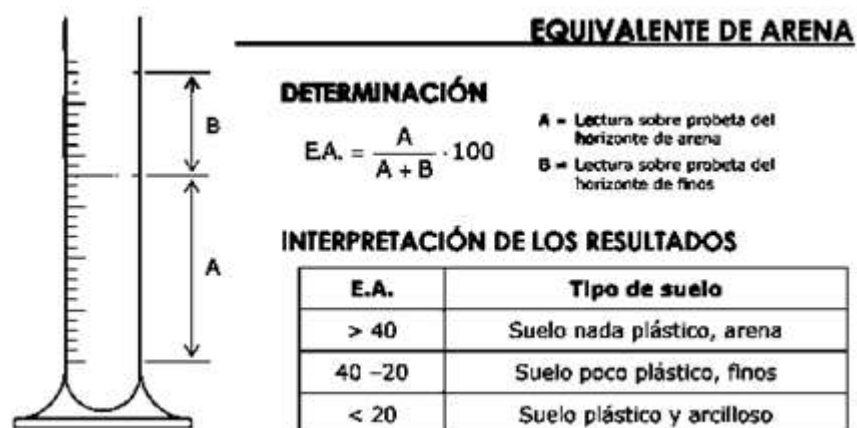
*Suelos granulares y cohesivos*



- **Clasificación.** Una descripción precisa y completa extremadamente diferentes en naturaleza y composición, puede obtenerse mediante el uso de un sistema de categorización, como indica Das (2015).
- **Estados de consistencia.** Los hallazgos de Bañón y Bevíá (2010) indican que el agua juega un papel crucial, particularmente sison más pequeñas. Este fenómeno es mucho más prominente en suelos que tienen una mayor proporción de arcilla, donde la interacción superficial tiene un papel predominante.

Figura 7

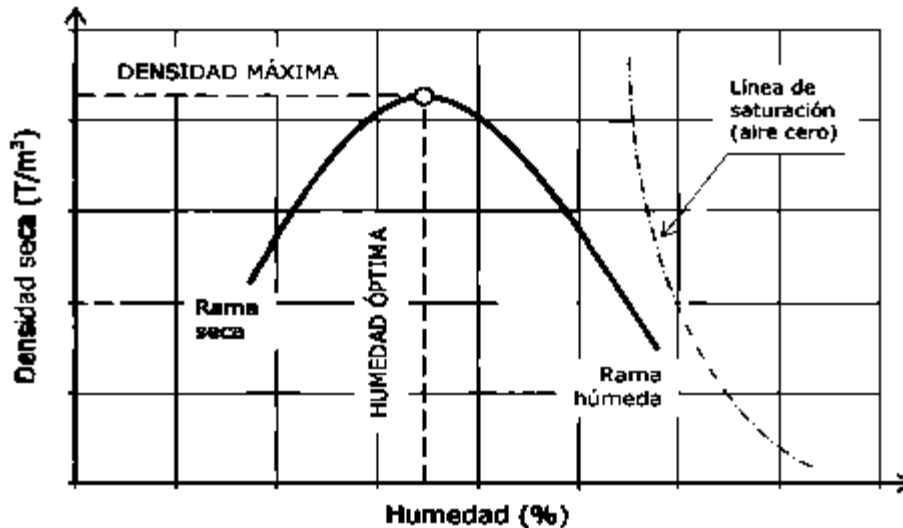
Condiciones de equivalente de arena



- **Compactación Proctor modificado.** Al estar fuertemente ligada a la capacidad de deformación, resistencia y estabilidad de la carretera, la compactación es una característica que emerge como de suma importancia, tal y como afirman Bevíá y Bañón (2010).

Figura 8

Condiciones de Proctor modificado



- **Capacidad de carga.** Cuando se trata de ingeniería de pavimentos, una de las características más importantes de un suelo es su capacidad de soporte. El índice de resistencia a la compresión del suelo (CBR) es un indicador típico y muy utilizado en el proceso de determinación del valor portante de un suelo en las carreteras.

#### 2.2.4.5 Mejora de carpeta asfáltica

Según Fonseca (1998), el proceso de mejora o estabilización de un suelo se lleva a cabo y satisfaga los requisitos deseados en términos de resistencia y durabilidad. Esto se logra ajustando las cualidades de las propiedades físicas del suelo.

- **Mejoramiento químico.** es un procedimiento que consiste en modificar las cualidades físicas y químicas de un suelo para aumentar su resistencia, durabilidad y otras características importantes para su aplicación en proyectos de ingeniería civil. Esto se hace con el fin de que el suelo sea más adecuado para su uso en estos proyectos. Este proceso puede llevarse a cabo utilizando diversos métodos, como la estabilización con asfalto, cemento, cal, cloruro sódico y otros procesos químicos. Estos métodos sirven para aumentar la cohesión del suelo, reducir su expansión y mejorar su capacidad de soporte, lo que a su vez garantiza que el suelo

sea adecuado para su uso en la construcción de infraestructuras viales y otras obras civiles.

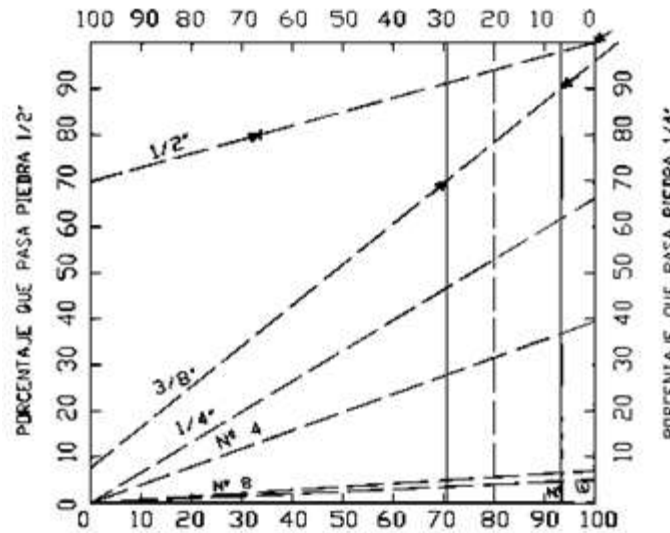
- **Mejoramiento mecánico.** La estabilización de suelos es un proceso que implica la combinación de materiales que tienen cualidades complementarias, como la plasticidad o la gradación, con la intención de mejorar las capacidades mecánicas y estructurales del suelo con el fin de utilizarlo en proyectos de ingeniería civil. La estabilización por compactación y la estabilización por control granulométrico son dos de las muchas formas en que puede llevarse a cabo este procedimiento. Ambos métodos se utilizan para estabilizar el material. En el proceso de estabilización por compactación, el objetivo es aumentar la densidad. Por otro lado, en el proceso de estabilización por control granulométrico, el objetivo es mejorar la resistencia y estabilidad del suelo ajustando la distribución granulométrica

#### 2.2.4.6 Combinaciones de gradaciones

**Método para 2 gradaciones.** El método analítico, también conocido como método de ensayo y error, es una técnica que se utiliza en el campo de la ingeniería para resolver problemas o determinar soluciones. Esta técnica implica la aplicación de cálculos y análisis paso a paso, ajustando los parámetros progresivamente hasta obtener el resultado deseado. Por otra parte, el Instituto del Asfalto ha recomendado un método gráfico basado en representaciones visuales, como gráficos o diagramas, para evaluar y resolver las dificultades asociadas al diseño y la ingeniería de las mezclas asfálticas.

#### Figura 9

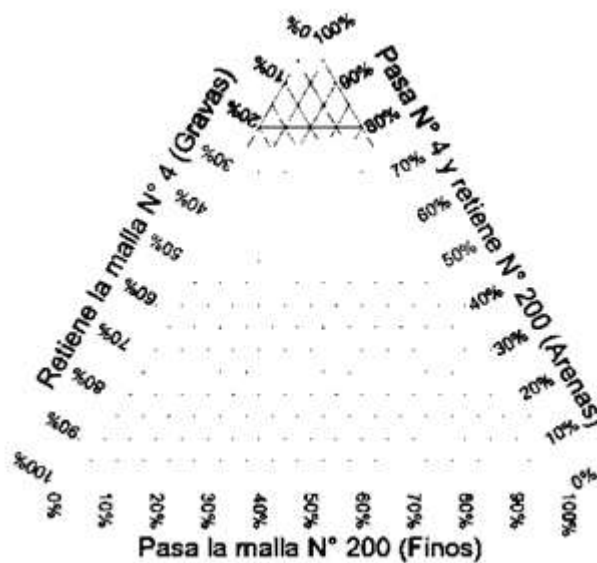
*Abaco para medición de gradaciones*



**Método para 3 gradaciones.** En ingeniería, los procedimientos de ensayo y error son procesos analíticos que se utilizan para resolver problemas o llegar a soluciones. Estos métodos implican iterar y alterar gradualmente los factores implicados para alcanzar el mejor resultado posible. El método gráfico triangular, por su parte, las mezclas, especialmente. En este método, las proporciones de los componentes se representan en un triángulo equilátero relativas a la formulación de mezclas.

Figura 10

Abaco de porcentajes que pasan(arenas , gravas, finos)



## 2.2.5 Requerimientos de materiales para bases-granulares

### 2.2.5.1 Base granular

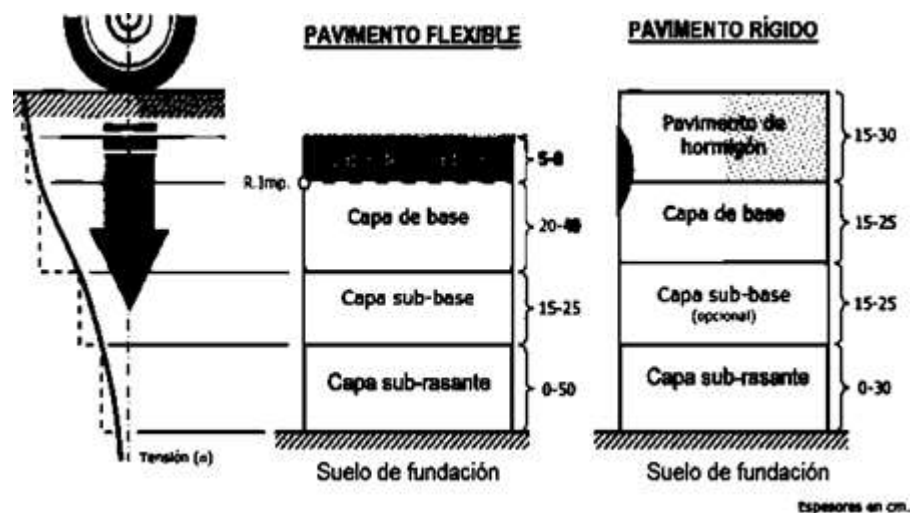
La expresión "base granular" hace referencia al componente de una carretera que se encarga de recoger, absorber y distribuir las cargas generadas por el tráfico de vehículos. Este componente es fundamental y crucial para el desarrollo de una carretera. En los pavimentos rígidos y semirrígidos ya no es necesaria una capa inferior porque la responsabilidad de soportar las fuerzas se reparte entre la capa de base y la capa de rodadura.

### 2.2.5.2 Sub - base granular

Cuando se construyen carreteras asfaltadas, casi siempre se utiliza la subbase, que está situada entre la capa de base y la capa de base del pavimento. Se puede caracterizar como una base de peor calidad, con una función más centrada en el drenaje y la economía. Su objetivo principal es facilitar la evacuación del agua para evitar su acumulación en las capas superiores.

Figura 11

*Especificaciones de pavimento flexible y rígido*





### **2.2.5.3 Función de la base granular**

Según Solano y Enrique (2014), el objetivo principal de la base granular es disminuir el espesor necesario de la capa de pavimento asfáltico, que suele ser más cara. El resultado es un procedimiento más rentable para la construcción de carreteras. Beviá y Bañón (2010), por su parte, destacan que la base granular desempeña un papel importante para evitar que el material granular pierda partículas finas debido a la erosión, a la vez que funciona como un sistema de drenaje para la superficie del pavimento.

Según Becerrit (2008), el objetivo principal de la base granular es absorber, distribuir y transmitir al suelo de cimentación las tensiones generadas por el tráfico. En consecuencia, la base granular desempeña un papel estructural esencial en la construcción de pavimentos.

La base granular de un pavimento cumple numerosas funciones, todas ellas necesarias para el rendimiento y la durabilidad del pavimento. En primer lugar, trabaja para reducir la cantidad de deformaciones por tracción que pueden tener lugar como resultado de la acción del tráfico de automóviles. Además de esto, tiene la capacidad de disminuir las tensiones verticales que son causadas por los pesos del vehículo distribuyéndolos uniformemente a través del suelo. Además, evita la acumulación de cargas en zonas concretas del pavimento, factor que contribuye a prevenir la formación de variaciones localizadas. Otra característica esencial es que es capaz de facilitar el drenaje eficaz del agua que ha penetrado en el pavimento. Esta característica contribuye a garantizar que la estructura siga siendo estable y resistente. Por último, pero no por ello menos importante, reduce la flexibilidad y elasticidad del suelo, especialmente cuando está húmedo, lo que garantiza una base firme y resistente para el pavimento.

### **2.2.5.4 Materiales que se emplean en la base granular**

Así como de materiales procesados, como piedra triturada, o incluso una combinación de ambos. Esto se ajusta a los criterios que se establecieron en el Manual de



Carreteras en 2013. No obstante, es de suma importancia que estas partículas posean cualidades particulares, como ser duras y resistentes, y además, no deben contener una cantidad excesiva de granos planos o alargados. Además, para garantizar la integridad y la eficacia de la base granular en la construcción de pavimentos, es esencial que sean duraderas y estén desprovistas de componentes orgánicos o productos químicos potencialmente peligrosos, como las arcillas.

### **2.2.5.5 CBR**

En cuanto a sus cualidades mecánicas, la cimentación granular debe poder cumplir las normas que se enumeran a continuación, donde los valores se representan como porcentaje de la Densidad Máxima en Seco (DMS):

## **2.2.6 Clasificación de los suelos**

Uno de los factores que se tienen en cuenta a la hora de clasificar el suelo es su origen biológico, que puede ser orgánico o inorgánico. Una vez que se han descompuesto el lugar donde se originaron, lo que finalmente da lugar a la producción de un suelo que conserva algunas de sus características originales.

Según Crespo Villalaz (2013), si el proceso se desarrolla según lo previsto, dará lugar a la movilización del suelo independientemente del agente portador que intervenga en el proceso. El agua, la gravedad o el aire son ejemplos de este agente. Este fenómeno también ocurre en suelos orgánicos, donde resulta en la creación de humus u otros componentes que aún no se han descompuesto.

### **2.2.6.1 Grava**

El tamaño de las gravas puede oscilar entre 2 y 75 milímetros, y son materiales pétreos naturales que se encuentran en forma de fragmentos de roca. El tipo de proceso de abrasión al que se han sometido estos fragmentos determina en última instancia si son



angulares, subredondeados o redondeados. Las gravas pueden utilizarse en una amplia variedad de aplicaciones, que van desde la construcción de carreteras y pavimentos hasta el uso de hormigón y relleno en instalaciones de obras civiles. Las gravas se clasifican según su origen geológico y la composición mineralógica de sus componentes. Estos materiales son extremadamente adaptables y vitales en todo el sector de la construcción y la ingeniería civil.

### **2.2.6.2 Arena**

Las arenas son materiales granulares que se producen de forma natural y están formadas principalmente por partículas minerales cuyo tamaño oscila entre 0,0625 mm y 2 mm como constituyente primario. Entre estas partículas puede haber cuarzo, feldespato, calcita e incluso otros minerales. Las arenas pueden encontrarse en una gran variedad de entornos, como fondos fluviales, playas, desiertos y lugares aluviales. Las arenas se utilizan en una amplia gama de aplicaciones debido a su tamaño de grano y a su capacidad para filtrar. Algunos ejemplos de estas aplicaciones son la creación de hormigón, la construcción de carreteras, la filtración de agua y la producción de vidrio. Es fundamental tener en cuenta su composición mineralógica, forma del grano y grado de limpieza a la hora de determinar si son adecuadas o no para diversas aplicaciones en el sector de la construcción y otros campos de actividad.

### **2.2.6.3 Limo**

Los limos son partículas del suelo con un tamaño de grano intermedio entre el de las arcillas y el de las arenas. En general, los diámetros de las partículas de limo oscilan entre 0,002 mm y 0,0625 mm. Con el paso del tiempo, las rocas y los minerales se han descompuesto, lo que ha dado lugar a la formación de estas partículas. El limo es un tipo de limo que suele encontrarse en sedimentos depositados por glaciares, ríos, lagos y mares. Tiene una textura áspera y fina al tacto. Como los limos se componen de granos



muy pequeños, poseen la capacidad de retener agua y nutrientes, lo que los hace excelentes para su uso en agricultura como suelo fértil. Además, los limos se utilizan en la producción de ladrillos, morteros y cerámicas en la industria de la construcción. Esto se debe a que los limos se emplean en la fabricación de morteros. Por otro lado, su considerable plasticidad puede resultar problemática en determinados entornos de construcción, sobre todo en lo que respecta a la compactación y la estabilidad.

#### **2.2.6.4 Arcillas**

Una arcilla es un tipo de partícula del suelo con un diámetro inferior a 0,002 milímetros y de grano excepcionalmente fino. Estas partículas extremadamente diminutas son el producto final de la desintegración de minerales de silicato que se ha producido durante largos periodos de tiempo geológico. Las arcillas se caracterizan por su estructura cristalina y su gran capacidad para retener agua, lo que les permite exhibir cualidades flexibles y cohesivas cuando están húmedas. Debido a su fluidez, son valiosas en la producción de ladrillos, cerámica y otros materiales que se utilizan en la construcción. Sin embargo, la misma plasticidad puede ser problemática en la construcción de carreteras porque puede hacer que se expandan cuando están húmedos y se contraigan cuando están secos. Esto puede provocar grietas y distorsiones en las estructuras de la obra. Además, las arcillas son impermeables al agua y pueden provocar problemas de drenaje si están presentes en capas pesadas cerca de la superficie.

#### **2.2.7 Clasificación de los suelos**

El tamaño de las partículas, el contenido mineralógico y la plasticidad son algunas de las características que se utilizan para clasificar los suelos. También se tienen en cuenta algunas de estas características. Una de las clasificaciones más populares se basa en el tamaño de las partículas, que divide los suelos en tres categorías principales: arcillas, limos y arenas. Las arenas son suelos con partículas gruesas cuyo diámetro oscila entre 0,05



mm y 2 mm y tienen una textura granular. Las arenas se clasifican como suelos granulares. En cambio, los limos se caracterizan por tener partículas más finas que las de las arenas. Sus diámetros oscilan entre 0,002 mm y 0,05 mm, y su textura es lisa y limosa. Los suelos que contienen partículas más finas, con diámetros inferiores a 0,002 milímetros, y tienen un tacto pegajoso y plástico cuando están húmedos se denominan arcillas.

También existe la posibilidad de clasificar los suelos en función de su composición mineralógica. Los suelos arenosos, los suelos limosos y los suelos arcillosos son las tres categorías principales que se utilizan para clasificar los suelos según esta categorización. La mayoría de los suelos arenosos están formados por partículas de arena, y su textura se describe como áspera y granular. Tienen una textura suave y limosa porque tienen una proporción equilibrada de partículas de limo y arena, lo que les da su aspecto limoso. La mayoría de los suelos arcillosos están formados por partículas de arcilla y, cuando están húmedos, tienen una textura flexible y pegajosa

Por último, pero no por ello menos importante, los suelos también se clasifican según su plasticidad, que engloba la capacidad del suelo para sufrir deformaciones cuando se somete a presión. Los suelos no plásticos y los suelos plásticos son las dos clasificaciones principales según las cuales se clasifican los suelos. Así, los suelos constituidos principalmente por partículas de arena y limo se consideran suelos no plásticos. Estos suelos no se deforman fácilmente cuando se someten a presión. Por el contrario, los suelos plásticos son suelos formados principalmente por partículas de arcilla y se caracterizan por su capacidad para deformarse fácilmente cuando se someten a presión. En el campo de la ingeniería civil, esta categorización es importante porque los suelos plásticos pueden requerir la aplicación de precauciones específicas a lo largo del proceso de construcción para evitar la deformación y el colapso de las estructuras.



### 2.2.8 Granulometría por tamizaje

Se utiliza una técnica conocida como tamizado. Una muestra de suelo se envía a través de una sucesión de tamices de malla que tienen aberturas de tamaño graduado, con aberturas más grandes en la parte superior y aberturas más pequeñas en la parte inferior. Este proceso proporciona a la muestra de suelo una representación más exacta de su composición. Se impide el paso de las partículas de suelo mayores que la abertura de cada tamiz, mientras que las partículas más pequeñas pueden pasar.

Una vez finalizado el proceso de tamizado, se mide y pesa la cantidad de tierra retenida en cada tamiz. Con el fin de determinar el porcentaje de tierra que entra dentro de cada fracción granulométrica, se utilizan estos pesos. Para ilustrar la cantidad de tierra incluida en cada fracción granulométrica, se representa este porcentaje en un gráfico de la distribución granulométrica.

El análisis granulométrico es un componente esencial porque ofrece información valiosa sobre las características físicas del suelo, incluida su textura, gradación y distribución granulométrica. Debido a que influye en características vitales como la capacidad de drenaje, la estabilidad y la resistencia del suelo, este conocimiento es esencial para el diseño y la construcción de obras civiles como carreteras, ya que influye en estas propiedades.

