

UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

EVALUACIÓN DE LA APLICACIÓN DE LOS MÉTODOS A, B Y C DEL ENSAYO PROCTOR MODIFICADO EN LOS AGREGADOS DE LAS CANTERAS ESTRELLA, PUMPUNYA, MITUPAMPA – CHUPURO – HUANCAYO, 2017

Área de Investigación : Transporte y Vías de Comunicación

Línea de Investigación : Transporte y Vías de Comunicación

PRESENTADO POR:

Bach. Melendez Leon, Carlos Willians

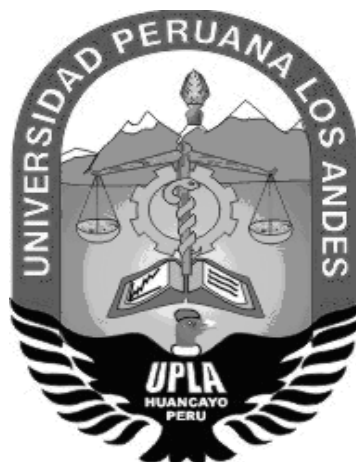
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

Huancayo - Perú

2017

UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

**EVALUACIÓN DE LA APLICACIÓN DE LOS MÉTODOS A, B Y C DEL
ENSAYO PROCTOR MODIFICADO EN LOS AGREGADOS DE LAS
CANTERAS ESTRELLA, PUMPUNYA, MITUPAMPA – CHUPURO –
HUANCAYO, 2017**

Área de Investigación : Transporte y Vías de Comunicación

Línea de Investigación : Transporte y Vías de Comunicación

PRESENTADO POR:

Bach. Melendez Leon, Carlos Willians

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

Huancayo - Perú

2017

Asesor Temático:

Ing. MUERAS GUTIERREZ, María Luisa.

Asesor Metodológico:

Dr. VIERA PERALTA, Deybe Evin

DEDICATORIA

La presente tesis está dedicada a Dios Jehová, gracias a él tengo fuerzas para seguir adelante cada día. A mis padres que siempre estuvieron apoyándome, dándome consejos para ser una mejor persona. A mis hermanos por sus palabras de aliento. A mi abuelo Timoteo, aunque no esté físicamente, sé que desde el cielo siempre me cuida y guía para que todo salga de la mejor forma, esa persona especial que siempre me brinda su apoyo, a mis amigos, y aquellos que creyeron en mí.

AGRADECIMIENTO

Mi agradecimiento sincero al Señor Decano de la Facultad de Ingeniería, de la Universidad Peruana los Andes.

A los docentes de la carrera profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Peruana Los Andes, por compartir su valioso conocimiento, su constante preocupación para motivarnos y encaminarnos al desarrollo profesional.

A mis Asesores, por sus acertadas y oportunas sugerencias, que me condujeron exitosamente en mi tema de investigación.

Al personal del laboratorio de Suelos de la DRTC-JUNÍN, por brindarme los medios y facilidades para realizar los ensayos, necesarios para la presente investigación.

HOJA DE CONFORMIDAD DEL JURADO

DR. CASIO AURELIO TORRES LOPEZ
PRESIDENTE

ING. NATALY LUCIA CORDOVA ZORRILLA
JURADO

ING. JULIO FREDY PORRAS MAYTA
JURADO

ING. CHRISTIAN MALLAUPOMA REYES
JURADO

MG. MIGUEL ANGEL CARLOS CANALES
SECRETARIO DOCENTE

ÍNDICE

CARATULA	i
FALSA PORTADA	ii
ASESORES	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
HOJA DE CONFORMIDAD DEL JURADO	vi
ÍNDICE	vii
ÍNDICE DE GRÁFICOS	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xiii
ÍNDICE DE TABLAS	xiv
RESUMEN	xvii
ABSTRACT	xviii
INTRODUCCIÓN	xix
CAPÍTULO I EL PROBLEMA	
1.1 Planteamiento del problema	21
1.2 Formulación y sistematización	24

1.2.1	Problema general	24
1.2.2	Problema específico	24
1.3	Delimitación de la investigación	25
1.3.1	Delimitación espacial	25
1.3.2	Delimitación temporal	25
1.4	Justificación	25
1.4.1	Justificación práctica	25
1.4.2	Justificación metodología	25
1.5	Limitaciones de la investigación	26
1.5.1	Limitación tecnológica	26
1.5.2	Limitación económica	26
1.6	Objetivos	26
1.6.1	Objetivos generales	26
1.6.2	Objetivos específicos	26
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO		
2.1	Antecedentes del estudio de investigación	27
2.1.1	Antecedentes internacionales	27
2.1.2	Antecedentes nacionales	28
2.2	Marco conceptual	30
2.2.1	Suelos	30
2.2.2	Compactación de suelos	30
2.2.3	Características de los suelos en compactación	30
2.2.4	Curvas de compactación	32
2.2.5	Factores que influyen en la compactación	35

2.2.6	Propiedades de los suelos compactados	39
2.2.7	Agregados	42
2.2.8	Ensayos de laboratorio	44
2.3	Definición de términos	58
CAPÍTULO III HIPÓTESIS Y VARIABLES		
3.1	Hipótesis	62
3.1.1	Hipótesis general	62
3.1.2	Hipótesis específicas	62
3.2	Variables	63
3.2.1	Definición conceptual de las variables	63
3.3	Operacionalización de las variables	63
CAPÍTULO IV METODOLOGÍA		
4.1	Método de investigación	64
4.2	Tipo de investigación	64
4.3	Nivel de investigación	65
4.4	Diseño de investigación	65
4.5	Población y muestra	65
4.5.1	Población	65
4.5.2	Muestra	66
4.6	Técnicas y/o instrumentos de recolección de datos	66
4.6.1	Técnicas de recolección de datos	66
4.6.2	Instrumento de investigación	66
4.6.3	Validez	67
4.7	Técnicas de procesamiento y análisis de datos	67

4.7.1	Técnicas de procesamiento de datos	67
4.7.2	Análisis datos	68
4.7.3	Proceso metodológico de la investigación	69
CAPÍTULO V RESULTADOS		
5.1	Desarrollo de investigación	70
5.1.1	Ubicación del área de estudio	70
5.1.2	Cantera Pumpunya	72
5.1.3	Cantera Mitupampa	73
5.1.4	Cantera Estrella	74
5.1.5	Adquisición del material granular	75
5.1.6	Equipos e instrumentos de laboratorio de mecánica de suelos	77
5.2	Resultados de laboratorio	87
5.2.1	Análisis granulométrico	88
5.2.2	Contenido de humedad	91
5.2.3	Identificación y caracterización física del suelo	92
5.2.4	Ensayo del Proctor modificado	95
CAPÍTULO VI DISCUSIÓN DE RESULTADOS		
6.1	Análisis de resultados	105
CONCLUSIONES		117
RECOMENDACIONES		119
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		120
ANEXOS		123

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico N° 1 Curva Proctor	32
Gráfico N° 2. Curva de compactación.....	36
Gráfico N° 3. Contenido de humedad vs grado de saturación.....	36
Gráfico N° 4. Curvas de compactación Proctor estándar y modificado	37
Gráfico N° 5. Curvas de compactación según composición granular	38
Gráfico N° 6. Resistencia mecánica de compactación	42
Gráfico N° 7. Interpretación de la curva granulométrica	47
Gráfico N° 8. Localización de la investigación	71
Gráfico N° 9. Ubicación del distrito de Chupuro.	71
Gráfico N° 10. Ubicación del área de influencia.....	72
Gráfico N° 11. Fotografía Satelital, Ubicación de la cantera “Pumpunya”.....	73
Gráfico N° 12. Fotografía Satelital, Ubicación de la cantera “Mitupampa”	74
Gráfico N° 13. Fotografía Satelital, Ubicación de la cantera “Estrella”	75
Gráfico N° 14. Curva granulometría de la Cantera Pumpunya.	88
Gráfico N° 15. Curva granulometría de la Cantera Mitupampa.....	89
Gráfico N° 16. Curva granulometría de la Cantera Estrella (A)	90
Gráfico N° 17. Curva granulometría de la Cantera Estrella (B).....	91
Gráfico N° 18. Diagrama de fluidez - Cantera Pumpunya	92
Gráfico N° 19. Diagrama de fluidez - Cantera Mitupampa.....	93
Gráfico N° 20. Diagrama de fluidez - Cantera Estrella.....	94
Gráfico N° 21. Curva de compactación: Método “A” - Cantera Pumpunya.	96
Gráfico N° 22. Curva de compactación: Método “B” - Cantera Pumpunya.	97

Gráfico N° 23. Curva de compactación: Método “C” - Cantera Pumpunya	98
Gráfico N° 24. Curva de compactación: Método “A” - Cantera Mitupampa.....	99
Gráfico N° 25. Curva de compactación: Método “B” - Cantera Mitupampa.....	100
Gráfico N° 26. Curva de compactación: Método “C” - Cantera Mitupampa.....	101
Gráfico N° 27. Curva de compactación: Método “A” - Cantera Estrella.....	102
Gráfico N° 28. Curva de compactación: Método “B” - Cantera Estrella	103
Gráfico N° 29. Curva de compactación: Método “C” - Cantera Estrella	104
Gráfico N° 30. Porcentaje de material retenido: Método “B”- Cantera Estrella.	109
Gráfico N° 31. Porcentaje de material retenido: Método “C” - Cantera Estrella.	109
Gráfico N° 32. Porcentaje de material retenido: Método “A”- Cantera Estrella.....	110
Gráfico N° 33. Porcentaje de material retenido: Método “A” - Cantera Pumpunya.	110
Gráfico N° 34. Porcentaje de material retenido: Método “B”- Cantera Pumpunya	111
Gráfico N° 35. Porcentaje de material retenido: Método “C” - Cantera Pumpunya.	111
Gráfico N° 36. Porcentaje de material retenido: Método “A”- Cantera Mitupampa. ..	112
Gráfico N° 37. Porcentaje de material: Método “B”- Cantera Mitupampa.....	112
Gráfico N° 38. Porcentaje de material retenido: Método “C”- Cantera Mitupampa....	113
Gráfico N° 39. Cantera Estrella, resultados del Ensayo del Proctor modificado.	114
Gráfico N° 40. Cantera Pumpunya, resultados del ensayo del Proctor modificado.	115
Gráfico N° 41. Cantera Mitupampa, resultados del ensayo del Proctor modificado....	116

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: Ensayo de límite líquido.....	48
Figura N° 2: Ensayo de límite plástico.....	49
Figura N° 3: Índice de plasticidad.....	50
Figura N° 4: Adquisición del material granular de la Cantera Pumpunya.....	76
Figura N° 5: Adquisición del material granular de la Cantera Mitupampa.....	76
Figura N° 6: Adquisición del material granular de la Cantera Estrella.....	77
Figura N° 7: Se determinó el peso de una de las muestras para su posterior.....	78
Figura N° 8: Lavado de muestra por el tamiz N° 200.....	79
Figura N° 9: Tamizado de material.....	79
Figura N° 10: Preparación de la cuchara de Casagrande.....	81
Figura N° 11: Después de dividir el la masa de suelo de la cazuela.....	82
Figura N° 12: Amasado de la muestra para la plasticidad.....	83
Figura N° 13: Los trozos obtenidos se colocan en la tara para su secado en el horno...83	83
Figura N° 14: Una vez recepcionado las muestras en el laboratorio de las canteras se procedió al secado a temperatura ambiente.....	86
Figura N° 15: Cuarteo de una de las muestras de la cantera.....	86
Figura N° 16: Tamizado de la muestra para la determinación del método a aplicarse.....	87
Figura N° 17: Preparación de los especímenes para el ensayo de Proctor modificado.....	87

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: Permeabilidad según la textura del suelo.....	40
Tabla N° 2: Permeabilidad según la estructura del suelo	40
Tabla N° 3: Tipo de material y tamaño de partículas	45
Tabla N° 4: Índice de plasticidad	50
Tabla N° 5: Sistema unificado de clasificación de suelos SUCS	52
Tabla N° 6: Sistema de clasificación de suelos AASHTO	53
Tabla N° 7: Correlación de tipos de suelo	54
Tabla N° 8: Ensayo Proctor modificado ASTM D1557-91	56
Tabla N° 9: Operacionalización de variable e indicadores.....	63
Tabla N° 10: Coeficiente de validez por juicios de expertos	67
Tabla N° 11: Rangos y Magnitudes de Validez	67
Tabla N° 12: Ubicación geográfica (Zona 18 M, DATUM: WGS84).....	72
Tabla N° 13: Ubicación geográfica (Zona 18 M, DATUM: WGS84).....	73
Tabla N° 14: Ubicación geográfica (Zona 18 M, DATUM: WGS84).....	74
Tabla N° 15: Granulometría de la Cantera Pumpunya.	88
Tabla N° 16: Granulometría de la Cantera Mitupampa.....	89
Tabla N° 17: Granulometría de la Cantera Estrella	90
Tabla N° 18: Resultados de contenido de humedad de las canteras utilizadas en la investigación.....	91
Tabla N° 19: Resultados Límite de Atterberg, SUCS y AASHTO – Cantera Pumpunya.....	92
Tabla N° 20: Resultados límite de Atterberg, SUCS y AASHTO – Cantera Mitupampa.....	93
Tabla N° 21: Resultados límite de Atterberg, SUCS y AASHTO – Cantera Estrella....	94

Tabla N° 22: Determinación del método de ensayo de Proctor modificado	95
Tabla N° 23: Resultados del ensayo Proctor modificado: Método “A” – Cantera Pumpunya.....	96
Tabla N° 24: Resultados del ensayo Proctor modificado: Método “B” – Cantera Pumpunya.....	97
Tabla N° 25: Resultados del ensayo Proctor modificado: Método “C” – Cantera Pumpunya.....	98
Tabla N° 26: Resultados del ensayo Proctor modificado: Método “A” – Cantera Mitupampa.....	99
Tabla N° 27: Resultados del ensayo Proctor modificado: Método “B” – Cantera Mitupampa.....	100
Tabla N° 28: Resultados del ensayo Proctor modificado: Método “C” – Cantera Mitupampa.....	101
Tabla N° 29: Resultados del ensayo Proctor modificado: Método “A” – Cantera Estrella.....	102
Tabla N° 30: Resultados del ensayo Proctor modificado: Método “B” – Cantera Estrella.....	103
Tabla N° 31: Resultados del ensayo Proctor modificado: Método “C” – Cantera Estrella.....	104
Tabla N° 32: Requerimiento granulométrico para base granular:	106
Tabla N° 33: Resultados de la clasificación de suelos según los métodos de AASHTO y SUCS de las canteras Pumpunya, Estrella y Mitupampa.	107
Tabla N° 34: Clasificación de suelos según el índice de grupo.....	107
Tabla N° 35: Resultados del análisis granulométrico de las canteras seleccionadas en chupuro:	108

Tabla N° 36: Comparación de resultados de las canteras seleccionadas.....	116
--	-----

RESUMEN

La presente investigación debe dar respuesta al siguiente problema general: ¿Cuál es el resultado de la evaluación de la aplicación del método A, B y C del ensayo Proctor modificado en los agregados de las canteras Estrella, Pumpunya, Mitupampa?, el objetivo general es: “Determinar el resultado de la evaluación de la aplicación de los métodos A, B y C del ensayo Proctor modificado en los agregados de las canteras Estrella, Pumpunya, Mitupampa”, y la hipótesis general que debe contrastarse es: “El resultado de la evaluación en la aplicación de los métodos A, B y C del ensayo Proctor modificado en los agregados de las canteras Estrella, Pumpunya, Mitupampa – Chupuro –Huancayo, 2017, presenta variaciones no significativas”.

La investigación desarrollada es de tipo aplicada, el nivel es descriptivo – comparativo – explicativo, de diseño experimental, la población está conformada por 5 canteras ubicadas en el distrito de Chupuro y con una muestra no probabilística intencional de 3 canteras denominadas Estrella, Pumpunya y Mitupampa.

La principal conclusión del presente estudio, en el cual se observó que no presenta variaciones significativas de los resultados de la evaluación de la aplicación se determinó que los métodos A, B y C del ensayo Proctor modificado en los agregados de las canteras Estrella, Pumpunya y Mitupampa, que la máxima diferencia respecto del óptimo contenido de humedad y densidad máxima seca, con el método A se tiene un OCH de 0.20% y una DMS de 0.022gr/cm³, con el método B se tuvo un OCH de 0.30% y una DMS de 0.023gr/cm³ y con el método C se tiene un OCH de 0.10% y una DMS de 0.15gr/cm³.

Palabras Clave: Método A, B y C del ensayo Proctor modificado; Agregados; Canteras.

ABSTRACT

The present investigation must answer the following general problem: What is the result of the evaluation of the application of method A, B and C of the modified Proctor test in the aggregates of the Estrella, Pumpunya, Mitupampa quarries, the general objective is : "Determine the result of the evaluation of the application of methods A, B and C of the modified Proctor test in the aggregates of the Estrella, Pumpunya, Mitupampa" quarries, and the general hypothesis to be contrasted is: "The result of the evaluation in the application of methods A, B and C of the modified Proctor test in the aggregates of the Estrella, Pumpunya, Mitupampa – Chupuro – Huancayo, 2017 quarries, presents insignificant variations ".

The research developed is of applied type, the level is descriptive - comparative - explanatory, experimental design, the population is made up of 5 quarries located in the district of Chupuro and with an intentional non probabilistic sample of 3 quarries called Estrella, Pumpunya and Mitupampa.

The main conclusion of the present study, in which it was observed that it does not present significant variations of the results of the evaluation of the application, was determined that the methods A, B and C of the modified Proctor test in the aggregates of the Estrella, Pumpunya and Mitupampa, that the maximum difference with respect to the optimum moisture content and maximum dry density, with method A we have an OCH of 0.20% and a DMS of 0.022gr / cm³, with method B we had an OCH of 0.30% and a DMS of 0.023gr / cm³ and with method C we have an OCH of 0.10% and a DMS of 0.15gr / cm³.

Keywords: Method A, B and C of the modified Proctor test; Aggregates; Quarry.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación titulado “Evaluación de la Aplicación de los Métodos A, B y C del Ensayo Proctor Modificado en los Agregados de las Canteras Estrella, Pumpunya, Mitupampa – Chupuro – Huancayo, 2017”; consiste en el desarrollo del ensayo Proctor Modificado y su aplicación con los métodos A, B y C establecido en el MTC E-115 (Manual de Ensayos del MTC, 2016).

Se realizó con la finalidad de determinar si la aplicación de los métodos A, B y C del ensayo Proctor Modificado a una misma muestra, influye en los resultados del Óptimo Contenido de Humedad y Densidad Máxima Seca. Por lo que mediante el desarrollo de la investigación se obtuvieron dichos resultados.

La presente investigación tuvo como objetivo determinar el resultado de la evaluación de la aplicación de los métodos A, B y C del ensayo Proctor modificado en los agregados de las canteras Estrella, Pumpunya, Mitupampa – Chupuro –Huancayo, 2017. de modo tal, que al obtener los datos procesados en laboratorio de las muestras de canteras se procedió al identificar, analizar y explicar los resultados para determinar la evaluación entre los métodos empleados.

Cabe destacar que el Proctor Modificado es uno de los ensayos de vital importancia para la evaluación de la compactación de las capas que conforman la estructura del pavimento, así, mediante la realización del ensayo Proctor Modificado se determina la densidad máxima seca de un terreno en relación con el Óptimo contenido de humedad, con un energía de compactación determinada, por lo expuesto, se resalta que, el desarrollo de la investigación se enfoca en el tema del Proctor Modificado y sus métodos, por la importancia que

representa en la compactación de suelos, y su evidente uso en los proyectos viales que se desarrolla en nuestra nación como parte fundamental del crecimiento económico.

La investigación consta de cinco capítulos:

En el Capítulo I, se realiza el planteamiento del problema, donde se formuló y sistematizó, la información a determinar, se delimitó la investigación, justificación del tema seleccionado, se describieron los objetivos generales y específicos.

Para el Capítulo II, se realiza los antecedentes nacionales e internacionales, se desarrolló el marco conceptual – teórico de los métodos “A”, “B” y “C” del Proctor modificado, así como definiciones propias de la compactación de suelos y agregados.

En el Capítulo III, denominado hipótesis y variables, se planteó las posibles soluciones del tema de la investigación, se desarrolló el diagrama de variables, y la operacionalización de variables.

En el Capítulo IV, con el nombre de metodología, se describe el método de investigación, tipo, nivel, diseño, las técnicas con las cuales se analizaron los resultados.

En el Capítulo V, se describen los resultados encontrados durante la etapa del procesamiento de datos, se realizan las discusiones, las recomendaciones y conclusiones basadas en datos seleccionados, los cuales fueron la base para la emisión de juicio crítico.

Finalmente, se anexan los resultados de los ensayos efectuados en laboratorio de suelos y concreto del MTC, y documentación pertinente de la presente investigación.

El Autor.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del problema

En todo proyecto vial se propone un plan para resolver problemas técnicos, económicos y humanos, pero ocasionalmente se presentan casos donde no se logra alcanzar los resultados que exige la normatividad vigente, prueba de ello es la innegable existencia a nivel nacional de estructuras viales con diversos tipos de fallas y lo más grave, con riesgo de colapso, debido a causas de un deficiente control de calidad en el terreno de fundación de la estructura vial.

En la mecánica de suelos, el ensayo de compactación Proctor Modificado es uno de los más importantes procedimientos de estudio y control de calidad de la compactación del suelo que comprende las diferentes capas estructurales en un proyecto vial. Es por ello, que la presente investigación se enfoca en la determinación de la Máxima Densidad Seca coherente con un Óptimo Contenido de Humedad, el que es realizado mediante el ensayo Proctor Modificado y sus métodos A, B y C, para comparar y analizar los resultados de los ensayos que se obtenga en el laboratorio, obteniendo una curva de compactación, que servirá de guía en la construcción de la infraestructura vial, estos procedimientos se encuentran regidos por la norma internacional ASTM D-1557, y ratificados en el Manual de Ensayos de

Materiales emitido por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones - MTC 2016 – (MTC E-115) de vigencia y aplicación a nivel nacional.

Los resultados del óptimo contenido de humedad y densidad máxima seca, mediante el ensayo Proctor Modificado, son utilizados para la verificación de la compactación y el contenido de humedad requerido, evitando los posibles efectos del inadecuado e inestable suelo en obras viales, por el deficiente control en campo y que carece de un estudio minucioso de canteras, el cual no observa la granulometría y/o material óptimo, teniendo como resultado un prematuro deterioro de la estructura vial, generando mayores gastos a corto plazo, también afectando y restringiendo el tránsito, el comercio y actividades de desarrollo en la población. Según Juárez & Rico (2005).

En el manual ensayo de materiales (MTC E - 2016), en la sección N° 1 Suelos, la norma MTC E 115, basado en la norma del ASTM D-1557 (Proctor Modificado), considera tres métodos de selección: “A, B y C”, los cuales serán analizados con la finalidad de conocer, detallar y diferenciar las variaciones en sus resultados, y los beneficios de selección de cada método, los parámetros establecidos por cada método son los siguientes:

- Método "A", se realiza el ensayo con un molde de 4”de diámetro, el material que se emplea es por la Pasante del tamiz N°4, número de Capas 5, golpes por capa 25, su uso es cuando el 20% ó menos del peso del material es retenido en el tamiz N°4.

- Método “B”, se realiza el ensayo con un molde de 4” de diámetro, el material que se emplea es por la Pasante del tamiz 3/8”, número de Capas 5, golpes

por capa 25, su uso es cuando más del 20% del peso del material es retenido en el tamiz N°4 y 20% o menos de peso del material es retenido en el tamiz 3/8”.

- Método “C”, se realiza el ensayo con un molde de 6” de diámetro, el material que se emplea es por la Pasante del tamiz 3/4”, número de Capas 5, golpes por capa 56, su uso es cuando más del 20% del peso del material es retenido en el tamiz 3/8” y menos de 30% en peso es retenido en el tamiz 3/4”.

La energía de compactación para el procedimiento de compactación es de 56000 lb-pie/pie³ (2700 kN-m/m³) mediante la aplicación de un pisón de compactación con un peso de 10 lbf (44.5 N) y una caída de 18 pulgadas (457 mm).

En el distrito de Chupuro, como el resto del territorio nacional, los laboratorios de suelos del sector público y privado se rigen por el Manual de Ensayo de Materiales del Ministerio de Transporte y Comunicaciones, (MTC 2016), para la realización de sus pruebas. Empero, al realizar el Ensayo del Proctor Modificado con las directivas que se establece en la sección N° 1 suelos, MTC E-115, para la determinación del óptimo contenido de humedad y densidad máxima seca, se verifica que carece de restricciones para el empleo de un material granular para ensayarlo, así como la aplicación de parámetros de selección de los métodos A, B y C, ya que a estos se emplea un mismo esfuerzo de compactación y un molde de diferente dimensión.

En ese sentido, la presente investigación busca determinar de forma autónoma, del método A, B y C del ensayo Proctor Modificado a desarrollarse en las muestra seleccionadas, y mediante el análisis del óptimo contenido de humedad y la densidad máxima seca, la diferencia, la evaluación e influencia que representa los resultados de los métodos A, B y C con respecto a una misma muestra proporcionada

por cada una de las 3 canteras seleccionadas del distrito de chupuro, y la vez formaran precedente el registro de las características del suelo que se presenta en las referidas canteras, que servirán para el abastecimiento a las diferentes obras viales y su uso mediante el método adecuado de compactación.

Cabe mencionar que los resultado obtenidos como el óptimo contenido de humedad y la densidad máxima seca son de vital importancia para hallar el capacidad de soporte del suelo granular mediante el ensayo California Bearing Ratio (CBR), ensayo que no forma parte de la investigación, pero dada la importancia que existe sobre la temática de compactación de suelos, es necesario hacerle mención.

1.2 Formulación y sistematización

1.2.1 Problema general

¿Cuál es el resultado de la evaluación de la aplicación de los métodos A, B y C del ensayo Proctor modificado en los agregados de las canteras Estrella, Pumpunya, Mitupampa – Chupuro –Huancayo, 2017?

1.2.2 Problema específico

a) ¿Cuál es el resultado de la evaluación de la aplicación del método A del ensayo Proctor modificado en los agregados de las canteras Estrella, Pumpunya, Mitupampa – Chupuro – Huancayo, 2017?

b) ¿Cuál es el resultado de la evaluación de la aplicación del método B del ensayo Proctor modificado en los agregados de las canteras Estrella, Pumpunya, Mitupampa – Chupuro – Huancayo, 2017?

c) ¿Cuál es el resultado de la evaluación de la aplicación del método C del ensayo Proctor modificado en los agregados de las canteras Estrella, Pumpunya, Mitupampa – Chupuro - Huancayo, 2017?