**Granulometría discontinua.** El término "granulometría discontinua", que a menudo se denomina "distribución granulométrica discontinua", se utiliza para describir una distribución granulométrica en la que existen intervalos diferenciados entre las distintas fracciones de tamaño. Las partículas del suelo se agrupan en determinados rangos de tamaño en esta forma de distribución, y hay poca o ninguna transición progresiva entre estos rangos durante este tipo de distribución. Un ejemplo de ello sería la presencia de una alta concentración de partículas en un intervalo de tamaño específico, a la que seguiría una disminución significativa de la concentración en el intervalo de tamaño siguiente.



En los suelos que han estado sometidos a diversos procesos de sedimentación o depósito, como la acumulación de sedimentos en los lechos de ríos o lagos, se observa con frecuencia este tipo de distribución granulométrica. La formación de granulometrías discontinuas puede ser consecuencia de circunstancias deposicionales cambiantes a lo largo del tiempo. Esto ocurre cuando varios procesos de transporte y depósito actúan conjuntamente para producir intervalos discretos entre los tamaños de las partículas. Comprender la distribución granulométrica discontinua de un suelo es esencial. Esto se debe a que permite evaluar el comportamiento mecánico del suelo y determinar si es adecuado o no para aplicaciones concretas, como la construcción de cimientos o la estabilización de taludes.

**Granulometría continua.** El término "granulometría continua" hace referencia a una distribución granulométrica en la que no existen intervalos definidos ni transiciones abruptas entre las distintas fracciones granulométricas. La curva granulométrica no presenta picos ni valles prominentes cuando las partículas del suelo están dispersas. Este tipo de distribución se produce cuando las partículas del suelo están repartidas uniformemente en una gama de tamaños. Dicho de otro modo, las partículas de distintos tamaños están presentes en proporciones que son más consistentes, lo que da lugar a una distribución progresiva de los tamaños de las partículas. Un ejemplo típico de este tipo de distribución granulométrica puede encontrarse en suelos que han estado sometidos a procesos de transporte y deposición uniformes, como la acumulación de limo en llanuras aluviales o playas. Es posible que la granulometría continua sea el producto de circunstancias deposicionales estables que han persistido durante largos periodos de tiempo. Los sistemas de transporte, como la sedimentación fluvial o marina, tienden a dispersar las partículas de manera uniforme en función de su tamaño. Cuando se trata de ingeniería civil e ingeniería geotécnica, tener un conocimiento sólido de la distribución granulométrica continua de un suelo es esencial para identificar su comportamiento



mecánico, su capacidad de drenaje y su idoneidad para diversas aplicaciones de construcción.

### 2.2.9 Análisis por tamizaje con hidrómetro

La distribución granulométrica de un suelo se conoce como tamizado hidrométrico. Se coloca una muestra de suelo en un recipiente con agua y se deja que las partículas más finas se dispersen gradualmente en el agua. Este es el comienzo del proceso. A continuación, se mide la densidad del agua a distintos intervalos de tiempo para determinar la cantidad de partículas suspendidas en el agua y sus respectivos tamaños. Esta técnica es especialmente útil para aplicaciones en suelos con partículas diminutas, como los limos y las arcillas.

Para realizar las mediciones a lo largo del proceso de cribado hidrométrico se utiliza un instrumento conocido como hidrómetro, que es un dispositivo que mide la densidad del agua. Se observa que la densidad del líquido aumenta a medida que las partículas pequeñas se diseminan por el agua. Como parte del proceso de elaboración de una curva de sedimentación, se sumerge el hidrómetro en el agua y se registra su lectura en distintos momentos. Esta curva representa la distribución del tamaño de las partículas en el suelo y se utiliza para determinar características como la proporción de partículas finas y el tamaño de las partículas del suelo.

Un método preciso y eficaz para evaluar los suelos con partículas finas es el tamizado hidrométrico. Este método permite una separación más completa de las partículas que otros métodos de tamizado, lo que lo convierte en un método más preciso y eficaz. La geotecnia para determinar si los suelos son adecuados para diversos fines, como la construcción de carreteras, cimientos y estructuras de contención.



### 2.2.10 Tamaño de partículas del suelo

Son ejemplos de sistemas que se utilizan la grava, arena y limo/arcilla son las tres clasificaciones principales que existen dentro del sistema de clasificación de suelos (SUCS). El término "grava" se refiere a las partículas que tienen un tamaño de grano comprendido entre 76,2 mm y 4,75 mm. Un tamaño de grano que oscila entre 4,75 milímetros y 0,075 milímetros es lo que constituye las partículas de arena. En conclusión, el limo y la arcilla son partículas con una granulometría inferior a 0,075 milímetros.

Por otro lado, hay cuatro tipos distintos: grava, arena, limo y arcilla, y los divide en estas categorías. El término "grava" se refiere a las partículas que tienen un tamaño de grano comprendido entre 76,2 mm y 2 mm. La arena está formada por partículas cuyo tamaño oscila entre exactamente 2 milímetros y 0,075 milímetros. La arcilla está formada por partículas con un tamaño de grano inferior a 0,002 milímetros, mientras que el limo se refiere a partículas que tienen un tamaño de grano comprendido entre 0,075 milímetros y 0,002 milímetros.

### 2.2.11 Consistencia del suelo

A la hora de diseñar y construir pavimentos, uno de los factores más importantes que hay que tener en cuenta es la consistencia del suelo. Se trata de un término que describe la resistencia interna de un suelo a los cambios de forma o deformaciones que se producen como consecuencia de fuerzas externas, como la carga que provoca la actividad automovilística. La flexibilidad y la cohesión del suelo, así como permanentes, están estrechamente relacionadas con esta característica del suelo.

Existe una relación significativa entre la uniformidad del suelo y la estabilidad y resistencia de la construcción cuando se trata de pavimentación. Es posible que un suelo soporte las cargas del tráfico de automóviles sin experimentar deformaciones graves si tiene una consistencia aceptable. Esto garantizará que el pavimento. Por el contrario, un suelo que tenga una consistencia deficiente puede volverse maleable cuando se somete a



cargas, lo que puede dar lugar a la producción de deformaciones permanentes como grietas y baches, que amenazan la seguridad y la eficacia del pavimento.

Al seleccionar los materiales para la base y la subbase del firme, así como al calcular la resistencia estructural del firme en su conjunto, los ingenieros de firmes tienen en cuenta la consistencia del suelo. Para determinar la consistencia de los suelos y clasificarlos en función de su flexibilidad y cohesión, se utilizan ensayos. Es posible emitir juicios bien fundados sobre el diseño y la construcción de pavimentos capaces de satisfacer los criterios de carga y durabilidad para un comportamiento óptimo a lo largo de su vida útil, siempre que se disponga fácilmente de esta información.

### 2.3 Marco conceptual

- **Abrasión**

El término "abrasión" describe el desgaste gradual que se produce en una sustancia como resultado de la fricción y el contacto repetitivo con otro material más abrasivo, áspero o duro.

- **Área de expansión**

Una zona de expansión es una porción concreta de un suelo, situada normalmente debajo de una estructura o pavimento, en la que el volumen del suelo aumenta como consecuencia de la absorción de agua u otras sustancias que provocan su expansión. La expresión "zona de expansión" se utiliza para describir esta región.

- **Base granular**

Dentro de la estructura de un pavimento, la "base granular" es una capa que. Con el fin de proporcionar soporte estructural al pavimento, se compone de un material granular, como piedra triturada o grava, que se deposita y compacta.



- **Cantera**

Una "cantera" es un lugar o zona geográfica que se utiliza para la extracción de materiales pétreos, que se emplean sobre todo en los sectores de la construcción y la industria. Estos materiales pétreos incluyen rocas, piedras naturales, arena, grava y arcilla.

- **Capacidad de soporte del suelo**

La capacidad de un suelo para absorber las cargas que se le aplican sin experimentar asentamientos graves ni fallos estructurales se denomina resistencia a la compresión.

### **Capacidad de carga ultima**

Cuando hablamos de la "capacidad de soporte última" de un suelo, nos referimos a la carga máxima que es capaz de soportar antes de empezar a colapsar o fallar catastróficamente. Como elemento crítico en la construcción de cimientos y estructuras, es una representación de la resistencia máxima del suelo cuando se somete a una carga aplicada.

- **Clasificación de suelos**

El término "clasificación de suelos" hace referencia al proceso por el que los suelos se clasifican en varios grupos o clases en función de las cualidades físicas, químicas y mecánicas que poseen.

- **Compactación**

El aumento de la densidad de un suelo mediante la aplicación de fuerzas mecánicas es el objetivo del proceso tecnológico conocido como "compactación", que se utiliza en los campos de la ingeniería civil y geotécnica.



- **Geotecnia**

Es un subcampo de la ingeniería civil que se centra en la investigación de las características y acciones de las rocas y el suelo en relación con la construcción de proyectos de ingeniería.

- **Gradación**

La distribución granulométrica es un término que se utiliza en el campo de la ingeniería civil para describir la distribución de los distintos tamaños de partículas presentes en materiales granulares como el suelo, la arena, la grava o los áridos.

- **Índice CBR**

La capacidad de soporte relativa de un suelo es una medida que se toma cuando el suelo se compacta en determinadas condiciones y luego se carga.

- **Mejoramiento de suelos**

La modificación de las características físicas, mecánicas o químicas de un suelo con el fin de aumentar su capacidad de carga, resistencia, estabilidad, durabilidad u otros atributos deseables para un determinado proyecto de ingeniería se denomina modificación del suelo.

- **Pavimento**

La construcción de una estructura sobre la superficie del suelo con la intención de producir una superficie apta para el tránsito tanto de peatones como de automóviles.

- **Resistencia al suelo**

Se refiere a la capacidad de un suelo para soportar cargas sin sufrir una cantidad excesiva de fallos o deformaciones.



- **. Sub base granular**

Consiste en una capa de material granular que se coloca inmediatamente encima de la subrasante durante la construcción del pavimento. El objetivo principal de este componente es proporcionar una base sólida y duradera para el pavimento.



## CAPITULO III

### METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

#### 3.1 Enfoque de investigación

Para dar respuesta a las preguntas de investigación y validar las hipótesis elaboradas en el pasado, el enfoque cuantitativo es una estrategia que se basa en la recogida y el análisis de datos. El proceso se basa en la medición numérica, el recuento y, con frecuencia, la aplicación de métodos estadísticos para detectar adecuadamente patrones de comportamiento dentro de un grupo específico.

#### 3.2 Método de investigación

Al realizar esta investigación, se utiliza el enfoque científico. Esta metodología tiene una serie de componentes, como la observación, la formulación de hipótesis, el diseño de experimentos o estudios, la recogida de datos y el análisis de los mismos, y la interpretación de los resultados, que consta de una secuencia de fases interconectadas. El objetivo es desarrollar un conocimiento fiable y verificable mediante la utilización del método científico. Este conocimiento se basará en datos empíricos y estará abierto a la crítica y la revisión por parte de la comunidad científica.



### 3.3 Tipo de investigación

La investigación es de tipo aplicada, al realizar este tipo de estudios, los investigadores hacen uso de ideas e información científicas con el fin de dar respuesta a obstáculos precisos a demandas prácticas, como las aplicables en el campo de la ingeniería civil.

### 3.4 Nivel de Investigación

La investigación es de nivel explicativo, se centra en describir y caracterizar fenómenos, circunstancias o acontecimientos tal y como ocurren en la realidad, con la modificación de variables, estableciendo vínculos causales para los fenómenos, situaciones o acontecimientos que se describen. El propósito de este tipo de investigación es crear una imagen completa y precisa de un tema de investigación concreta mediante la identificación de los rasgos, propiedades y comportamientos del sujeto en cuestión. Este enfoque hace uso de varias herramientas y procedimientos, como observaciones, muestreo de materiales, combinaciones y la medición de los efectos causados.

### 3.5 Diseño de investigación

La investigación es de diseño experimental, el objetivo de la manipulación de la variable independiente es provocar un cambio en la variable dependiente. Esto permite medir el grado de efecto que la variable independiente tiene sobre la variable que se manipula. Para garantizar que los cambios en la variable dependiente son resultado directo de los cambios en la variable independiente, es esencial asegurarse de que el experimento se realiza con control interno. El uso de la asignación aleatoria, que implica asignar aleatoriamente a cada participante a uno de los muchos grupos de tratamiento, ayuda a controlar las variantes extrañas y garantiza la validez de los resultados que se producen. Esto se hace para evitar el efecto de factores no deseados.



## **3.6 Población y muestra**

### **3.6.1 Población**

Consiste en la explotación de la cantera ubicada en Yocará, donde se extraen suelos residuales y agregados de piedra triturada destinados a la industria de la construcción, específicamente para la preparación de bases granulares utilizadas en la construcción de pavimentos.

### **3.6.2 Muestra**

Se refiere al material granular que atraviesa el tamiz de tamaño N° 200, equivalente a 75 mm, proveniente de los suelos extraídos de la cantera Yocará, así como la piedra triturada que pasa a través del tamiz de tamaño N° 4 en la planta trituradora.

#### **3.6.2.1 Muestreo**

Una carretera asfaltada, especialmente la autopista Héroes de la Guerra del Pacífico, también conocida como la ruta Juliaca-Cabanillas, proporciona acceso a la cantera, que está situada en el pueblo de Yocará, a unos 17 kilómetros de distancia. Yocará forma parte del distrito de Juliaca, situado en la provincia de San Román. Fue necesario recoger muestras de un tamaño inferior a cinco centímetros para poder llevar a cabo los diferentes procedimientos analíticos y pruebas que se requerían.

## **3.7 Técnicas e instrumentos**

### **3.7.1 Técnicas de recolección de datos**

Durante la ejecución del estudio, se utilizó el método de observación y los resultados de las pruebas se registraron en fichas técnicas normalizadas diseñadas para recopilar datos específicos de cada tipo de prueba.



### **3.7.2 Instrumentos de recolección de datos**

1. Equipo electrónico
2. Libros, bibliografía.
3. Equipo de laboratorio.
4. Cámara
5. Cuaderno de apuntes

### **3.8 Validez y confiabilidad de instrumentos**

#### **3.8.1 Validación de instrumentos**

Fueron realizadas por el laboratorio por los expertos que se encuentran en el laboratorio donde se realizaron las pruebas de laboratorio que están normalizados en la MTC E -107, MTC E – 204, EG-2013, CE – 01

#### **3.8.2 Confiabilidad de instrumentos**

Los análisis granulométricos de suelos, así como los ensayos de agregados gruesos y finos. Esto se hará con el fin de garantizar la fiabilidad de los procedimientos.

### **3.9 Descripción del trabajo de investigación**

#### **3.9.1 Ubicación**

Está situado en el barrio de Yocará, que dista 17,3 kilómetros de la ciudad, y se encuentra dentro de los límites del distrito de Juliaca, que forma parte de la provincia de San Román. A esta localidad en particular se puede llegar por medio de una carretera asfaltada que forma parte de la ruta Héroes de la Guerra del Pacífico, que sirve de conexión entre Juliaca - Cabanillas.

### 3.9.2 Aspectos de zona de estudio

La ciudad de Juliaca se encuentra en la meseta de Toropampa, situada en un terreno principalmente llano y con pocas características topográficas notables ha hecho posible que la ciudad experimente un crecimiento y una expansión significativos.

En base a la información recabada, se ha determinado que la planicie-meseta constituye el 95,77% del área poblada de Juliaca. Por otro lado, los distritos cercanos al "valle" representan el 2,22% de la población, mientras que sólo el 2,01% de la población se ubica en la cumbre misma.

### 3.10 Exploración de los suelos de la zona de estudio

Esta prueba está diseñada para evaluar si el suelo es aceptable o no para el fin que se pretende. Al realizar este estudio, se tienen en cuenta las características específicas del proyecto. Estas cualidades pueden identificarse mediante sondeos, pruebas de laboratorio y pruebas de campo. Hemos identificado las cualidades del suelo que nos dan una idea cabal de la capacidad y las limitaciones de esa capa en relación con un determinado plan. Estas propiedades se determinaron a partir del estudio de la capa superficial de la corteza terrestre. Con la ayuda de este estudio se podrá determinar si el suelo analizado cumple o no las normas de aceptación que se exigen para llevar a cabo el desarrollo del proyecto que nos ocupa. Aunque tanto las investigaciones geotécnicas preliminares como las finales se centran en el análisis de las cualidades geotécnicas del suelo, las primeras son más exhaustivas que las segundas, es de suma importancia diferenciar entre las directrices de diseño y los parámetros geotécnicos del suelo. Un proceso de planificación adecuado, eficaz y bien coordinado tiene la capacidad de analizar y procesar los datos recopilados, Además de determinar los parámetros esenciales que caracterizan las cualidades necesarias para la planificación geotécnica y para evaluar el estado del suelo, este proceso también incluye la definición de los parámetros.



### 3.10.1 Reconocimiento del área en estudio

Es necesario recopilar y examinar toda la documentación técnica accesible para cubrir la zona del proyecto. Además de los mapas topográficos y geotécnicos, esta información procede de fuentes y publicaciones tanto generales como locales.

A partir de estas características, es posible identificar y correlacionar las distintas clases de capas superficiales. Estas capas superficiales comprenden diversos tipos de suelo, cada uno de los cuales se examina individualmente con el nivel de detalle necesario.

Además, es de suma importancia evaluar las capacidades del suelo en las que mejor se desempeña para un fin determinado, ya sea en términos de sus características superficiales o analizándolas en su totalidad. Dado que estas cualidades se heredan de la roca madre que yace bajo la superficie, se dice que este proceso es normal.

Las alteraciones en la composición de un elemento que no están relacionadas con su relieve suelen ir acompañadas de fluctuaciones en la calidad del suelo, que pueden tener lugar en distancias relativamente cortas.

### 3.10.2 Planificación de proceso de exploración

El objetivo de la recopilación y el análisis de datos regionales y locales es concentrarse en las características geológicas de los suelos, teniendo en cuenta al mismo tiempo características más generales como las aguas subterráneas presentes en la zona investigada.

Para recopilar información secundaria, es necesario realizar un análisis de los estudios anteriores que se han llevado a cabo sobre el yacimiento y la zona que lo rodea, además de consultar fuentes de datos adicionales.

El examen de cartografía geográfica, fotografías satelitales y capturas aéreas forma parte del proceso de análisis.

La inspección sobre el terreno debe realizarse en la región de exploración para investigar las condiciones geológicas de la superficie, identificar y delimitar las formaciones



geológicas que allí se encuentran, caracterizar las características observables de estas formaciones y comparar estas características con los datos cartográficos disponibles. El objetivo es identificar el tipo de suelo, así como las características de las rocas que allí se encuentran, y evaluar la influencia potencial que estos factores podrían tener en los proyectos de construcción.

**3.11 Trabajos in – situ**

**3.11.1 Exploración**

Para llevar a cabo esta investigación se han utilizado distintos enfoques; sin embargo, en lo que respecta a la exploración de campo, se ha seleccionado el método cuarteo por ser el más adecuado para cumplir los objetivos planteados.

**3.11.2 Ubicación de los puntos de exploración**

Dentro del pueblo de Yocará, ubicado en el Distrito de Juliaca, Provincia de San Román, se encuentra a una distancia cercana de 17 kilómetros. Se accede por una carretera asfaltada que forma parte de la carretera del pacifico comúnmente conocida como la carretera que une Juliaca y Cabanillas.

**Tabla 2**

*Cantera Yocará*

Cantera	Muestra	Ubicación	
		Este	Norte
Yocará	M-1	379420.00	8287880.00

**3.11.3 Registros y consideración de muestras**

Es de suma importancia recoger una cantidad suficiente de muestras de la capa superficial para extraerlas en bolsas y examinar las características de las muestras. Para tener éxito, es esencial recoger muestras en bolsas en cantidades considerables. Se prevé



que el alcance de los análisis y evaluaciones previstos permita comprender mejor las características del suelo de cantera que se va a utilizar para los pavimentos que se están desarrollando actualmente. Las cualidades específicas de las muestras se determinarán mediante los análisis, que harán uso del número de muestras extraídas.

#### **3.11.4 Registros y consideración de muestras**

Se hizo una representación gráfica de la curva granulométrica creada a partir de los resultados obtenidos en la prueba anterior. Después, esta curva se comparó con las limitaciones granulométricas mínimas y máximas que se crearon para las bases de pavimento granular. Más precisamente, esta comparación se realizó de acuerdo con la "Gradación Tipo A" que se describe en las Especificaciones Generales de 2013 del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC).



## CAPITULO IV

### ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

#### 4.1 Resultados obtenidos

##### 4.1.1 Propiedades físicas y mecánicas de suelos de la cantera Yocará – distrito de Juliaca

Con el fin de determinar las características de los suelos extraídos de la cantera de Yocará, se han desarrollado una serie de pruebas particulares. El uso de estas pruebas permite obtener una imagen completa de las características del suelo en cuestión, que se describen en la tabla adjunta.

En el cuadro adjunto se ofrece una imagen más completa de las condiciones del suelo, ya que incluye no sólo los resultados de las pruebas, sino también otra información pertinente para la situación. Con la ayuda de los numerosos datos obtenidos en estas pruebas, es posible realizar un análisis exhaustivo y preciso de las características del suelo.