1.3 Delimitación de la investigación

1.3.1 Delimitación espacial

La investigación se delimitó, espacialmente al departamento de Junín provincia de Huancayo. El ámbito de aplicación serán las canteras Estrella, Pumpunya, Mitupampa ubicadas en el distrito de Chupuro.

1.3.2 Delimitación temporal

La investigación se delimitó, temporalmente al año 2017, en el mes de diciembre se realizó la elaboración de la de tesis, en los meses de octubre a diciembre se realizó el trabajo de campo, para demostrar los resultados del estudio que se presentará más adelante.

1.4 Justificación

1.4.1 Justificación práctica

Con los resultados obtenidos se tendría parámetros a considerar, para efectuar el ensayo cuando se tenga una muestra que no especifique su método en cuyo caso su elección se basaría en la gradación (graduación) del material.

Así mismo Constituirá un aporte para los laboratorios de suelos, consultoras y constructoras de obras viales.

1.4.2 Justificación metodología

Para la presente tesis, el investigador a dado uso de metodologías y técnicas para la recopilación de datos obtenidos en campo, el procesamiento de información y establecer resúmenes de datos que pueden servir de base para proyectos de tesis de igual o similar investigación.

1.5 Limitaciones de la investigación

1.5.1 Limitación tecnológica

La investigación está limitada tecnológicamente debido a la escasez de laboratorios especializados que cuenten con una certificación de calidad dada por INACAL o INDECOPI, por tal motivo las pruebas de laboratorios se realizaron en laboratorios que solo garantizaban la calibración de sus equipos.

1.5.2 Limitación económica

Como limitación económica, la falta de recursos económicos obligó a la presente investigación a no realizar ensayos en mayor número de muestras.

1.6 Objetivos

1.6.1 Objetivos generales

Determinar los resultados de la evaluación de la aplicación de los métodos A, B y C del ensayo Proctor modificado en los agregados de las canteras Estrella, Pumpunya, Mitupampa – Chupuro – Huancayo, 2017.

1.6.2 Objetivos específicos

a) Identificar el resultado de la evaluación de la aplicación del método A del ensayo Proctor modificado en los agregados de las canteras Estrella, Pumpunya, Mitupampa – Chupuro – Huancayo, 2017.

b) Analizar el resultado de la evaluación de la aplicación del método B del ensayo Proctor modificado en los agregados de las canteras Estrella, Pumpunya, Mitupampa – Chupuro – Huancayo, 2017.

c) Explicar el resultado de la evaluación de la aplicación del método C del ensayo Proctor modificado en los agregados de las canteras Estrella, Pumpunya, Mitupampa – Chupuro – Huancayo, 2017.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes del estudio de investigación

No se han encontrado antecedentes de investigaciones relacionadas con las variables de estudio, empero se han recopilado con variables individuales y similares.

2.1.1 Antecedentes internacionales

Salazar (2016), en su investigación titulada “Correlación entre el ensayo de CBR y el ensayo del Proctor para determinar la resistencia del suelo de la parroquia Ambatillo alto en el sector de San Pedro”, tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil de la Universidad Técnica de Ambato, Ecuador, llega a la conclusión:

1. Mediante los ensayos realizados a través de las curvas de Próctor Modificado se determinó que se requiere de un menor contenido de humedad para alcanzar la humedad óptima y la máxima densidad.
2. Se puede establecer que el CBR, deberá verificarse para las condiciones de humedad y densidad que prevalecerán en el suelo al momento de darle un uso.

Camacho & Reyes & Mendez (2007), En su artículo titulado “Ensayo de compactación giratoria en suelos como alternativa al ensayo de compactación

Proctor”, artículo al cuidado revista Redalyc.org. Colombia; llega a las conclusiones:

1. Se propuso un método alternativo en laboratorio para estudiar las relaciones peso unitario- contenido de humedad, utilizando el compactador giratorio. Para demostrar su potencial utilización, se realizaron ensayos de compactación Proctor y giratoria sobre un material granular.
2. Además de simular mejor el proceso de compactación en campo, el método de compactación giratoria, es más versátil, permite un mayor control de las variables utilizadas y es más rápido que el método convencional.
3. El proceso de compactación giratoria no presenta buenos resultados cuando se utiliza baja presión vertical y el material tiene un contenido de humedad superior al óptimo, puesto que parte del agua sale de la muestra. Este comportamiento deberá ser estudiado en diferentes tipos de suelo.
4. Es necesario desarrollar un programa de ensayos más extenso para incluir el efecto de otras variables como el ángulo de giro o el número de capas, utilizando diferentes tipos de material para poder formular un procedimiento general que regule el ensayo.

2.1.2 Antecedentes nacionales

Reynoso & Zelaya (2014), en su investigación titulada “Estudio de los agregados de la cantera de (Cangari) para la elaboración de la mezcla asfáltica para pavimento flexible en la provincia de Huanta - Ayacucho”, tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil de la Universidad Nacional de Huancavelica, Perú, llega a la conclusión:

1. Del análisis granulométrico se llega a la conclusión que la granulometría del agregado grueso (piedra chancada) , tiene un % de grava del 99.5, % de arena

de 0.3 % de finos 0.1 y un tamaño máximo de 1 1/2" y tamaño máximo nominal de 1" , en cuanto a la gradación del agregado grueso este cumple con el Huso Granulométrico N° 56 (1"-3/8"), establecido en las normas correspondientes; por lo tanto se concluye que nuestro agregado es una grava mal graduada.

2. Del análisis granulométrico del agregado fino se llega a la conclusión que la granulometría del agregado fino (arena), tiene un % de grava de 0.8, % de arena de 98.2, % de finos 0.9 y una gravedad específica de 2.53, módulo de fineza de 3.24 y una superficie específica (cm²/gr) de 33.8; por lo tanto se concluye que nuestro agregado fino (arena), es una arena mal graduada, viniendo a ser según la clasificación SUCS una SP. Porque contiene < 15% de grava basado en la ASTM D-2487.
3. Del ensayo de inalterabilidad de áridos por el uso de sulfato de sodio, se concluye que este se encuentra debajo de los máximos permitidos. Por lo que se concluye que las muestras analizadas de la cantera de Cangari, cumple con las especificaciones técnicas de material de agregado para la elaboración de la mezcla asfáltica.

Aranguri (2015), En su artículo titulado “La importancia del uso de Agregados provenientes de canteras de calidad”, artículo al cuidado revista In.Crescendo Ingeniería de la ULADECH. Perú; llega a las conclusiones:

1. En conclusión, es necesario tener en cuenta criterios de extracción y condiciones de calidad del material explotado en las canteras de material no metálico.
2. Las canteras ilegales son el punto inicial de una mafia de la construcción, que perjudica a los usuarios y que implica daño ambiental, evasión tributaria, y lo

más importante: proporciona material de mala calidad, que no cumple con la normatividad vigente y otorga un producto final de mala calidad.

2.2 Marco conceptual

2.2.1 Suelos

El suelo representa un conjunto de elementos, compuestos por grano mineral, materia orgánica, líquido y gas.

El suelo es usado en ingeniería civil como material de construcción, para soporte de estructuras. Los ingenieros civiles estudian las propiedades del suelo, algunas de ellas son; capacidad de drenaje, compresión, resistencia cortante, capacidad de carga, etc, según (Braja M. Das, 2001).

2.2.2 Compactación de suelos

Se entiende como compactación, al proceso mediante el cual se obtiene la reducción de vacíos, la conformación del sistema de partículas a la fase sólida y fluida, según (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013).

El mejoramiento de propiedades a través de herramientas mecánicas, se define compactación, según (Juarez & Rico, 2005).

Proctor, 1933, inicio el camino del ensayo de compactación, a través de la relación densidad y contenido de humedad. Este ensayo permite obtener una referencia de densidad en campo, según (Escario, 1989).

2.2.3 Características de los suelos en compactación

Los factores inherentes al suelo que condicionan la compactación, están vinculados a las características de las partículas siendo éstas las siguientes:

➤ **Formas de partículas**

Los suelos tienen diversas formas, sus anillos de agua presentan variaciones debido a esta característica. Se deduce que tanto mayor sea la partícula analizada y su forma no sea esférica tendrá un volumen similar de compactación, según (Jorajuria, 2004).

➤ **Textura de las partículas del suelo**

Las partículas de suelo, se condicionan por su textura, para determinar la fricción y esfuerzo para lograr la densificación, según (Sagués, 2008).

➤ **Orientación relativa de las partículas**

La orientación relativa, es una característica que determina la formación de anillos de agua. Así también, la energía aplicada, distribuye los puntos y la formación de estos anillos, según (Sagués, 2008).

➤ **Distribución de los tamaños del suelo**

Se determinó que la granulometría bien graduada provee mayor contacto con su superficie, haciendo uniforme por lo tanto, mientras tiene mayor uniformidad en la distribución, el contenido de humedad, tendría menor influencia al compactar el suelo, según (Sagués, 2008).

➤ **Actividad superficial de las partículas del suelo**

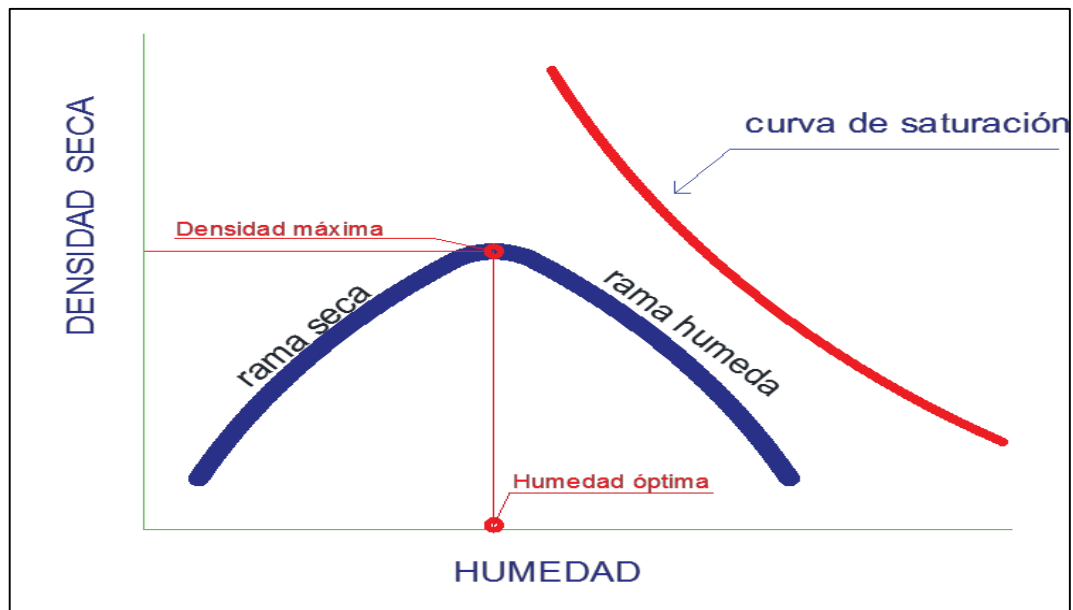
El material fino, retiene e inmoviliza el agua, esta propiedad se llama absorción (orientación polar). Esta propiedad del suelo produce un incremento del volumen real, según (Sagués, 2008).

2.2.4 Curvas de compactación

Los ensayos en laboratorio, para obtener resultados de compactación, serán según el tipo de suelo evaluado. Los curvas de compactación, son resultados del porcentaje del contenido de humedad, en el eje abscisas, y la densidad seca en el eje de ordenadas, hallados en los ensayos, según (Pérez, 2014).

En el grafico N° 1, se observa que cuando aumenta el contenido de humedad, aumenta igualmente el peso específico seco, llega un punto donde decrece. En el punto que decrece, el peso específico seco es el máximo (γ_{dmax}), el eje de la abscisa, en este punto, señala el contenido óptimo de humedad (W_{op}), según (Escario, 1989).

Gráfico N° 1 Curva Proctor



Fuente: Parano, 2012.

A. Características de la curva Proctor modificado

➤ Rama seca de la curva de compactación

Previamente al desarrollo de la rama seca, en el gráfico N° 1, el suelo evaluado indica contenido bajo de humedad. Para determinar el espesor de película del orden molecular, el volumen de agua será determinante. De lo anterior, el agua absorbida corresponderá al suelo y este será considerado como suelo seco. El suelo, necesita saturarse, para que el agua lubrique las partículas. Mientras no ocurra este fenómeno, la fricción de las partículas se opondrá al desplazamiento y evitar la densificación, según (Escobar, 2007).

➤ Rama húmeda de la curva de compactación

Del grafico N° 1, en la rama húmeda, se muestra la curva de compactación, donde se encuentra el contenido de humedad, mayor al optimo, y desde este comienza a decrecer donde se considera estado húmeda y con esta se determina el grado de humedad de la curva de compactación Proctor, según (Escobar, 2007).

➤ Densidad seca máxima y humedad optima

La reducción de porosidad, incremento de humedad, producen un estado límite para formar red continua de agua. El contenido de humedad, comenzara a tener continuidad, y cerrara los poros interconectados. Consecuencia del aire encerrado, es la formación de burbujas aisladas, retenidas en cada poro, no se logra mayor densificación para igual trabajo mecánico. De este estado, las variaciones de propiedades, serán en función del aire ocluido. Su presencia implica que el suelo permeabilizado, reduce los vacíos, por ello las burbujas se drenaran junto al agua, según (Escobar, 2007).

➤ **Lubricación y expulsión del aire**

La adición de agua al agregado, modifica los componentes en volumen, lubricando las partículas.

De este efecto, es fundamental el agua, para la efectividad del trabajo mecánico. Con esta presión, y el encierro de partículas, se reduce los poros, obligando al aire a expulsarse fuera de la muestra, según (González, 2013).

Del proceso descrito, se deduce que estos ocurren con el incremento de compresión del aire. Por lo que, el grafico N° 1, de la rama seca, el aire permeabilizado decrece y se aproxima al punto de densidad máxima, según (Juarez & Rico, 2005).

B. Contenido de humedad y densidad del suelo

➤ **Contenido de humedad**

Se encuentra en la naturaleza parcialmente saturada, saturada o sumergida, afectando de forma directa en compactación de suelos, según (Jorajuria, 2004).

➤ **Suelo parcialmente saturado**

Este suelo presenta las tres fases: sólida, líquida y gaseosa, donde la fase líquida deja pasar a la porosidad del suelo, que se compone por diversos gases, según (Escobar, 2007).

➤ **Suelo saturado**

Este suelo se halla sobre el nivel freático, donde los espacios están rellenos con agua, de esta forma, están presentes dos fases, sólidos y líquido, según (Escobar, 2007).

➤ **Suelo sumergido**

Se encuentra bajo la napa freática, llenándose los vacíos por agua. De esta forma, se encuentran dos fases; sólida y líquida, según (Jorajuria, 2004).

➤ **Determinación del contenido de humedad**

La relación del peso del agua entre el peso de sólidos y volumen de un suelo, y esta viene a ser el contenido de humedad. La utilidad de esta propiedad física, son de vital importancia en construcción civil, ya que los suelos determinan. Su comportamiento y resistencia en función a la cantidad de agua que hay en ellos. Esta relación se expresa en porcentaje según (Sánchez, 1996).

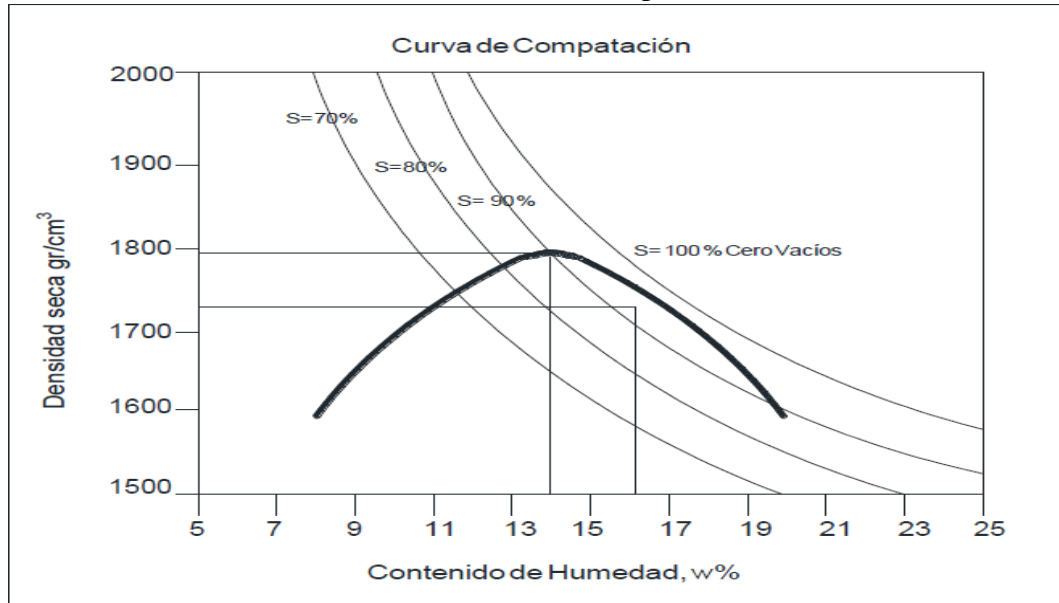
2.2.5 Factores que influyen en la compactación

Los factores más importantes son el contenido de humedad y la energía de compactación utilizada al realizar los ensayos, según (Georges, 2004).

A. Efecto del contenido de humedad

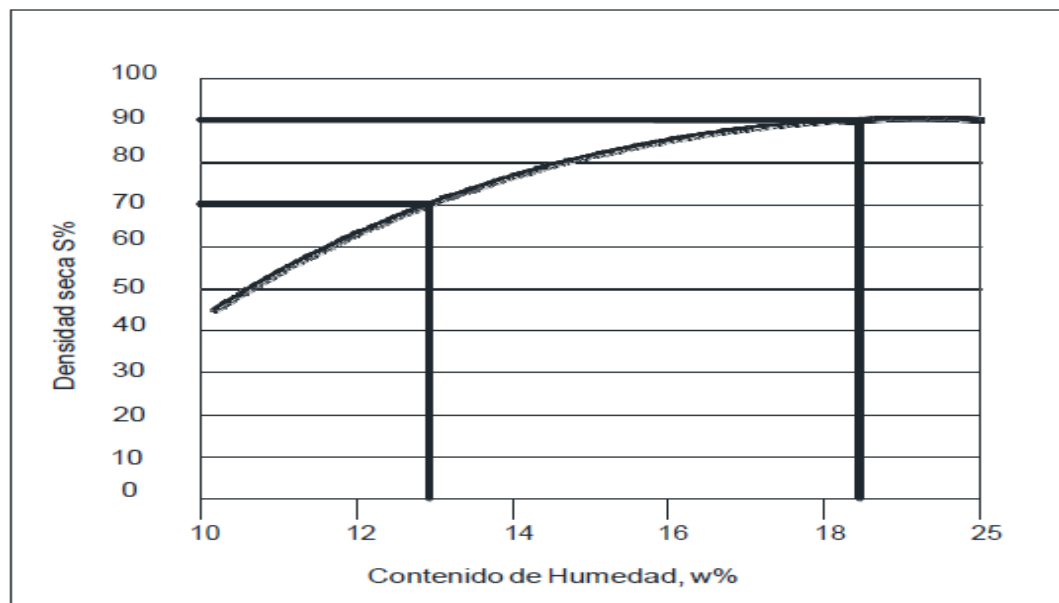
La influencia del contenido de humedad y el peso específico seco, durante el proceso de compactación, es directa. Del gráfico N° 2, se visualiza como el contenido de humedad aumenta, mientras el peso específico seco se incrementa, llega a un punto máximo y los pesos específicos van disminuyendo, según (Sagués, 2008).

En el gráfico N° 2, se observa como el grado de saturación aumenta, al igual que la humedad, se muestra como la densidad del suelo, en el punto de peso específico seco máximo y humedad óptima, llega al 80%, a continuación al 90% donde su grado de saturación es mayor y luego decrece, de forma constante, según (Ruíz, 2005).

Gráfico N° 2. Curva de compactación

Fuente: Juárez & Rico, 2005

En el gráfico N° 3, se puede ver la línea inferior (humedad óptima), y la línea superior (humedad máxima de saturación), según (Sánchez, 1996).

Gráfico N° 3. Contenido de humedad vs grado de saturación

Fuente: (Juárez & Rico, 2005).

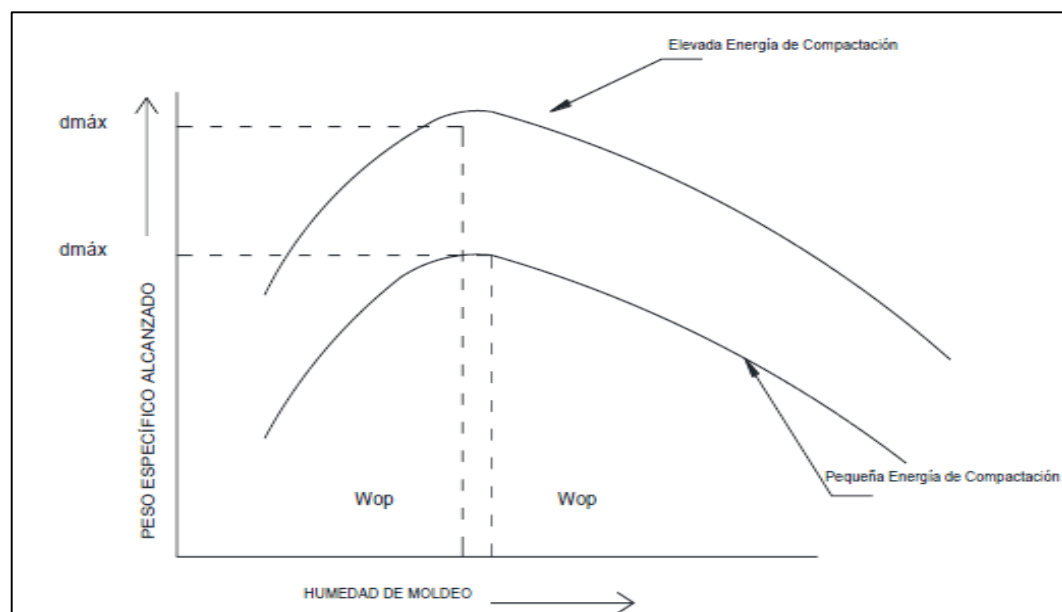
B. Efecto de la energía de compactación

La energía utilizada en el proceso de compactación, afecta a los pesos específicos secos, de los ensayos, de manera notable. Se observa que al

compactarse una muestra de suelo con energía de compactación baja, se obtendrá pesos específicos de menores valores. Del fenómeno explicado, ocurre inverso al aplicar energía de compactación alta y peso específicos secos máximos con mayores valores. De esta manera, se obtiene que cuando la energía de compactación aumenta, disminuirá el contenido de humedad óptima, según (Sagués, 2008).

En el caso de valores mayores al contenido óptimo de humedad, la energía de compactación aplicada solo deformara la muestra, manteniendo el mismo volumen. Esto ocurre porque el suelo contiene más agua y menos aire, haciendo que sea menos compresible, según (Sowers, 2014).

Gráfico N° 4. Curvas de compactación Proctor estándar y modificado



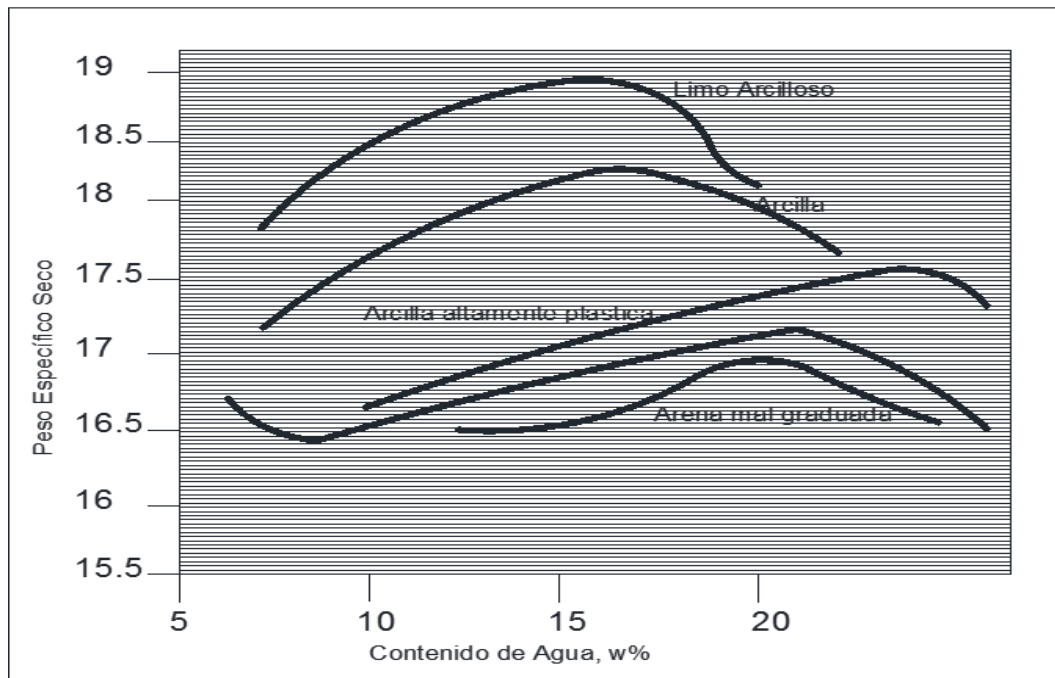
Fuente: Georges, 2004.

C. Efecto del tipo de suelo a compactar

El tipo de suelo, su granulometría, la forma, la densidad de partículas sólidas y finas, influirán en la compactación y resultados del peso específico seco y humedad óptima. En el gráfico N° 5, se observan cinco diferentes suelos, de los

cuales el limo arcilloso y arcilla limosa, presentan mayor peso específico seco en comparación a las arenas, según (Georges, 2004).

Gráfico N° 5. Curvas de compactación según composición granular



Fuente: Jorajuria, 2004.

D. Efecto del método de compactación

La principal diferencia de los métodos de compactación, se encuentra en las deformaciones angulares que producen, es decir, una compactación por amasado simula una estructura en suelos finos, por medio de determinado número de veces, de presión, y en compactación estática, la presión aplicada producirá una compresión de un solo plano creando estructuras orientadas, obteniendo una densidad específica, según (González, 2013).

➤ Compactación mecánica

Esta compactación, aplica una carga en un área de suelo formando bulbos de esfuerzos, solamente en la zona aplicada, alejando a las partículas de suelo, según (López, 2011).