#### a. Propiedades físicas -Cantera Yocará

##### Granulometría

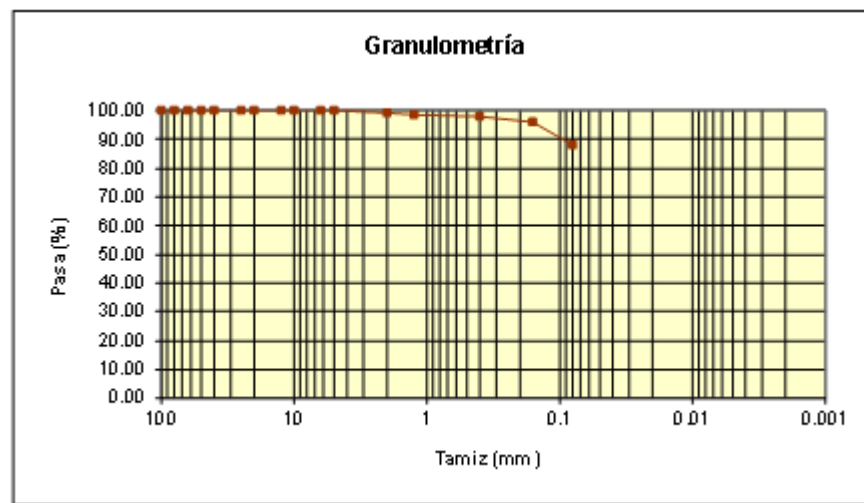
**Tabla 3**

*Resultado de granulometría*

Cantera	Ubicación	Muestra	Porcentaje que pasa							
			3/8"	Nº 04	Nº 10	Nº20	Nº40	Nº50	Nº100	Nº200
C.Yocará	Pto-01	M-01	100.00	100.00	99.730	99.160	98.490	97.910	95.950	87.880
C.Yocará	Pto-02		100.00	100.00	99.940	99.690	99.230	98.790	97.390	93.370
C.Yocará	Pto-03		100.00	100.00	97.160	93.450	88.850	85.540	82.780	71.130
C.Yocará	Pto-04		100.00	100.00	99.760	99.050	97.540	96.820	94.780	83.320
C.Yocará	Pto-05		100.00	100.00	99.610	98.510	96.470	95.770	91.780	74.730

**Figura 12**

*Granulometría calicata 1*



**Figura 13**

*Granulometría calicata 2*

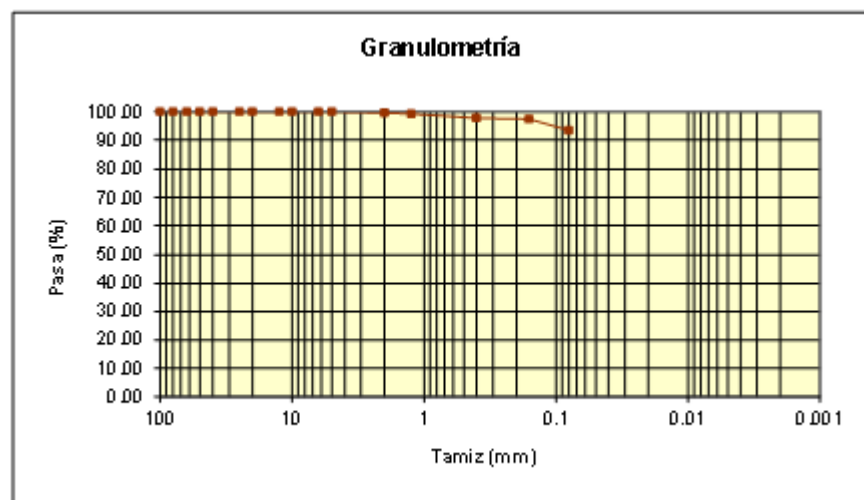
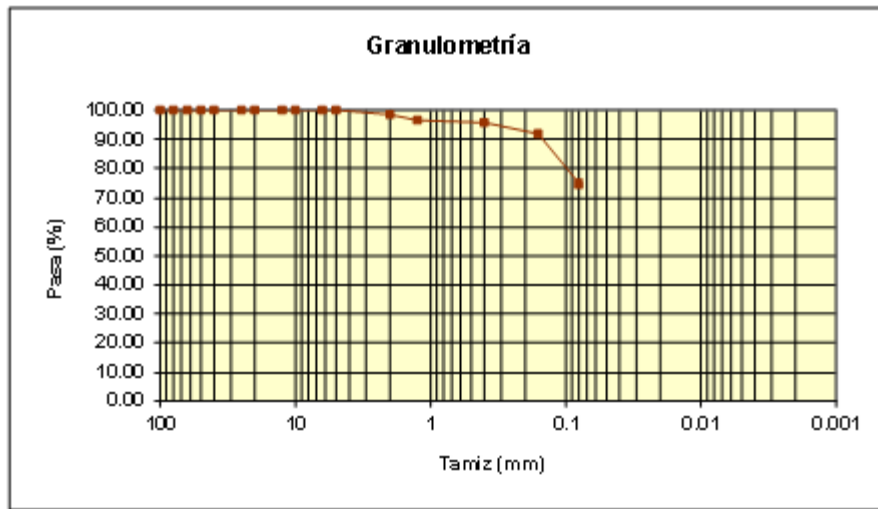




Figura 16

Granulometría calicata 5



**Porcentaje de humedad**

Tabla 4

Resultado de contenido de humedad

Ubicación	Puntos	Muestra	% de contenido de Humedad
Cantera Yocará	Pto-01	M-01	20.350
	Pto-02		41.770
	Pto-03		18.940
	Pto-04		12.760
	Pto-05		14.210

**Límites de consistencia**

Tabla 5

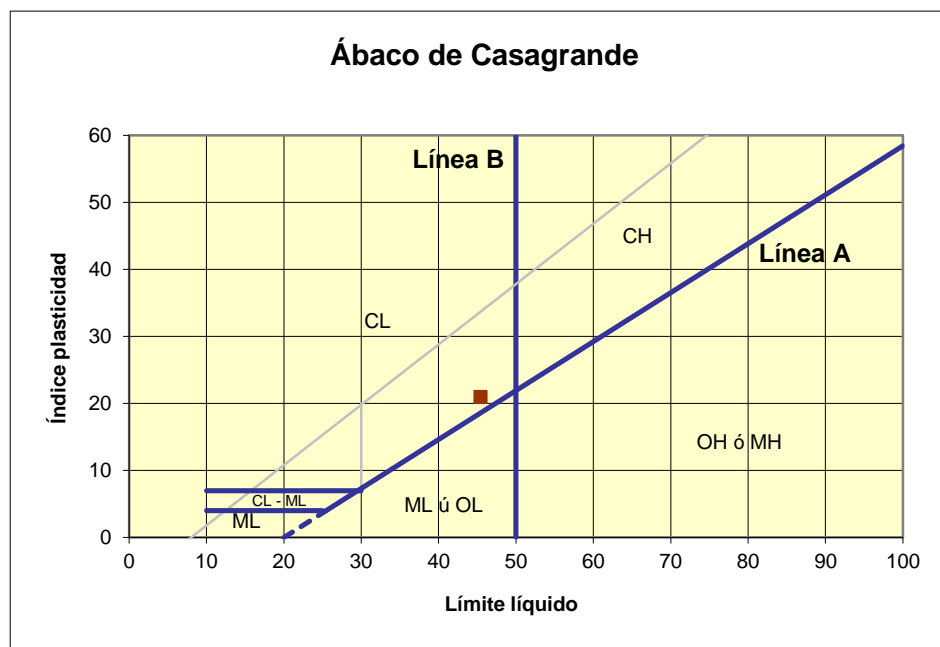
Límites de consistencia

Ubicación	Puntos	Límites		
		L.L.%	L.P.%	I.P. %
Cantera Yocará	Pto-1	45.400	24.420	20.980
	Pto-2	56.870	21.960	34.910
	Pto-3	33.410	20.830	12.590
	Pto-4	45.520	24.460	21.060
	Pto-5	40.150	21.980	18.170

Teniendo en cuenta la profundidad que se investigó, la identificación del tipo de suelo que estaba presente en cada unidad de muestra de las calicatas de prueba es un componente esencial de este punto y uno de los aspectos más importantes. La utilización del sistema de categorización de suelos SUCS fue el medio por el que se cumplió este objetivo. En las tablas siguientes se presenta una revisión de los numerosos tipos de suelo que se descubrieron a distintas profundidades. Las tablas se centran específicamente en una profundidad de 1,50 metros, que fue la profundidad investigada en este estudio.

**Figura 17**

*Abaco de Casagrande – calicata 1*



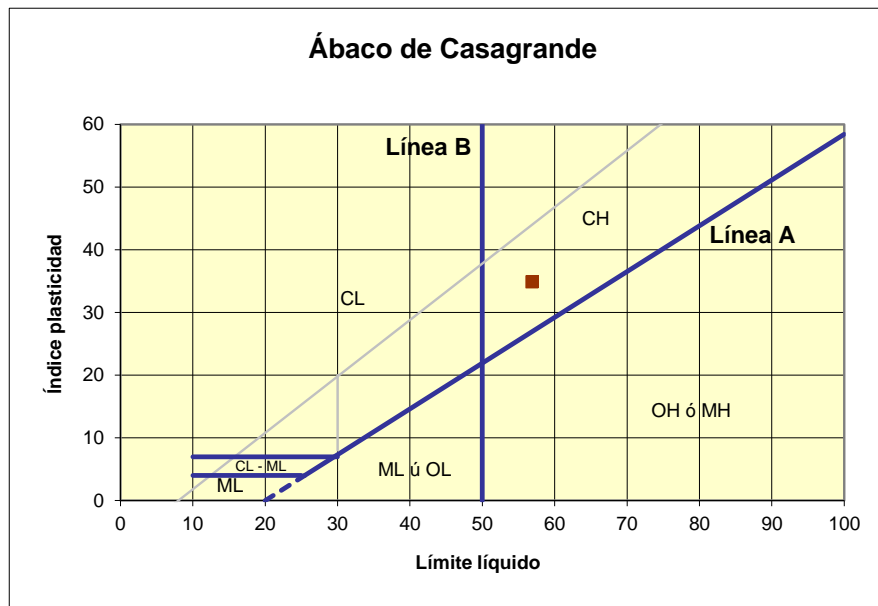
Sistema unificado de clasificación de suelos (S.U.C.S.)

Suelo de partículas finas.

Arcilla media plasticidad CL

**Figura 18**

*Abaco de Casagrande – calicata 2*



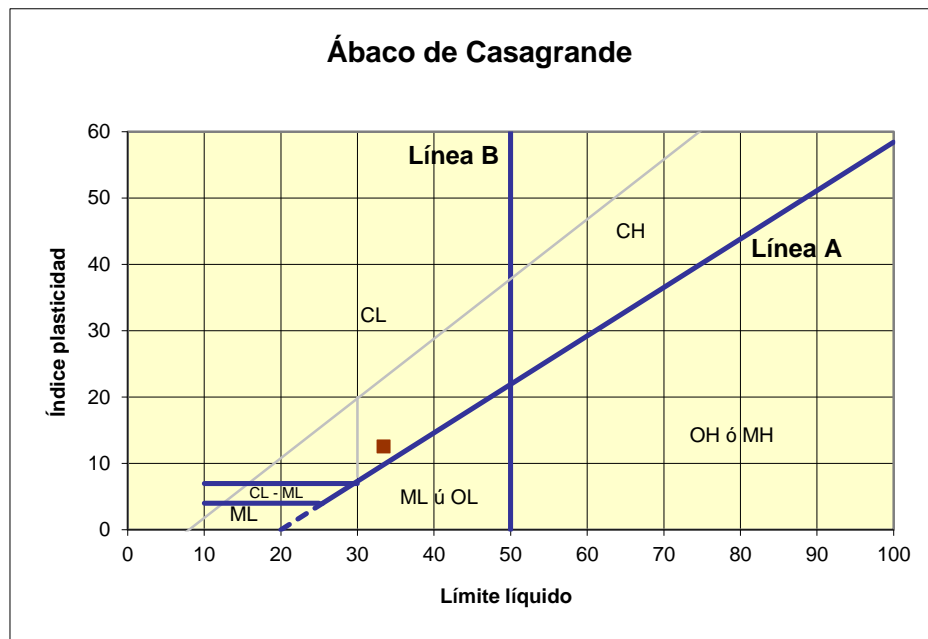
Sistema unificado de clasificación de suelos (S.U.C.S.)

Suelo de partículas finas.

Arcilla alta plasticidad CH

**Figura 19**

*Abaco de Casagrande – calicata 3*



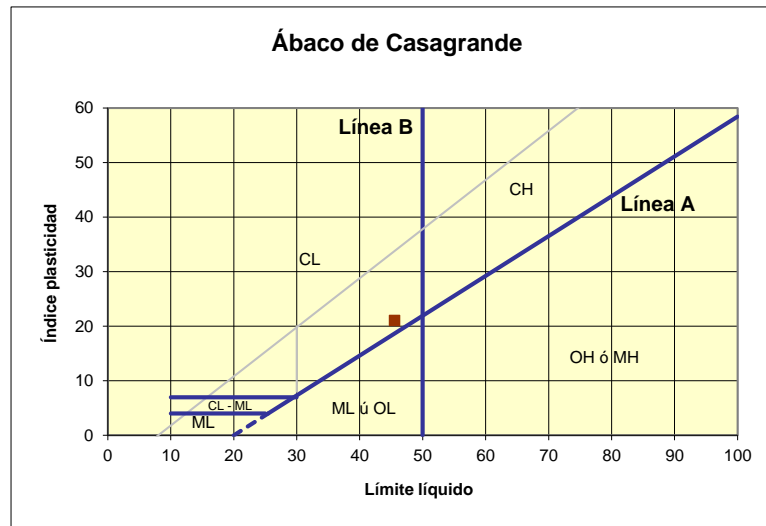
Sistema unificado de clasificación de suelos (S.U.C.S.)

Suelo de partículas finas.

Arcilla media plasticidad con arena CL

**Figura 20**

*Abaco de Casagrande – calicata 4*



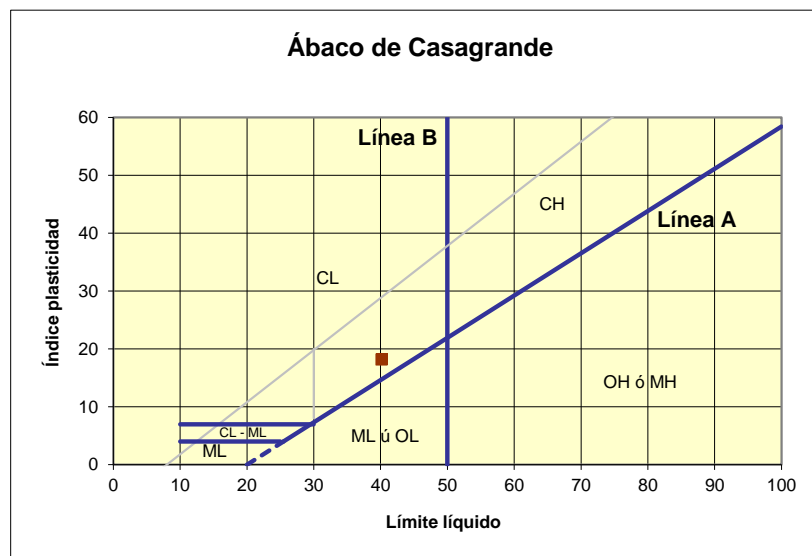
Sistema unificado de clasificación de suelos (S.U.C.S.)

Suelo de partículas finas.

Arcilla media plasticidad con arena CL

**Figura 21**

*Abaco de Casagrande – calicata 5*





Sistema unificado de clasificación de suelos (S.U.C.S.)

Suelo de partículas finas.

Arcilla media plasticidad con arena CL

**Tabla 6**

*Evaluación de suelos*

Ubicación	Puntos	Excavación(m)	Tipo de suelo
Cantera Yocará	Pto-01	1.5	A.F.
	Pto-02	1.5	A.F.
	Pto-03	1.5	A.F.
	Pto-04	1.5	A.F.
	Pto-05	1.5	A.F.

**Cantidad de material por punto de exploración**

- **Punto - 01**  
Material por punto 3.0 m<sup>3</sup>
  
- **Punto - 02**  
Material por punto 5.0 m<sup>3</sup>
  
- **Punto - 03**  
Material por punto 2.0 m<sup>3</sup>
  
- **Punto - 04**  
Material por punto 3.0 m<sup>3</sup>
  
- **Punto - 05**  
Material por punto 5.0 m<sup>3</sup>

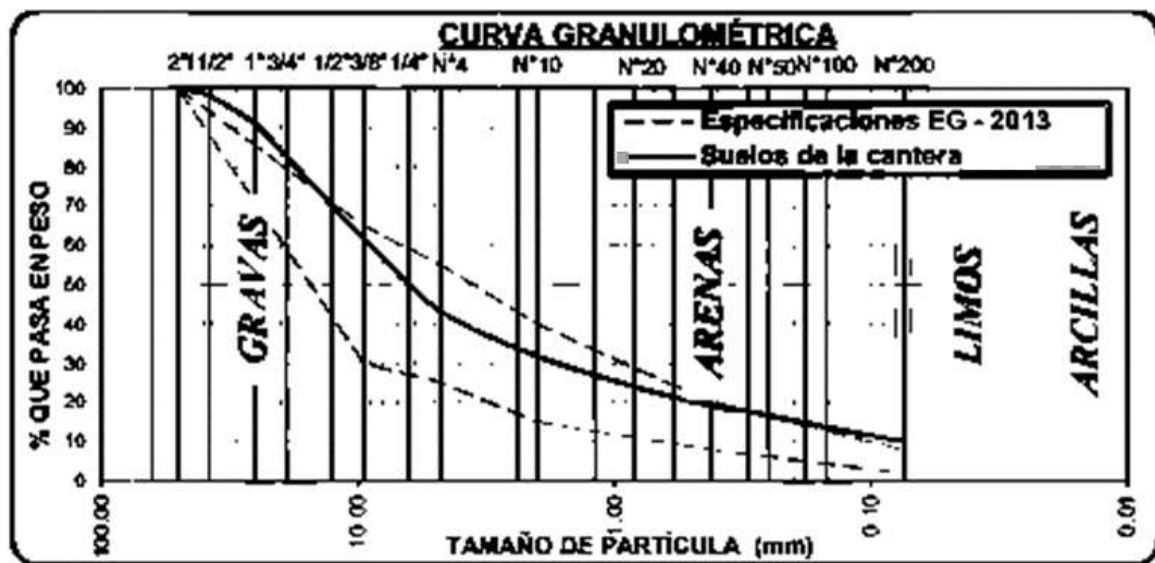
### 4.1.2 Plan de mejoramiento con piedra chancada para pavimentos en bases granulares – distrito de Juliaca

Para diseñar un plan de mejora de las bases granulares de los pavimentos, es fundamental conocer en profundidad los niveles y porcentajes de granulometría que se utilizarán, además de realizar ensayos Proctor Modificado y CBR. Con el uso de estas pruebas y cálculos, podremos diseñar una estrategia integral para mejorar las bases granulares que se utilizan en los pavimentos.

### Gradación y cantidades de piedra triturada para mejoramiento

Figura 22

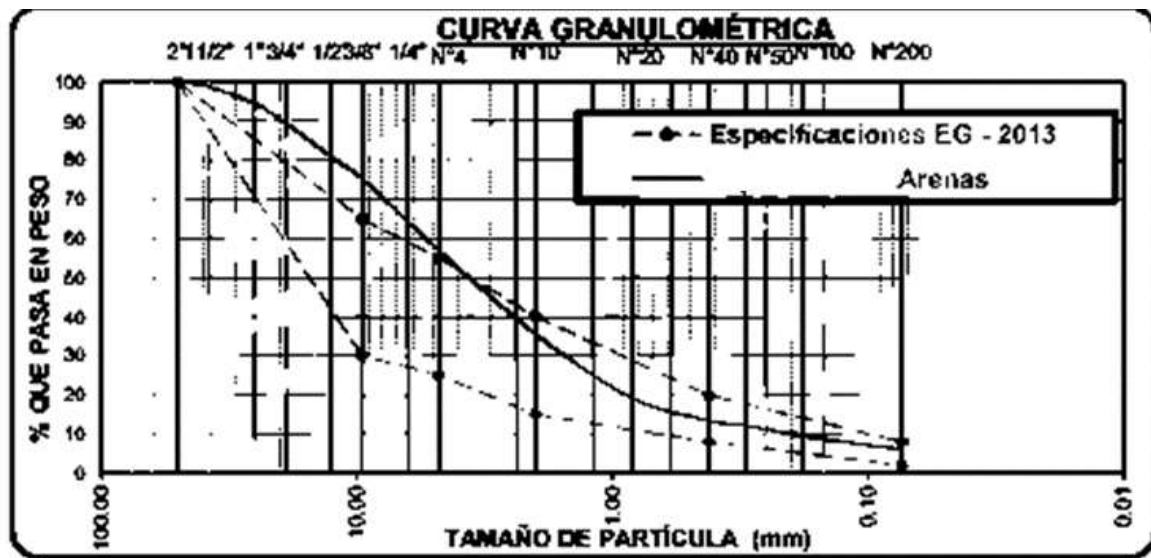
*Curva granulométrica de piedra triturada*



La representación gráfica demuestra que el suelo que se recuperó de la cantera de Yocará posee una distribución adecuada de los diámetros de las partículas, lo que facilita la compactación del suelo. Sin embargo, debido a la alta concentración de partículas pequeñas en este suelo, se ha observado que no excede los límites que se han impuesto en las leyes que se formaron en EG-2013.