Al agregarse carga y mayor área, se necesitara equipos más pesados y con áreas de contacto más cercanos, para distribuir apropiadamente la presión, según (Jorajuria, 2004).

➤ **Compactación estática**

Para controlar el espesor de las capas a compactar, se contara con un estricto control de calidad, de esta forma no se aumentara el espesor de capa, y aplicar una carga excedente a equipos de compactación, según (Juarez & Rico, 2005).

E. Efecto de la preparación de muestras.

La preparación de una muestra, a ensayar, influirá en sus resultados, por ello se procederá con un suelo seco, se agregara cantidades necesarias de agua o el proceso. Sera inverso, es decir, se partirá de un suelo húmedo que se ira secando, según (ASTM D-1557, 2000).

El uso repetido de las muestras de suelo ensayadas, no es apropiado puesto que dejarían de ser representativas, y las condiciones del suelo compactado no tendrían las mismas propiedades, según (ASTM D-1557, 2000).

2.2.6 Propiedades de los suelos compactados

El suelo, de forma natural no es adecuado para soportar cargas, ya que se presenta como tierra suelta, no compactada, que no resiste los requerimientos de cimentación, según (Sagués, 2008).

➤ **Permeabilidad**

Cuando un suelo no presenta oposición al flujo de agua y permite su paso a través de él, se habla de suelo permeable, ello depende de la relación de vacíos, composición de sus partículas y el grado de saturación, según (Ruíz, 2005).

Un condicionante, es la textura y conformación de partículas, puesto que estos dependen del número y tamaño de poros que presenta el suelo.

De la textura, se observa que el suelo, cuando es más fino, se permeabilidad será menor, así tenemos la tabla siguiente:

Tabla N° 1: Permeabilidad según la textura del suelo

Suelo	Textura	Permeabilidad
Suelos arcillosos	Fina	De muy lenta a muy rápida
Suelos limosos	Moderadamente fina	
	Moderadamente gruesa	
Suelos arenosos	Gruesa	

Fuente: Ministerio de transportes y comunicaciones

Tabla N° 2: Permeabilidad según la estructura del suelo

Tipo de estructura		Permeabilidad
Laminar	- Gran traslapo	De muy lenta a muy rápida
	- Ligero traslapo	
En bloque		
Prismática		
Granular		

Fuente: Ministerio de transportes y comunicaciones.

➤ **Compresibilidad**

La propiedad de compresibilidad es aquella que produce un efecto de disminución de masa, al aplicársele una carga. De aquí, que se modifique la resistencia del suelo ante el esfuerzo cortante.

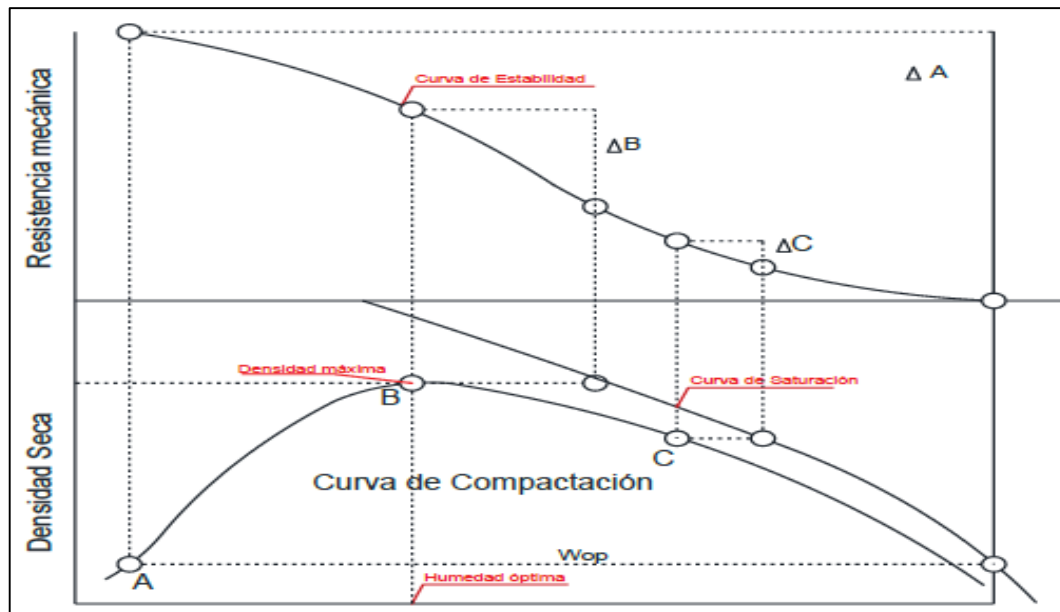
Cuando un suelo tiene textura gruesa, la compresión será menor, pues sus elementos ya están en contacto. En el caso de los suelos de textura fina, estos si pueden comprimirse, es decir, se producirán una reducción de su volumen, debido a la presencia de agua y aire en sus componentes. La compresibilidad tiene una relación proporcional al índice de plasticidad, puesto que si un suelo presenta IP elevado, habrá una mayor compresibilidad, al aplicarse una carga, según (Ravines, 2010).

➤ **Aplicación de los valores de densidad máxima y humedad óptima**

Del grafico N° 6, que representa la curva de compactación Proctor y la resistencia mecánica del suelo ensayado bajo diferentes condiciones de densidad y humedad aplicadas. Se postula que un suelo se saturara manteniendo la densidad seca, la cual se comprueba que no es real, especialmente en suelos cohesivos, según (Parano, 2012).

En el grafico N° 6, se observa el punto “A”, donde se presenta una elevada resistencia, hallándose la diferencia de resistencias, “ ΔA ”. Al observar el punto “B”, se mantiene la relación entre densidad seca máxima y humedad óptima. Empero, como la resistencia mecánica es menor que en el punto “A”, la diferencia en saturación es “ ΔB ”, y es inferior a la perdida por saturación “ ΔB ” según (Parano, 2012).

Gráfico N° 6. Resistencia mecánica de compactación



Fuente: Parano, 2012.

2.2.7 Agregados

Los materiales naturales, tales como las rocas, gravas, arenas y suelos seleccionados, denominados frecuentemente bajo los términos genéricos de "áridos", "inertes" ó "agregados", según sus usos y aplicaciones, cumplen un rol significativo e importante en la calidad, durabilidad y economía de las obras viales. La naturaleza y propiedades físicas de dichos materiales, así como las formas en que se presentan y su disponibilidad, serán los factores principales que determinarán los usos de estos, así como el grado de procesamiento que requerirán antes de su empleo. Las técnicas de diseño y construcción han establecido especificaciones bastante precisas para el uso de estos materiales, tanto en la ejecución de los terraplenes y obras básicas de la carretera, como en las distintas capas del pavimento o en las obras de concreto, por lo tanto una de las tareas más importantes de los proyectistas será asegurar la existencia de "áridos o agregados" con calidad y en cantidad suficiente para cubrir las necesidades de la obra o

identificar fuentes de las cuales puedan ser extraídos materiales que una vez procesados satisfagan las especificaciones fijadas, según (MTC, 2013).

2.2.7.1 Estudio de canteras de suelo

El interés del estudio de las fuentes de materiales de donde se extraerán agregados para diferentes usos principales como mejoramientos de suelos, terraplenes, afirmado, agregados para rellenos, subbase y base granular, agregados para tratamientos bituminosos, agregados para mezclas asfálticas y agregados para mezclas de concreto, es determinar si los agregados son o no aptos para el tipo de obra a emplear, en tal sentido se requiere determinar sus características mediante la realización de los correspondientes ensayos de laboratorio, según (MTC, 2013).

➤ Afirmado

Para la construcción de afirmados se utilizarán materiales granulares naturales procedentes de excedentes de excavaciones, canteras, o escorias metálicas, así mismo podrán provenir de la trituración de rocas, gravas o estar constituidos por una mezcla de productos de diversas procedencias. Las partículas de los agregados serán duras, resistentes y durables, sin exceso de partículas planas, blandas o desintegrables y sin materia orgánica, terrones de arcilla u otras sustancias perjudiciales. Sus condiciones de limpieza dependerán del uso que se vaya a dar al material. según (MTC, 2013).

Los requisitos de calidad que deben cumplir los materiales, deberán ajustarse a alguna de las siguientes franjas granulométricas, según lo indicado en la **Anexo N° 7**.

➤ **Base**

Es la capa inferior a la capa de rodadura, que tiene como principal función de sostener, distribuir y transmitir las cargas ocasionadas por el tránsito. Esta capa será de material granular drenante ($\text{CBR} \geq 80\%$) o será tratada con asfalto, cal o cemento, según (MTC, 2013).

Los requisitos de calidad que deben cumplir los materiales, deberán ajustarse a alguna de las siguientes franjas granulométricas, según lo indicado en la **Anexo N° 7**.

➤ **Sub-Base**

Es una capa de material especificado y con un espesor de diseño, el cual soporta a la base y a la carpeta. Además se utiliza como capa de drenaje y controlador de la capilaridad del agua. Dependiendo del tipo, diseño y dimensionamiento del pavimento, esta capa puede obviarse. Esta capa puede ser de material granular ($\text{CBR} \geq 40\%$) o tratada con asfalto, cal o cemento, según (MTC, 2013).

Los requisitos de calidad que deben cumplir los materiales, deberán ajustarse a alguna de las siguientes franjas granulométricas, según lo indicado en la **Anexo N° 7**.

2.2.8 Ensayos de laboratorio

2.2.8.1 Determinación del contenido de humedad

La humedad o contenido de humedad de un suelo es la relación, expresada como porcentaje, del peso del agua en una masa dada de suelo, al peso de las partículas sólidas, según la norma (MTC, 2016).

2.2.8.2 Análisis granulométrico por tamizado

El análisis granulométrico de un suelo, una herramienta para determinar la proporcionalidad de los elementos que lo componen, y clasificarlos según el tamaño de sus partículas.

En el caso de suelos de grano gruesos (gravas, arenas y limos no plásticos), se define la resistencia, a través de la compacidad y angulosidad de granos. Al realizarse este análisis por tamizado no brinda información acerca de lo anterior expresado, solo información de la distribución granulométrico que presenta el suelo, según (Rico & Del Castillo. 2005).

Según el tamaño de las partículas de suelos, se puede denominar el tipo de material, como se visualiza en la tabla N° 3.

Tabla N° 3: Tipo de material y tamaño de partículas

	Grava	75 mm – 4.75 mm
Arena	Arena grueso	4.75 mm – 2.00 mm
	Arena media	2.00 mm – 0.425 mm
	Arena fina	0.425mm – 0.075 mm
Material fino	Limo	0.075 mm – 0.005 mm
	Arcilla	Menor a 0.005 mm

Fuente: Ministerio de transportes y comunicaciones.

Por medio de la curva granulométrica se induce a predecir el comportamiento del suelo. De este estudio, se diferencian dos tipos de granulometría:

➤ Granulometría discontinua: La curva tiende a presentar picos y tramos lineales, indicando que no hay retención en vacíos tamices. Este caso, se hablaría

de suelos mal graduados. Las arcillas son un ejemplo de esta clase de suelos, según (Bañon & Bevia. 2000)

- Granulometría continua: La curva se presenta como suave y no variable. Estos suelos son llamados bien graduados, según (Bañon & Bevia. 2000)
- Coeficiente de curvatura: Se define como la relación del diámetro efectivo, donde pasa el 30% del total de la muestra al cuadrado, entre el producto de los diámetros, donde pesan el 60% y al 10%, expresados matemáticamente: ,según (Bañon & Bevia. 2000)

$$Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{60} \times D_{10}}$$

Dónde:

Dx: Es la abertura del tamiz o diámetro efectivo (mm) por donde pasa el X% en peso de la totalidad de la muestra de suelos analizada.

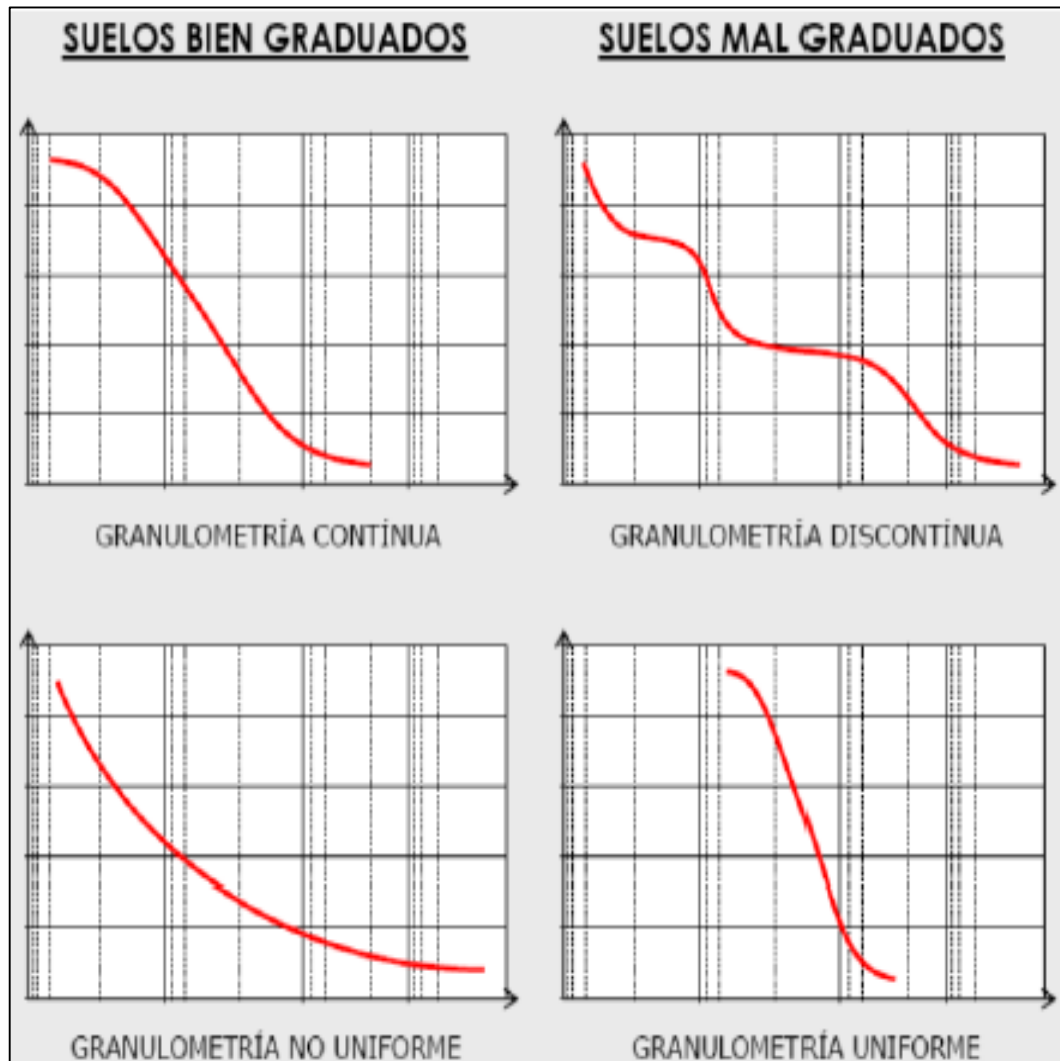
Para pavimentos, la importancia de un suelo bien graduado, radica en que al compactarlo, las partículas finas, ocupen los vacíos de las partículas de mayor tamaño. Esto reducirá el espacio y alcanzara mayor estabilidad y capacidad portante. El suelo bien graduado tiene valores de coeficiente de curvatura, en el intervalo de 1 y 3, según (Bañon & Bevia. 2000)

- Coeficiente de uniformidad: Hazen lo define como la relación de las aberturas de tamices del 60% y 10%, donde pasan el material analizado. De esta forma, si el coeficientes en menor a 2, es considerado muy uniforme, si es menor a 5, será uniforme, según (Bañon & Bevia. 2000).

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

En el Gráfico N° 7 se aprecia el comportamiento de las distribuciones granulométricas, mediante una comparación entre los suelos bien y mal graduados.

Gráfico N° 7. Interpretación de la curva granulométrica



Fuente: Bañon & Bevia.

2.2.8.3 Límites de Atterberg

2.2.8.3.1 Plasticidad

Definido como características de estabilidad, representa la capacidad a mantenerse estable ante cierto límite de humedad sin separarse, esta dependerá de los elementos finos, no de los gruesos. Mediante el análisis granulométrico no se

determina esta propiedad por lo que se halla a través de los límites de Atterberg, según (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014).

2.2.8.3.2 Límite líquido

Se refiere al cambio del suelo, del estado semilíquido, al estado plástico, según (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014).

Figura N° 1: Ensayo de límite líquido



Fuente: Elaboración propia.

2.2.8.3.3 Límite plástico

Límite plástico, se define como el cambio de una muestra semisólida y se rompe. El concepto de límite plástico se define como el contenido de agua, en función del peso seco, expresado en porcentaje, encontrándose en el límite del estado plástico y semisólido. El contenido de agua presente en este límite, es definido como el contenido más bajo de agua, en el cual el suelo puede rolarse, con un hilo de 3.2mm, sin que este se rompa o disgregue, según (FYJJ Laboratorio de Mecánica de Suelos, 2015).

Figura N° 2: Ensayo de límite plástico.



Fuente: Elaboración propia.

2.2.8.3.4 Índice de plasticidad

Indica la magnitud del intervalo de humedades, donde el suelo tiene consistencia plástica y clasifica. Según esta, a un suelo la presencia de un IP considerable, indica suelo muy arcilloso, y de ser un IP pequeño, la característica es de un suelo poco arcilloso, según (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014)

Se denomina índice de plasticidad, a la diferencia numérica entre el valor obtenido de Límite Líquido y Límite Plástico de una muestra de suelo; es el índice de consistencia más importante, dado que su valor permite conocer cuan plástico es un material, según (FYJJ Laboratorio de Mecánica de Suelos, 2015)

Matemáticamente está representada por la siguiente relación:

$$IP = LL - LP$$

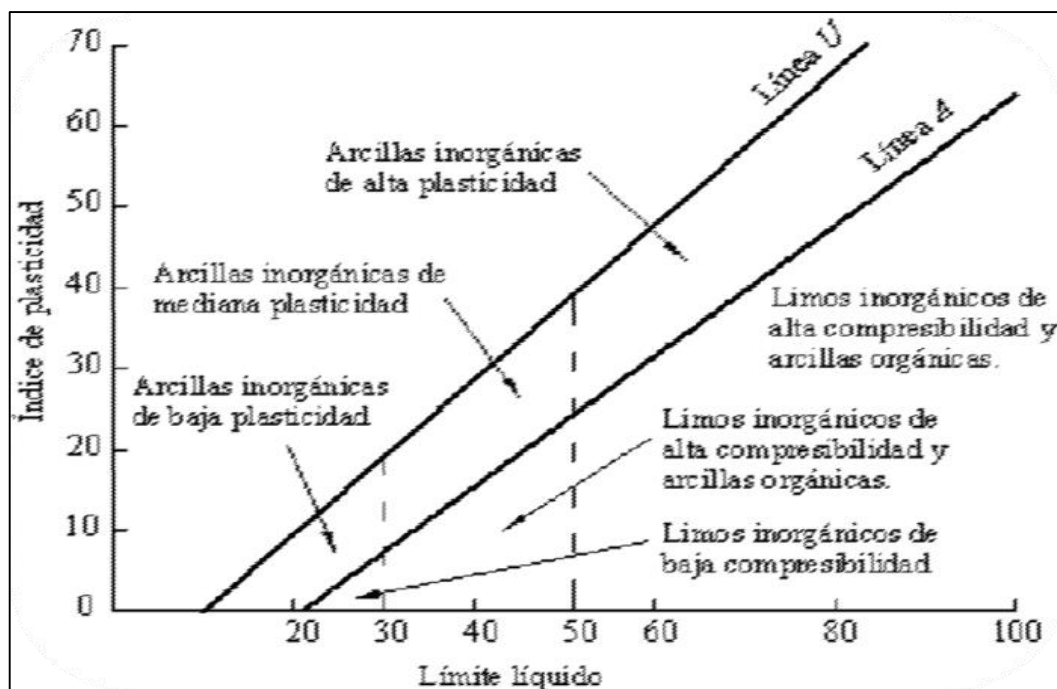
Dónde:

IP: Índice de plasticidad

LL: Limite Líquido

LP: Limite Plástico

Figura N° 3: Índice de plasticidad.



Fuente: Ministerio de transportes y comunicaciones

En la Tabla N° 4 se puede caracterizar a un suelo en función del índice de plasticidad.

Tabla N° 4: Índice de plasticidad

ÍNDICE DE PLASTICIDAD	PLASTICIDAD	CARACTERÍSTICA
$IP > 20$	Alta	Suelos muy arcilloso
$7 < IP < 20$	Media	Suelos arcilloso
$IP < 7$	Baja	Suelos poco arcilloso
$IP = 0$	No plástico (NP)	Suelos exentos de arcilla

Fuente: Ministerio de transportes y comunicaciones

2.2.8.4 Clasificación de suelos

2.2.8.4.1 Definición

La clasificación de los suelos, es un indicador de las propiedades presentes físicos-mecánicas del suelo analizado. La clasificación AASHTO M-145, permite discutir y determinar mejor las propiedades que se necesitan para utilizar un suelo como subrasante, es decir, granulometría y plasticidad, por ello se clasifica de la siguiente manera: , según (Coronado, 2002).

- Grava: De un tamaño menor a 76.2 mm (3") hasta el tamiz N°. 10 (2mm)
- Arena Gruesa: De un tamaño menor a 2 mm hasta el tamiz N°. 40 (0.425mm)
- Limos y Arcillas: Tamaños menores de 0.075 mm

Un suelo fino se define por el 35% que pasa el tamiz N° 200, estos clasifican como A (4, 5, 6, 7). De lo anterior, se debe considerar que aunque tengan granulometrías parecidas, tendrán propiedades diferentes, por la plasticidad, la cual es analizada por el porcentaje que pase el tamiz N° 40, a su vez estas son analizadas según los límites de Atterberg, y son; , Según (Coronado, 2002)

- Límite Líquido (LL): Es el cambio de un suelo, de un estado al estado semilíquido.
- Límite Plástico (LP): Es el estado frontera entre lo plástico y semisólido de un suelo.
- Índice de plasticidad (IP): Nos indica la capacidad del material, determinando la diferencia entre límite líquido y límite plástico.

2.2.8.4.2 Clasificación SUCS

El sistema SUCS, donde en dos grupos gruesos y finos, los suelos, utilizando el tamiz N° 200. Los suelos gruesos, se subdividen en gravas y arenas, según el material que pasa por el tamiz N° 4, estas gravas arenas, se clasifica, según la cantidad que presentan, en finos, los que pasan por el tamiz N° 200, en limpias y sucias, según (Márquez, 2006).

Tabla N° 5: Sistema unificado de clasificación de suelos SUCS

DIVISIÓN MAYOR		SÍMBOLOS	NOMBRES TÍPICOS	CRITERIO DE CLASIFICACIÓN EN EL LABORATORIO	
SUELOS DE PARTICULAS GRUESAS Más de la mitad del material es retenido en la malla número 200 @	GRAVAS Más de la mitad de la fracción gruesa es retenida por la malla No. 4 PARA CLASIFICACIÓN VISUAL PUEDE USARSE 1/2 em. COMO EQUIVALENTE A LA ABERTURA DE LA MALLA No. 4	GW	Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena con poco o nada de finos	COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD C_u : mayor de 4, COEFICIENTE DE CURVATURA C_c : entre 1 y 3. $C_u = D_{60} / D_{10}$ $C_c = (D_{30})^2 / (D_{10}(D_{60}))$	
		GP	Gravas mal graduadas, mezclas de grava y arena con poco o nada de finos		NO SATISFACEN TODOS LOS REQUISITOS DE GRADUACIÓN PARA GW.
		GM	Gravas limosas, mezclas de grava, arena y limo	LÍMITES DE ATTERBERG ABAJO DE LA "LÍNEA A" O L.P. MENOR QUE 4. LÍMITES DE ATTERBERG ARRIBA DE LA "LÍNEA A" CON L.P. MAYOR QUE 7.	Arriba de la "línea A" y con L.P. entre 4 y 7 son casos de frontera que requieren el uso de símbolos dobles.
		GU			
		GC	Gravas arcillosas, mezclas de gravas, arena y arcilla		
	ARENAS Más de la mitad de la fracción gruesa pasa por la malla No. 4 PARA CLASIFICACIÓN VISUAL PUEDE USARSE 1/2 em. COMO EQUIVALENTE A LA ABERTURA DE LA MALLA No. 4	SW	Arenas bien graduadas, arena con gravas, con poca o nada de finos.	$C_u = D_{60} / D_{10}$ mayor de 6 ; $C_c = (D_{30})^2 / (D_{10}(D_{60}))$ entre 1 y 3.	
		SP	Arenas mal graduadas, arena con gravas, con poca o nada de finos.		No satisfacen todos los requisitos de graduación para SW
		SM	Arenas limosas, mezclas de arena y limo.	LÍMITES DE ATTERBERG ABAJO DE LA "LÍNEA A" O L.P. MENOR QUE 4. LÍMITES DE ATTERBERG ARRIBA DE LA "LÍNEA A" CON L.P. MAYOR QUE 7.	Arriba de la "línea A" y con L.P. entre 4 y 7 son casos de frontera que requieren el uso de símbolos dobles.
		SU			
		SC	Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla.		
SUELOS DE PARTICULAS FINAS Más de la mitad del material pasa por la malla número 200 @ Las partículas de 0.075 mm de diámetro (la malla N° 200) son, aproximadamente, las más pequeñas visibles a simple vista.	LIMOS Y ARCILLAS Límite Líquido menor de 50	ML	Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos.	G = Grava, S = Arena, O = Suelo Orgánico, P = Turba, M = Limo C = Arcilla, W = Bien Graduada, P = Mal Graduada, L = Baja Compresibilidad, H = Alta Compresibilidad	
		CL	Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres.		
		OL	Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad.		
		LIMOS Y ARCILLAS Límite Líquido Mayor de 50	MH		Limos inorgánicos, limos micáceos o diatomeos, más elásticos.
			CH		Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas
	OH		Arcillas orgánicas de media o alta plasticidad, limos orgánicos de media plasticidad.		
	SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS		P		Turbas y otros suelos altamente orgánicos.

CARTA DE PLASTICIDAD (S.U.C.S.)

Fuente: Crespo Vilalaz (Mecánica de suelos y cimentaciones)

2.2.8.4.3 Clasificación AASHTO

Este sistema se clasifica en 7 grupos. El mejor suelo para construcción de carreteras, es el tipo A-1, por la calidad, van disminuyendo hasta el A-7, el cual presenta características no recomendables para la fundación del pavimento, según (FYJJ Laboratorio de Mecánica de Suelos, 2015).

Tabla N° 6: Sistema de clasificación de suelos AASHTO

Clasific. General	Suelos Granulares ($\leq 35\%$ pasa 0,08 mm)						Suelos Finos ($> 35\%$ Bajo 0,08 mm)				
Grupo	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Sub-Grupo	A-1a	A-1b		A-2-4	A-2-5	A-2-6*	A-2-7*				A-7-5** A-7-6**
2 mm	≤ 50										
0,5 mm	≤ 30	≤ 50	≥ 51								
0,08 mm	≤ 15	≤ 25	≤ 10	≤ 35				≥ 36			
WL				≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41
IP	≤ 6		NP	≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11	≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11
Descripción	Gravas y Arenas		Arena Fina	Gravas y Arenas Limosas o Arcillosas				Suelos Limosos		Suelos Arcillosos	
** A - 7 - 5 : $IP \leq (WL - 30)$						** A - 7 - 6 : $IP > (WL - 30)$					
$IG = (B / 0,08 - 35)(0,2 + 0,005 (WL - 40)) + (B / 0,08 - 15)(IP - 10) \times 0,01$ <p>* Para A - 2-6 y A - 2-7 : $IG = (B / 0,08 - 15)(IP - 10) \times 0,01$ Si el suelo es NP \rightarrow $IG = 0$; Si $IG < 0 \rightarrow IG = 0$</p>											

Fuente: Sistema de clasificación AASHTO

Los tipos de suelo que establece el sistema son:

A-1-a: Gravas con o sin partículas finas, granulometrías bien definidas.

A-1-b: Arena con o sin partículas finas, granulometrías bien definidas.

A-2-4: Materiales granulares con partículas finas limosas.

A-2-5: Intermedio.

A-2-6: Materiales granulares con partículas finas limosas.

A-2-7: Intermedio.

A-3: Arena de granulometría deficiente, casi no contiene partículas finas ni gravas.

A-4: Principalmente partículas finas limosas.

A-5: Suelos poco frecuentes, contienen partículas finas limosas generalmente elásticas y difíciles de compactar

A-6: Contienen partículas finas limosas o arcillosas, de límite bajo.

A-7-5: La arcillas y limos más plásticos.

A-7-6: Las arcillas y limos más plásticos, según (Márquez, 2006).

2.2.8.4.4 Correlación de los sistemas SUCS y AASHTO

A continuación, en la tabla N° 7, se presenta una correlación de los dos sistemas de clasificación más difundidos, AASHTO y ASTM (SUCS):

Tabla N° 7: Correlación de tipos de suelo

Clasificación de Suelos AASHTO AASHTO M-145	Clasificación de Suelos SUCS ASTM –D-2487
A-1-a	GW, GP, GM, SW, SP, SM
A-1-b	GM, GP, SM, SP
A – 2	GM, GC, SM, SC
A – 3	SP
A – 4	CL, ML
A – 5	ML, MH, CH
A – 6	CL, CH
A – 7	OH, MH, CH

Fuente: US Army corps of engineers

2.2.8.5 Proctor modificado

En el año 1933, el Ing. Ralph Proctor dio inicio al estudio de Compactación. Este investigador verificó, que para un mismo suelo, según su Contenido de Humedad, se comporta de manera diferente al ensayo de Compactación, presentando valores diversos de densidad. Proctor compactó muestras de suelo en un recipiente cilíndrico, utilizando diferentes contenidos de humedad. Después de realizar la compactación de la muestra, obtuvo valores referidos al contenido de humedad y densidad seca, según (González, 2013).

Según la norma ASTM-1557, el ensayo Proctor modificado se realiza en un cilindro, y determina la densidad y contenido de humedad a diferencia del Proctor estándar tendrá un peso mayor ya que el pistón pesara 10 libras (lb). Y para realizarlo dependerá del ensayo de granulometría, para elegir el método a emplearse.

La compactación es el procedimiento mecánico de estabilización cuyo objetivo es incrementar la densidad del suelo, aproximando sus partículas, con una disminución del índice de vacíos. Por medio del proceso de compactación se busca obtener, los siguientes objetivos prácticos:

- Incrementar la resistencia a la compresibilidad y al corte.
- Obtener mayor uniformidad y homogeneidad.
- Disminuir la susceptibilidad del suelo a las variaciones de humedad.
- Construcción de represas de tierra, fundación de presas de tierra, fundación de estructuras.

En la tabla N° 8, Se presenta las Especificaciones de los métodos A, B y C del ensayo Proctor Modificado (ASTM D1557)

Tabla N° 8: Ensayo Proctor modificado ASTM D1557-91

Concepto	Procedimiento A	Procedimiento B	Procedimiento C
Molde	101,60 mm (4 in)	101,60 mm (4 in)	152,40 mm (6 in)
Volumen del molde	944 cm ³ (1/30 ft ³)	944 cm ³ (1/30 ft ³)	2124 cm ³ (0,075 ft ³)
Peso del martillo	4,54 kg (10 lb)	4,54 kg (10 lb)	4,54 kg (10 lb)
Altura de caída del martillo	457,20 mm (18 in)	457,20 mm (18 in)	457,20 mm (18 in)
Número de golpes	25	25	56
Número de capas	5	5	5
Energía de compactación	2700 kNm/m ³ (56000 ft- lbf/ft ³)	2700 kNm/m ³ (56000 ft- lbf/ft ³)	2700 kNm/m ³ (56000 ft-lbf/ft ³)
Material a ser usado	Porción que pasa por el tamiz No.4, se usa si 20% o menos por peso es retenido en el tamiz No.4	Porción que pasa por el tamiz 3/8", se usa si el suelo retenido en el tamiz No.4 es más del 20% y 20% o menos por peso es retenido en el tamiz 3/8"	Porción que pasa por el tamiz 3/4", se usa si más de 20% por peso del material es retenido en el tamiz 3/8" y menos del 30% por peso es retenido en el tamiz 3/4"

Fuente: ASTM D-1557.

2.2.8.5.1 Importancia y uso

El suelo empleado para cimentaciones en ingeniería, como conformación de terraplenes, rellenos y bases, se compacta para densificar el material y mejorar las propiedades como resistencia al esfuerzo cortante, compresión y permeabilidad. Los ensayos en laboratorio de compactación, proporcionan información que permite determinar el porcentaje compactado, el contenido de humedad, necesarios para alcanzar propiedades requeridas y asegurar el

compactado solicitado, por medio del control de la ejecución, según (Escario, 1989).

La compactación tiene importancia, puesto que un suelo para construcción requiere de compactación homogénea, resistente, firme y contenga los parámetros de resistencia, ante diversas cargas a las que el suelo se vea sometido. Con este fin, se aplican técnicas de compactación, disminuyendo los vacíos y mejorar las propiedades del terreno de fundación en construcción, según (Sánchez, 1996).

2.2.8.5.2 Beneficios

Entre los principales beneficios que produce la compactación en suelos, se describen los siguientes:

➤ **Impide el hundimiento del suelo:** Las edificaciones construidas en suelo no compactado, muestra hundimientos, asentamientos, deformaciones y colapso. Por ello es indispensable la compactación del suelo, para iniciar la construcción, según (Jorajuria, 2004).

➤ **Reduce el escurrimiento del agua (permeabilidad):** La compactación reduce la filtración de agua, disminución de vacíos, e impide que el agua escurra, estabilizando el suelo, según (Sowers, 2014).

➤ **Reduce el esponjamiento y la contracción del suelo:** Los vacíos del suelo, son rellenos por agua, produciendo el esponjamiento durante la época de lluvias, y se contraen en estación seca, según (Pérez, 2014).

➤ **Impide el daño de las heladas:** El agua cambia de volumen ante las bajas temperaturas, origina que los pavimentos se hinchen y se agrieten. La

compactación disminuye las cavidades en el suelo, para posteriormente evitar problemas por congelamiento, según (González, 2013).

2.3 Definición de términos

- ✓ **AASHTO:** American Association of State Highway and Transportation Officials o Asociación Americana de Autoridades Estatales de Carreteras y Transporte, según (MTC, 2013).
- ✓ **ASTM:** American Society for Testing and Materials ó Sociedad Americana para Ensayos y Materiales, según (MTC, 2013).
- ✓ **Cantera:** Es la zona donde se extrae materia prima, para emplearse en actividades de construcción, según la explotación utilizada, según (Escobar; 2007).
- ✓ **Compactación:** Es el proceso realizado a través de medios mecánicos que obligan a expulsar el aire de poros, reduciendo los vacíos y produce variaciones en volumen, según (Escobar, 2007).
- ✓ **Comprensibilidad:** Propiedad de los suelos, cuando sobre ellos se aplican fuerzas externas que disminuyen el volumen. La comprensibilidad y compactación son las causas de asentamiento, según (Sánchez, 1996).
- ✓ **Contenido de agua óptimo modificado:** Es el contenido de agua al cual el suelo es compactado, al peso unitario seco máximo, usando un esfuerzo de compactación modificado para ello, según (ASTM D1557).
- ✓ **Contenido de humedad:** Es la relación, expresada como porcentaje del peso de agua en una masa de suelo, según (NTP 339.127).
- ✓ **Cuarteo:** Procedimiento manual de reducción del tamaño de una muestra, según (MTC, 2013).

- ✓ **Curva de Compactación:** Resultado gráficos, donde en el eje de abscisas se visualiza el contenido de humedad, en porcentaje, y en el eje de ordenadas, la densidad seca, determinada en ensayos de compactación, según (Pérez, 2014).
- ✓ **Densidad seca máxima:** Es la relación del contenido de humedad óptima y variación de densidad al exponerse a trabajo mecánico externo, según (ASTM D1557).
- ✓ **Densidad:** Relación del peso de la sustancia, respecto de su volumen, según (MTC, 2003)
- ✓ **El índice de plasticidad:** Es la magnitud del intervalo de humedades donde se determina la consistencia plástica del suelo y permite la clasificación de un suelo de forma precisa. Por ello un IP grande corresponderá a un suelo muy arcilloso; y un IP pequeño es característico, de un suelo poco arcilloso, según (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014).
- ✓ **Grado de Saturación:** Es la relación del volumen de agua, respecto del volumen de vacíos, se expresado como un porcentaje de vacíos, según (Braja, 2001).
- ✓ **Granulometría:** Son las proporciones, de las diferentes partículas minerales del suelo (grava, arena, limo y arcilla) expresada con base al peso seco de la muestra del suelo, según (NTP 339.128).
- ✓ **Gravedad específica:** Relación entre el peso en aire del volumen de un suelo a ambas con la misma temperatura, según (NTP 339.131).

- ✓ **Límite Líquido:** Es la cantidad de agua mínima, que contiene una pasta de 100 gr, del suelo seco, pasante por el tamiz N°40, este método es la cuchara Casagrande, según (Bañon & Bevia, 2000).
- ✓ **Límite plástico:** Es la menor humedad de un suelo, realizado con cilindros de 3 mm. de diámetro sin que se desmoronen, determinándose dos resultados y hallando la media. Se emplean 200 g. de muestra seca y filtrada a través del tamiz N° 40, según (Bañon & Bevia, 2000).
- ✓ **Límites de Atterberg:** Relación del grado de plasticidad de un suelo con el contenido en agua o humedad, en función del peso seco de la muestra de suelo, según (Bañon & Bevia, 2000).
- ✓ **Manual de ensayos y materiales:** Documento que permite estandarizar el método y procedimientos, en la ejecución de los ensayos de laboratorio y campo, de los materiales utilizados en proyectos de infraestructura vial, según (MTC; 2016).
- ✓ **MTC:** Ministerio de transporte y comunicaciones.
- ✓ **Muestreo:** Determinación del material a analizar, expresado por una unidad de volumen para los ensayos utilizando procedimientos descritos como práctica normalizada. La muestra para los ensayos serán aproximadamente en la cantidad deseada, al secarse y deberá ser resultado final de la reducción, según (NTP 400.012).
- ✓ **Permeabilidad:** Propiedad de un suelo de no presentar resistencia al paso de agua, según (Ruíz, 2005).
- ✓ **Plasticidad:** Propiedad de los suelos, deformándolos, hasta cierto límite, sin romperse, según (Crespo, 2004).

- ✓ **Proceso de meteorización:** Es la destrucción natural de las masas de roca sólida, durante largos periodos de tiempo. según (Berry & Reid, 2000).
- ✓ **Proctor modificado:** Este ensayo abarca a los procedimientos de compactación de laboratorio, determinando la relación entre el contenido de agua y peso unitario seco de los suelos (creando la curva de compactación), según (MTC; 2016).
- ✓ **Suelo granular:** Es el aumento de volumen aparente de un volumen dado de arena, fenómeno que no se presenta en las gravas, según (Bañon & Bevia, 2000).
- ✓ **Suelo:** Superficie de material suelto de la corteza terrestre. (MTC, 2013)
- ✓ **Tamiz:** Herramienta fundamental para ensayos, de laboratorio; es un instrumento, que se compone por un marco rígido, que sujeta una malla de un espaciamiento uniforme, denominado abertura o luz de malla, donde pasan muestras de suelo, según (Bañon & Bevia, 2000).

CAPÍTULO III

HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1 Hipótesis

3.1.1 Hipótesis general

El resultado de la evaluación en la aplicación de los métodos A, B y C del ensayo Proctor modificado en los agregados de las canteras Estrella, Pumpunya, Mitupampa – Chupuro –Huancayo, 2017, presenta variaciones no significativas.

3.1.2 Hipótesis específicas

a) El resultado de la evaluación en la aplicación del método A del ensayo Proctor modificado en los agregados de las canteras Estrella, Pumpunya, Mitupampa – Chupuro – Huancayo, 2017, es idóneo en su aplicación en los agregados.

b) El resultado de la evaluación en la aplicación del método B del ensayo Proctor modificado en los agregados de las canteras Estrella, Pumpunya, Mitupampa – Chupuro – Huancayo, 2017, determina una excelente compactación.

c) El resultado de la evaluación en la aplicación del método C del ensayo Proctor modificado en los agregados de las canteras Estrella, Pumpunya,

Mitupampa – Chupuro – Huancayo, 2017, Comprende una densidad máxima seca y óptimo contenido de humedad, ideal en su aplicación en campo.

3.2 Variables

3.2.1 Definición conceptual de las variables

Variable independiente: Métodos A, B y C del ensayo Proctor modificado.

Son métodos alternativos del Proctor modificado con el cual se determina el óptimo contenido de humedad y la densidad máxima seca, si el método no está especificado la elección se basará en la gradación del material (MTC 2016).

Variable dependiente: Agregados

Son materiales naturales, tales como las rocas, gravas, arenas y suelos seleccionados, denominados frecuentemente bajo los términos genéricos de "áridos", "inertes" ó "agregados", según sus usos y aplicaciones, cumplen un rol significativo e importante en la calidad, durabilidad y economía de las obras viales, según (MTC, 2013)

3.3 Operacionalización de las variables

Tabla N° 9: Operacionalización de variable e indicadores

VARIABLE	DIMENSIÓN	INDICADORES	UNIDAD	INSTRUMENTO
INDEPENDIENTE Métodos A, B y C del ensayo Proctor modificado.	Método A	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Óptimo contenido de humedad ➤ Densidad máxima seca 	Porcentaje gr/cm ³	ENSAYOS DE LABORATORIO
	Método B	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Óptimo contenido de humedad ➤ Densidad máxima seca 	Porcentaje gr/cm ³	
	Método C	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Óptimo contenido de humedad ➤ Densidad máxima seca 	Porcentaje gr/cm ³	
DEPENDIENTE Agregado	Granulometría Límites Atterberg	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Tamaño, Volumen ➤ Límite líquido ➤ Límite plástico ➤ Índice de plasticidad 	Pulgadas m ³ porcentaje	Tamiz Cuchara Casagrande

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA

4.1 Método de investigación

4.1.1 Método general

El método a usar por su naturaleza es el científico, ya que “constituye un sistema de procedimientos, técnicas, instrumentos para resolver el problema de la investigación, así como comprobar la hipótesis científica”, según Carrasco (2005).

4.1.2 Método específico

La presente investigación emplea el método Experimental, puesto que “son aquellas donde se manipula intencionalmente las variables”, las cuales estarán “bajo control del investigador, en el que hay un grupo de control y experimental”, según Carrasco (2005).

4.2 Tipo de investigación

La presente investigación es de tipo aplicada, “se distingue por tener propósitos prácticos inmediatos bien definidos”, según Carrasco (2005). ya que genera un precedente en cuanto al ensayo del Proctor modificado para solucionar problemas que afectan a la sociedad.

4.3 Nivel de investigación

La presente investigación es de nivel descriptivo – comparativo – explicativo, debido a que describe y compara el comportamiento de una variable en función de otra en relación de la causa – efecto, según Carrasco (2005).

4.4 Diseño de investigación

Por la naturaleza de la investigación es experimental, “ya que se manipula una de las variables y se observa los cambios en la variable de control con lo cual se busca establecer el posible efecto de un causa que se manipula”, según Sampieri (2014).

Esquema del diseño de investigación

RG1 X O1 (grupo con tratamiento experimental)

RG2 - O2 (grupo de control)

Dónde:

X = Variables Independiente.

O = Variables D. se representan con O porque están en observación y se pueden medir.

R = Selección al Azar se les anticipa una R de random.

G = Presentan los grupos.

4.5 Población y muestra

4.5.1 Población

La población está conformada por las cinco canteras ubicadas en el distrito de Chupuro –Huancayo

4.5.2 Muestra

La muestra es no probabilística intencional, debido a que se eligió de acuerdo a los fines del investigador, está conformada por las canteras Estrella, Pumpunya y Mitupampa ubicadas en el distrito de Chupuro.

4.6 Técnicas y/o instrumentos de recolección de datos

4.6.1 Técnicas de recolección de datos

De tal forma, según la naturaleza de la investigación se opta por la **observación** como técnica de recolección.

4.6.1.1 Observación directa

La observación directa se realizó mayormente en el proceso que se desarrollado en el laboratorio de suelos.

4.6.1.2 Ensayos en laboratorio

Debido a lo cual en la presente investigación fue necesario la identificación de la zona y el reconocimiento de campo de las canteras seleccionadas y así mismo las muestras obtenidas fueron llevados y ensayados en el laboratorio de suelos.

4.6.2 Instrumento de investigación

En la presente investigación desarrollada se adjunta en el anexos N° 03; el informe de organización y sistematización de datos obtenidos y anexo N° 04; la validación del instrumento de investigación, aprobados por los expertos en el campo.

4.6.3 Validez

La investigación fue validado por los jurados (Ingenieros civiles) expertos en la especialidad del campo de estudio, de forma que se detallara la evaluación en la siguiente tabla.

Tabla N° 10: Coeficiente de validez por juicios de expertos

Validez	Experto N°1	Experto N°2	Experto N°3	Experto N°4	Experto N°5	Promedio
Informe de Organización y Sistematización de Datos Obtenidos	0.90	0.90	0.95	0.81	0.8625	0.89
Índice de Validez						0.89

Fuente: Elaboración Propia

Seguidamente se presenta el cuadro de rangos y magnitudes que se optó como referencia para la evaluación de la validez del Informe técnico

Tabla N° 11: Rangos y Magnitudes de Validez

RANGOS	MAGNITUD
0.81 a 1.00	Muy alta
0.61 a 0.80	Alta
0.41 a 0.60	Moderada
0.21 a 0.40	Baja
0.01 a 0.20	Muy baja

Fuente: Reproducido de Ruiz (2002, p. 12)

4.7 Técnicas de procesamiento y análisis de datos

4.7.1 Técnicas de procesamiento de datos

El procesamiento de datos se realizó mediante estadística descriptiva, donde se representan los resultados de laboratorio mediante tablas y gráficos. Los cuáles serán procesados con el uso del software Ms Excel.

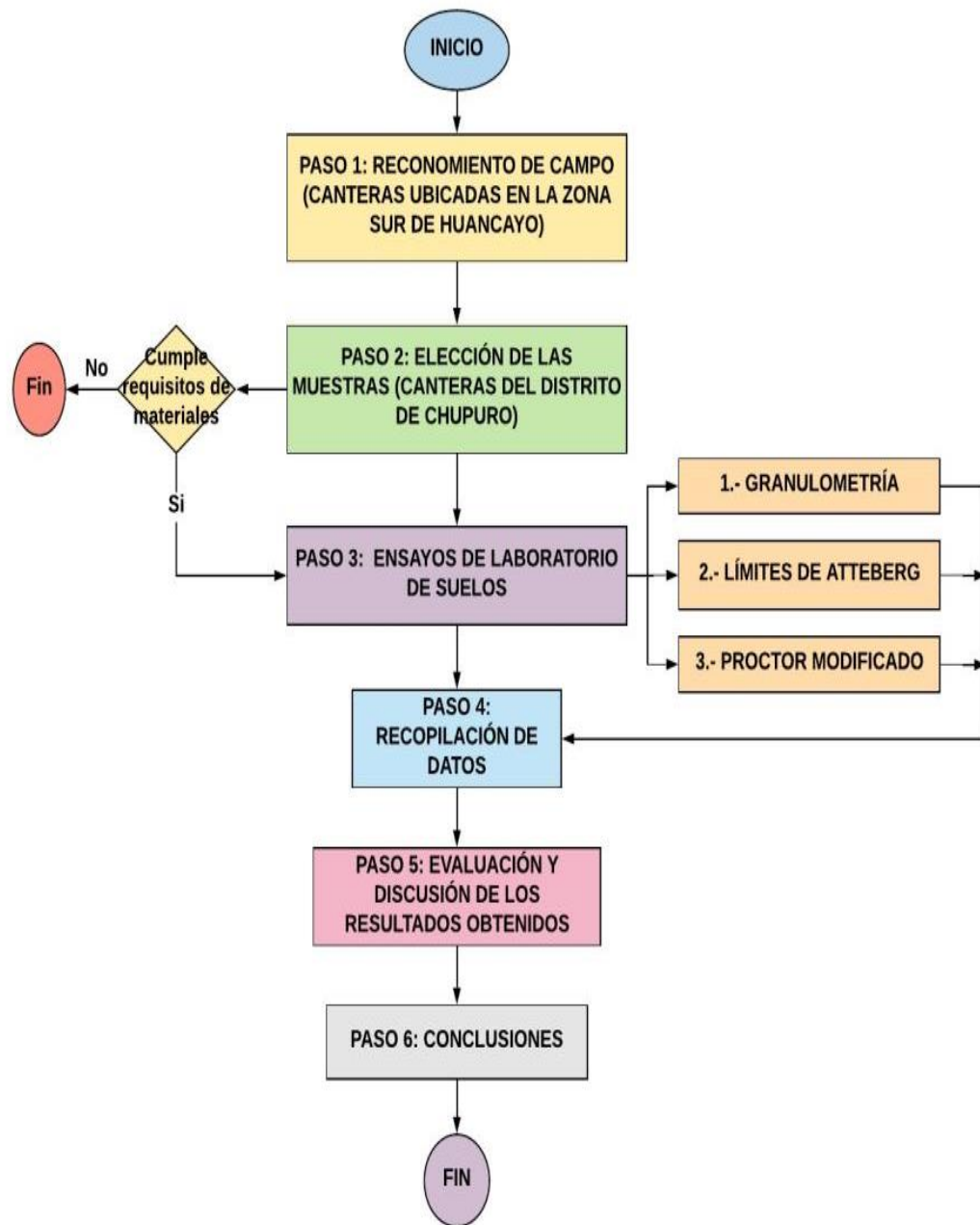
Durante la elaboración de la investigación se realizó el reconocimiento de campo y se tomó la elección de la muestra a conveniencia. Una vez seleccionada la muestra se procedió a la recolección para su posterior traslado al laboratorio de suelos el cual nos dio los resultados los cuales serán de gran utilidad para el desarrollo de la investigación.

Con respecto al procesamiento de datos por la naturaleza de la investigación se considera a nivel de ingeniería por la precisión y lo objetiva para la determinación de los resultados de laboratorio.

4.7.2 Análisis datos

Se desarrolló los ensayos de laboratorios a las muestras de canteras con el fin de determinar su clasificación de suelos (contenido de humedad, granulometría y límites de Atterberg) y el Proctor modificado en cada uno de sus parámetros para la elección del método A, B y C; mediante los resultados obtenidos, enseguida se pasara al análisis y la comparación para obtener las conclusiones sobre la influencia de los métodos A, B y C para la determinación óptimo contenido de humedad y la densidad máxima seca mediante el uso de gráficos de barras , curvas y tablas.

4.7.3 Proceso metodológico de la investigación



Fuente: Elaboración Propia

CAPÍTULO V

RESULTADOS

5.1 Desarrollo de investigación

A continuación, se describe el procedimiento de las actividades que se realizaron para el desarrollo de la Investigación.

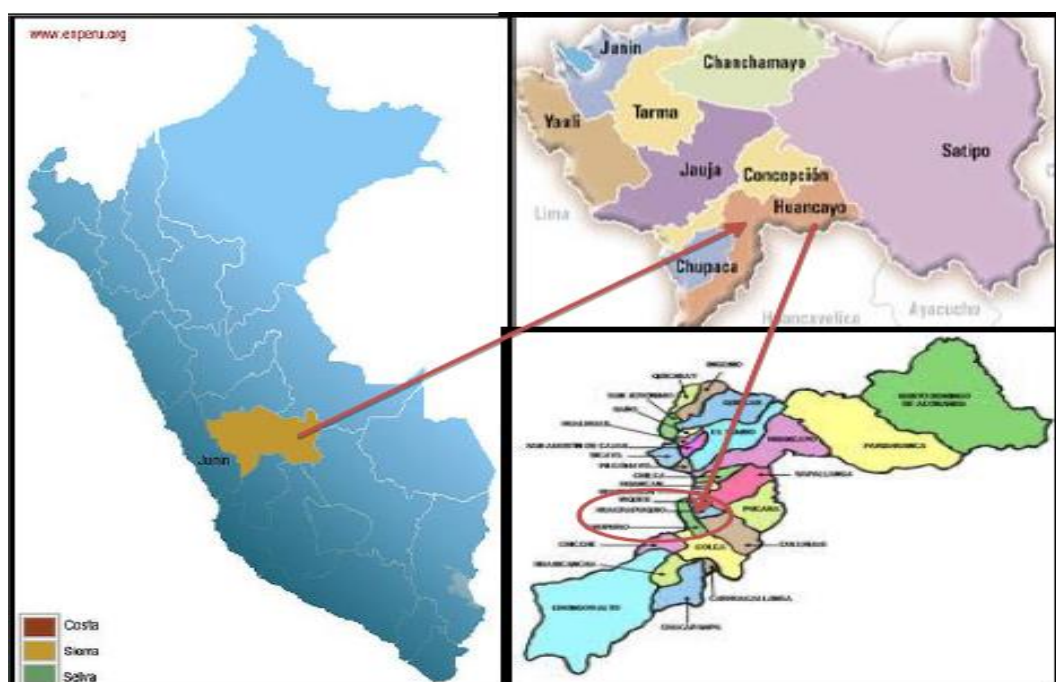
5.1.1 Ubicación del área de estudio

El área de estudio es en el distrito de Chupuro el cual se encuentra ubicado en la zona sur de la ciudad de Huancayo, margen derecha del río Mantaro, a una altitud aproximada de 3175 m.s.n.m., sus límites son por el Norte y Oeste con la provincia de Chupaca, al Este con el distrito de Viques, Huacrapuquio y Cullhuas y en el Sur con el distrito de Colca.