Figura 23

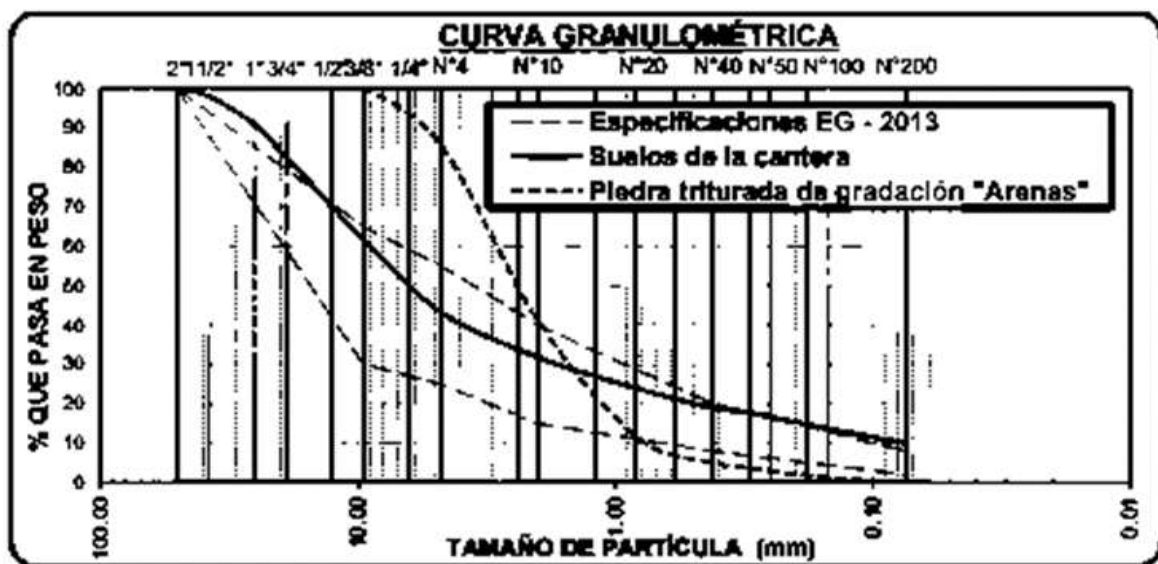
Curva granulométrica de piedra triturada – 40% y 60% - Arenas



proporción de arenas es superior al treinta por ciento. Por otro lado, se ha observado que la curva de granulometría del suelo tiene tendencia a superar el límite superior que se ha establecido para las bases según el tamiz nº 4 (4,76 mm). En consecuencia, se ha optado por combinar el suelo con piedra triturada que satisfaga los requisitos del tamiz n.º 4. Este tipo de agregado se denomina "arena" debido al tamaño de sus partículas. Ambas distribuciones granulométricas se representan en la figura que figura a continuación.

**Figura 25**

*Curva granulométrica de suelos y piedra triturada - Arenas*



A partir de la información proporcionada, se realizó una fusión de las distribuciones granulométricas para calcular la cantidad o proporción de piedra triturada que debía utilizarse para la categorización de "Arenas".

**Tabla 7**

*Granulometría de piedra triturada, según EG-2013*

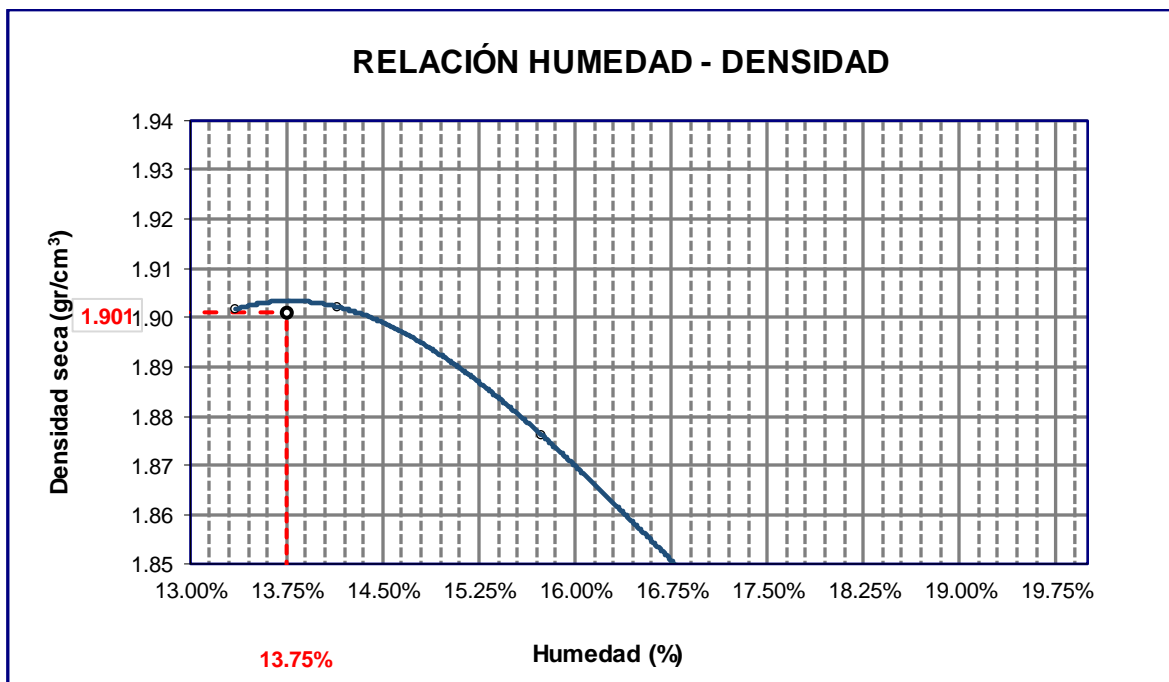
Tamices	2"	3/8"	N° 4	N° 10	N° 40	N° 200
	Porcentaje que pasa					

	100.0					
Suelo Yocará	0	61.740	43.270	31.850	19.040	10.010
	100.0					
Piedra Triturada	0	100.00	85.710	41.030	6.730	0.110

### Proctor modificado

Figura 26

Compactación -calicata 1



El suelo extraído de la cantera de Yocará alcanza una densidad seca máxima de 1.901 gramos por centímetro cúbico, y el contenido óptimo de humedad es del 13.75%. Esto se desprende de la representación gráfica, que muestra que la tierra alcanza esta densidad seca máxima.

### CBR

Tabla 8

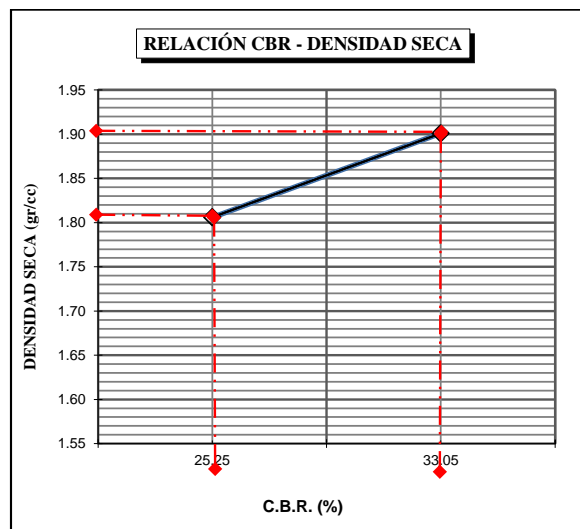
comparativa CBR Yocará – EG-2013 -calicata 1

Ensayo	Suelo Yocará	Especificaciones EG - 2013	
		Bajo transito	Alto transito
CBR	47.5%	80.0%min	100.0%min

Como se puede observar en la tabla, los resultados que se obtuvieron del ensayo de capacidad de soporte CBR de los suelos que se tomaron de la cantera Yocará no superan los requisitos que se han establecido para las bases de pavimentos granulares de acuerdo con las especificaciones de la EG - 2013.

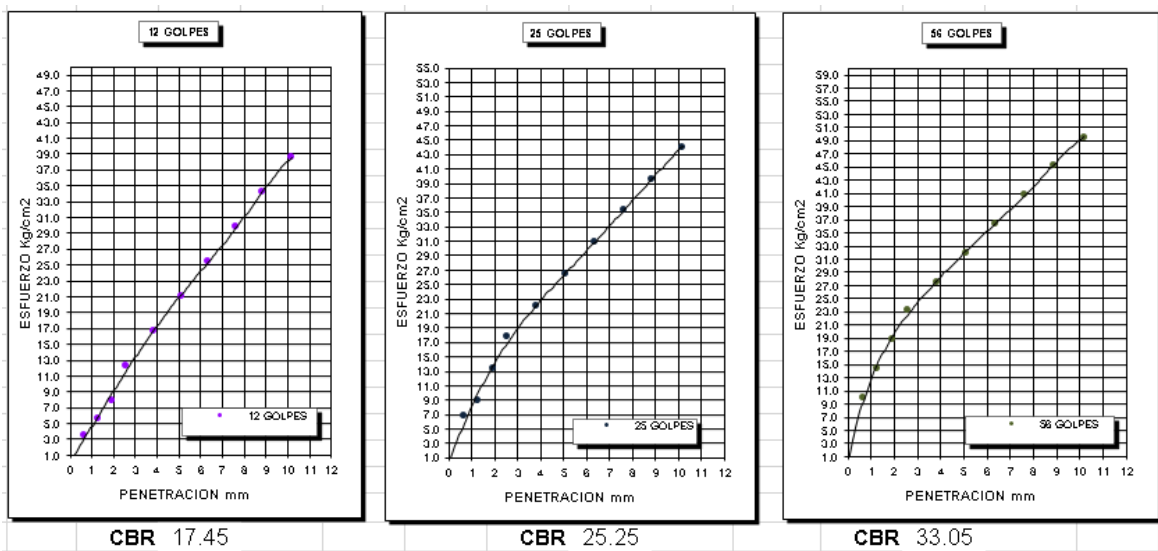
**Figura 27**

*Relación CBR – densidad seca calicata 1*



**Figura 28**

*CBR al 95% y 100% de su MDS – calicata 1*



**Tabla 9**

*Resumen de resultados calicata 1*

---

COMPACTACIÓN - CBR

---

MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm <sup>3</sup> .)	1.901
HUMEDAD OPTIMA (%)	13.75%
CBR AL 100 DE M.D.S. (%)	33.05
CBR AL 95% DE M.D.S. (%)	25.25

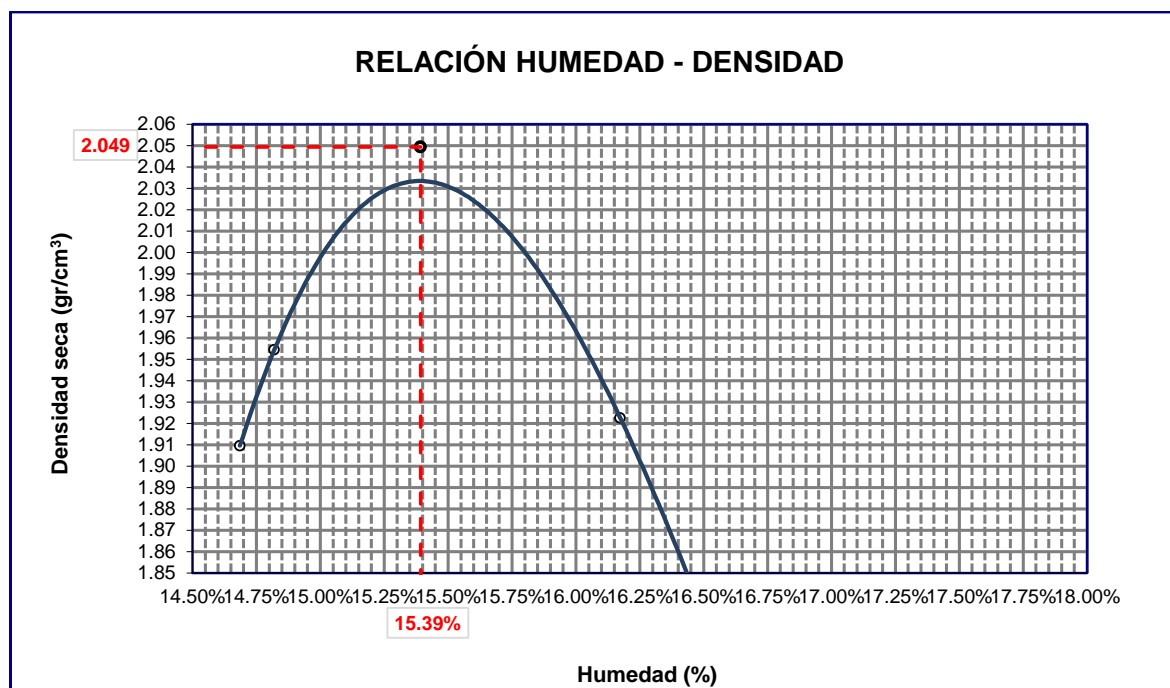
---

Los resultados de compactación indican que la Máxima Densidad Seca del suelo es de 1.901 g/cm<sup>3</sup> y la Humedad Óptima para lograr esta densidad es del 13.75%. El ensayo CBR muestra que el suelo tiene una buena capacidad de soporte con un 33.05% al 100% de la densidad máxima seca y un 25.25% al 95%. Estos valores sugieren que el suelo es adecuado para aplicaciones en pavimentación y estructuras, ya que tiene buena compactación y resistencia.

### Proctor modificado + piedra triturada

**Figura 29**

*Compactación – suelos cantera Yocará – calicata 2*



Como muestra la representación gráfica, Se alcanza una densidad seca máxima de 2,049 gramos por centímetro cúbico cuando se añade piedra triturada al suelo de la cantera de Yocará. Además, se determina que el contenido de humedad del suelo está en su nivel óptimo del 15.39%.

**Tabla 10**

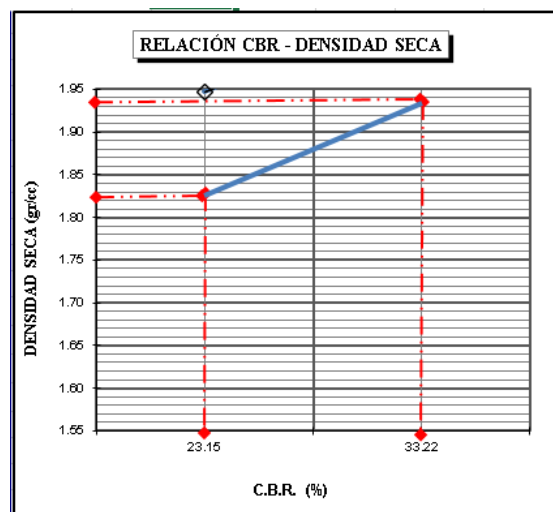
*CBR Yocará – EG-2013 -CALICATA 2*

Ensayo	Suelo Yocará	Especificaciones EG - 2013	
		Bajo transito	Alto transito
CBR	96.8%	80.0%min	100.0%min

Los resultados que se obtuvieron del ensayo de capacidad portante CBR del suelo que fue extraído de la cantera Yocará y mezclado con piedra triturada de la gradación requerida son superiores a los valores mínimos que se especifican para bases granulares para pavimentos de bajo tráfico. Esto de acuerdo con los lineamientos que se establecieron en el EG - 2013. Esto se demuestra en la tabla.

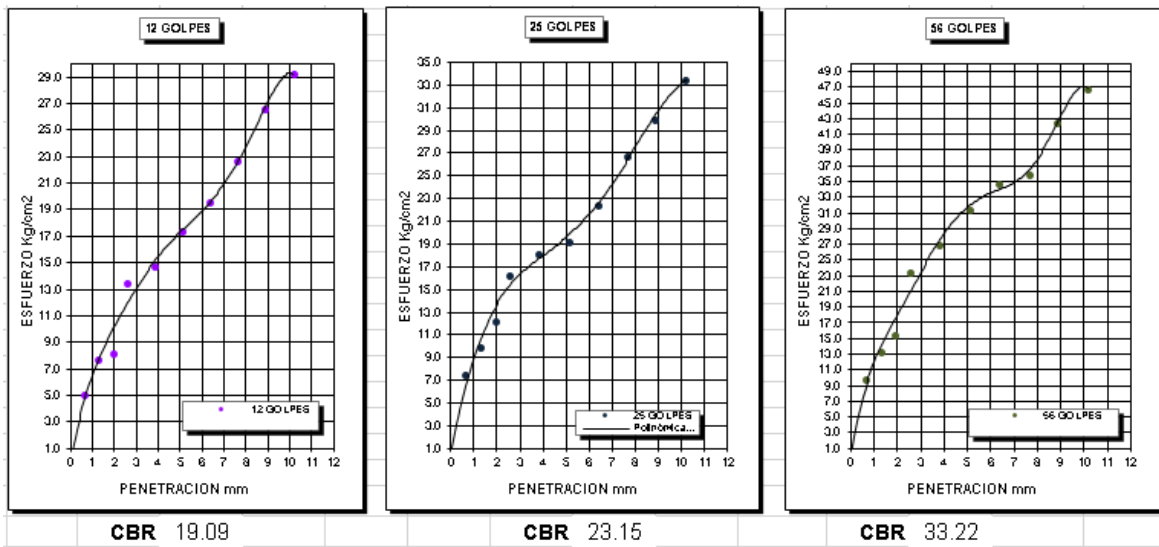
**Figura 30**

*Relación CBR – densidad seca calicata 2*



**Figura 31**

*CBR al 95% y 100% de su MDS – calicata 2*



**Tabla 11**

*Resumen de resultados calicata 2*

COMPACTACIÓN - CBR	
MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm3.)	2.049
HUMEDAD OPTIMA (%)	15.39%
CBR AL 100 DE M.D.S. (%)	33.22
CBR AL 95% DE M.D.S. (%)	23.15

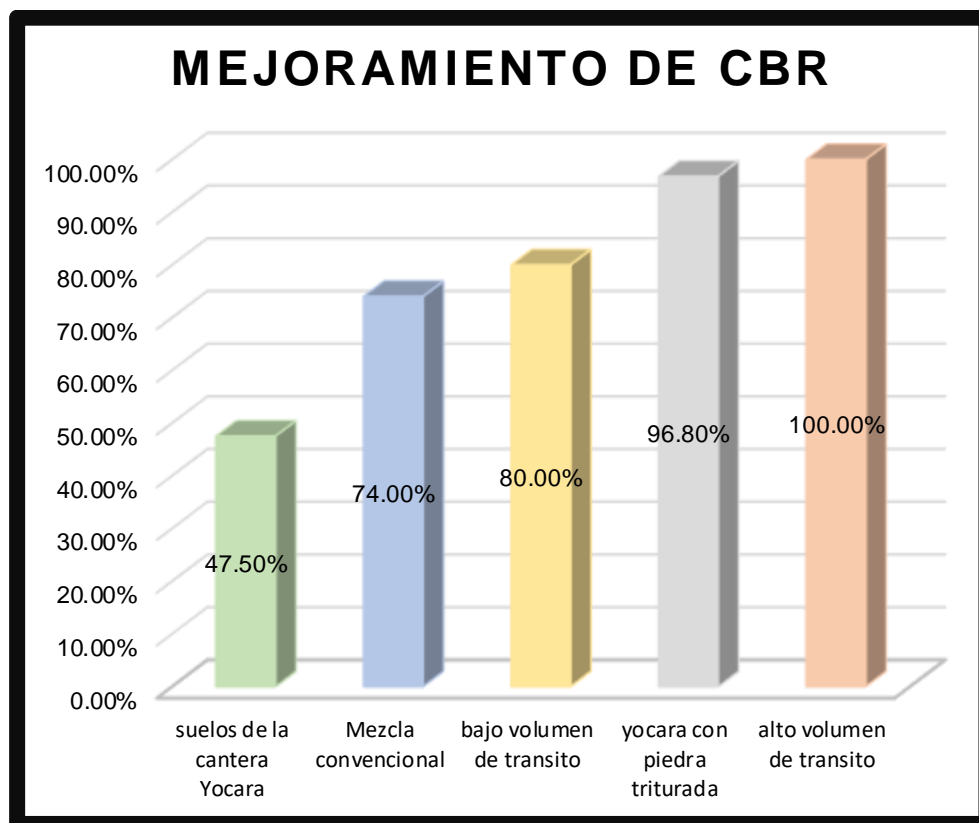
Los resultados de compactación muestran que la Máxima Densidad Seca es de 2.049 g/cm<sup>3</sup>, indicando un suelo con buena capacidad para ser compactado. La Humedad Óptima necesaria para alcanzar esta densidad es del 15.39%. El ensayo CBR revela una capacidad de soporte del 33.22% al 100% de la densidad máxima seca y un 23.15% al 95%, lo que sugiere que el suelo tiene una resistencia adecuada para aplicaciones en construcción de carreteras y pavimentos, aunque con una ligera disminución en la capacidad al compactarse al 95% de su densidad máxima.

### 4.1.3 Factores aplicados a la capacidad de soporte de la cantera Yocará- distrito de Juliaca

El siguiente diagrama muestra el grado de mejora alcanzado por el suelo de la cantera de Yocará cuando se combin con piedra triturada de la gradación requerida en la concentración adecuada. También se comparan los valores de CBR que se utilizan actualmente (mezcla convencional) con los valores de CBR que son necesarios para bases granulares de pavimentos de alto y bajo tráfico, de acuerdo con las especificaciones de la EG - 2013.