Ubicación política de la localidad donde se desarrolló el tema de investigación: Región Junín, Provincia Huancayo y distrito Chupuro

Sus límites son por el Norte y Oeste con la provincia de Chupaca, al Este con el distrito de Viques, Huacrapuquio y Cullhuas y en el Sur con el distrito de Colca.

Gráfico N° 8. Localización de la investigación



Fuente: SNIP 292371

Gráfico N° 9. Ubicación del distrito de Chupuro.



Fuente: INEI

Gráfico N° 10. Ubicación del área de influencia



Fuente: Google Earth

5.1.2 Cantera Pumpunya

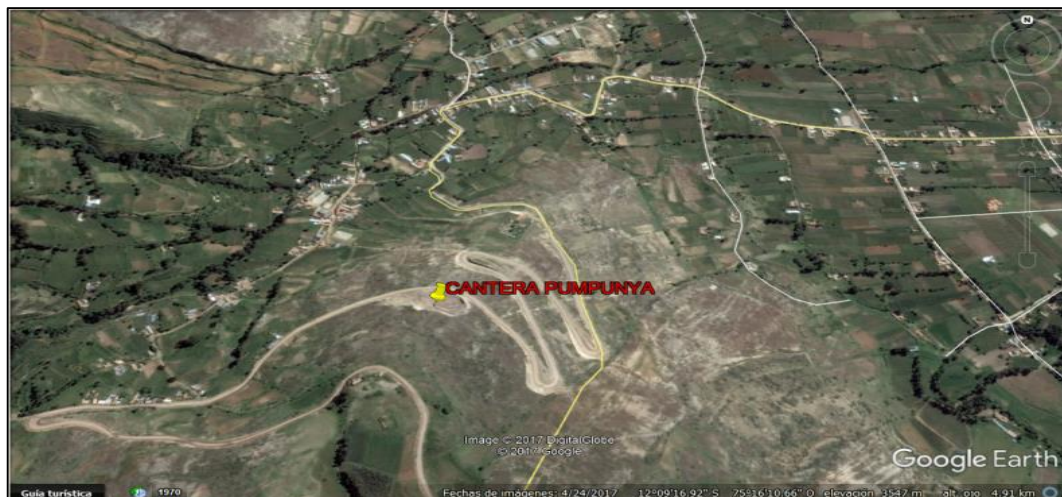
5.1.2.1 Ubicación

Se encuentra ubicada en la progresiva km 4+450 de la carretera Chupuro- Vista Alegre, a lado izquierdo del eje de la vía. Es un material de depósito coluvial clasificado según SUCS como GW-GM y AASHTO A-1-a (0), y tiene un Límite líquido (LL) de 17.7%, Índice plasticidad (IP) NP, con CBR= 85.11% y cuya resistencia a la abrasión de 36.10%, tiene una potencia aprox. 60,767 m³ con un rendimiento del 80%. Datos proporcionados por el contratista Consorcio Junín II. Actualmente la cantera viene siendo usado para la Obra; MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA CHUPURO - VISTA ALEGRE - CHICCHE - CHONGOS ALTO – HUASICANCHA.

Tabla N° 12: Ubicación geográfica (Zona 18 M, DATUM: WGS84)

CANTERA	COORDENADAS GEOGRÁFICAS			COORDENADAS UTM		ALTURA
	Longitud	Latitud	Altitud	Este	Norte	Z (m)
PUMPUNYA	75°15'47.70''O	12°9'40.26''S	3,491 m	8655609	0471360	3,491

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico N° 11. Fotografía Satelital, Ubicación de la cantera “Pumpunya”

Fuente: Google Earth

5.1.3 Cantera Mitupampa

5.1.3.1 Ubicación

Se encuentra ubicada en la progresiva km 21+800 de la carretera Chupuro- Vista Alegre, a lado derecho del eje de la vía. Es un material de depósito fluvio-glaciar de forma subangulosa, clasificado según SUCS como GM y AASHTO A-2-4 (0), y tiene un Límite líquido (LL) de 18.30% Límite Plástico (LP) de 14.93%, Índice plasticidad (IP) 3.38%, tiene una potencia aprox. 40,518 m³ con un rendimiento del 70%. Datos proporcionados por el contratista Consorcio Junín II. Actualmente la cantera viene siendo usado para la Obra; MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA CHUPURO - VISTA ALEGRE - CHICCHE - CHONGOS ALTO – HUASICANCHA.

Tabla N° 13: Ubicación geográfica (Zona 18 M, DATUM: WGS84)

CANTERA	COORDENADAS GEOGRÁFICAS			COORDENADAS UTM		ALTURA
	Longitud	Latitud	Altitud	Este	Norte	Z(m)
MITUPAMPA	75°15'48.83 ''O	12°14'16.49 ''S	4,176 m	8647124	0471334	4,176

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 12. Fotografía Satelital, Ubicación de la cantera “Mitupampa”

Fuente: Google Earth

5.1.4 Cantera Estrella

5.1.4.1 Ubicación

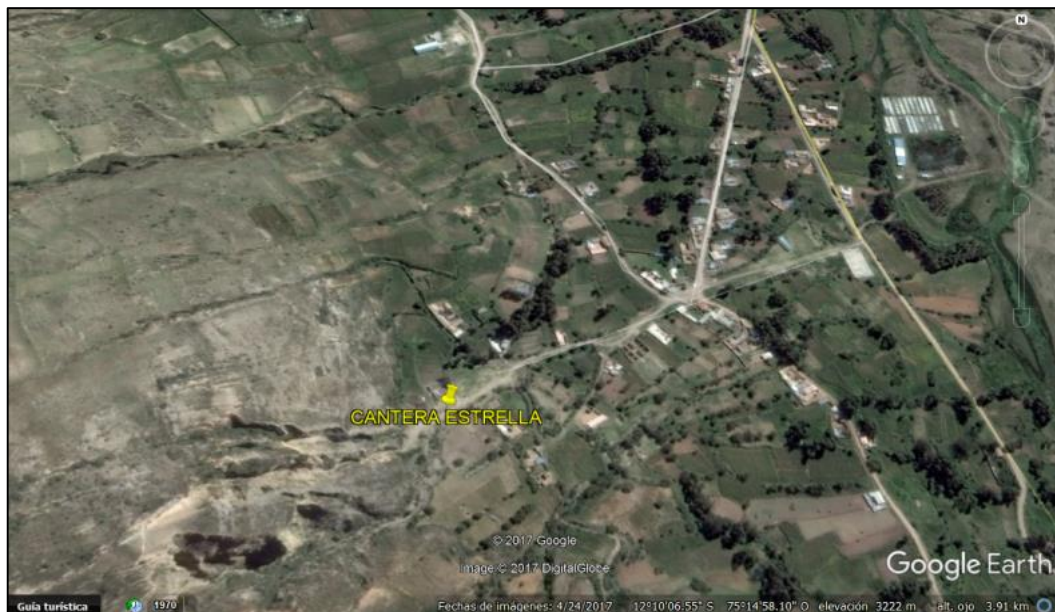
Se encuentra ubicada en el barrio Estrella con referencia el óvalo 5 esquinas. Se encuentra ubicada al final del Jr. Victoria. Es un material de depósito coluvial clasificado según SUCS como GM y AASHTO A-1-b (0), y tiene un Límite líquido (LL) de 17.50% Límite Plástico (LP) de 15.73%, Índice plasticidad (IP) 1.78%, tiene una potencia aprox. 59.738 m³ con un rendimiento del 85%. Actualmente la cantera viene siendo usado para la Obra; "MEJORAMIENTO DE VÍAS URBANAS EN LOS JIRONES: MANCO CAPAC, VISTA ALEGRE, IRREVERSIBLE, 14 DE OCTUBRE, LA CULTURA, ALFONSO UGARTE, LOS INCAS Y LOS PASAJES: INDEPENDENCIA, JOSÉ OLAYA, LAS BRISAS EN LA LOCALIDAD DE CHUPURO.

Tabla N° 14: Ubicación geográfica (Zona 18 M, DATUM: WGS84)

CANTERA	COORDENADAS GEOGRÁFICAS			COORDENADAS UTM		ALTURA
	Longitud	Latitud	Altitud	Este	Norte	Z (m)
ESTRELLA	75°15'0.47'' O	12°10'10.13'' S	3,241 m	8654693	0472788	3,241

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 13. Fotografía Satelital, Ubicación de la cantera “Estrella”



Fuente: Google Earth

5.1.5 Adquisición del material granular

Es de gran importancia el material granular para la correcta conformación de la fundación de la estructura del pavimento según las propiedades del mismo. Cabe destacar que las canteras deben de cumplir con los requisitos mínimos de granulometría, coeficiente de desgaste a la abrasión de los ángeles, límite líquido, índice de plasticidad y CBR. Se precisa que para la investigación se hicieron los ensayos respectivos bajo el enfoque de la investigación.

Se eligió las canteras Pumpunya, Mitupampa y Estrella por conveniencia, en las canteras mencionadas el material granular es obtenido mediante un previo zarandeo por la malla de 1”, se obtuvo 200 kg de material de cada cantera para los ensayos de granulometría, límites de Atterberg y para los métodos A; B y C del Proctor modificado.

Figura N° 4: Adquisición del material granular de la Cantera Pumpunya



Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 5: Adquisición del material granular de la Cantera Mitupampa



Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 6: Adquisición del material granular de la Cantera Estrella



Fuente: Elaboración propia.

5.1.6 Equipos e instrumentos de laboratorio de mecánica de suelos

5.1.6.1 Contenido de humedad

En el desarrollo del ensayo de contenido de humedad de la muestra patrón se procedió según lo establecido en la Norma NTP 339.127.

Este ensayo fue desarrollado utilizando una muestra inalterada de aproximadamente 500 gr. extraída de las canteras, esta muestra se trasladó al Laboratorio de la Dirección Regional de Transporte y comunicaciones - Junín, donde se determinó el contenido de humedad.

Figura N° 7: Se determinó el peso de una de las muestras para su posterior ingreso al horno.



Fuente: Elaboración propia.

5.1.6.2 Ensayo de análisis granulométrico.

Este ensayo se desarrolló solamente para la muestra patrón de acuerdo a la norma NTP 339.128 el cual consiste en el análisis granulométrico por lavado.

Instrumentos utilizados

- Bandeja
- Espátula
- Juego de tamices 3", 2-1/2", 2", 1-1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", 1/4", N° 4, N° 6, N° 8, N° 10, N° 16, N° 20, N° 30, N° 40, N° 50, N° 80, N° 100, N° 200 y Fondo.
- Balanza

Procedimiento

Para esta prueba inicialmente se secó la muestra, se pesó 500 gr, a continuación se procedió a lavar el material pasante por el tamiz N° 200, mediante chorro de agua. El material retenido en la malla N° 200 se retiró en un recipiente y se dejó secar. De modo que se dejó pasar la muestra seca por los tamices, agitando de forma manual. Para finalizar se determinó en gabinete los

porcentajes acumulados que pasaron en cada tamiz y se graficó la curva granulométrica a escala semilogarítmica.

Figura N° 8: Lavado de muestra por el tamiz N° 200



Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 9: Tamizado de material



Fuente: Elaboración propia.

5.1.6.3 Límites de Atterberg

Este ensayo se desarrolló utilizando la muestra patrón por cada cantera, se realizaron siguiendo los lineamientos de la norma MTC E 110- 111, 2016.

5.1.6.3.1 Límite líquido

Instrumentos utilizados

- Vasija de porcelana de 115 mm de diámetro aproximado.
- Espátula de hoja flexible de 3” a 4” de longitud y ¾” de ancho.
- Cuchara de Casagrande, de operación manual.
- Acanalador.
- Recipiente o taras para almacenar y secar material.
- Balanza de precisión.
- Horno de secado, capaz de mantener temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- Cuchara de Casagrande.
- Tamiz de N° 40.

Procedimiento

- Paso 1: Se tomó una muestra de aproximadamente 200 gr, de una porción de agregado que pasa el tamiz de 0.425 mm (N°40).
- Paso 2: Se colocó la muestra de suelo en la vasija de porcelana para mezclarse con 20 ml de agua, para amasarlo y tajarlo con la espátula en forma alternada y repetida.
- Paso 3: Se procedió a colocar una porción de la mezcla en la cuchara de Casagrande, extendiéndolo con la espátula, teniendo cuidado de incluir burbujas en la masa. Se procedió a nivelar el suelo con la espátula

emparejándolo, hasta conseguir una superficie pareja con una profundidad máxima de 1 cm.

- Paso 4: Se procedió a dividir la masa de suelo de la cazuela, con pasadas firmes del acanalador a lo largo del diámetro de la cuchara, pasando suavemente con el acanalador se penetró poco a poco hasta que se logró separar totalmente las dos partes.
- Paso 5: Se procedió a elevar y golpear la cuchara de Casagrande girando la manija a una velocidad de 1.9 a 2.1 golpes por segundo, hasta lograr que las dos mitades se junten en una longitud de 0.5” a lo largo de la ranura, anotando los golpes necesarios para lograr este objetivo.
- Paso 6: Luego se procedió a sacar una tajada de la masa de la cuchara de Casagrande, luego depositarlo en un envase para su internado en un horno, su posterior secado y registro de pesos.

Figura N° 10: Preparación de la cuchara de Casagrande



Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 11: Después de dividir el la masa de suelo de la cazuela



Fuente: Elaboración propia.

5.1.6.3.2 Límite plástico

Instrumentos utilizados

- Espátula, de hoja flexible de 3'' o 4'' de longitud por 3/4'' de ancho.
- Recipiente de porcelana de 115 mm de diámetro aproximado.
- Balanza de precisión.
- Horno de secado, capaz de mantener temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- Tamiz N°40.
- Agua destilada.
- Recipientes o taras para almacenar y secar material.
- Superficie de rodadura de vidrio.

Procedimiento

- Paso 1: Se preparó 20 gr. de la muestra que pasa el tamiz N°40, se procedió a amasar con agua destilada hasta que se logró formar una masa homogénea de suelo.

- Paso 2: Se moldeó cilindros con la masa de suelo, sobre la superficie de vidrio hasta lograr un cilindro de 3.20 mm, sin que se haya desmoronado. Se repitió el proceso hasta tener un cilindro y se empieza a desmoronar.
- Paso 3: Los trozos obtenidos se depositan, para ingresarlos en el horno y posteriormente secarlo y pesarlos.

Figura N° 12: Amasado de la muestra para la plasticidad.



Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 13: Los trozos obtenidos se colocan en la tara para su secado en el horno.



Fuente: Elaboración propia.

5.1.6.3 Proctor modificado

El Proctor modificado es un ensayo de compactación de suelo, que tiene como finalidad obtener la humedad óptima de compactación de un suelo para una determinada energía de compactación, se proporciona 3 métodos alternativos (“A”, “B” y “C”). El método usado debe ser indicado en las especificaciones del material a ser ensayado. (MTC E 115 – 2000).

Instrumentos utilizados

- Molde de 4 o 6 pulgadas con una altura de 4,584 pulg (116,4 mm) y un volumen de 0,0333 pie³ (944 cm³) y 0,075 pie³ (2,124 cm³), respectivamente. Un plato base y un collar de extensión de 2”.
- Pisón o martillo,
- Balanza, con una aproximación de 1 gramo.
- Horno de secado, capaz de mantener una temperatura uniforme de 230 ± 9 °F (110 ± 5 °C).
- Regla metálica, rígida de una longitud conveniente pero no menor que 10 pulgadas.
- Tamices de 3/4” (19,0 mm), 3/8” (9,5 mm) y 4 (4,75 mm).
- Diversas herramientas como cucharas, mezclador, pipeta, probetas, fuente para la mezcla completo de muestra de suelo con incrementos de agua.

Procedimiento

- Paso 1: Se prepara mínimo cuatro (preferiblemente, cinco) especímenes con contenidos de agua, de modo que estos tengan un contenido de agua lo más cercano al óptimo estimado.
- Paso 2: Preparar cuatro o cinco muestras de 6 kg. Para el método C y de 3 kg, Si se emplea el método A o B.

- Paso 3: Determinar, anotar la masa y volumen del molde.
- Paso 4: Colocar la primera capa en el molde y aplicarle 25 o 56 golpes, según el método de ensayo.
- Paso 5: Compactar el espécimen en cinco capas. Cada una deberá tener aproximadamente el mismo espesor. Se aplicarán los golpes en una relación uniforme de aproximadamente 25 golpes por minuto, en el caso que sea el método A ó B y cuando sea el método C, se aplicara 56 golpes por minuto.
- Paso 6: La última capa debe quedar en el collarín, de manera que luego pueda enrasarse.
- Paso 7: Determine y registre la masa del espécimen, luego remover el material del molde para extraer una porción de suelo para determinar el contenido de humedad.
- Paso 8: Llevar las muestras al horno para determinar la humedad.
- Paso 9: Repetir el procedimiento para un mínimo de cuatro puntos compactados a diferentes contenidos de humedad, dos de los cuales quedan en el lado seco de la curva y los otros dos en el lado húmedo.
- Paso 10: Con los procedimientos mencionados y obteniendo los datos se procederá a procesar la información con ayuda del programa Ms. Excel donde se nos graficará la curva de compactación además de obtener los valores del óptimo contenido de humedad y densidad máxima seca.

Figura N° 14: Una vez recepcionado las muestras en el laboratorio de las canteras se procedió al secado a temperatura ambiente.



Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 15: Cuarteo de una de las muestras de la cantera.



Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 16: Tamizado de la muestra para la determinación del método a aplicarse.



Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 17: Preparación de los especímenes para el ensayo de Proctor modificado.



Fuente: Elaboración propia.

5.2 Resultados de laboratorio

En este capítulo se presentan los resultados de los ensayos desarrollados en el laboratorio de suelos de la DRTC – Junín, de las muestras obtenidas en las canteras Pumpunya, Mitupampa y Estrella.

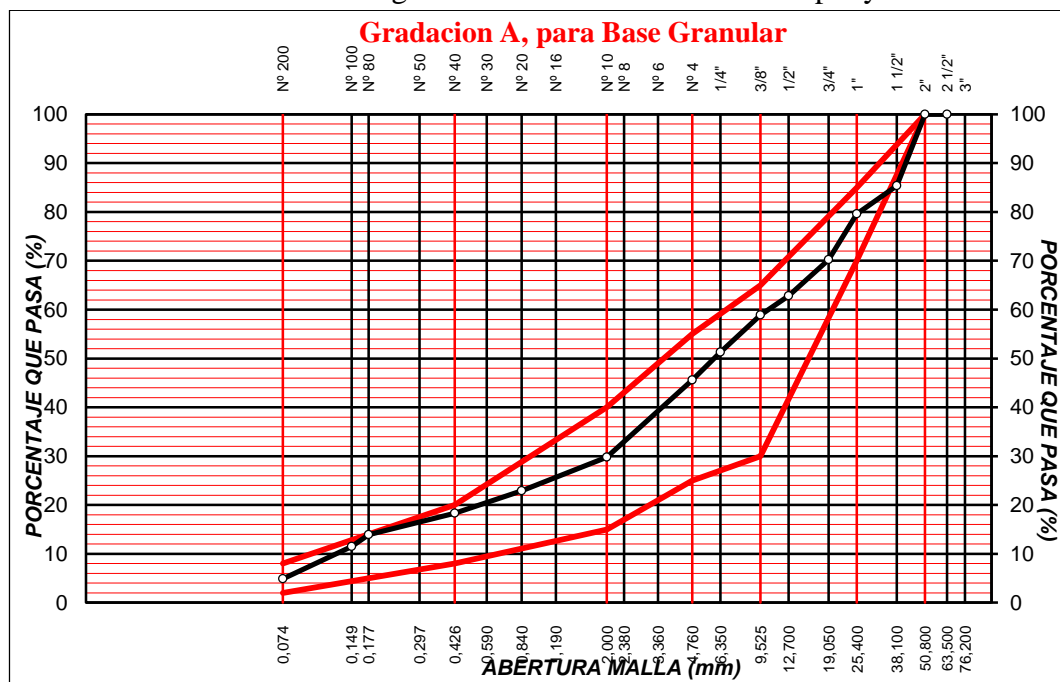
5.2.1 Análisis granulométrico

Tabla N° 15: Granulometría de la Cantera Pumpunya.

MALLA SERIE AMERICANA	GRANULOMETRÍA				
	ABERT. (mm)	PESO RETENIDO (g)	RET. PARCIAL (%)	RET. ACUMUL (%)	PASA (%)
3"	76.200	-	-	-	
2 1/2"	63.500	-	-	-	100.00
2"	50.800	-	-	-	100.00
1 1/2"	38.100	353.10	14.60	14.60	85.40
1"	25.400	141.67	5.80	20.40	79.60
3/4"	19.050	227.87	9.40	29.80	70.20
1/2"	12.700	178.88	7.40	37.20	62.80
3/8"	9.525	94.92	3.90	41.10	58.90
1/4"	6.350	184.64	7.60	48.70	51.30
N° 4	4.760	138.05	5.70	54.40	45.60
N° 6	3.360	106.17	4.40	58.80	41.20
N° 8	2.380	194.76	8.00	66.80	33.20
N° 10	2.000	82.37	3.40	70.20	29.80
N° 16	1.190	117.27	4.80	75.00	25.00
N° 20	0.840	50.33	2.10	77.10	22.90
N° 30	0.590	72.93	3.00	80.10	19.90
N° 40	0.426	39.95	1.60	81.70	18.30
N° 50	0.297	34.14	1.40	83.10	16.90
N° 80	0.177	72.43	3.00	86.10	13.90
N° 100	0.149	58.20	2.40	88.50	11.50
N° 200	0.074	160.12	6.60	95.10	4.90
-N° 200	-	116.20	4.80	99.90	0.10
Peso total de la muestra		2424.00			

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico N° 14. Curva granulométría de la Cantera Pumpunya.



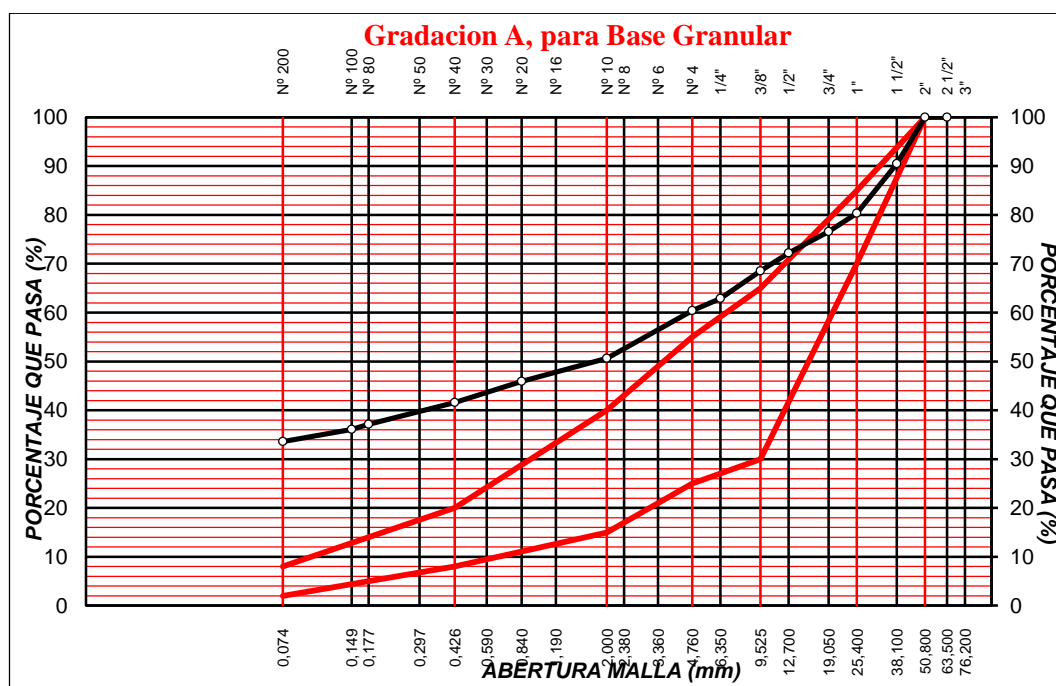
Fuente: Certificado de laboratorio de suelos DRTC- Junín.

Tabla N° 16: Granulometría de la Cantera Mitupampa.

MALLA SERIE AMERI CANVA	GRANULOMETRÍA				
	ABERT. (mm)	PESO RETENIDO (g)	RET. PARCIAL (%)	RET. ACUMUL (%)	PASA (%)
3"	76.200	-	-	-	
2 ½"	63.500	-	-	-	100.00
2"	50.800	-	-	-	100.00
1 ½"	38.100	220.52	9.50	9.50	90.50
1"	25.400	236.57	10.20	19.70	80.30
¾"	19.050	87.07	3.70	23.40	76.60
½"	12.700	102.82	4.40	27.80	72.20
⅜"	9.525	86.83	3.70	31.50	68.50
¼"	6.350	130.99	5.60	37.10	62.90
N° 4	4.760	58.70	2.50	39.60	60.40
N° 6	3.360	67.23	2.90	42.50	57.50
N° 8	2.380	108.13	4.70	47.20	52.80
N° 10	2.000	51.06	2.20	49.40	50.60
N° 16	1.190	73.38	3.20	52.60	47.40
N° 20	0.840	35.70	1.50	54.10	45.90
N° 30	0.590	59.90	2.60	56.70	43.30
N° 40	0.426	38.76	1.70	58.40	41.60
N° 50	0.297	32.18	1.40	59.80	40.20
N° 80	0.177	72.81	3.10	62.90	37.10
N° 100	0.149	23.13	1.00	63.90	36.10
N° 200	0.074	58.77	2.50	66.40	33.60
-N° 200	-	780.45	33.60	100	-
Peso total de la muestra		2324.00			

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico N° 15. Curva granulometría de la Cantera Mitupampa.



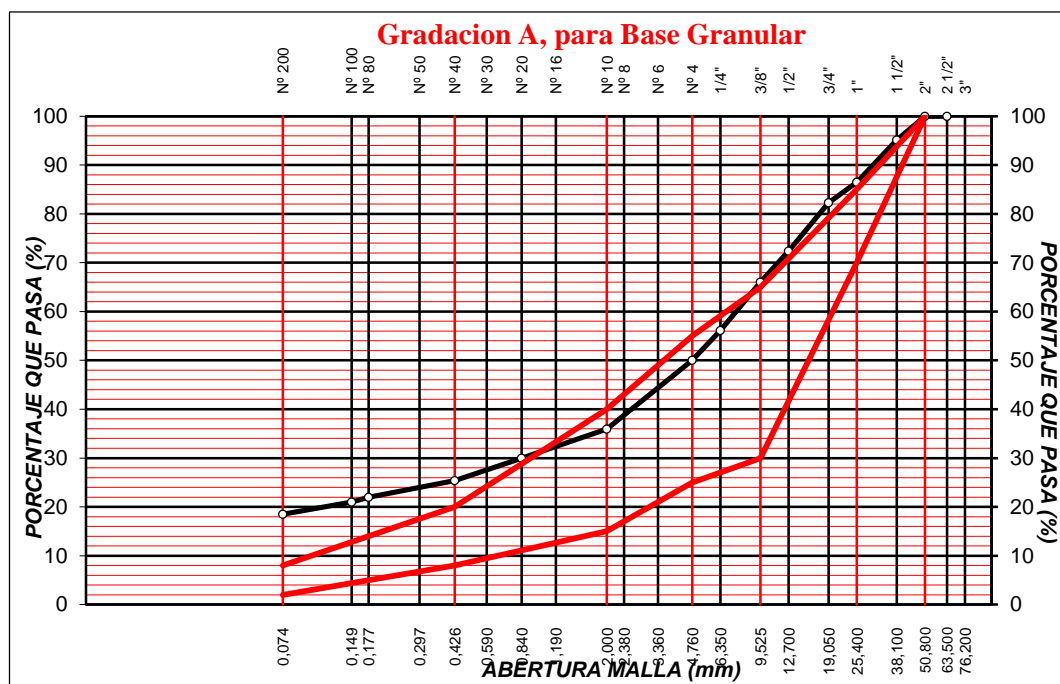
Fuente: Certificado de laboratorio de suelos DRTC- Junín.

Tabla N° 17: Granulometría de la Cantera Estrella

MALLA SERIE AMERICANA	GRANULOMETRÍA				
	ABERT. (mm)	PESO RETENIDO (g)	RET. PARCIAL (%)	RET. ACUMUL (%)	PASA (%)
1	76.200	-	-	-	
2 ½"	63.500	-	-	-	
2"	50.800	-	-	-	100
1 ½"	38.100	151.54	4.90	4.90	95.10
1"	25.400	267.00	8.60	13.50	86.50
¾"	19.050	131.79	4.20	17.70	82.30
½"	12.700	308.37	9.90	27.60	72.40
⅜"	9.525	199.25	6.40	34.00	66.00
¼"	6.350	308.79	9.90	43.90	56.10
N° 4	4.760	191.24	6.10	50.00	50.00
N° 6	3.360	136.92	4.40	54.40	45.60
N° 8	2.380	212.22	6.80	61.20	38.80
N° 10	2.000	90.58	2.90	64.10	35.90
N° 16	1.190	126.90	4.10	68.20	31.80
N° 20	0.840	57.20	1.80	70.00	30.00
N° 30	0.590	90.40	2.90	72.90	27.10
N° 40	0.426	51.82	1.70	74.60	25.40
N° 50	0.297	40.97	1.30	75.90	24.10
N° 80	0.177	63.89	2.10	78.00	22.00
N° 100	0.149	30.14	1.00	79.00	21.00
N° 200	0.074	78.66	2.50	81.50	18.50
-N° 200	-	574.32	18.50	100.00	
Peso total de la muestra		3112.00			

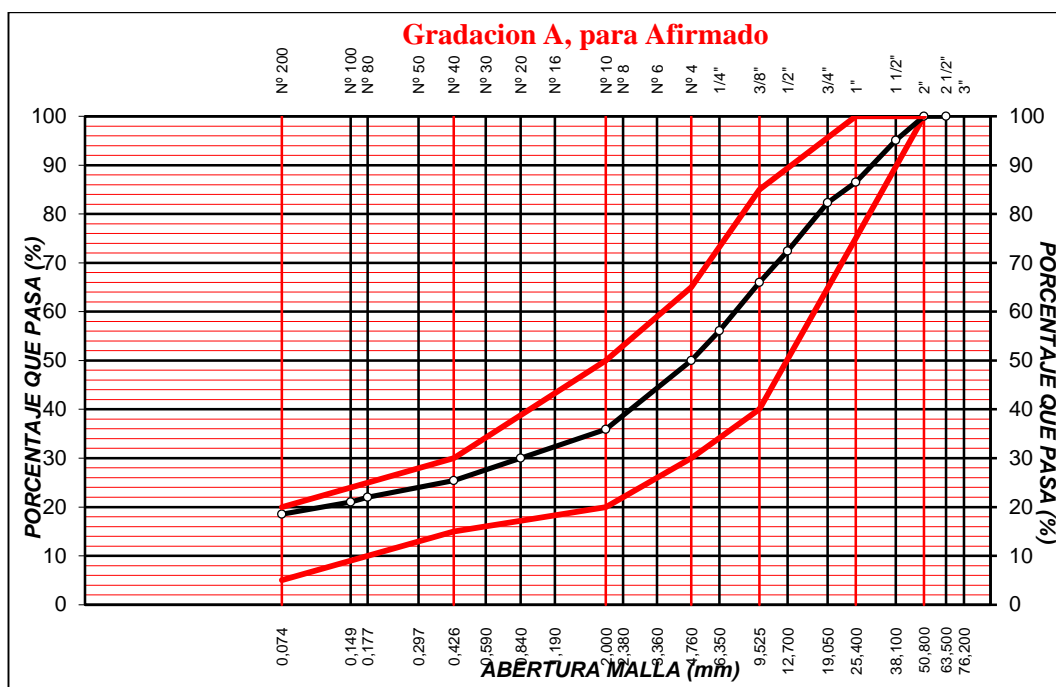
Fuente: Elaboración propia.

Gráfico N° 16. Curva granulometría de la Cantera Estrella (A)



Fuente: Certificado de laboratorio de suelos DRTC- Junín.

Gráfico N° 17. Curva granulométría de la Cantera Estrella (B)



Fuente: Certificado de laboratorio de suelos DRTC- Junín.

5.2.2 Contenido de humedad

Tabla N° 18: Resultados de contenido de humedad de las canteras utilizadas en la investigación

	Unidades	Cantera Pumpunya	Cantera Mitupampa	Cantera Estrella
Peso tara + muestra húmeda	Gr.	505.65	501.5	503.20
Peso tara + muestra seca	Gr.	492.63	484.82	486.70
Peso de la tara	Gr.	85.25	78.15	76.25
Peso de la muestra seca	Gr.	407.38	406.67	410.45
Peso del agua	Gr.	13.02	16.68	16.50
Contenido de humedad	%	3.20	4.10	4.02

Fuente: Elaboración propia.

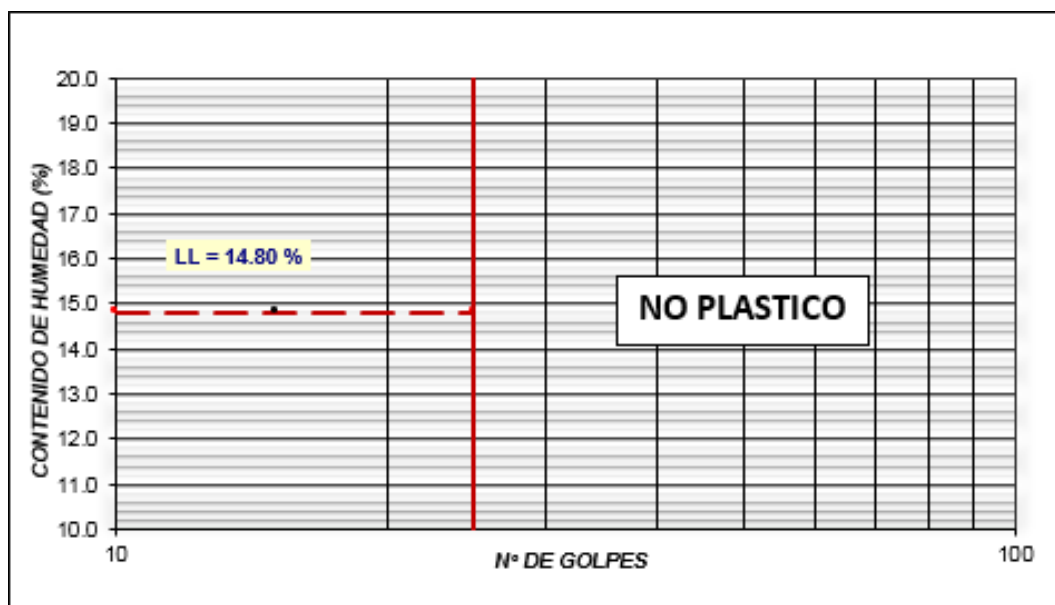
5.2.3 Identificación y caracterización física del suelo

Tabla N° 19: Resultados Límite de Atterberg, SUCS y AASHTO – Cantera Pumpunya

DESCRIPCIÓN FÍSICA DEL SUELO	
GRAVAS Y ARENAS LIMOSAS O ARCILLAS DE BAJA PLASTICIDAD CONTENIDO DE GRAVA 54.4%, ARENA 40.7%, FINOS 4.8%	
-GRAVA : 54.4%	D10 : 0.127 Cu : 81.283
-ARENA : 40.7%	D20 : 2.021 Cc : 3.110
-FINOS : 4.8%	D60 : 10.33
-Humedad Natural	3.20
-Limite Líquido (%)	14.80
-Limite Plástico	N.P
-Índice de Plasticidad	-
-Clasificación SUCS	GP
-Clasificación AASHTO	A-2-6 (0)

Fuente: Certificado de laboratorio de suelos DRTC- Junín.

Gráfico N° 18. Diagrama de fluidez - Cantera Pumpunya



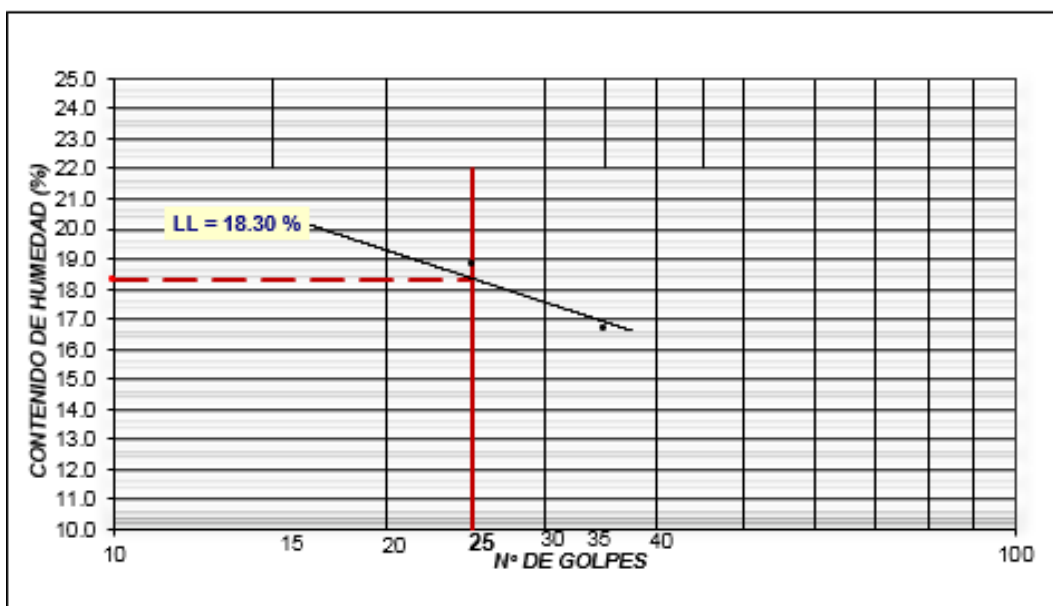
Fuente: Certificado de laboratorio de suelos DRTC- Junín.

Tabla N° 20: Resultados límite de Atterberg, SUCS y AASHTO – Cantera Mitupampa

DESCRIPCIÓN FÍSICA DEL SUELO	
GRAVAS Y ARENAS LIMOSAS O ARCILLAS DE BAJA PLASTICIDAD CONTENIDO DE GRAVA 54.4%, ARENA 40.7%, FINOS 33.6%	
-GRAVA : 54.4%	D10 : 0.127 Cu : 81.283
-ARENA : 40.7%	D20 : 2.021 Cc : 3.110
-FINOS : 33.6%	D60 : 10.33
-Humedad Natural	4.10
-Límite Líquido (%)	18.30
-Límite Plástico	14.93
-Índice de Plasticidad	3.38
-Clasificación SUCS	GM
-Clasificación AASHTO	A-2-4 (0)

Fuente: Certificado de laboratorio de suelos DRTC- Junín.

Gráfico N° 19. Diagrama de fluidez - Cantera Mitupampa



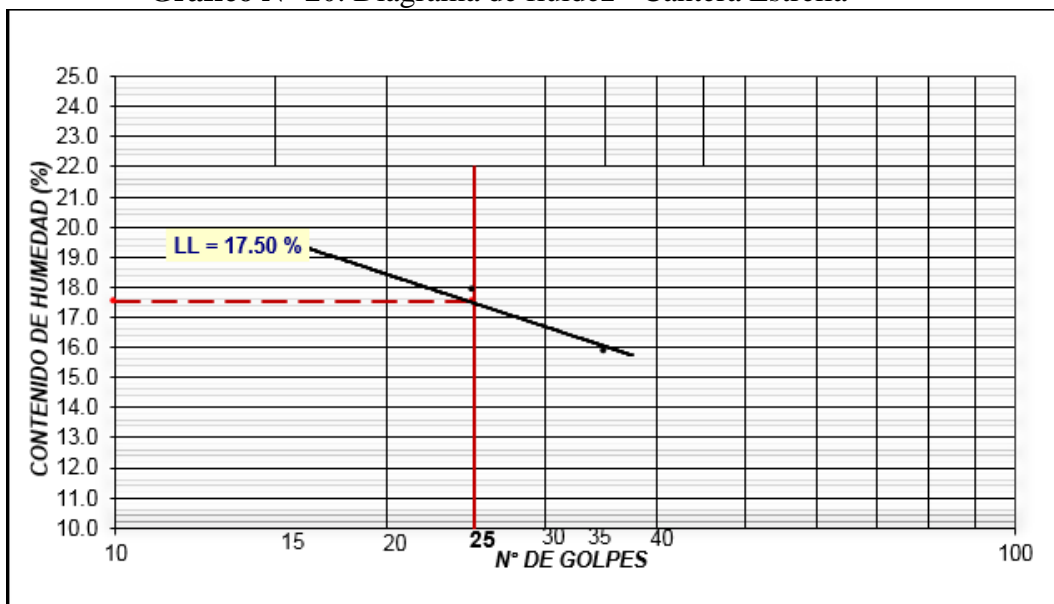
Fuente: Certificado de laboratorio de suelos DRTC- Junín.

Tabla N° 21: Resultados límite de Atterberg, SUCS y AASHTO – Cantera Estrella

DESCRIPCIÓN FÍSICA DEL SUELO	
GRAVAS Y ARENAS LIMOSAS O ARCILLAS DE BAJA PLASTICIDAD CONTENIDO DE GRAVA 50%, ARENA 31.5%, FINOS 18.5%	
-GRAVA : 50.0%	D10 : 0.074 Cu : 100.673
-ARENA : 31.5%	D20 : 0.840 Cc : 1.280
-FINOS : 18.5%	D60 : 7.450
-Humedad Natural	4.02
-Limite Líquido (%)	17.50
-Limite Plástico	15.73
-Índice de Plasticidad	1.78
-Clasificación SUCS	GM
-Clasificación AASHTO	A-1-b (0)

Fuente: Certificado de laboratorio de suelos DRTC- Junín.

Gráfico N° 20. Diagrama de fluidez - Cantera Estrella



Fuente: Certificado de laboratorio de suelos DRTC- Junín.

5.2.4 Ensayo del Proctor modificado

Tabla N° 22: Determinación del método de ensayo de Proctor modificado

DETERMINACIÓN DEL MÉTODO DE ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO																																																								
<p>CANTERA MITUPAMPA Muestra Acumulada N°1</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>TAMIZ</th> <th>PESO RETENIDO</th> <th>% MAT. RETENIDO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3/4</td> <td>129.0</td> <td>1.67%</td> </tr> <tr> <td>3/8</td> <td>1434.0</td> <td>18.52%</td> </tr> <tr> <td>Nº4</td> <td>1434.0</td> <td>18.52%</td> </tr> <tr> <td>Pasante Nº4</td> <td>4748.0</td> <td>61.30%</td> </tr> <tr> <td>Total</td> <td>7745.0</td> <td>100.00%</td> </tr> </tbody> </table> <p>Determinación : Metodo "A" Observación :La determinación del método "A", es el resultado de un (1) proceso de tamizado</p>	TAMIZ	PESO RETENIDO	% MAT. RETENIDO	3/4	129.0	1.67%	3/8	1434.0	18.52%	Nº4	1434.0	18.52%	Pasante Nº4	4748.0	61.30%	Total	7745.0	100.00%	<p>CANTERA ESTRELLA Muestra Acumulada N°1</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>TAMIZ</th> <th>PESO RETENIDO</th> <th>% MAT. RETENIDO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3/4</td> <td>0.0</td> <td>0.00%</td> </tr> <tr> <td>3/8</td> <td>1085.0</td> <td>19.32%</td> </tr> <tr> <td>Nº4</td> <td>1128.0</td> <td>20.09%</td> </tr> <tr> <td>Pasante Nº4</td> <td>3403.0</td> <td>60.59%</td> </tr> <tr> <td>Total</td> <td>5616.0</td> <td>100.00%</td> </tr> </tbody> </table> <p>Determinación : Metodo "B" Observación :La determinación del método "B", es el resultado de un (1) proceso de tamizado</p>	TAMIZ	PESO RETENIDO	% MAT. RETENIDO	3/4	0.0	0.00%	3/8	1085.0	19.32%	Nº4	1128.0	20.09%	Pasante Nº4	3403.0	60.59%	Total	5616.0	100.00%	<p>CANTERA PUMPUNYA Muestra Acumulada N°1</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>TAMIZ</th> <th>PESO RETENIDO</th> <th>% MAT. RETENIDO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3/4</td> <td>197.0</td> <td>2.58%</td> </tr> <tr> <td>3/8</td> <td>900.0</td> <td>11.79%</td> </tr> <tr> <td>Nº4</td> <td>1135.0</td> <td>14.87%</td> </tr> <tr> <td>Pasante Nº4</td> <td>5399.0</td> <td>70.75%</td> </tr> <tr> <td>Total</td> <td>7631.0</td> <td>100.00%</td> </tr> </tbody> </table> <p>Determinación : Metodo "A" Observación :La determinación del método "A", es el resultado de un (1) proceso de tamizado</p>	TAMIZ	PESO RETENIDO	% MAT. RETENIDO	3/4	197.0	2.58%	3/8	900.0	11.79%	Nº4	1135.0	14.87%	Pasante Nº4	5399.0	70.75%	Total	7631.0	100.00%
TAMIZ	PESO RETENIDO	% MAT. RETENIDO																																																						
3/4	129.0	1.67%																																																						
3/8	1434.0	18.52%																																																						
Nº4	1434.0	18.52%																																																						
Pasante Nº4	4748.0	61.30%																																																						
Total	7745.0	100.00%																																																						
TAMIZ	PESO RETENIDO	% MAT. RETENIDO																																																						
3/4	0.0	0.00%																																																						
3/8	1085.0	19.32%																																																						
Nº4	1128.0	20.09%																																																						
Pasante Nº4	3403.0	60.59%																																																						
Total	5616.0	100.00%																																																						
TAMIZ	PESO RETENIDO	% MAT. RETENIDO																																																						
3/4	197.0	2.58%																																																						
3/8	900.0	11.79%																																																						
Nº4	1135.0	14.87%																																																						
Pasante Nº4	5399.0	70.75%																																																						
Total	7631.0	100.00%																																																						
<p>CANTERA MITUPAMPA Muestra Acumulada N°2</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>TAMIZ</th> <th>PESO RETENIDO</th> <th>% MAT. RETENIDO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3/4</td> <td>58</td> <td>1.29%</td> </tr> <tr> <td>3/8</td> <td>601</td> <td>13.35%</td> </tr> <tr> <td>Nº4</td> <td>1769</td> <td>39.29%</td> </tr> <tr> <td>Pasante Nº4</td> <td>2074</td> <td>46.07%</td> </tr> <tr> <td>Total</td> <td>4502</td> <td>100.00%</td> </tr> </tbody> </table> <p>Determinación : Metodo "B" Observación :La determinación del método "B", es el resultado de dos (2) procesos de tamizado.</p>	TAMIZ	PESO RETENIDO	% MAT. RETENIDO	3/4	58	1.29%	3/8	601	13.35%	Nº4	1769	39.29%	Pasante Nº4	2074	46.07%	Total	4502	100.00%	<p>CANTERA ESTRELLA Muestra Acumulada N°2</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>TAMIZ</th> <th>PESO RETENIDO</th> <th>% MAT. RETENIDO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3/4</td> <td>0</td> <td>0.00%</td> </tr> <tr> <td>3/8</td> <td>1392</td> <td>24.50%</td> </tr> <tr> <td>Nº4</td> <td>1327</td> <td>23.35%</td> </tr> <tr> <td>Pasante Nº4</td> <td>2963</td> <td>52.15%</td> </tr> <tr> <td>Total</td> <td>5682</td> <td>100.00%</td> </tr> </tbody> </table> <p>Determinación : Metodo "C" Observación :La determinación del método "C", es el resultado de un (1) proceso de adición del 5% de agregado .</p>	TAMIZ	PESO RETENIDO	% MAT. RETENIDO	3/4	0	0.00%	3/8	1392	24.50%	Nº4	1327	23.35%	Pasante Nº4	2963	52.15%	Total	5682	100.00%	<p>CANTERA PUMPUNYA Muestra Acumulada N°2</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>TAMIZ</th> <th>PESO RETENIDO</th> <th>% MAT. RETENIDO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3/4</td> <td>315</td> <td>4.15%</td> </tr> <tr> <td>3/8</td> <td>1183</td> <td>15.60%</td> </tr> <tr> <td>Nº4</td> <td>2805</td> <td>36.99%</td> </tr> <tr> <td>Pasante Nº4</td> <td>3281</td> <td>43.26%</td> </tr> <tr> <td>Total</td> <td>7584</td> <td>100.00%</td> </tr> </tbody> </table> <p>Determinación : Metodo "B" Observación :La determinación del método "B", es el resultado de un (1) proceso de adición del 3% de agregado</p>	TAMIZ	PESO RETENIDO	% MAT. RETENIDO	3/4	315	4.15%	3/8	1183	15.60%	Nº4	2805	36.99%	Pasante Nº4	3281	43.26%	Total	7584	100.00%
TAMIZ	PESO RETENIDO	% MAT. RETENIDO																																																						
3/4	58	1.29%																																																						
3/8	601	13.35%																																																						
Nº4	1769	39.29%																																																						
Pasante Nº4	2074	46.07%																																																						
Total	4502	100.00%																																																						
TAMIZ	PESO RETENIDO	% MAT. RETENIDO																																																						
3/4	0	0.00%																																																						
3/8	1392	24.50%																																																						
Nº4	1327	23.35%																																																						
Pasante Nº4	2963	52.15%																																																						
Total	5682	100.00%																																																						
TAMIZ	PESO RETENIDO	% MAT. RETENIDO																																																						
3/4	315	4.15%																																																						
3/8	1183	15.60%																																																						
Nº4	2805	36.99%																																																						
Pasante Nº4	3281	43.26%																																																						
Total	7584	100.00%																																																						
<p>CANTERA MITUPAMPA Muestra Acumulada N°3</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>TAMIZ</th> <th>PESO RETENIDO</th> <th>% MAT. RETENIDO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3/4</td> <td>72</td> <td>1.29%</td> </tr> <tr> <td>3/8</td> <td>2121</td> <td>37.86%</td> </tr> <tr> <td>Nº4</td> <td>1124</td> <td>20.06%</td> </tr> <tr> <td>Pasante Nº4</td> <td>2285</td> <td>40.79%</td> </tr> <tr> <td>Total</td> <td>5602</td> <td>100.00%</td> </tr> </tbody> </table> <p>Determinación : Metodo "C" Observación : La determinación del método "C", es el resultado de dos (2) procesos de tamizado.</p>	TAMIZ	PESO RETENIDO	% MAT. RETENIDO	3/4	72	1.29%	3/8	2121	37.86%	Nº4	1124	20.06%	Pasante Nº4	2285	40.79%	Total	5602	100.00%	<p>CANTERA ESTRELLA Muestra Acumulada N° 3</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>TAMIZ</th> <th>PESO RETENIDO</th> <th>% MAT. RETENIDO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3/4</td> <td>0</td> <td>0.00%</td> </tr> <tr> <td>3/8</td> <td>608</td> <td>10.10%</td> </tr> <tr> <td>Nº4</td> <td>1065</td> <td>17.70%</td> </tr> <tr> <td>Pasante Nº4</td> <td>4344</td> <td>72.20%</td> </tr> <tr> <td>Total</td> <td>6017</td> <td>100.00%</td> </tr> </tbody> </table> <p>Determinación : Metodo "A" Observación : La determinación del método "A", es el resultado de dos (2) procesos de tamizado.</p>	TAMIZ	PESO RETENIDO	% MAT. RETENIDO	3/4	0	0.00%	3/8	608	10.10%	Nº4	1065	17.70%	Pasante Nº4	4344	72.20%	Total	6017	100.00%	<p>CANTERA PUMPUNYA Muestra Acumulada N° 3</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>TAMIZ</th> <th>PESO RETENIDO</th> <th>% MAT. RETENIDO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3/4</td> <td>154</td> <td>2.07%</td> </tr> <tr> <td>3/8</td> <td>2094</td> <td>28.15%</td> </tr> <tr> <td>Nº4</td> <td>844</td> <td>11.34%</td> </tr> <tr> <td>Pasante Nº4</td> <td>4348</td> <td>58.44%</td> </tr> <tr> <td>Total</td> <td>7440</td> <td>100.00%</td> </tr> </tbody> </table> <p>Determinación : Metodo "C" Observación : La determinación del método "C", es el resultado de dos (2) procesos de tamizado.</p>	TAMIZ	PESO RETENIDO	% MAT. RETENIDO	3/4	154	2.07%	3/8	2094	28.15%	Nº4	844	11.34%	Pasante Nº4	4348	58.44%	Total	7440	100.00%
TAMIZ	PESO RETENIDO	% MAT. RETENIDO																																																						
3/4	72	1.29%																																																						
3/8	2121	37.86%																																																						
Nº4	1124	20.06%																																																						
Pasante Nº4	2285	40.79%																																																						
Total	5602	100.00%																																																						
TAMIZ	PESO RETENIDO	% MAT. RETENIDO																																																						
3/4	0	0.00%																																																						
3/8	608	10.10%																																																						
Nº4	1065	17.70%																																																						
Pasante Nº4	4344	72.20%																																																						
Total	6017	100.00%																																																						
TAMIZ	PESO RETENIDO	% MAT. RETENIDO																																																						
3/4	154	2.07%																																																						
3/8	2094	28.15%																																																						
Nº4	844	11.34%																																																						
Pasante Nº4	4348	58.44%																																																						
Total	7440	100.00%																																																						

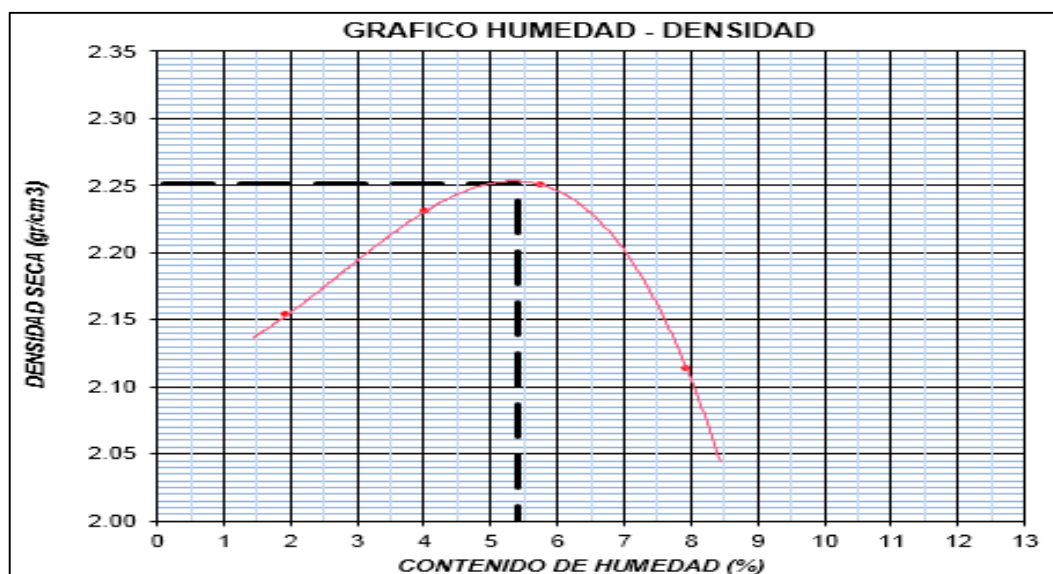
Fuente: Certificado de laboratorio de suelos DRTC- Junín.