Figura 32

Factor CBR



Como se puede observar, la incorporación de piedra triturada con la gradación adecuada da lugar a una mejora de hasta el cincuenta por ciento en el ndice CBR del suelo que se recogí de la cantera de Yocará, alcanzando valores de hasta el noventa y seis por ciento de CBR. De acuerdo con las especificaciones de la EG - 2013, esto constituye un



incremento sustancial que supera los estándares mínimos que se especificaron para bases de pavimentos granulares que tienen volúmenes de tráfico modestos.

## 4.2 Discusiones

➤ Se intentó determinar las propiedades de los suelos adquiridos en la cantera de Yocará mediante la recopilación de los datos obtenidos durante esta etapa. Para ello, se utilizaron como referencia las normas NTP, MTC y ASTM.

El análisis granulométrico, la prueba de abrasión, la prueba Proctor modificada y la medición de la capacidad de soporte CBR son algunas de las técnicas que se utilizarán para determinar el contenido óptimo de humedad. Durante el proceso de análisis de la granulometría, se investigaron partículas de entre 3/8" y 200 mesh. Los porcentajes de humedad que se midieron en cada una de las cinco localizaciones individuales oscilaron entre 41,77 y 12,21.

Se realizaron ensayos del límite de Atterberg, y los resultados mostraron que el límite líquido era del 45,40% en el punto 1, del 56,87% en el punto 2, del 33,41% en el punto 3, del 45,52% en el punto 4 y del 40,15% en el punto 5. Además, se registraron los resultados correspondientes a los límites plásticos, que fueron los siguientes: 24,42% en el punto 1, 21,96% en el punto 2, 20,83% en el punto 3, 24,46% en el punto 4 y 21,98% en el punto 5.

Los índices de plasticidad que corresponden a cada punto son los siguientes: 20,98% en el punto 1, 34,91% en el punto 2, 12,59% en el punto 3, 21,06% en el punto 4 y 18,17% en el punto 5. Tras la identificación de áridos finos y gruesos de distintos tamaños en los lugares investigados, se procedió al cálculo de la cantidad de áridos por metro cuadrado para cada cuarto de las muestras. A continuación, se recogieron las muestras y se enviaron al laboratorio de mecánica de suelos para su análisis.

➤ Teniendo en cuenta los resultados obtenidos, es esencial hacer mayor hincapié en la gradación de los suelos que se encuentran en la cantera de Yocará. En una inspección más detallada, se descubrió que estos suelos presentan una distribución granulométrica favorable, lo que facilita su compactación. Por otro lado, se descubrió que el suelo tenía una cantidad excesiva de finos, lo que no se ajusta a los criterios definidos en la EG-2013.

Con el fin de construir una curva granulométrica que refleje las fracciones de arena y grava presentes en los suelos de Yocará, se utilizaron porcentajes del sesenta por ciento y del cuarenta por ciento, respectivamente. Además, se realizó una versión modificada del ensayo Proctor, que dio como resultado una densidad seca máxima de 1.901 gr/cm<sup>3</sup> y un contenido de humedad óptimo de 13.75%. A pesar de esto, se encontró que el CBR de la cantera Yocará no cumple con los parámetros que se establecen para la granulometría de pavimentos de acuerdo con las leyes que se establecieron en EG el año 2013.

A continuación, se realizó la prueba Proctor modificada en la cantera de Yocará con la incorporación de piedra triturada. Los resultados mostraron que la densidad seca máxima fue de 2,049 g/cm<sup>3</sup>, y el contenido óptimo de humedad fue del 15.39%. Se observó un valor de 86,80% para el CBR de los suelos de la cantera de Yocará tras añadirles piedra triturada. Este valor es superior a los umbrales mínimos que se exigen para las bases de pavimentos granulares que tienen una baja intensidad de tráfico.

➤ En relación con este punto en particular, se tuvieron en cuenta las clasificaciones de acuerdo con los requisitos de EG - 20.13, haciendo hincapié principalmente en el examen de las curvas granulométricas y los tamaños de las partículas.

El estudio incorpora el Proctor modificado, que requiere la estimación previa de los pesos unitarios tanto en circunstancias sueltas como compactadas. Esto se hace teniendo en cuenta los criterios que se aplican en la capacidad de soporte del suelo. En primer lugar, los datos CBR demuestran que el suelo de la cantera de Yocará puede experimentar una mejora de hasta el cincuenta por ciento cuando se añade piedra triturada con la gradación



adecuada, Es posible superar los requisitos mínimos que se han establecido para las bases de pavimento granular con bajos volúmenes de tráfico, como se indica en la EG - 2013, alcanzando un CBR de hasta el 96,80%.



## CONCLUSIONES

**Primera,** se descubrió una estratificación homogénea en los suelos de la cantera de Yocará, en el distrito de Juliaca, que se evaluaron en cinco lugares diferentes mediante las calicatas de prueba. Se evaluaron las cualidades físicas y mecánicas de los suelos. Los valores que se obtuvieron en el estudio granulométrico y en los límites fueron consistentes en todos los puntos, lo que indica que todos los suelos que se encuentran en la cantera de Yocará tenían idénticas cualidades físicas y mecánicas

**Segunda,** para establecer un plan de desarrollo del suelo de la cantera de Yocará, que se utilizará para la construcción de bases granulares con piedra triturada, se consideraron dos pruebas: la prueba Proctor modificada y la prueba CBR. Para conseguir unas condiciones óptimas del suelo, se utilizarán los datos obtenidos de estas pruebas.

**Tercera,** la optimización del índice CBR va a ser uno de los criterios que emplearemos para mejorar las bases granulares en el diseño de pavimentos.



## RECOMENDACIONES

**Primera,** con el fin de determinar si todos los suelos son, de hecho, uniformes, se recomienda ampliar la zona de investigación para incluir más de cinco lugares.

**Segunda,** dado que algunas canteras pueden tener características físicas o mecánicas superiores para las bases granulares en el diseño de pavimentos, se propone mejorar los hallazgos y realizar comparaciones con otras canteras para construir un plan general.

**Tercera,** para obtener un conjunto más amplio de resultados y calcular una media, se recomienda realizar más de cinco ensayos CBR. Esto permitirá identificar los puntos de exploración más adecuados, lo que en última instancia conducirá a la consecución de un diseño óptimo de las bases granulares para pavimentos.



## REFERENCIAS

- Bañon Blázquez, L. (2000). *Manual de Carreteras Volumen II*. Ortiz e Hijos, Contratista de Obras, S.A.
- Baquerizo, C. (2015). *Estudio geotécnico de suelos para la construcción del complejo deportivo Piura Pampa, Distrito de Chineros Urubamba Cusco*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Bowles, J. E. (1981). *Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil*. Mexico: Mexico S.A.
- Das, B. M. (2003). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica*. California: State University, Sacramento.
- Das, B. M. (2004). *Principio de Ingeniería de Cimentaciones (Quinta Edición ed.)*. Mexico.
- Escriba, J. (2016). *Cimentaciones superficiales apoyadas en suelos arenosos con aplicación en el asentamiento humano*. Lima, Peru: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Gonzales, N. (2018). *Microzonificación geotécnica y diseño de cimentaciones superficiales en el sector Taquilla de las Delicias, distrito de Moche, provincia de Trujillo - La Libertad*. Trujillo, Peru : Universidad Privada Antenor Orrego, Trujillo.
- Gonzalo Duque, E., & Enrique Escobar, C. (2002). *Mecánica de los suelos*.
- Juarez Badillo, E. &. (1973). *Mecánica de Suelos Tomo I Fundamentos de la Mecánica de Suelos*. Mexico: LIMUSA.
- Laura, S. (2016). *Evaluación de la capacidad predictiva de los métodos de estimación del comportamiento mecánico*. Universidad Nacional del Altiplano.
- Molina, E. (2016). *Caracterización geotécnica de la universidad de Barranquilla Colombia*. Universidad de Autonomía de Puebla, Colombia.



## ANEXOS



### Anexo 1. Matriz de Consistencia

TÍTULO DE LA TESIS: MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE SUELOS DE LA CANTERA YOCARA CON PIEDRA CHANCADA EN BASES GRANULARES PARA PAVIMENTOS - DISTRITO DE JULIACA				
Problemas	Objetivos	Hipótesis	Variables	Inst. de Medición
<p><b>Problema General:</b></p> <p>¿Cómo realizar el mejoramiento de la capacidad de soporte de suelos de la cantera Yocará con piedra chancada en bases granulares para pavimentos - distrito de Juliaca?</p>	<p><b>Objetivo General:</b></p> <p>Realizar el mejoramiento de la capacidad de soporte de suelos de la cantera Yocará con piedra chancada en bases granulares para pavimentos - distrito de Juliaca.</p>	<p><b>Hipótesis General:</b></p> <p>El mejoramiento de la capacidad de soporte basada en el tipo de suelo y en el tipo de cantera, los factores aplicados en la capacidad de soporte de estos son elementos constructivos y externos.</p>	<p><b>Variable Independiente</b> Determinación de propiedades del suelo</p> <p><b>Dimensiones:</b> Propiedades físicas Propiedades mecánicas.</p> <p><b>Indicadores:</b> Granulometría, límites, contenido de humedad, cohesión, ángulo de fricción</p>	<p>libreta de apuntes, cámara fotográfica y planos Equipos de laboratorio de Suelos (Cuchara de Casagrande, Tamices, Balanza, Horno Eléctrico), libreta de apuntes, cámara fotográfica.</p>
<p><b>Problemas Específicos</b></p> <p>¿Qué propiedades físicas y mecánicas presentan el suelo de la cantera Yocará del distrito de Juliaca?</p> <p>¿Cómo realizar un plan de mejoramiento con piedra chancada para pavimentos en bases granulares con suelos de la cantera Yocará del distrito de Juliaca?</p> <p>¿Cómo analizar los factores aplicados en la capacidad de soporte del suelo de la cantera Yocará para mejoramiento de pavimentos en el distrito de Juliaca?</p>	<p><b>Objetivos Específicos</b></p> <p>Determinar las propiedades físicas y mecánicas presentan el suelo de la cantera Yocará del distrito de Juliaca.</p> <p>Determinar un plan de mejoramiento con piedra chancada para pavimentos en bases granulares con suelos de la cantera Yocará del distrito de Juliaca.</p> <p>Analizar los factores aplicados a la capacidad de soporte del suelo de la cantera Yocará para mejoramiento de pavimentos en el distrito de Juliaca.</p>	<p><b>Hipótesis Específicas</b></p> <p>Las propiedades físicas – mecánicas que presenta el suelo de la cantera Yocará del distrito de Juliaca la textura, estructura, consistencia, cohesión, plasticidad, color y capacidad de soporte son similares, con diferencias en menor proporción en algunas zonas.</p> <p>El plan de mejoramiento con piedra chancada para pavimentos en bases granulares con suelos de la cantera Yocará del distrito de Juliaca se establecerá en base a la norma E.050 suelos y cimentaciones.</p> <p>Los factores que son aplicados en la capacidad de soporte de los suelos de la cantera Yocará para mejoramiento de pavimentos en el distrito de Juliaca serán la granulometría y Abrasión.</p>	<p><b>Variable Dependiente</b> Mejora del suelo</p> <p><b>Dimensiones:</b> Mejoramiento.</p> <p><b>Indicadores:</b> Mejora de capacidad de soporte, mejora por estratigrafía</p> <p><b>Variable Evaluación</b> Factores aplicados en el CBR</p> <p><b>Dimensiones:</b> Características geotécnicas</p> <p><b>Indicadores:</b> MDS Humedad optima</p>	<p>Equipos de laboratorio de Suelos.</p> <p>Formatos Excel, software</p> <p>Equipos de laboratorio de suelos</p>



**UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"**  
**FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**  
**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS**



### ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

ASTM D-698 D-1557 AASHTO T-99 T-180

**TESIS** : MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE SUELOS DE LA CANTERA YOCARA CON PIEDRA CHANCADA EN BASES GRANULARES PARA PAVIMENTOS-DISTRITO DE JULIACA

**SOLICITANTE** : WILMER ILLACHURA VELAZCO

**UBICACIÓN** : DISTRITO DE JULIACA

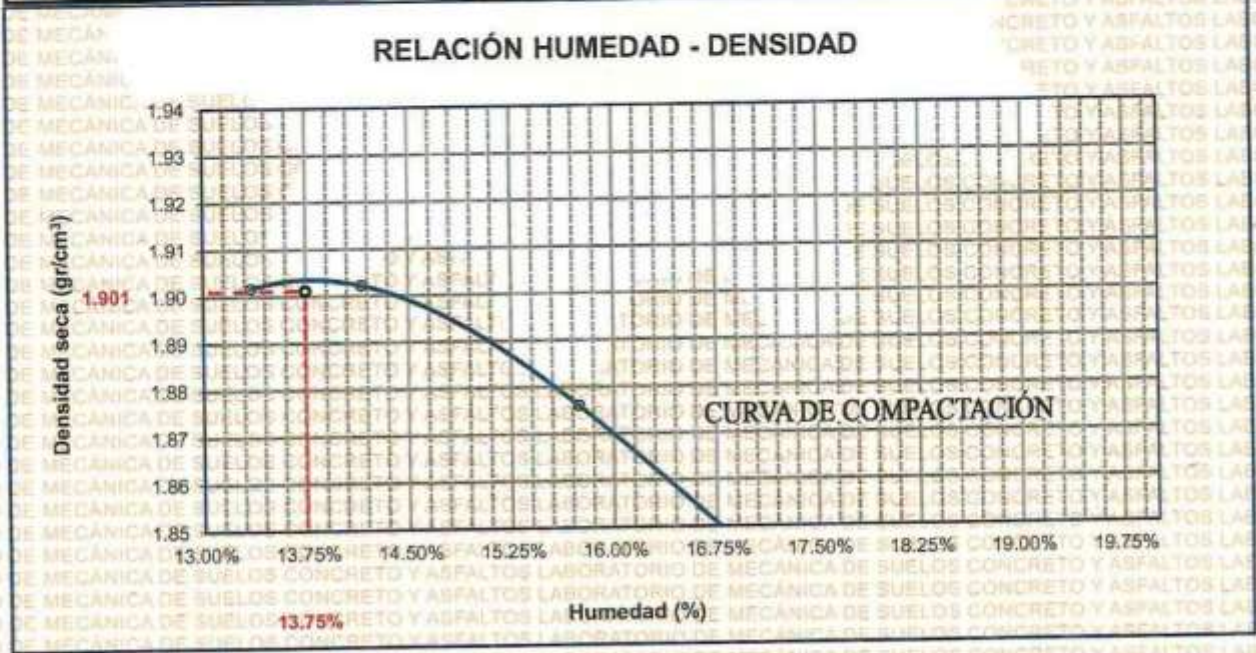
**MUESTRA** : CALICATA 1 - MUESTRA 1

<b>MOLDE No</b>	: 1	<b>VOLUMEN DEL MOLDE</b>	: 945 cm <sup>3</sup>
<b>No DE CAPAS</b>	: 5	<b>GOLPES POR CAPA</b>	: 25 golpes

Peso Suelo Húmedo + Molde	gr.	6182	6188	6203	6203
Peso del Molde	gr.	4151	4151	4151	4151
Peso del Suelo Húmedo	gr/cm <sup>3</sup> .	2031	2037	2052	2052
Densidad del Suelo Húmedo	gr/cm <sup>3</sup> .	2.149	2.156	2.171	2.171

Capsula No	No	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.	SUP.	INF.
Suelo Húmedo + Capsula	gr.	73.54	69.44	90.44	82.34	91.84	90.54	90.94	89.64
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	65.39	61.13	82.39	74.34	82.28	73.13	83.72	82.13
Peso del Agua	gr.	8.15	8.31	8.05	8.00	9.56	7.41	13.00	7.51
Peso de la Capsula	gr.	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00
Peso del Suelo Seco	gr.	47.39	43.13	64.39	56.34	64.28	55.13	65.72	64.13
% de Humedad	%	17.20%	19.27%	12.50%	14.20%	14.87%	13.44%	19.78%	11.71%
<b>Promedio de Humedad</b>	%	18.23%		13.35%		14.16%		15.75%	
<b>Densidad del Suelo Seco</b>	%	1.818		1.902		1.902		1.876	

<b>METODO:</b>	ASTM D - 1557 MODIFICADO "C"	<b>MAXIMA DENSIDAD SECA</b>	: 1.901 gr/cm <sup>3</sup>
		<b>HUMEDAD OPTIMA</b>	: 13.75%



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
 FICP - CAP INGENIERÍA CIVIL

**LABORATORIO M.S.C.A. JULIACA**

Mgtr. Arnaldo Yana Torres  
 CIP 103257



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



### RELACION HUMEDAD - DENSIDAD PROCTOR

**TESIS** : MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE SUELOS DE LA CANTERA YOCARA CON PIEDRA CHANCADA EN BASES GRANULARES PARA PAVIMENTOS-DISTRITO DE JULIACA  
**SOLICITANTE** : WILMER ILLACHURA VELAZCO  
**UBICACIÓN** : DISTRITO DE JULIACA  
**MUESTRA** : CALICATA 1- MUESTRA-1

MOLDE No	III		II		I			
	5		5		5			
No DE CAPAS	12		25		56			
NUMERO DE GOLPES POR CAPA	SATURADO		SIN SATURAR		SATURADO		SIN SATURAR	

	gr.	10603	11586	10903	11676	11378	11661
Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	6688	6688	6738	6738	6813	6813
Peso del Molde	gr.	3915	4898	4165	4938	4565	4848
Peso del Suelo Humedo	cc.	2051.43	2051.43	2051.43	2051.43	2051.43	2051.43
Volumen del Suelo	gr/cc.	1.908	2.388	2.030	2.407	2.225	2.363
Densidad del Suelo Humedo							

Capsula No	No	SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR	SATURADO
Suelo Humedo + Capsula	gr.	153.03	304.33	154.83	476.99	160.23	356.98
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	142.33	235.03	137.23	378.89	141.58	297.03
Peso del Agua	gr.	10.70	69.30	17.60	98.10	18.65	59.95
Peso de la Capsula	gr.	65.00	65.00	65.00	65.00	65.00	65.00
Peso del Suelo Seco	gr.	77.33	170.03	72.23	313.89	76.58	232.03
% de Humedad	%	13.84%	40.76%	24.37%	31.25%	24.35%	25.84%
Promedio de Humedad	%	13.84%	40.76%	24.37%	31.25%	24.35%	25.84%
Densidad del Suelo Seco	gr/cc.	1.676	1.696	1.633	1.834	1.789	1.878

### EXPANSION

Fecha	Hora	Tiempo	Dial	Expansion		Dial	Expansion		Dial	Expansion	
				mm	%		mm	%		mm	%
18/09/2023	08:25: a.m.	0	0.000	0.00	0	0.000	0	0	0.000	0	0
19/09/2023	08:25: a.m.	24:00:00	2.738	69.545	55.25	3.554	90.272	71.71	4.858	123.4	98
20/09/2023	08:25: a.m.	48:00:00	4.525	114.935	91.31	8.869	225.273	178.96	9.858	250.4	199
21/09/2023	08:25: a.m.	72:00:00	6.536	166.014	131.88	13.550	344.170	273.41	13.880	352.6	280
22/09/2023	08:25: a.m.	96:00:00	8.665	220.091	174.84	19.020	483.108	383.78	18.990	482.3	383

### PENETRACION

Penetración mm	Tiempo	Carga Est	12 GOLPES				25 GOLPES				56 GOLPES			
			Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.	Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.	Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.
0.00	0:00		0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	
0.63	00:30		10.00	67.58	3.49		25.00	131.24	6.78		40.00	194.91	10.08	
1.27	01:00		20.00	110.02	5.68		35.00	173.69	8.98		60.00	279.80	14.46	
1.91	01:30		30.00	152.46	7.88		55.00	258.58	13.37		80.00	364.69	18.85	
2.54	02:00	70.31	50.00	237.35	12.27	17.45	75.00	343.46	17.75	25.25	100.00	449.57	23.24	33.05
3.81	03:00		70.00	322.24	16.66		95.00	428.35	22.14		120.00	534.46	27.63	
5.09	04:00	105.00	90.00	407.13	21.05	20.04	115.00	513.24	26.53	25.27	140.00	619.35	32.02	30.49
6.35	05:00		110.00	492.02	25.43		135.00	598.13	30.92		160.00	704.24	36.40	
7.62	06:00		130.00	576.91	29.82		155.00	683.02	35.31		180.00	789.13	40.79	
8.84	07:00		150.00	661.79	34.21		175.00	767.90	39.70		200.00	874.01	45.18	
10.16	08:00		170.00	746.68	38.60		195.00	852.79	44.08		220.00	958.90	49.57	