Tabla N° 23: Resultados del ensayo Proctor modificado: Método “A” – Cantera Pumpunya.

Tipo de agregado	Material Granular	Peso de muestra (gr)	25 000	
Características de método “A”				
Pisón ó martillo (lb)	10	Altura de caída (plg)	18	
N° capas	5	Pasante del tamiz	N°4”	
N° golpes	25	Molde	4”	
Determinación de la densidad				
Peso del suelo húmedo + molde (gr)	4101	4218	4275	4182
Peso del molde (gr)	2033	2033	2033	2033
Peso del suelo húmedo (gr)	2068	2185	2242	2149
Volumen del molde (cm ³)	942	942	942	942
Densidad húmeda (gr/cm ³)	2.195	2.320	2.380	2.281
Contenido de humedad promedio (%)	1.9	4.0	5.7	7.9
Densidad seca (gr/cm ³)	2.153	2.231	2.251	2.113
Determinación del contenido de humedad				
Recipiente N°	15	30	20	22
Peso del recipiente + suelo húmedo (gr)	243.50	190.43	279.81	197.96
Peso del recipiente + suelo seco (gr)	239.71	184.42	267.04	186.10
Peso del agua (gr)	3.79	6.01	12.77	11.86
Peso del recipiente (gr)	44.33	34.51	44.34	36.70
Peso del suelo seco (gr)	195.38	149.91	222.70	149.40
Contenido de humedad (%)	1.94	4.01	5.73	7.94

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico N° 21. Curva de compactación: Método “A” - Cantera Pumpunya.



Óptimo C.H	5.4%
Máxima D.S	2.25 gr/cm ³

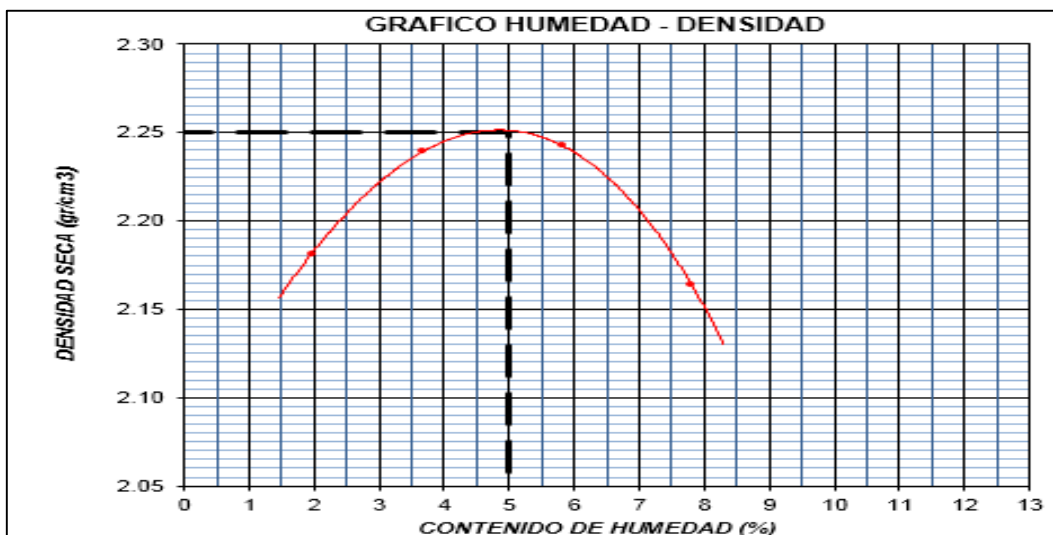
Fuente: Certificado de laboratorio de suelos DRTC- Junín.

Tabla N° 24: Resultados del ensayo Proctor modificado: Método “B” – Cantera Pumpunya.

Tipo de agregado	Material Granular	Peso de muestra (gr)	25 000	
Características de método “B”				
Pisón ó martillo (lb)	10	Altura de caída (plg)	18	
N° capas	5	Pasante del tamiz	3/8"	
N° golpes	25	Molde	4”	
Determinación de la densidad				
Peso del suelo húmedo + molde (gr)	4128	4220	4268	4231
Peso del molde (gr)	2033	2033	2033	2033
Peso del suelo húmedo (gr)	2095	2187	2235	2198
Volumen del molde (cm ³)	942	942	942	942
Densidad húmeda (gr/cm ³)	2.224	2.322	2.373	2.333
Contenido de humedad promedio (%)	2.0	3.7	5.8	7.8
Densidad seca (gr/cm ³)	2.181	2.239	2.243	2.164
Determinación del contenido de humedad				
Recipiente N°	19	4	25	14
Peso del recipiente + suelo húmedo (gr)	270.09	226.13	219.25	234.67
Peso del recipiente + suelo seco (gr)	265.69	219.35	209.18	220.87
Peso del agua (gr)	4.40	6.78	10.07	13.80
Peso del recipiente (gr)	40.98	35.33	35.99	43.86
Peso del suelo seco (gr)	224.71	184.02	173.19	177.01
Contenido de humedad (%)	1.96	3.68	5.81	7.80

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico N° 22. Curva de compactación: Método “B” - Cantera Pumpunya.



Óptimo C.H	5.0%
Máxima D.S	2.25 gr/cm ³

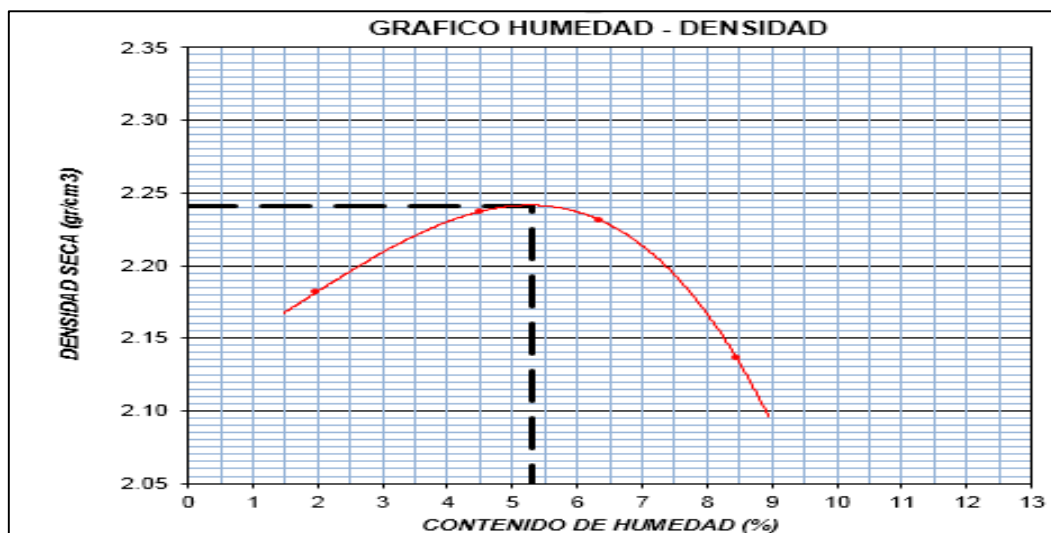
Fuente: Certificado de laboratorio de suelos DRTC- Junín.

Tabla N° 25: Resultados del ensayo Proctor modificado: Método “C” – Cantera Pumpunya.

Tipo de agregado	Material Granular	Peso de muestra (gr)		35 000
Características de método “C”				
Pisón ó martillo (lb)	10	Altura de caída (plg)	18	
N° capas	5	Pasante del tamiz	3/4"	
N° golpes	56	Molde	6"	
Determinación de la densidad				
Peso del suelo húmedo + molde (gr)	7509	7749	7825	7705
Peso del molde (gr)	2758	2758	2758	2758
Peso del suelo húmedo (gr)	4751	4991	5067	4947
Volumen del molde (cm ³)	2135	2135	2135	2135
Densidad húmeda (gr/cm ³)	2.225	2.338	2.373	2.317
Contenido de humedad promedio (%)	2.0	4.5	6.3	8.5
Densidad seca (gr/cm ³)	2.182	2.237	2.231	2.136
Determinación del contenido de humedad				
Recipiente N°	23	131	8	9
Peso del recipiente + suelo húmedo (gr)	243.40	289.68	262.93	290.70
Peso del recipiente + suelo seco (gr)	239.34	279.04	249.95	271.59
Peso del agua (gr)	4.06	10.64	12.98	19.11
Peso del recipiente (gr)	34.81	42.84	45.45	45.46
Peso del suelo seco (gr)	204.53	236.20	204.50	226.13
Contenido de humedad (%)	1.99	4.50	6.35	8.45

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico N° 23. Curva de compactación: Método “C” - Cantera Pumpunya



Óptimo C.H	5.3%
Máxima D.S	2.24 gr/cm ³

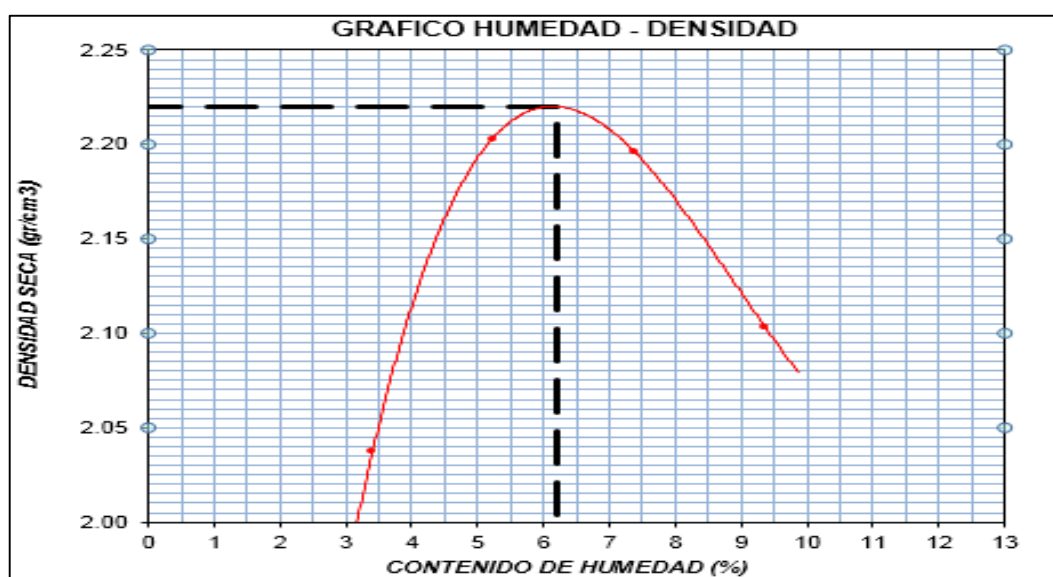
Fuente: Certificado de laboratorio de suelos DRTC- Junín.

Tabla N° 26: Resultados del ensayo Proctor modificado: Método “A” – Cantera Mitupampa.

Tipo de agregado	Material Granular	Peso de muestra (gr)	25 000	
Características de método “A”				
Pisón ó martillo (lb)	10	Altura de caída (plg)	18	
N° capas	5	Pasante del tamiz	N°4"	
N° golpes	25	Molde	4"	
Determinación de la densidad				
Peso del suelo húmedo + molde (gr)	4018	4217	4254	4200
Peso del molde (gr)	2033	2033	2033	2033
Peso del suelo húmedo (gr)	1985	2184	2221	2167
Volumen del molde (cm ³)	942	942	942	942
Densidad húmeda (gr/cm ³)	2.107	2.318	2.358	2.300
Contenido de humedad promedio (%)	3.4	5.2	7.4	9.4
Densidad seca (gr/cm ³)	2.038	2.203	2.196	2.103
Determinación del contenido de humedad				
Recipiente N°	6	7	9	13
Peso del recipiente + suelo húmedo (gr)	264.28	297.07	288.49	270.49
Peso del recipiente + suelo seco (gr)	257.05	284.51	271.78	250.99
Peso del agua (gr)	7.23	12.56	16.71	19.50
Peso del recipiente (gr)	44.72	43.91	45.60	42.82
Peso del suelo seco (gr)	212.33	240.60	226.18	208.17
Contenido de humedad (%)	3.41	5.22	7.39	9.37

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico N° 24. Curva de compactación: Método “A” - Cantera Mitupampa.



Óptimo C.H	6.2%
Máxima D.S	2.22 gr/cm ³

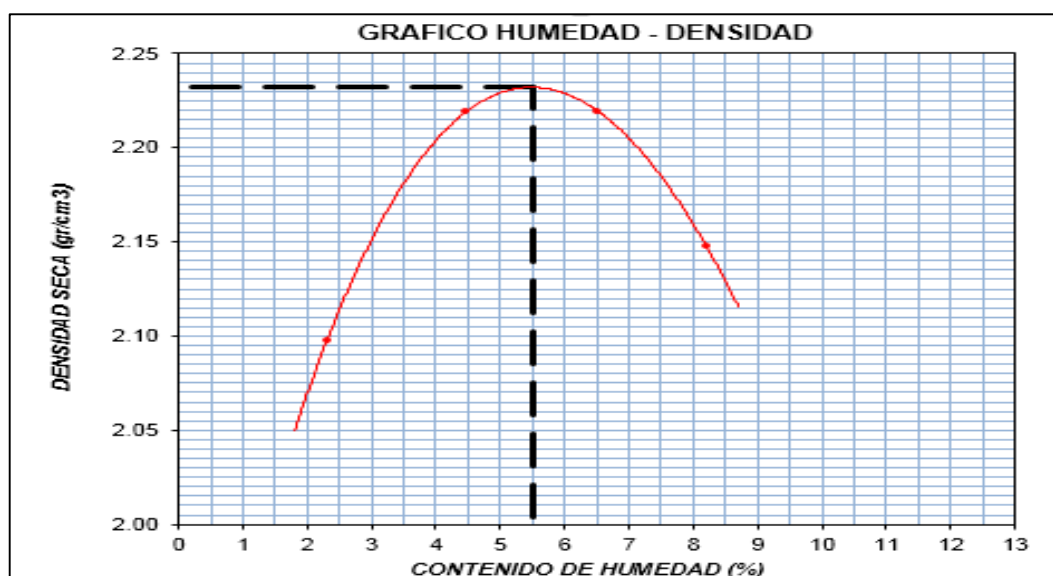
Fuente: Certificado de laboratorio de suelos DRTC-Junín.

Tabla N° 27: Resultados del ensayo Proctor modificado: Método “B” – Cantera Mitupampa.

Tipo de agregado	Material Granular	Peso de muestra (gr)	25 000	
Características de método “B”				
Pisón ó martillo (lb)	10	Altura de caída (plg)	18	
N° capas	5	Pasante del tamiz	3/8"	
N° golpes	25	Molde	4”	
Determinación de la densidad				
Peso del suelo húmedo + molde (gr)	4055	4217	4260	4222
Peso del molde (gr)	2033	2033	2033	2033
Peso del suelo húmedo (gr)	2022	2184	2227	2189
Volumen del molde (cm ³)	942	942	942	942
Densidad húmeda (gr/cm ³)	2.146	2.318	2.364	2.324
Contenido de humedad promedio (%)	2.3	4.5	6.5	8.2
Densidad seca (gr/cm ³)	2.098	2.219	2.219	2.148
Determinación del contenido de humedad				
Recipiente N°	17	3	16	2
Peso del recipiente + suelo húmedo (gr)	239.71	301.81	290.47	278.87
Peso del recipiente + suelo seco (gr)	235.23	290.43	275.39	260.44
Peso del agua (gr)	4.48	11.38	15.08	18.43
Peso del recipiente (gr)	40.95	35.56	43.90	35.64
Peso del suelo seco (gr)	194.28	254.87	231.49	224.80
Contenido de humedad (%)	2.31	4.47	6.51	8.20

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico N° 25. Curva de compactación: Método “B” - Cantera Mitupampa.



Óptimo C.H	5.5%
Máxima D.S	2.23 gr/cm ³

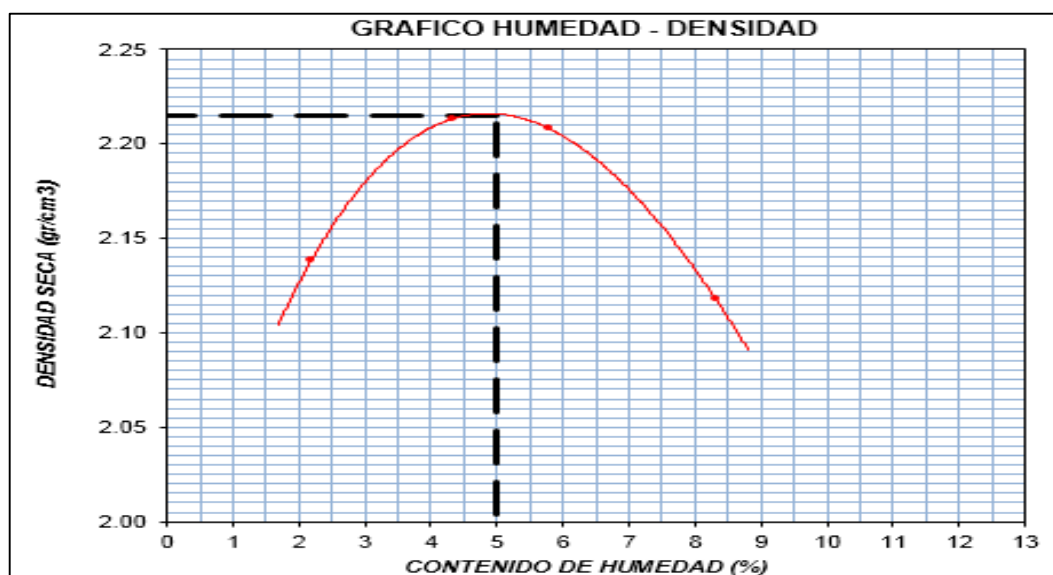
Fuente: Certificado de laboratorio de suelos DRTC-Junín.

Tabla N° 28: Resultados del ensayo Proctor modificado: Método “C” – Cantera Mitupampa.

Tipo de agregado	Material Granular	Peso de muestra (gr)	35 000	
Características de método “C”				
Pisón ó martillo (lb)	10	Altura de caída (plg)	18	
N° capas	5	Pasante del tamiz	3/4"	
N° golpes	56	Molde	6"	
Determinación de la densidad				
Peso del suelo húmedo Molde (gr)	7422	7688	7746	7655
Peso del molde (gr)	2758	2758	2758	2758
Peso del suelo húmedo (gr)	4664	4930	4988	4897
Volumen del molde (cm ³)	2135	2135	2135	2135
Densidad húmeda (gr/cm ³)	2.185	2.309	2.336	2.294
Contenido de humedad promedio (%)	2.2	4.3	5.8	8.3
Densidad seca (gr/cm ³)	2.138	2.213	2.208	2.118
Determinación del contenido de humedad				
Recipiente N°	5	20	15	21
Peso del recipiente + suelo húmedo (gr)	350.88	357.85	290.22	260.88
Peso del recipiente + suelo seco (gr)	344.33	344.86	276.75	244.25
Peso del agua (gr)	6.55	12.99	13.47	16.63
Peso del recipiente (gr)	44.66	44.33	44.32	44.09
Peso del suelo seco (gr)	299.67	300.53	232.43	200.16
Contenido de humedad (%)	2.19	4.32	5.80	8.31

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico N° 26. Curva de compactación: Método “C” - Cantera Mitupampa.



Óptimo C.H	5.0%
Máxima D.S	2.215 gr/cm ³

Fuente: Certificado de laboratorio de suelos DRTC-Junín.

Tabla N° 29: Resultados del ensayo Proctor modificado: Método “A” – Cantera Estrella.

Tipo de agregado	Material Granular	Peso de muestra (gr)	25 000	
Características de método “A”				
Pisón ó martillo (lb)	10	Altura de caída (plg)	18	
N° capas	5	Pasante del tamiz	N°4"	
N° golpes	25	Molde	4”	
Determinación de la densidad				
Peso del suelo húmedo Molde (gr)	4160	4239	4270	4235
Peso del molde (gr)	2033	2033	2033	2033
Peso del suelo húmedo (gr)	2127	2206	2237	2202
Volumen del molde (cm ³)	942	942	942	942
Densidad húmeda (gr/cm ³)	2.258	2.342	2.375	2.338
Contenido de humedad promedio (%)	3.5	5.2	7.0	8.4
Densidad seca (gr/cm ³)	2.183	2.226	2.219	2.156
Determinación del contenido de humedad				
Recipiente N°	30	18	23	22
Peso del recipiente + suelo húmedo (gr)	203.47	250.52	230.79	193.40
Peso del recipiente + suelo seco (gr)	197.82	240.16	217.93	181.20
Peso del agua (gr)	5.65	10.36	12.86	12.20
Peso del recipiente (gr)	34.50	42.24	34.83	36.70
Peso del suelo seco (gr)	163.32	197.92	183.10	144.50
Contenido de humedad (%)	3.46	5.23	7.02	8.44

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico N° 27. Curva de compactación: Método “A” - Cantera Estrella



Óptimo C.H	6.0%
Máxima D.S	2.23 gr/cm ³

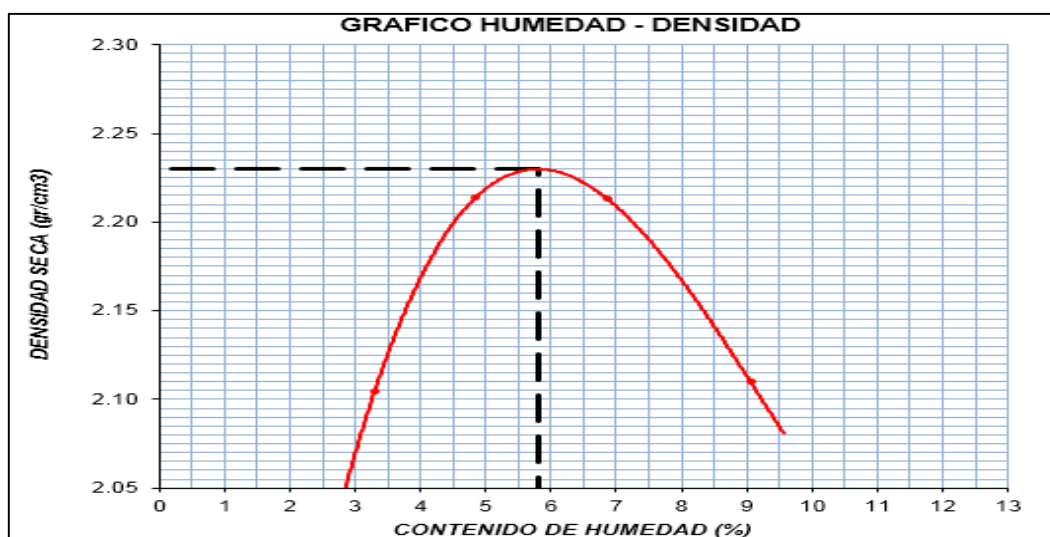
Fuente: Certificado de laboratorio de suelos DRTC-Junín.