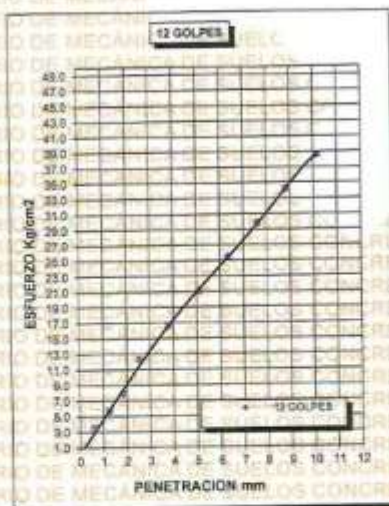
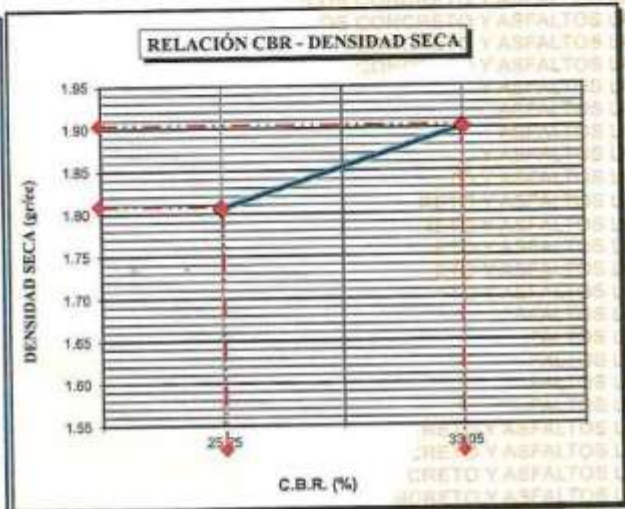
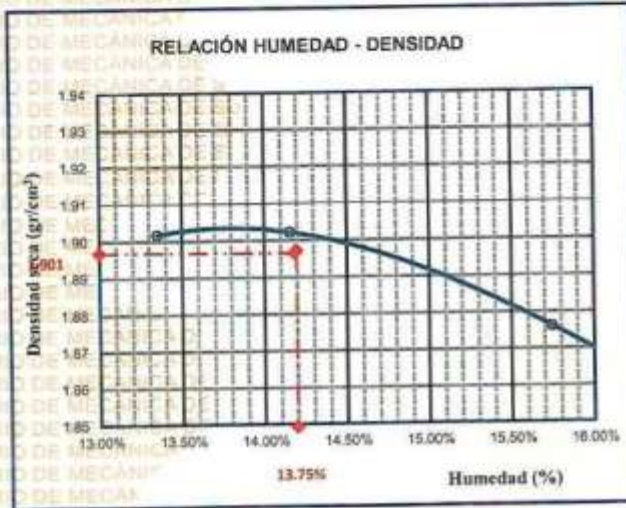
UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FICP - CAP. INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO M.S.C.A. JULIACA  
Mgtr. Arnaldo Yana Torres  
CIP 103257



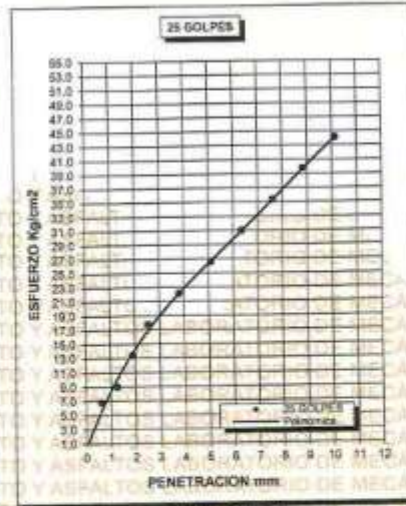
**UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"**  
**FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**  
**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS**



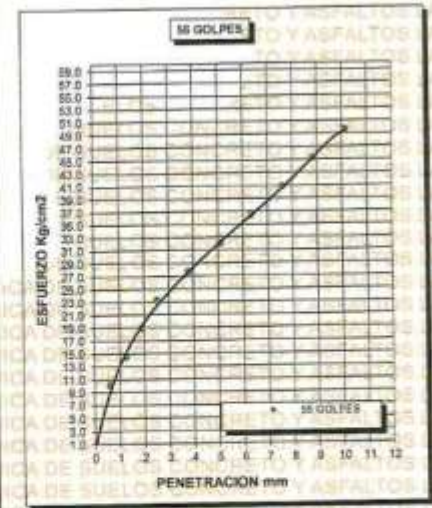
<b>PROYECTO :</b>	MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE SUELOS DE LA CANTERA YOCARA CON PIEDRA CHANCADA EN BASES GRANULARES PARA PAVIMENTOS - DISTRITO DE JULIACA	<b>METODO DE COMPACTACIÓN ASTM D1557-91</b>
<b>SOLICITADO :</b>	WILMER ILLACHURA VELAZCO	<b>MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm<sup>3</sup>.)</b> 1.901
<b>UBICACIÓN :</b>	DISTRITO DE JULIACA	<b>HUMEDAD OPTIMA (%)</b> 13.75%
<b>MUESTRA :</b>	CALICATA - M1	<b>CBR AL 100 DE M.D.S. (%)</b> 33.05
		<b>CBR AL 95% DE M.D.S. (%)</b> 25.25
		<b>AASHTO :</b>
		<b>IG :</b>



CBR 17.45



CBR 25.25



CBR 33.05

UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
 FICP - C.A.P. INGENIERÍA CIVIL

*Mgr. Arnoldo Yana Torres*  
 CIP 103257



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
 FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



### ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

ASTM D-698 D-1557 AASHTO T-99 T-180

<b>TESIS</b>	: MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE SUELOS DE LA CANTERA YOCARA CON PIEDRA CHANCADA EN BASES GRANULARES PARA PAVIMENTOS-DISTRITO DE JULIACA
<b>SOLICITANTE</b>	: WILMER ILLACHURA VELAZCO
<b>UBICACIÓN</b>	: DISTRITO DE JULIACA
<b>MUESTRA</b>	: CALICATA 2 - MUESTRA 1

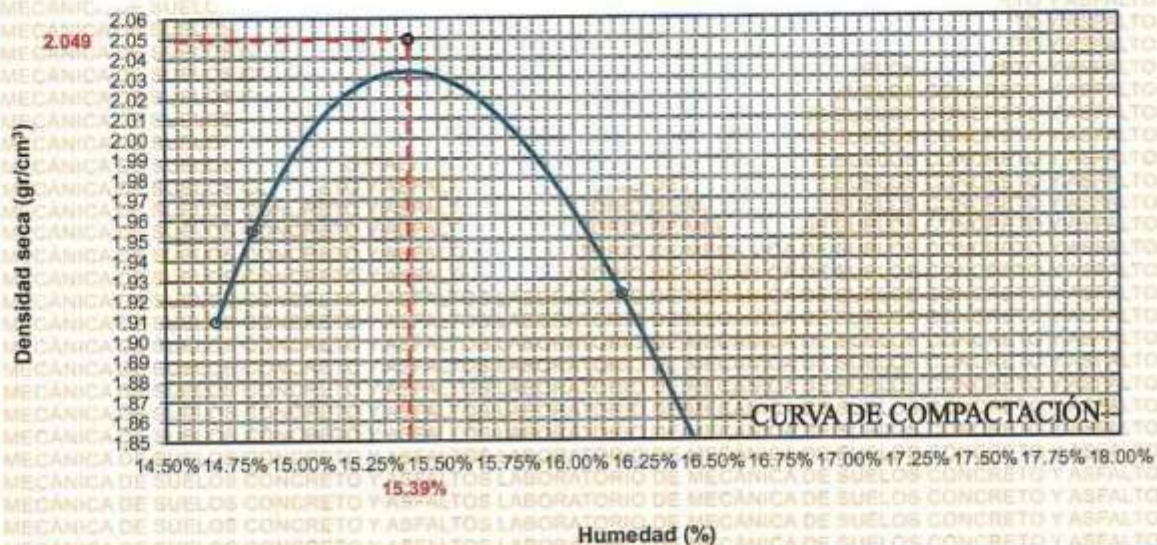
<b>MOLDE No</b>	: 1	<b>VOLUMEN DEL MOLDE</b>	: 942 cm <sup>3</sup>
<b>No DE CAPAS</b>	: 5	<b>GOLPES POR CAPA</b>	: 25 golpes

Peso Suelo Húmedo + Molde	gr.	6236	6214	6265	6255
Peso del Molde	gr.	4151	4151	4151	4151
Peso del Suelo Húmedo	gr/cm <sup>3</sup> .	2085	2063	2114	2104
Densidad del Suelo Húmedo	gr/cm <sup>3</sup> .	2.213	2.190	2.244	2.234

Capsula No	No	SUP.		INF.		SUP.		INF.	
		gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.
Suelo Húmedo + Capsula	gr.	73.68	68.33	90.57	82.43	91.98	80.83	91.07	89.75
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	85.32	80.40	82.05	73.51	82.03	72.89	83.43	81.79
Peso del Agua	gr.	8.36	9.93	8.52	8.92	9.95	7.74	13.00	7.96
Peso de la Capsula	gr.	19.00	19.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00
Peso del Suelo Seco	gr.	46.32	41.40	64.05	55.51	64.03	54.89	65.43	63.79
% de Humedad	%	18.05%	21.57%	13.30%	16.07%	15.54%	14.10%	19.87%	12.48%
<b>Promedio de Humedad</b>	%	19.81%		14.69%		14.82%		16.17%	
<b>Densidad del Suelo Seco</b>	%	1.847		1.910		1.954		1.923	

<b>METODO:</b>	ASTM D - 1557 MODIFICADO "C"	<b>MAXIMA DENSIDAD SECA</b>	: 2.049 gr/cm <sup>3</sup>
		<b>HUMEDAD OPTIMA</b>	: 15.39%

### RELACIÓN HUMEDAD - DENSIDAD



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ  
 FICP - CAP INGENIERÍA CIVIL  
 LABORATORIO M.S.C.A. JEPATURA  
 Mgtr. Arnoldo Yano Torres  
 CIP 117257



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



### RELACION HUMEDAD - DENSIDAD PROCTOR

TESIS : MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE SUELOS DE LA CANTERA YOCARA CON PIEDRA CHANCADA EN BASES GRANULARES PARA PAVIMENTOS-DISTRITO DE JULIACA  
SOLICITANTE : WILMER ILLACHURA VELAZCO  
UBICACIÓN : DISTRITO DE JULIACA  
MUESTRA : CALICATA 2- MUESTRA 1

MOLDE No	III	II	I			
No DE CAPAS	5	5	5			
NUMERO DE GOLPES POR CAPA	12	25	56			
CONDICIONES DE LA MUESTRA	SATURADO	SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR

Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	10720	11660	10970	11760	11450	11730
Peso del Molde	gr.	6660	6660	6740	6740	6840	6840
Peso del Suelo Humedo	gr.	4060	5000	4230	5020	4610	4890
Volumen del Suelo	cc.	2051.43	2051.43	2051.43	2051.43	2051.43	2051.43
Densidad del Suelo Humedo	gr/cc.	1.979	2.437	2.062	2.447	2.247	2.384

Capsula No	No	SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR	SATURADO
Suelo Humedo + Capsula	gr.	153.00	305.80	155.30	478.30	160.50	358.30
Peso del Suelo Seco + Capsula	gr.	142.30	236.12	137.40	379.70	141.50	298.20
Peso del Agua	gr.	10.70	69.68	17.90	98.60	19.00	60.10
Peso de la Capsula	gr.	65.30	35.40	35.60	65.70	35.40	65.30
Peso del Suelo Seco	gr.	77.00	200.72	101.80	314.00	106.10	232.90
% de Humedad	%	13.90%	34.72%	17.58%	31.40%	17.91%	25.81%
Promedio de Humedad	%	13.90%	34.72%	17.58%	31.40%	17.91%	25.81%
Densidad del Suelo Seco	gr/cc.	1.738	1.809	1.754	1.862	1.906	1.895

### EXPANSION

Fecha	Hora	Tiempo	Dial	Expansion		Dial	Expansion		Dial	Expansion	
				mm	%		mm	%		mm	%
18/09/2023	08:25: a.m.	0	0.000	0.00	0	0.000	0	0	0.000	0	0
19/09/2023	08:25: a.m.	24:00:00	3.754	95.352	75.75	4.954	125.834	99.96	5.841	148	118
20/09/2023	08:25: a.m.	48:00:00	5.562	141.275	112.23	10.325	262.255	208.34	10.852	276	219
21/09/2023	08:25: a.m.	72:00:00	7.541	191.541	152.16	14.841	376.961	299.46	15.324	389	309
22/09/2023	08:25: a.m.	96:00:00	9.936	252.374	200.49	20.741	526.821	418.51	20.451	519	413

### PENETRACION

Penetración mm	Tiempo	Carga Est.	12 GOLPES				25 GOLPES				56 GOLPES			
			Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.	Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.	Dial	Kg	Kg/cm2	Correc.
0.00	0:00		0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	
0.63	00:30		17.26	98.39	5.09		26.45	145.89	7.54		38.56	188.80	9.76	
1.27	01:00		29.14	148.81	7.69		39.45	192.57	9.95		54.74	257.47	13.31	
1.91	01:30		31.26	157.81	8.16		49.54	235.40	12.17		64.74	289.92	15.50	
2.54	02:00	70.31	55.24	259.99	13.42	19.09	68.26	314.86	16.28	23.15	100.54	451.87	23.36	33.22
3.81	03:00		61.26	285.15	14.74		76.45	349.62	18.07		116.89	521.28	26.95	
5.09	04:00	105.00	73.26	336.08	17.37	16.55	81.54	371.22	19.19	18.28	137.26	607.72	31.41	29.92
6.35	05:00		83.14	378.01	19.54		96.45	434.51	22.46		152.47	672.28	34.75	
7.62	06:00		97.56	439.22	22.70		116.14	518.08	26.78		157.95	695.54	35.95	
8.84	07:00		115.14	513.83	26.56		130.48	578.94	29.93		187.54	821.13	42.45	
10.16	08:00		127.29	565.40	29.23		146.85	648.42	33.52		207.59	906.23	46.85	

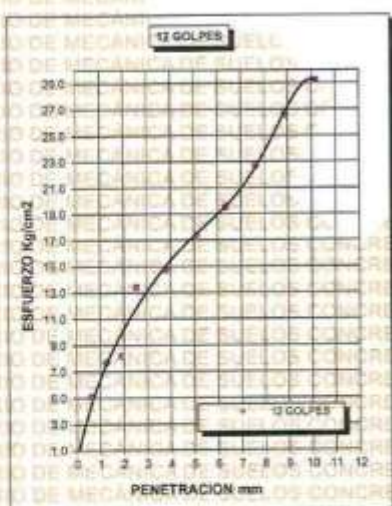
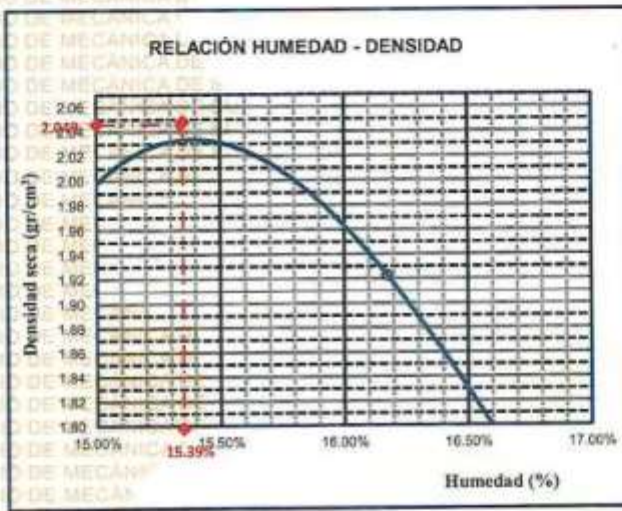
UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FICP - CAP. INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO M.S.C.A. JEFATURA  
Mgtr. Arnaldo Yana Torres  
CIP 103257



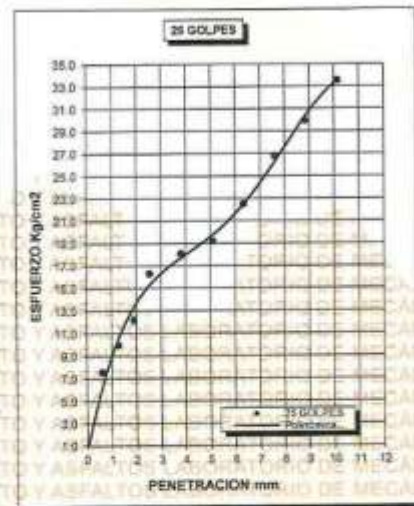
**UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"**  
**FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**  
**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS**



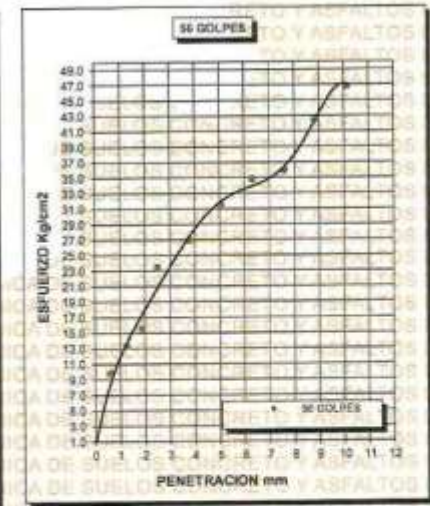
<b>PROYECTO</b> :	MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE SUELOS DE LA CANTERA YOCARA CON PIEDRA CHANCADA EN BASES GRANULARES PARA PAVIMENTOS - DISTRITO DE JULIACA	<b>METODO DE COMPACTACIÓN</b>	ASTM D1557-91
<b>SOLICITADO</b> :	WILMER ILLACHURA VELAZCO	<b>MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	2.049
<b>UBICACIÓN</b> :	DISTRITO DE JULIACA	<b>HUMEDAD OPTIMA (%)</b>	15.39%
<b>MUESTRA</b> :	CALICATA 2 - M1	<b>CBR AL 100 DE M.D.S. (%)</b>	33.22
		<b>CBR AL 95% DE M.D.S. (%)</b>	23.15
		<b>AASHTO</b> :	IG



**CBR 19.09**



**CBR 23.15**



**CBR 33.22**



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ  
 FICP - CAP. INGENIERÍA CIVIL  
 Mgr. Arnaldo Yana Torres  
 OIP 103257



UNIVERSIDAD ANDINA "NESTOR CACERES VELASQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERIAS Y CIENCIAS PURAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



**PROYECTO**  
**SOLICITANTE**  
**UBICACIÓN**  
**LUGAR**  
**MUESTRA**

MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE SUELOS DE LA CANTERA YOCARA CON PIEDRA CHANCADA EN BASES GRANULARES PARA PAVIMENTOS - DISTRITO DE JULIACA  
BACHILLER, WILMER ILLACHURA VELAZCO  
DISTRITO DE JULIACA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS  
CALICATA 1

### CONTENIDO DE HUMEDAD ASTM - D - 2216 - MTC - E 108

SUELO HUMEDO + TARRO	gr	326.23
SUELO SECO + TARRO	gr	280.26
PESO DEL TARRO	gr	50.00
PESO DEL AGUA	gr	45.97
PESO DEL SUELO SECO	gr	230.26
HUMEDAD %	%	20.35

### LIMITE LIQUIDO - LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD ASTM - D424 D-4318 AASHTO - T90

TARRO N°		LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO	
		1	2	3	A	B
SUELO HUMEDO + TARRO	gr	25.56	29.21	30.12	8.54	9.25
SUELO SECO + TARRO	gr	24.56	26.52	27.25	8.12	8.25
PESO DEL TARRO	gr	21.00	21.00	21.00	4.12	4.12
PESO DEL AGUA	gr	1.00	2.69	2.87	0.42	1.00
PESO DEL SUELO SECO	gr	3.56	5.52	6.25	4.00	4.13
HUMEDAD %	%	28.09	48.73	45.92	10.50	24.21
N° DE GOLPES		29	19	11		
<b>LIMITE LIQUIDO</b>		<b>45.40</b>			<b>LIMITE PLASTICO</b>	<b>24.42</b>

**INDICE PLASTICO 20.98**

$LL = W_n * (N/25)^{0.121}$   
Donde:  
LL = Limite Liquido  
Wn = Contenido de Humedad Promedio (%)  
N = Numero de Golpes

LABORATORIO M.S.C.A. JEFATURA  
UNIVERSIDAD ANDINA "NESTOR CACERES VELASQUEZ"  
FICP - CIP INGENIERIA CIVIL  
Miguel Arnaldo Yana Torres  
CIP 103257



UNIVERSIDAD ANDINA "NESTOR CERÓN VELÁSQUEZ"  
 FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PÚBICAS  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM D422)

ENSAYOS ESTANDAR DE CLASIFICACIÓN (D422 - D2216 - D4318 - D427 - D2487)

**PROYECTO:** MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE SUELOS DE LA CANTERA YOCARA CON PIEDRA CHANCADA EN BASES GRANULARES PARA PAVIMENTOS - DISTRITO DE JULIACA

**SOLICITANTE:** BACHILLER WILMER ILLACHURA VELAZO

**UBICACIÓN:** DISTRITO DE JULIACA

**LUGAR:** LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS

**MUESTRA:** CALICATA

TAMICES ASTM	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	%RETENIDO PARCIAL	%RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIF.	TAMANO MAXIMO, DESCRIPCION DE LA MUESTRA
3"	75.000						P.L.= 200.00
2 1/2"	63.000						P.L.= 58.78
2"	50.000						P.P.= 141.22
1 1/2"	38.100						%w= 20.35
1"	25.000						LIMITES DE CONSISTENCIA:
3/4"	19.000						LL.= 45.40
1/2"	12.500						L.P.= 24.42
3/8"	9.500	0.00	0.00	0.00	100.00		I.P.= 20.98
1/4"	6.300						CARACT. GRANULOMETRICAS:
No4	4.750	0.00	0.00	0.00	100.00		D10= Cu=
No8	2.360						D30= Cc=
No10	2.000	1.36	0.68	0.68	99.32		D60=
No16	1.180						CLASIFICACION:
No20	0.850	3.42	1.71	2.39	99.16		I.G. =
No30	0.600						SUSCS ; CL
No40	0.425	3.00	1.50	3.89	98.49		ASSTHO
No50	0.300	3.00	1.50	5.39	97.91		OBSERVACIONES:
No60	0.250						
No80	0.180						
No100	0.150	3.00	1.50	6.89	95.95		
No200	0.075	45.00	22.50	29.39	87.88		
BASE		141.22	70.61	100.00	0.00		
TOTAL		200.00	100.00				
% PERDIDA							



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS  
 M.S.C.A. DE JULIACA  
 Ing. Arnaldo Tena



UNIVERSIDAD ANDINA "NESTOR CACERES VELASQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERIAS Y CIENCIAS PURAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



**PROYECTO** MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE SUELOS DE LA CANTERA YOGARA CON PIEDRA CHANCADA EN BASES GRANULARES PARA PAVIMENTOS - DISTRITO DE JULIACA  
**SOLICITANTE** BACHILLER WILMER LLACHURA VELAZCO  
**UBICACIÓN** DISTRITO DE JULIACA  
**LUGAR** LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS  
**MUESTRA** CALICATA 2

### CONTENIDO DE HUMEDAD ASTM - D - 2216 - MTC - E 108

SUELO HUMEDO + TARRO	gr	355.49
SUELO SECO + TARRO	gr	265.00
PESO DEL TARRO	gr	51.72
PESO DEL AGUA	gr	90.49
PESO DEL SUELO SECO	gr	213.28
HUMEDAD %	%	41.77

### LIMITE LIQUIDO - LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD ASTM - D424 D-4318 AASHTO - T90

TARRO N°		LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO	
		4	5	6	C	D
SUELO HUMEDO + TARRO	gr	48.52	49.30	49.25	12.84	12.00
SUELO SECO + TARRO	gr	43.23	43.79	43.79	11.65	11.79
PESO DEL TARRO	gr	30.00	30.00	30.00	6.35	6.35
PESO DEL AGUA	gr	5.29	5.51	5.46	1.19	0.21
PESO DEL SUELO SECO	gr	13.23	13.79	13.79	5.30	5.44
HUMEDAD %	%	39.98	39.96	39.59	22.45	3.86
N° DE GOLPES		27	20	14		
<b>LIMITE LIQUIDO</b>		<b>56.87</b>				<b>21.96</b>
<b>INDICE PLASTICO</b>					<b>34.91</b>	

$LL = W_n * (N/25)^{0.121}$   
Donde:  
LL = Limite Liquido  
 $W_n$  = Contenido de Humedad Promedio (%)  
N = Número de Golpes

UNIVERSIDAD ANDINA "NESTOR CACERES VELASQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERIAS Y CIENCIAS PURAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL  
Mtro. Arnoldo Yano Torres  
2025





UNIVERSIDAD ANDINA "NESTOR CACERES VELASQUEZ"  
 FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



**PROYECTO** MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE SUELOS DE LA CANTERA YOCARA CON PIEDRA CHANCADA EN BASES GRANULARES PARA PAVIMENTOS - DISTRITO DE JULIACA

**SOLICITANTE** BACHILLER WILMER LLACHURA VELAZCO

**UBICACIÓN** DISTRITO DE JULIACA

**LUGAR** LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS

**MUESTRA** CALICATA 3

### CONTENIDO DE HUMEDAD ASTM - D - 2216 - MTC - E 108

SUELO HUMEDO + TARRO	gr	443.26
SUELO SECO + TARRO	gr	381.30
PESO DEL TARRO	gr	50.00
PESO DEL AGUA	gr	61.96
PESO DEL SUELO SECO	gr	331.30
HUMEDAD %	%	18.94

### LIMITE LIQUIDO - LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD ASTM - D424 D-4318 AASHTO - T90

TARRO N°	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO	
	7	8	9	10	11
SUELO HUMEDO + TARRO	69.66	82.51	69.61	10.21	10.25
SUELO SECO + TARRO	62.12	73.23	62.23	9.21	9.22
PESO DEL TARRO	44.00	44.00	44.00	4.00	4.00
PESO DEL AGUA	7.54	9.28	7.38	1.00	1.03
PESO DEL SUELO SECO	18.12	29.23	18.23	5.21	5.22
HUMEDAD %	41.61	31.75	40.48	19.19	19.73
N° DE GOLPES	35	28	15		
<b>LIMITE LIQUIDO</b>	<b>33.41</b>	<b>LIMITE PLASTICO</b>		<b>20.83</b>	
<b>INDICE PLASTICO</b>		<b>12.59</b>			

$LL = W_n \cdot (N/25)^{0.121}$   
 Donde:  
 LL = Limite Liquido  
 Wn = Contenido de Humedad Promedio (%)  
 N = Número de Golpes



UNIVERSIDAD ANDINA "NESTOR CACERES VELASQUEZ"  
 VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN  
 FICP - CAP. INGENIERÍA CIVIL  
 M.S.C. JEFE TALLER  
 JEFE TALLER  
 Sr. Arnaldo Yana Torres  
 CIP 103257



UNIVERSIDAD ANDINA "NESTOR CACERES VELASQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS

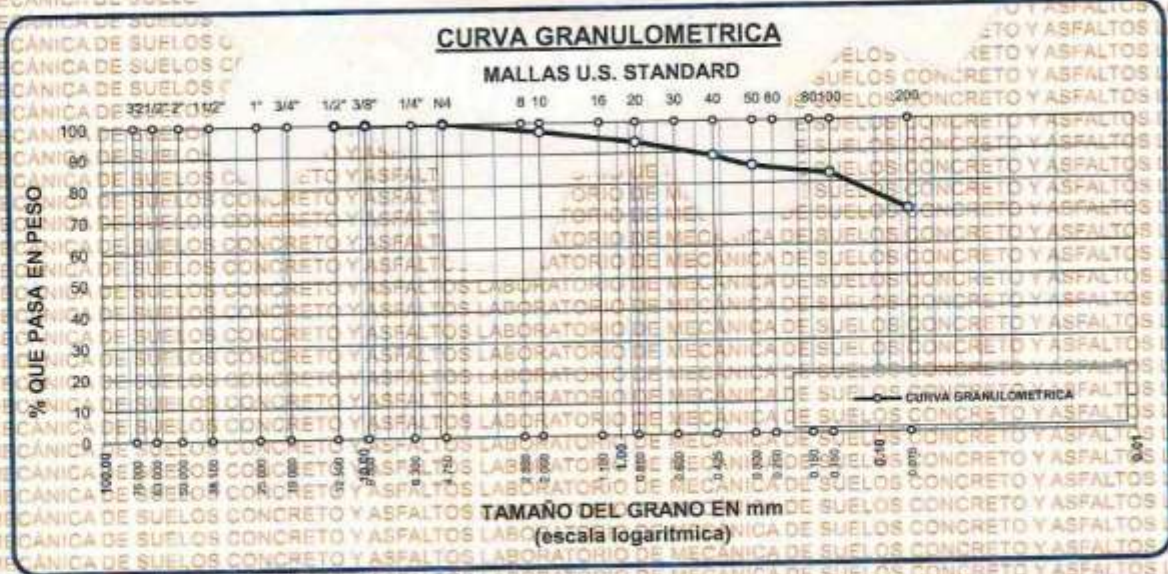


### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM D422)

ENSAYOS ESTÁNDAR DE CLASIFICACIÓN (D422 - D2216 - D4318 - D427 - D2487)

**PROYECTO:** MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE SUELOS DE LA CANTERA YOCARA CON PIEDRA CHANCADA EN BASES GRANULARES PARA PAVIMENTOS - DISTRITO DE JULIACA  
**SOLICITANTE:** BACHILLER WILMER ILLACHURA VELAZCO  
**UBICACIÓN:** DISTRITO DE JULIACA  
**LUGAR:** LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS  
**MUESTRA:** CALICATA 3

TAMICES ASTM	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	%RETENIDO PARCIAL	%RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIF.	TAMANO MAXIMO:
3"	75.000						DESCRIPCION DE LA MUESTRA
2 1/2"	63.000						P.L.= 200.00
2"	50.000						P.L.= 59.43
1 1/2"	38.100						P.P.= 140.57
1"	25.000						% W = 18.04
3/4"	19.000						LIMITES DE CONSISTENCIA:
1/2"	12.500	0.00	0.00	0.00	100.00		LL.= 33.41
3/8"	9.500	0.00	0.00	0.00	100.00		L.P.= 20.83
1/4"	6.300						I.P.= 12.58
No4	4.750	0.00	0.00	0.00	100.00		CARACT. GRANULOMETRICAS:
No8	2.360						D10= Cu=
No10	2.000	4.85	2.43	2.43	97.16		D30= Cc=
No16	1.180						D60=
No20	0.850	7.58	3.79	6.22	93.45		CLASIFICACION:
No30	0.800						I.G. =
No40	0.425	11.00	5.50	11.72	88.85		SUSCS ; CL
No 50	0.300	6.00	3.00	14.72	85.54		ASSTHO ; CL
No60	0.250						OBSERVACIONES:
No80	0.180						
No100	0.150	6.00	3.00	17.72	82.78		
No200	0.075	24.00	12.00	29.72	71.13		
BASE TOTAL		140.57	70.29	100.00	0.00		
% PERDIDA		200.00	100.00				



LABORATORIO I.S.C.A. JESABARRA  
Metr. Arnoldo Yano Torres  
CIR: 100257



UNIVERSIDAD ANDINA "NESTOR CACERES VELASQUEZ"  
 FACULTAD DE INGENIERIAS Y CIENCIAS PURAS  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL  
 LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



**PROYECTO:** MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE SUELOS DE LA CANTERA YOCARA CON PIEDRA CHANCADA EN BASES GRANULARES PARA PAVIMENTOS - DISTRITO DE JULIACA

**SOLICITANTE:** BACHILLER WILMER LLACHURA VELAZCO

**UBICACIÓN:** DISTRITO DE JULIACA

**LUGAR:** LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS

**MUESTRA:** CALICATA 4

### CONTENIDO DE HUMEDAD ASTM - D - 2216 - MTC - E 108

SUELO HUMEDO + TARRO	gr	443.16
SUELO SECO + TARRO	gr	402.30
PESO DEL TARRO	gr	50.19
PESO DEL AGUA	gr	40.86
PESO DEL SUELO SECO	gr	352.11
HUMEDAD %	%	12.76

### LIMITE LIQUIDO - LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD ASTM - D424 D-4318 AASHTO - T90

TARRO N°		LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO	
		10	11	12	13	14
SUELO HUMEDO + TARRO	gr	27.37	29.44	27.58	8.70	8.51
SUELO SECO + TARRO	gr	25.85	27.28	25.88	7.93	7.75
PESO DEL TARRO	gr	21.94	21.89	21.85	4.23	4.22
PESO DEL AGUA	gr	1.52	2.16	1.70	0.77	0.76
PESO DEL SUELO SECO	gr	3.91	5.39	4.03	3.70	3.53
HUMEDAD %	%	38.87	40.07	42.18	20.81	21.53
N° DE GOLPES		35	28	15		

**LIMITE LIQUIDO** 45.52      **LIMITE PLASTICO** 24.46

**INDICE PLASTICO** 21.06

$LL = W_n * (N/25)^{0.121}$   
 Donde:  
 LL = Limite Liquido  
 Wn = Contenido de Humedad Promedio (%)  
 N = Número de Golpes



INVESTIGACIÓN VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN  
 FICP - CAP INGENIERIA CIVIL  
 Mgtr. Arnoldo Tano Torres  
 EIP 103247



UNIVERSIDAD ANDINA "NESTOR CERÓN VELÁSQUEZ"  
 FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM D422)

ENSAYOS ESTÁNDAR DE CLASIFICACIÓN (D422 - D2216 - D4318 - D427 - D2487)

**PROYECTO:** MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE SUELOS DE LA CANTERA YOCARA CON PIEDRA CHANCADA EN BASES GRANULARES PARA PAVIMENTOS - DISTRITO DE JULIACA

**SOLICITANTE:** BACHILLER WIMMER ILLACHURA VELAZCO

**UBICACIÓN:** DISTRITO DE JULIACA

**LUGAR:** LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS

**MUESTRA:** CALICATA 4

TAMICES ASTM	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	%RETENIDO PARCIAL	%RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIF.	TAMANO MÁXIMO
3"	75.000						DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
2 1/2"	63.000						P.L.= 200.00
2"	50.000						P.L.= 10.57
1 1/2"	38.100						P.P.= 189.43
1"	25.000						% w = 12.76
3/4"	19.000						LIMITES DE CONSISTENCIA
1/2"	12.500						LL= 45.52
3/8"	9.500	0.00	0.00	0.00	100.00		L.P.= 24.46
1/4"	6.300						I.P.= 21.06
No4	4.750	0.00	0.00	0.00	100.00		CARACT. GRANULOMÉTRICAS
No8	2.360						D10=
No10	2.000	1.20	0.60	0.60	99.76		Cu=
No16	1.180						D30=
No20	0.850	0.25	0.13	0.73	99.05		Cc=
No30	0.600						D60=
No40	0.425	2.00	1.00	1.73	97.54		CLASIFICACION:
No50	0.300	3.12	1.56	3.29	96.82		I.G. =
No60	0.250						SUSCS : CL
No80	0.180						ASSTHO :
No100	0.150	3.00	1.50	4.79	94.78		OBSERVACIONES:
No200	0.075	1.00	0.50	5.29	83.32		
BASE		189.43	94.72	100.00	0.00		
TOTAL		200.00	100.00				
% PERDIDA			94.72				



UNIVERSIDAD ANDINA "NESTOR CERÓN VELÁSQUEZ"  
 FICP - CAP INGENIERÍA CIVIL  
 M.S.C. WIMMER ILLACHURA VELAZCO  
 Mtro. Arnoldo Yana Torres



UNIVERSIDAD ANDINA "NESTOR CACERES VELAZQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERIAS Y CIENCIAS PURAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



**PROYECTO:** MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE SUELOS DE LA CANTERA YOGARA CON PIEDRA CHANCADA EN BASES GRANULARES PARA PAVIMENTOS - DISTRITO DE JULIACA  
**SOLICITANTE:** BACHILLER WILMER LLACHURA VELAZCO  
**UBICACION:** DISTRITO DE JULIACA  
**LUGAR:** LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS  
**MUESTRA:** CALICATA 5

### CONTENIDO DE HUMEDAD ASTM - D - 2216 - MTC - E 108

SUELO HUMEDO + TARRO	gr	441.26
SUELO SECO + TARRO	gr	392.00
PESO DEL TARRO	gr	50.20
PESO DEL AGUA	gr	49.26
PESO DEL SUELO SECO	gr	341.80
HUMEDAD %	%	14.21

### LIMITE LIQUIDO - LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD ASTM - D424 D-4318 AASHTO - T90

TARRO N°		LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO	
		10	11	12	G	H
SUELO HUMEDO + TARRO	gr	27.37	29.44	27.58	8.70	8.51
SUELO SECO + TARRO	gr	25.85	27.28	25.88	7.93	7.75
PESO DEL TARRO	gr	21.94	21.89	21.85	4.23	4.22
PESO DEL AGUA	gr	1.52	2.16	1.70	0.77	0.76
PESO DEL SUELO SECO	gr	3.91	5.39	4.03	3.70	3.53
HUMEDAD %	%	38.87	40.07	42.18	20.81	21.53
N° DE GOLPES		35	28	10		
<b>LIMITE LIQUIDO</b>		<b>40.15</b>			<b>LIMITE PLASTICO</b>	<b>21.98</b>
<b>INDICE PLASTICO</b>						<b>18.17</b>

$LL = Wn \cdot (N/25)^{0.121}$   
Donde:  
LL = Limite Liquido  
Wn = Contenido de Humedad Promedio (%)  
N = Número de Golpes

UNIVERSIDAD ANDINA "NESTOR CACERES VELAZQUEZ"  
FIC - CAP. INGENIERIA CIVIL  
M.S.C. JHERONIMO  
Miguel Arnaldo Yana Torres  
CIP: 103257



UNIVERSIDAD ANDINA "NESTOR CERRES VELASQUEZ"  
 FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM D422)

ENSAYOS ESTÁNDAR DE CLASIFICACIÓN (D422 - D2216 - D4318 - D427 - D2487)

**PROYECTO:** MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE SUELOS DE LA CANTERA YOCARA CON PIEDRA CHANCADA EN BASES GRANULÁREAS PARA PAVIMENTOS - DISTRITO DE JULIACA

**SOLICITANTE:** BACHILLER WIEMER ILLACHURA VELAZO

**UBICACIÓN:** DISTRITO DE JULIACA

**LUGAR:** LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS

**MUESTRA:** CALICATA 5

TAMICES ASTM	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	%RETENIDO PARCIAL	%RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIF.	TAMANO MAXIMO: DESCRIPCION DE LA MUESTRA
3"	75.000						P.L.= 200.00
2 1/2"	63.000						P.L.= 48.78
2"	50.000						P.P.= 151.22
1 1/2"	38.100						%W= 14.21
1"	25.000						LIMITES DE CONSISTENCIA:
3/4"	19.000						LL.= 40.15
1/2"	12.500						L.P.= 21.98
3/8"	9.500	0.00	0.00	0.00	100.00		I.P.= 18.17
1/4"	6.300						CARACT. GRANULOMETRICAS
No4	4.750	0.00	0.00	0.00	100.00		D10= Cu=
No8	2.360						D30= Cce
No10	2.000	1.10	0.55	0.55	99.61		D60=
No16	1.180						CLASIFICACION:
No20	0.850	2.23	1.12	1.67	98.51		I.G. =
No30	0.600						SUSCS : CL
No40	0.425	4.25	2.13	3.79	96.47		ASSTHO :
No50	0.300	3.00	1.50	5.29	95.77		OBSERVACIONES:
No60	0.250						
No80	0.180						
No100	0.150	10.00	5.00	10.29	91.78		
No200	0.075	28.20	14.10	24.39	74.73		
BASE		151.22	75.61	100.00	0.00		
TOTAL		200.00					
% PERDIDA			75.61				



UNIVERSIDAD ANDINA "NESTOR CERRES VELASQUEZ"  
 FACP - C.A.P. INGENIERÍA CIVIL  
 Mtro. Arnaldo Yana Torres



UNIVERSIDAD ANDINA "NESTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
 FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



**TESIS** MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE SUELOS DE LA CANTERA YOCARA CON PIEDRA CHANCADA EN BASES GRANULARES PARA PAVIMENTOS - DISTRITO DE JUJACA  
**SOLICITANTE** WILMER ILLACHURA VELAZCO  
**CANTERA** YOCARA - PIEDRA CHANCADA  
**LUGAR** YOCARA - ARENA  
**LUGAR** LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS CONCRETO Y ASFALTO UANCV

### ANÁLISIS MECÁNICO Y PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS AGREGADOS

#### ARENA

Malla	Peso Retenido	% Retenido	% Ret. Acumulado	% Pasa	Peso Específico y Absorción Método del Picnómetro	
3/8"	0	0.00	0.00	100.00	A	-Peso de muestra secada al horno <u>486.33</u>
N° 4	0.00	0.00	0.00	100.00	B	-Peso de muestra saturada seca (SSS) <u>500.00</u>
					Wc	-Peso del picnómetro con agua <u>1311.01</u>
N° 8	40.58	8.12	8.12	91.88	W	-Peso del Pic. + muestra + agua <u>1616.04</u>
					<b>PESO ESPECÍFICO</b>	
N° 16	53.26	10.65	18.77	81.23	Wc+B =	<u>1811</u>
N° 30	140.28	28.06	46.82	53.18	Wc+B-W =	<u>195</u>
					Pe =	$\frac{B}{Wc+B-W} = \frac{500.00}{1811-500.00} = 2.56$ gr/cm <sup>3</sup>
N° 50	202.23	40.45	87.27	12.73	<b>ABSORCIÓN</b>	
N° 100	58.94	11.79	99.06	0.94	B =	<u>500.00</u>
N° 200	3.54	0.71	99.77	0.23	B-A =	<u>13.67</u>
FONDO	1.17	0.23	100.00	0.00	Abs =	$\frac{(B-A) \times 100}{A} = \frac{13.67 \times 100}{500.00} = 2.81$ %
SUMA	500.00	100.00			Observaciones sobre el Análisis Granulométrico	
Mf = MODULO DE FINEZA			2.60			

#### PIEDRA CHANCADA

Malla	Peso Retenido	% Retenido	% Ret. Acumulado	% Pasa	Peso Específico y Absorción Método del Picnómetro	
2"	0	0.00	0.00	100.00	A	-Peso de muestra secada al horno <u>786.26</u>
1 1/2"	0	0.00	0.00	100.00	B	-Peso de muestra saturada seca (SSS) <u>800.00</u>
					Wc	-Peso del picnómetro con agua <u>1311.01</u>
1"	0	0.00	0.00	100.00	W	-Peso del Pic. + muestra + agua <u>1798.67</u>
					<b>PESO ESPECÍFICO</b>	
3/4"	1459	41.69	41.69	58.31	Wc+B =	<u>2111</u>
1/2"	1783	50.94	92.63	7.37	Wc+B-W =	<u>312</u>
					Pe =	$\frac{B}{Wc+B-W} = \frac{800.00}{2111-800.00} = 2.56$ gr/cm <sup>3</sup>
3/8"	234	6.69	99.31	0.69	<b>ABSORCIÓN</b>	
1/4"	15	0.43	99.74	0.26	B =	<u>800.00</u>
N° 4	9.00	0.26	100.00	0.00	B-A =	<u>13.74</u>
SUMA	3500.00	100.00			Abs =	$\frac{(B-A) \times 100}{A} = \frac{13.74 \times 100}{800.00} = 1.75$ %
Observaciones sobre el Análisis Granulométrico						

OBSERVACIONES: LAS MUESTRAS FUERON PUESTAS EN LABORATORIO POR EL SOLICITANTE



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS  
 VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN  
 UANCV  
 INGENIERÍA CIVIL



UNIVERSIDAD ANDINA "NESTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



## ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

NORMA ASTM C 33

TESIS: MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE SUELOS DE LA CANTERA YOCARA CON PIEDRA CHANCADA EN BASES GRANULARES PARA PAVIMENTOS - DISTRITO DE JULIACA

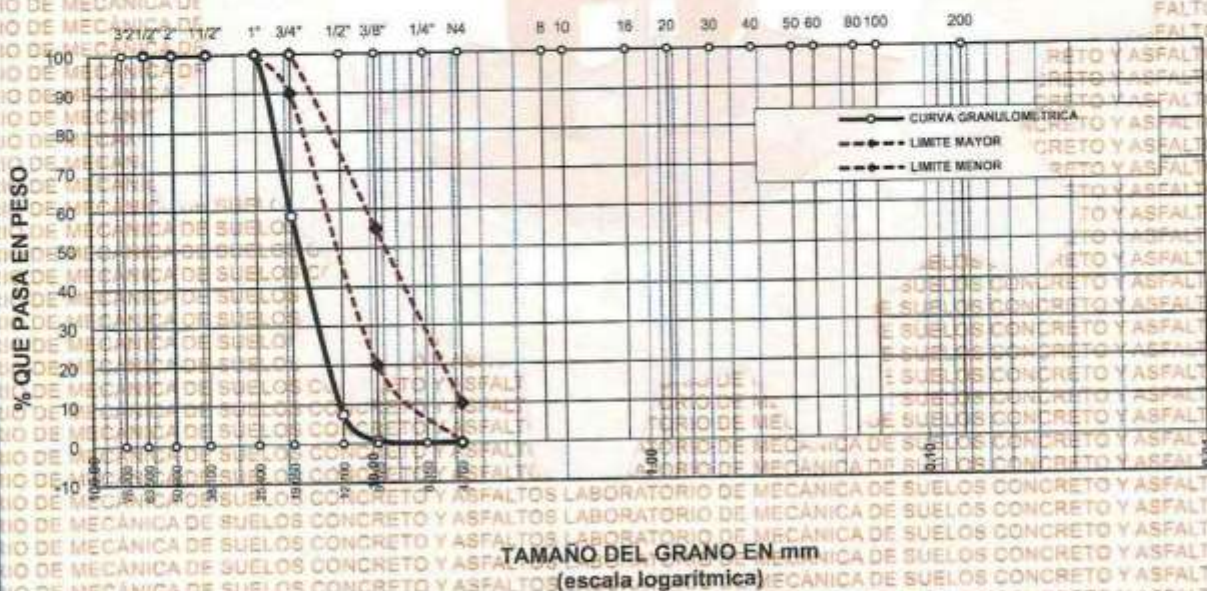
SOLICITANTE: WILMER ILLACHURA VELAZCO

CANTERA: YOCARA - PIEDRA CHANCADA

LUGAR: LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS CONCRETO Y ASFALTO-UANCV

TAMICES ASTM	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	%RETENIDO PARCIAL	%RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIF.	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
3"	76.200						Peso Inicial = 3500 gr. Tamaño máx. nominal = 3/4"
2 1/2"	63.500	0.00	0.00	0.00	100.00		
2"	50.600	0.00	0.00	0.00	100.00		OBSERVACIONES:
1 1/2"	38.100	0.00	0.00	0.00	100.00	100 %	
1"	25.400	0.00	0.00	0.00	100.00	90 - 100 %	
3/4"	19.050	1459.00	41.69	41.69	58.31		
1/2"	12.700	1783.00	50.94	92.63	7.37	20 - 55 %	
3/8"	9.525	234.00	6.69	99.31	0.69		
1/4"	6.350					0 - 10 %	
No.4	4.760	15.00	0.43	99.74	0.26		
BASE		9.00	0.26	100.0	0.0		
TOTAL		3500.00	100.00				
% PERDIDA		0.26					

### CURVA GRANULOMÉTRICA



OBSERVACIONES: LAS MUESTRAS FUERON PUESTAS EN LABORATORIO POR EL SOLICITANTE



INGENIERO ANDINO EN INGENIERÍA CIVIL  
FICP - CAP INGENIERÍA CIVIL  
Mgtr. Arnaldo Lana Torres  
EIP 103257



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



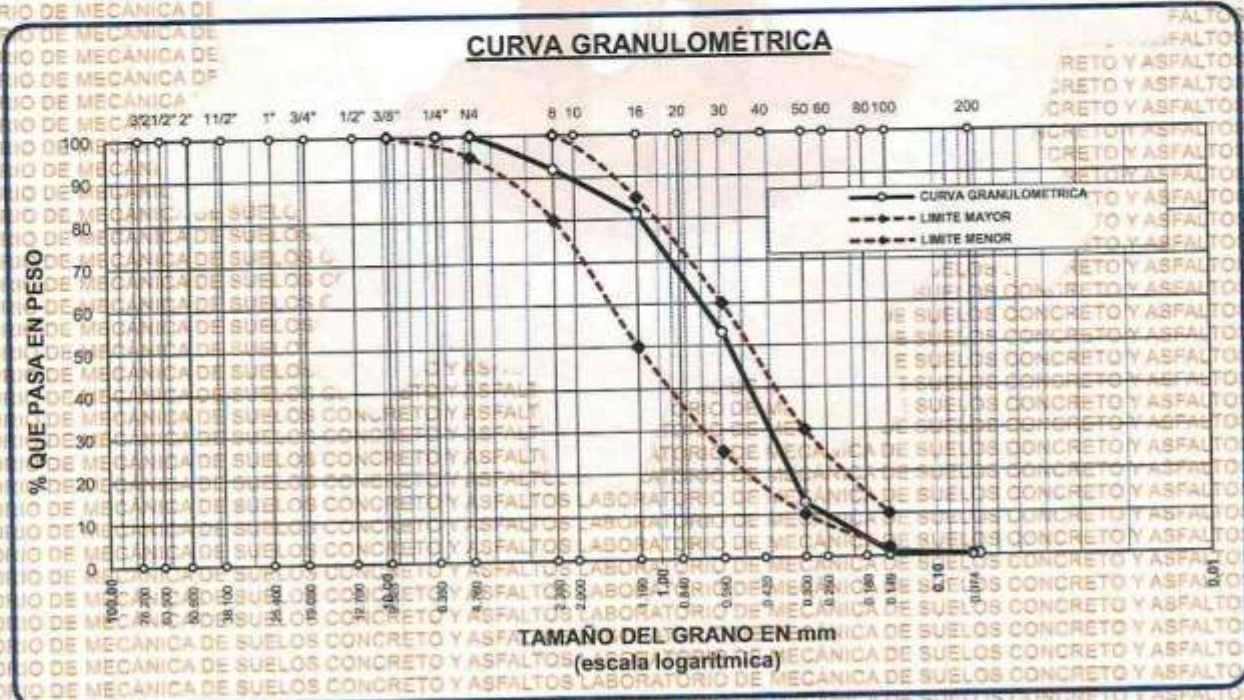
### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

NORMA ASTM C 33

**TESIS:** MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE SUELOS DE LA CANTERA YOCARA CON PIEDRA CHANCADA EN BASES GRANULARES PARA PAVIMENTOS DISTRITO DE JULIACA  
**SOLICITANTE:** WILMER ILLACHURA VELAZCO  
**CANTERA:** YOCARA ARENA  
**LUGAR:** LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS CONCRETO Y ASFALTO-UANCV

TAMICES ASTM	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	% RETENIDO	%RET. ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIF. NIT	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
3/8"	9.525	0.00	0.00	0.00	100.00	100%	Peso Inicial = 500 gr Módulo de Fineza = 2.60
1/4"	6.350	0.00	0.00	0.00	100.00	95 - 100 %	
No4	4.760	0.00	0.00	0.00	100.00	80 - 100 %	
No8	2.380	40.58	8.12	8.12	91.88		
No16	1.190	53.26	10.65	18.77	81.23	50 - 85 %	
No20	0.840						
No30	0.590	140.28	28.06	46.82	53.18	25 - 60 %	
No40	0.420						
No50	0.300	202.23	40.45	87.27	12.73	10 - 30 %	
No60	0.250						
No80	0.180						
No100	0.149	58.94	11.79	99.06	0.94	2-10%	
No200	0.074	3.54	0.71	99.77	0.23		
BASE		1.17	0.23	100	0.00		
TOTAL		500.00	100.00				
% PERDIDA		0.23					

OBSERVACIONES:



OBSERVACIONES: LAS MUESTRAS FUERON PUESTAS EN LABORATORIO POR EL SOLICITANTE

UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN  
FICP - IAP INGENIERÍA CIVIL

Mgtr. Arnaldo Yancu Torres  
103257



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
 FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



## PESOS UNITARIOS

NTP-400.017 - ASTM C-29 AASHTO T-19

**TESIS** : MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE SUELOS DE LA CANTERA YOCARA CON PIEDRA CHANCADA EN BASES GRANULARES PARA PAVIMENTOS - DISTRITO DE JULIACA

**SOLICITANTE** : WILMER ILLACHURA VELAZCO

**CANTERA** : YOCARA - ARENA

**LUGAR** : LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS CONCRETO Y ASFALTO-UANCV

### DENSIDAD MINIMA AGREGADO (ARENA)

PESO DEL MOLDE	6270 gr	6270 gr	6270 gr
VOLUMEN DEL MOLDE	2105 cm <sup>3</sup>	2105 cm <sup>3</sup>	2105 cm <sup>3</sup>
COLOCACION DE MUESTRA A MOLDE	CAIDA LIBRE	CAIDA LIBRE	CAIDA LIBRE
PESO DEL MOLDE + MUESTRA SUELTA	9810.00 gr	9794.00 gr	9790.00 gr
PESO DE LA MUESTRA SUELTA	3540.00 gr	3524.00 gr	3520.00 gr
DENSIDAD MINIMA DE LA MUESTRA SECA	1.682 gr/cm <sup>3</sup>	1.674 gr/cm <sup>3</sup>	1.672 gr/cm <sup>3</sup>
PROMEDIO		1.676 gr/cm <sup>3</sup>	

### DENSIDAD MINIMA AGREGADO (ARENA)

PESO DEL MOLDE	6270 gr	6270 gr	6270 gr
VOLUMEN DEL MOLDE	2105 cm <sup>3</sup>	2105 cm <sup>3</sup>	2105 cm <sup>3</sup>
Nº DE CAPAS	3	3	3
Nº DE GOLPES POR CAPA	25	25	25
PESO DEL MOLDE + MUESTRA COMPACTADA	9933.00 gr	9940.00 gr	9950.00 gr
PESO DE LA MUESTRA COMPACTADA	3663.00 gr	3670.00 gr	3680.00 gr
DENSIDAD MAXIMA DE LA MUESTRA SECA	1.740 gr/cm <sup>3</sup>	1.743 gr/cm <sup>3</sup>	1.748 gr/cm <sup>3</sup>
PROMEDIO		1.744 gr/cm <sup>3</sup>	

OBSERVACIONES: LAS MUESTRAS FUERON PUESTAS EN LABORATORIO POR EL SOLICITANTE



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  
 M.Sc. JEPATUROS  
 M.Sc. JEPATUROS  
 M.Sc. JEPATUROS



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
 FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



## PESOS UNITARIOS

NTP 400.017 - ASTM C - 29 AASHTO T - 19

**TESIS** : MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE SUELOS DE LA CANTERA YOCARA CON PIEDRA CHANCADA EN BASES GRANULARES PARA PAVIMENTOS - DISTRITO DE JULIACA

**SOLICITANTE** : WILMER ILLACHURA VELAZCO

**CANTERA** : YOCARA - PIEDRA CHANCADA

**LUGAR** : LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS CONCRETO Y ASFALTO-UANCV

### DENSIDAD MINIMA AGREGADO (PIEDRA CHANCADA)

PESO DEL MOLDE	7142 gr	7142 gr	7142 gr
VOLUMEN DEL MOLDE	3200 cm <sup>3</sup>	3200 cm <sup>3</sup>	3200 cm <sup>3</sup>
COLOCACION DE MUESTRA A MOLDE	CAIDA LIBRE	CAIDA LIBRE	CAIDA LIBRE
PESO DEL MOLDE + MUESTRA SUELTA	11313.00 gr	11344.00 gr	11350.00 gr
PESO DE LA MUESTRA SUELTA	4171.00 gr	4202.00 gr	4208.00 gr
DENSIDAD MINIMA DE LA MUESTRA SECA	1.303 gr/cm <sup>3</sup>	1.313 gr/cm <sup>3</sup>	1.315 gr/cm <sup>3</sup>
PROMEDIO	1.310 gr/cm <sup>3</sup>		

### DENSIDAD MINIMA AGREGADO (PIEDRA CHANCADA)

PESO DEL MOLDE	7142 gr	7142 gr	7142 gr
VOLUMEN DEL MOLDE	3200 cm <sup>3</sup>	3200 cm <sup>3</sup>	3200 cm <sup>3</sup>
Nº DE CAPAS	3	3	3
Nº DE GOLPES POR CAPA	25	25	25
PESO DEL MOLDE + MUESTRA COMPACTADA	11814.00 gr	11850.00 gr	11835.00 gr
PESO DE LA MUESTRA COMPACTADA	4672.00 gr	4708.00 gr	4693.00 gr
DENSIDAD MAXIMA DE LA MUESTRA SECA	1.460 gr/cm <sup>3</sup>	1.471 gr/cm <sup>3</sup>	1.466 gr/cm <sup>3</sup>
PROMEDIO	1.466 gr/cm <sup>3</sup>		

OBSERVACIONES: LAS MUESTRAS FUERON PUESTAS EN LABORATORIO POR EL SOLICITANTE



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS

INVESTIGADOR: NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ

INGENIERO EN CIVIL

CIP: 70325

Milit. Arnoldo Yano Torres

CIP: 70325



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



## CONTENIDO DE HUMEDAD

ASTM D-2216- MTC E108-2000

**TESIS** : MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE SUELOS DE LA CANTERA YOCARA CON PIEDRA CHANCADA EN BASES GRANULARES PARA PAVIMENTOS - DISTRITO DE JULIACA  
**SOLICITANTE** : WILMER ILLACHURA VELAZCO  
**CANTERA** : YOCARA - PIEDRA CHANCADA  
                  : YOCARA - ARENA  
**LUGAR** : LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS CONCRETO Y ASFALTO-UANCV

### MUESTRA : ARENA

N° DE TARRO	1
PESO DE LA MUESTRA HUMEDA + TARRO (gr.)	343.72
PESO DE LA MUESTRA SECA + TARRO (gr.)	324.65
PESO DEL TARRO (gr.)	51.56
PESO DE LA MUESTRA HUMEDA (gr.)	292.16
PESO DE LA MUESTRA SECO (gr.)	273.09
PESO DEL AGUA (gr.)	19.07
% HUMEDAD	6.98

### MUESTRA : PIEDRA CHANCADA

N° DE TARRO	2
PESO DE LA MUESTRA HUMEDA + TARRO (gr.)	341.88
PESO DE LA MUESTRA SECA + TARRO (gr.)	335.40
PESO DEL TARRO (gr.)	55.11
PESO DE LA MUESTRA HUMEDA (gr.)	286.77
PESO DE LA MUESTRA SECO (gr.)	280.29
PESO DEL AGUA (gr.)	6.48
% HUMEDAD	2.31

**OBSERVACIONES:**  
LAS MUESTRAS FUERON PUESTAS EN LABORATORIO POR EL SOLICITANTE.



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS  
M.S.C.A. JERARQUIA



ANEXO 1  
FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN

AUTORIZACIÓN PARA LA INCORPORACIÓN DE LOS  
TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN  
EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL UANCV

Formato digital

Fecha de entrega: 10-03-2025

1. Datos del autor (es):

Nombres y Apellidos: WILMER ILLACHURA VELAZCO

Dirección: ESTIQUE PUEBLO CALLE SAN MARTIN 46

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: 80146587

Teléfono: 999 647 433 email: wilmerillachuravelazco@gmail.com

Nombres y Apellidos: \_\_\_\_\_

Dirección: \_\_\_\_\_

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: \_\_\_\_\_

Teléfono: \_\_\_\_\_ email: \_\_\_\_\_

Facultad y/o Escuela de Posgrado: ESCUELA DE POSGRADO

Escuela Profesional o Mención: GEOTECNIA Y TRANSPORTES

Título o Grado Académico a optar: MAESTRO EN INGENIERÍA CIVIL

Asesor: Dr. ARNALDO YANA TORRES

Esta obra se encuentra dentro de las siguientes denominaciones:

Trabajo de Investigación  Tesis  Trabajo de Suficiencia Profesional  Trabajo Académico

Título: MEJORAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE SUELOS DE LA CANTERA

YOCARA CON PIEDRA CHANCADA EN BASES GRANULARES PARA PAVIMENTOS - DISTRITO

DE JULIACA

Palabras claves, (3 a 5 términos): PAVIMENTOS, BASES GRANULARES, PIEDRA TRITURADA, CBR

¿Esta obra se desarrolló en la UANCV <sup>1,2</sup>?

1

<sup>1</sup> Indicar si su producción intelectual ha empleado recursos tales como, instalaciones, laboratorios, insumos, equipos, bases de datos, asesoría técnica por parte del personal de la UANCV, financiamiento, entre otros relacionados.

<sup>2</sup> Si su producción intelectual se desarrolló en la UANCV totalmente o parcialmente, deberá autorizar el depósito en el Repositorio de manera obligatoria.



2. Referencia de tesis:

- Bachiller   
  Titulo   
  2da Especialidad   
  Maestría   
  Doctorado

3. Licencias:

a) Licencia estándar:

**Bajo los siguientes términos, autorizo el depósito de mi tesis en el Repositorio Digital de la UANCV.**

Con la autorización de depósito de mi producción Intelectual, otorgo a la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" una licencia no exclusiva para reproducir, distribuir, comunicar al público, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público mi producción intelectual (incluido el resumen), en formato físico o digital, en cualquier medio, conocido o por conocerse, a través de los diversos servicios por la Universidad, creados o por crearse, tales como el Repositorio Digital de tesis UANCV, colección de producción intelectual, entre otros, en el Perú y en el extranjero por el tiempo y veces que considere necesarias, y libres de remuneraciones.

En virtud de dicha licencia, la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" podrá reproducir mi producción intelectual en cualquier tipo de soporte y en más de un ejemplar, sin modificar su contenido, solo con propósitos de seguridad, respaldo y preservación.

Declaro que la producción intelectual es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, coautoría con titularidad compartida, y me encuentro facultado a conceder la presente licencia y, asimismo, garantizo que dicha producción intelectual no infringe derechos de autor de terceras personas.

La Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" consignará el nombre del y/o los autor(es) de la producción intelectual, y no le hará ninguna modificación más que la permitida en la licencia.

**Autorizo su publicación (marque con una X)**

- Sí, autorizo que se deposite inmediatamente.
- Sí, autorizo que se deposite a partir de la fecha (d/m/a): \_\_\_\_\_
- No autorizo.

b) Licencia CREATIVE COMMONS 4.0 INTERNACIONAL:

Si usted concede una licencia CREATIVE COMMONS sobre su producción intelectual, mantiene la titularidad de los derechos de autor de esta y, a la vez, permite que otras personas puedan reproducirla, comunicarla al público y distribuir ejemplares de esta, bajo las condiciones siguientes:

**¿Quiere permitir usos comerciales de su producción intelectual?**

**Sí:** significa que usted permite la reproducción, distribución y comunicación pública de la producción intelectual incluso con fines comerciales.

**No:** significa que usted permite la reproducción, y comunicación pública de la producción intelectual, pero sin fines comerciales.

- Sí autorizo
- No autorizo



**Jurisdicción de su Licencia**

Todas las licencias CREATIVE COMMONS son de ámbito mundial, sin embargo, usted puede elegir entre la opción "internacional" o una adaptada a su jurisdicción, como para el caso peruano.

La opción "internacional" emplea el lenguaje y la terminología de los tratados internacionales; en cambio, la adaptada a su jurisdicción, recoge las particularidades de la legislación peruana.

En consecuencia, la opción "internacional" goza de una mayor eficacia a nivel mundial, gracias a que tiene jurisdicción neutral. Mientras que la opción adaptada a la jurisdicción del Perú goza de una mayor eficacia ante los tribunales peruanos.

Internacional

Nacional

Línea de investigación: TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN - P50

Firma de Autor



huella digital

05 - 03 - 2025

Fecha