Tabla N° 30: Resultados del ensayo Proctor modificado: Método “B” – Cantera Estrella

Tipo de agregado	Material Granular	Peso de muestra (gr)		25 000
Características de método “B”				
Pisón ó martillo (lb)	10	Altura de caída (plg)	18	
N° capas	5	Pasante del tamiz	3/8"	
N° golpes	25	Molde	4"	
Determinación de la densidad				
Peso del suelo húmedo + molde (gr)	4081	4219	4261	4201
Peso del molde (gr)	2033	2033	2033	2033
Peso del suelo húmedo (gr)	2048	2186	2228	2168
Volumen del molde (cm ³)	942	942	942	942
Densidad húmeda (gr/cm ³)	2.174	2.321	2.365	2.301
Contenido de humedad promedio (%)	3.3	4.8	6.9	9.1
Densidad seca (gr/cm ³)	2.105	2.214	2.213	2.110
Determinación del contenido de humedad				
Recipiente N°	14	3	6	7
Peso del recipiente + suelo húmedo (gr)	266.11	223.72	269.59	291.50
Peso del recipiente + suelo seco (gr)	259.02	215.03	255.15	270.92
Peso del agua (gr)	7.09	8.69	14.44	20.58
Peso del recipiente (gr)	43.87	35.56	44.73	43.69
Peso del suelo seco (gr)	215.15	179.47	210.42	227.23
Contenido de humedad (%)	3.30	4.84	6.86	9.06

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico N° 28. Curva de compactación: Método “B” - Cantera Estrella



Óptimo C.H	5.8%
Máxima D.S	2.23 gr/cm ³

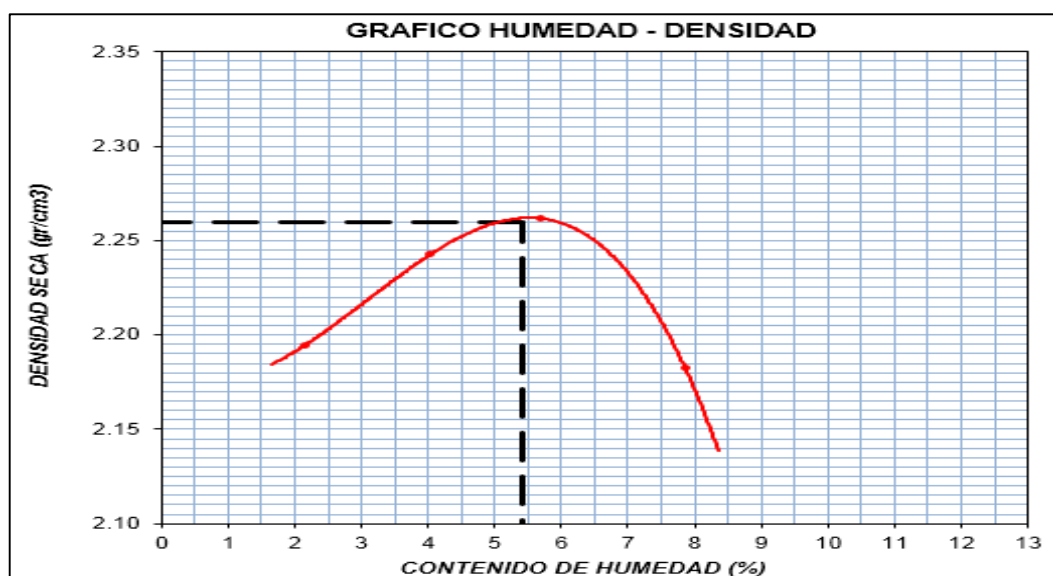
Fuente: Certificado de laboratorio de suelos DRTC-Junín.

Tabla N° 31: Resultados del ensayo Proctor modificado: Método “C” – Cantera Estrella

Tipo de agregado	Material Granular	Peso de muestra (gr)		35 000
Características de método “C”				
Pisón ó martillo (lb)	10	Altura de caída (plg)	18	
N° capas	5	Pasante del tamiz	3/4"	
N° golpes	56	Molde	6"	
Determinación de la densidad				
Peso del suelo húmedo Molde (gr)	7544	7739	7860	7783
Peso del molde (gr)	2758	2758	2758	2758
Peso del suelo húmedo (gr)	4786	4981	5102	5025
Volumen del molde (cm ³)	2135	2135	2135	2135
Densidad húmeda (gr/cm ³)	2.242	2.333	2.390	2.354
Contenido de humedad promedio (%)	2.2	4.0	5.7	7.9
Densidad seca (gr/cm ³)	2.195	2.243	2.262	2.183
Determinación del contenido de humedad				
Recipiente N°	18	2	5	17
Peso del recipiente + suelo húmedo (gr)	279.33	240.33	299.01	378.56
Peso del recipiente + suelo seco (gr)	274.33	232.40	285.36	353.97
Peso del agua (gr)	5.0	7.93	13.65	24.59
Peso del recipiente (gr)	42.28	35.66	44.66	40.90
Peso del suelo seco (gr)	232.05	196.74	240.70	313.07
Contenido de humedad (%)	2.16	4.03	5.67	7.85

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico N° 29. Curva de compactación: Método “C” - Cantera Estrella



Óptimo C.H	5.4%
Máxima D.S	2.26 gr/cm ³

Fuente: Certificado de laboratorio de suelos DRTC-Junín.

CAPÍTULO VI

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El objetivo fundamental de la tesis fue identificar, analizar, explicar y Determinar el resultado de la evaluación de la aplicación de los métodos A, B y C del ensayo Proctor modificado en los agregados de las canteras Estrella, Pumpunya, Mitupampa, ello para comparar y complementar la norma internacional ASTM D-1557. Al concluir la fase de resultados, se analizó los datos obtenidos de los ensayos de la presente investigación.

6.1 Análisis de resultados

• Análisis granulométrico de las canteras Estrella, Pumpunya y Mitupampa

Se observó que la cantera Estrella (ver gráfico N° 16), no cumple con el requerimiento granulométrico para base granular para un pavimento flexible. Pero nuevamente se analizó la cantera como material de afirmado con gradación “A” (ver Gráfico N° 17), se aprecia que si cumple y está dentro del huso granulométrico requerido por la norma.

La cantera Pumpunya (ver gráfico N° 14), se observó que si cumple con el requerimiento granulométrico con gradación “A” para base granular.

La cantera Mitupampa (ver gráfico N° 15), se puede apreciar que no cumple con el requerimiento granulométrico para base granular, y se volvió a analizar su

granulometría para afirmado y no cumple con el requerimiento granulométrico con gradación “A” que establece la norma vigente.

Tabla N° 32: Requerimiento granulométrico para base granular:

tamiz	Porcentaje que pasa en peso			
	Gradación A	Gradación B	Gradación C	Gradación D
50 mm. (2")	100	100		
25 mm. (1")		75-95	100	100
9.5 mm (3/8")	30-65	40-75	50-85	60-100
4.75 mm (N°4)	25-55	30-60	35-65	50-85
2.0 mm. (N°10)	15-40	20-45	25-50	40-70
425 um (N°40)	8-20	15-30	15-30	25-45
75 um (N° 200)	2-8	5-15	5-15	8-15

Fuente: Manual de carreteras, MTC 2013.

Es necesario mencionar que la presente investigación se relaciona al ensayo del Proctor modificado y sus métodos, con lo cual los hallazgos y resultados de la granulometría no tendrían implicancia e inalteran el tema principal. Pero sí se debe considerar su previa evaluación para el desarrollo del ensayo de Proctor modificado, cuya aplicación es para el desarrollo de la investigación, en proyectos viales, y dirigidos al control de calidad.

• Clasificación de suelos de las canteras Estrella, Pumpunya y Mitupampa

En primer lugar, con respecto a la humedad natural o inicial de las muestras donde la cantera Estrella presenta 4.02%, Cantera Pumpunya 3.20% y Cantera Mitupampa 4.10% son humedades relativamente bajas.

Seguidamente, con respecto a la clasificación de suelos SUCS nos indica que las canteras Estrella y Mitupampa son gravas limosas con mezclas de grava, arena y arcilla (GM) y la cantera Pumpunya es una grava mal graduada con mezcla

de grava y arena con poco o nada de finos (GP), cabe mencionar que las muestras pertenecen al mismo grupo de suelos denominado gravas.

En la clasificación de suelos AASHTO, la cantera Estrella indica que tiene fragmentos de piedra, grava y arena con un índice de grupo que lo califica de muy bueno (ver tabla N° 34); A-1-b (0) y a las canteras Pumpunya y Mitupampa se las indica como gravas y arenas limosas o arcillosas con un índice de grupo que lo califica de muy bueno (ver tabla N° 34) con la siguiente simbología respectivamente A-2-6 (0) y A-2-4 (0).

Tabla N° 33: Resultados de la clasificación de suelos según los métodos de AASHTO y SUCS de las canteras Pumpunya, Estrella y Mitupampa.

CANTERA	HUMEDAD NATURAL (%)	CLASIFICACIÓN SUCS	CLASIFICACIÓN AASHTO
ESTRELLA	4.02	GM	A-1-b (0)
PUMPUNYA	3.20	GP	A-2-6 (0)
MITUPAMPA	4.10	GM	A-2-4 (0)

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 34: Clasificación de suelos según el índice de grupo.

Índice de Grupo	Suelo de Subrasante
IG > 9	Muy Pobre
IG está entre 4 a 9	Pobre
IG está entre 2 a 4	Regular
IG está entre 1 – 2	Bueno
IG está entre 0 – 1	Muy Bueno

Fuente: MTC, 2013

• Límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de los agregados de las canteras Estrella, Pumpunya y Mitupampa.

Al realizar el ensayo de los límites Atterberg, como indica el Manual de Ensayos del MTC, en la sección MTC E 110 -2016, se observó que; en la cantera Estrella presenta un L.L. de 17.5%, L.P. 15.73% y un I.P. 1.78%, el cual indica que tiene una plasticidad baja con la característica de ser un suelo poco arcilloso.

En la cantera Pumpunya se da los siguientes resultados L.L. de 14.80%, L.P. (No Presenta) y un I.P. 0%, el cual es indicador que no presenta plasticidad, con la característica de ser un suelo exento de arcilla.

Y por último en la cantera Mitupampa se observa que tiene un L.L. de 18.30%, L.P. 14.93% y un I.P. 3.38%, el cual indica que tiene una plasticidad baja con la característica de ser un suelo poco arcilloso.

Tabla N° 35: Resultados del análisis granulométrico de las canteras seleccionadas en chupuro:

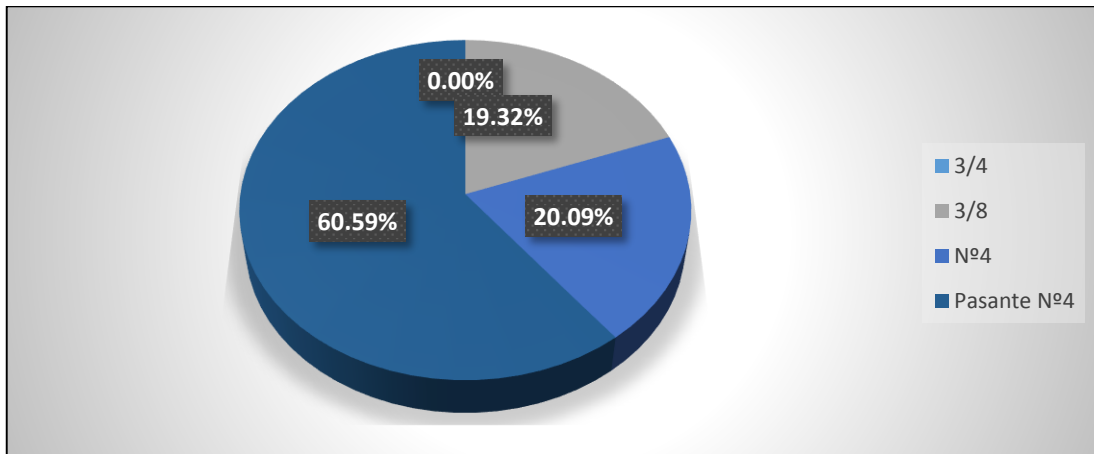
CANTERA	LÍMITE LÍQUIDO (%)	LÍMITE PLÁSTICO (%)	ÍNDICE PLASTICIDAD (%)
ESTRELLA	17.5	15.73	1.78
PUMPUNYA	14.80	NP	-
MITUPAMPA	18.30	14.93	3.38

Fuente: Elaboración propia.

• Determinación del método del ensayo de Proctor modificado

Se realizó el proceso de tamizado para determinar el método a emplear, por medio de la gradación de los agregados, como se indica en la sección MTC E 115-2016, del Manual de Ensayo de materiales del MTC, en las canteras Estrella, Pumpunya y Mitupampa, obteniendo los siguientes cuadros:

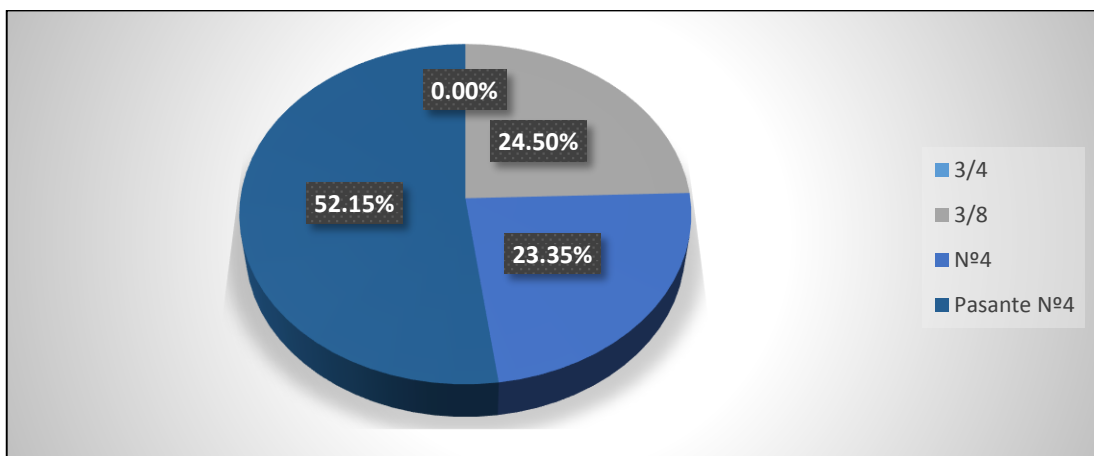
Gráfico N° 30. Porcentaje de material retenido: Método “B”- Cantera Estrella.



Fuente: Certificado de laboratorio de suelos DRTC- Junín.

Del **gráfico N° 30**, según los parámetros establecidos para el método “B”, cuando más del 20% del peso del material es retenido en el tamiz N° 4 y 20% o menos del peso del material es retenido en el tamiz 3/8”, es resultado de un (1) proceso de tamizado, siendo la primera muestra inalterada o patrón.

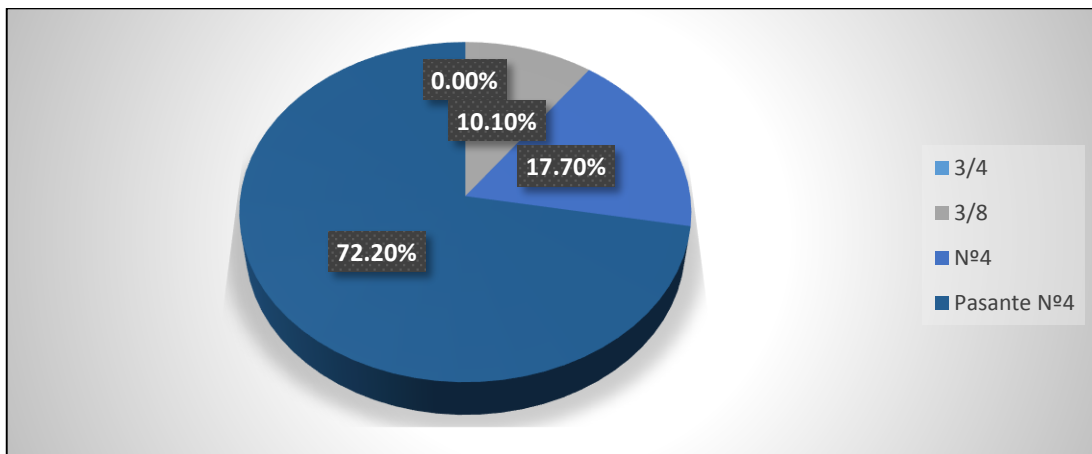
Gráfico N° 31. Porcentaje de material retenido: Método “C” - Cantera Estrella.



Fuente: Certificado de laboratorio de suelos DRTC- Junín.

Del **gráfico N° 31**, según los parámetros establecidos para el método “C”, cuando más del 20% del peso del material es retenido en el tamiz 3/8” y menos de 30% del peso del material es retenido en el tamiz 3/4”, resultado de un (1) proceso de adición del 5% de agregado, convirtiéndose en una muestra alterada.

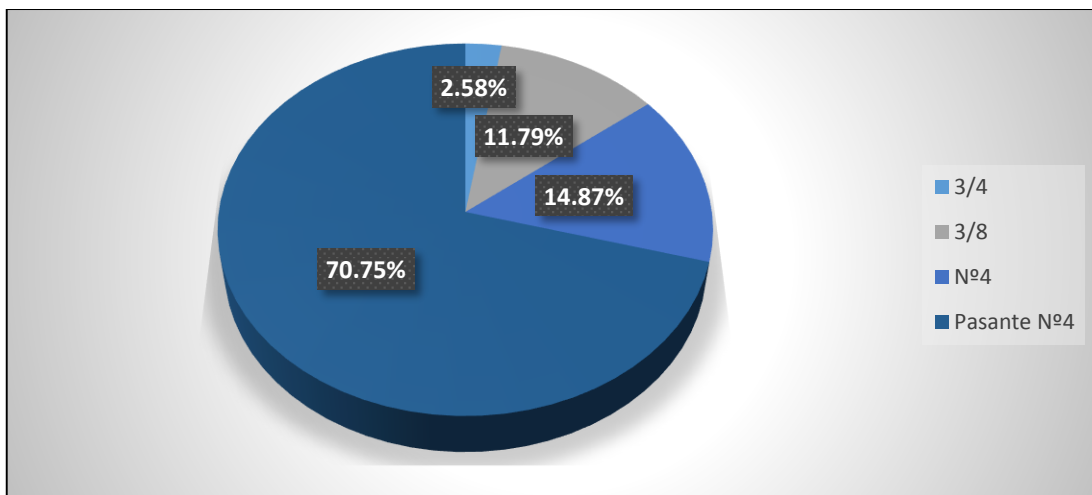
Gráfico N° 32. Porcentaje de material retenido: Método “A”- Cantera Estrella.



Fuente: Certificado de laboratorio de suelos DRTC- Junín.

Del **gráfico N° 32**, según los parámetros establecidos para el método “A”, cuando el 20% ó menos del peso del material es retenido en el tamiz N° 4. Es resultado de dos procesos de tamizado.

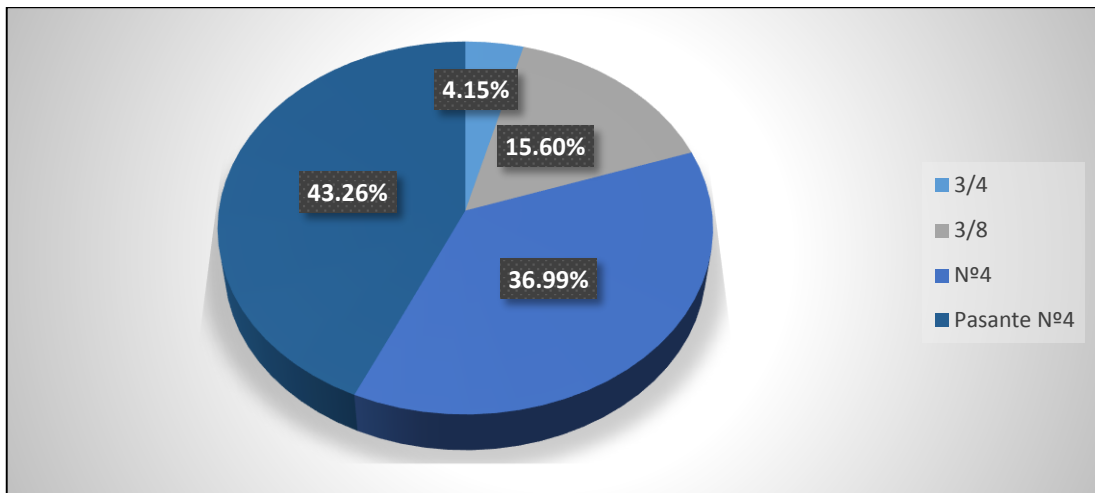
Gráfico N° 33. Porcentaje de material retenido: Método “A” - Cantera Pumpunya.



Fuente: Certificado de laboratorio de suelos DRTC- Junín.

Del **gráfico N° 33**, según los parámetros establecidos para el método “A”, cuando el 20% ó menos del peso del material es retenido en el tamiz N° 4. Es resultado de un proceso de tamizado siendo la muestra patrón o inalterada.

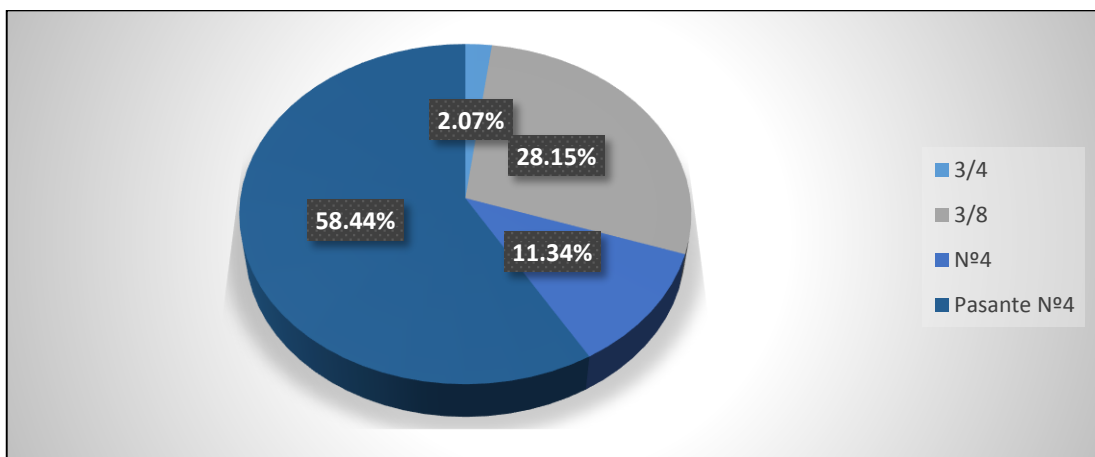
Gráfico N° 34. Porcentaje de material retenido: Método “B”- Cantera Pumpunya



Fuente: Certificado de laboratorio de suelos DRTC- Junín.

Del **gráfico N° 34**, según los parámetros establecidos para el método “B”, cuando más del 20% del peso del material es retenido en el tamiz N° 4 y 20% o menos del peso del material es retenido en el tamiz 3/8”, es resultado de un (1) proceso de adición del 3% de agregado, transformando a la muestra en alterada.

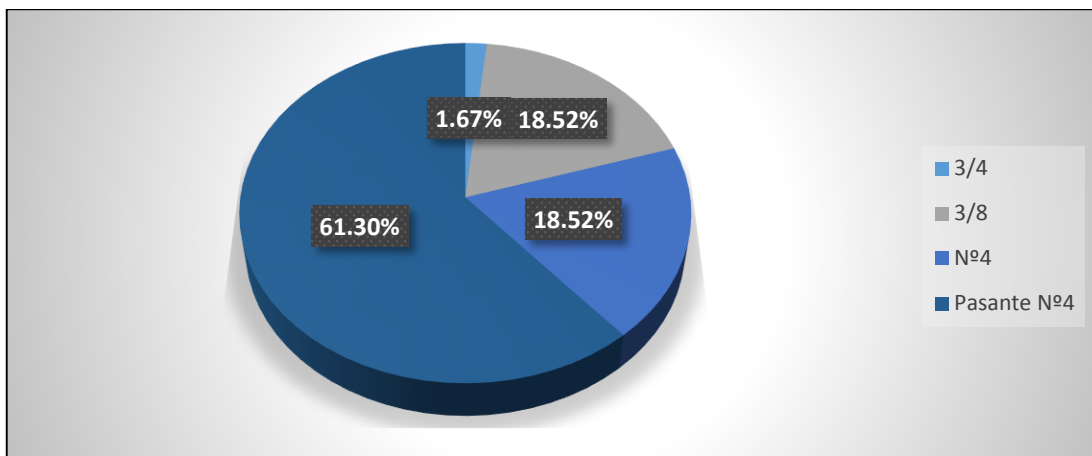
Gráfico N° 35. Porcentaje de material retenido: Método “C” - Cantera Pumpunya.



Fuente: Certificado de laboratorio de suelos DRTC- Junín.

Del **gráfico N° 35**, según los parámetros establecidos para el método “C”, cuando más del 20% del peso del material es retenido en el tamiz 3/8” y menos de 30% del peso del material es retenido en el tamiz 3/4”, es resultado de dos procesos de tamizado.

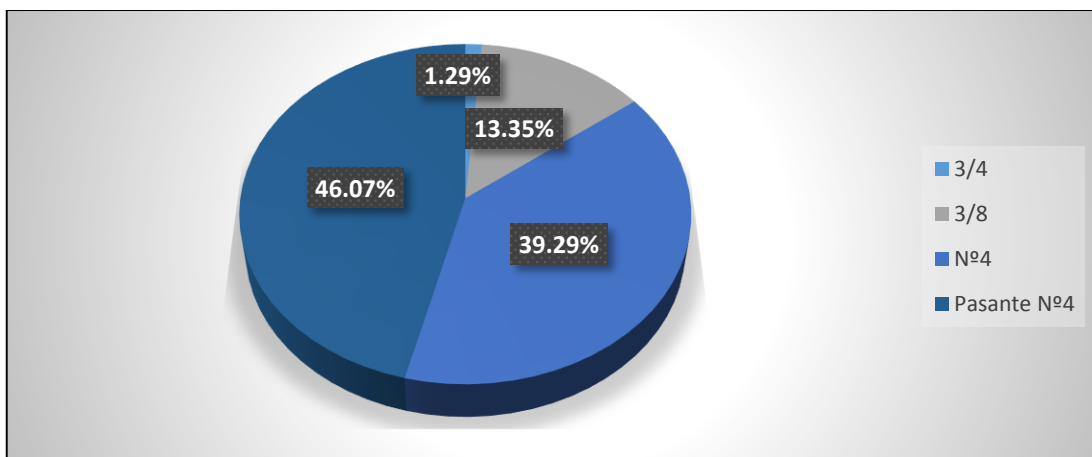
Gráfico N° 36. Porcentaje de material retenido: Método “A”- Cantera Mitupampa.



Fuente: Certificado de laboratorio de suelos DRTC- Junín.

Del **gráfico N° 36**, según los parámetros establecidos para el método “A”, cuando el 20% ó menos del peso del material es retenido en el tamiz N° 4. Es resultado de un proceso de tamizado siendo la muestra patrón o inalterada.

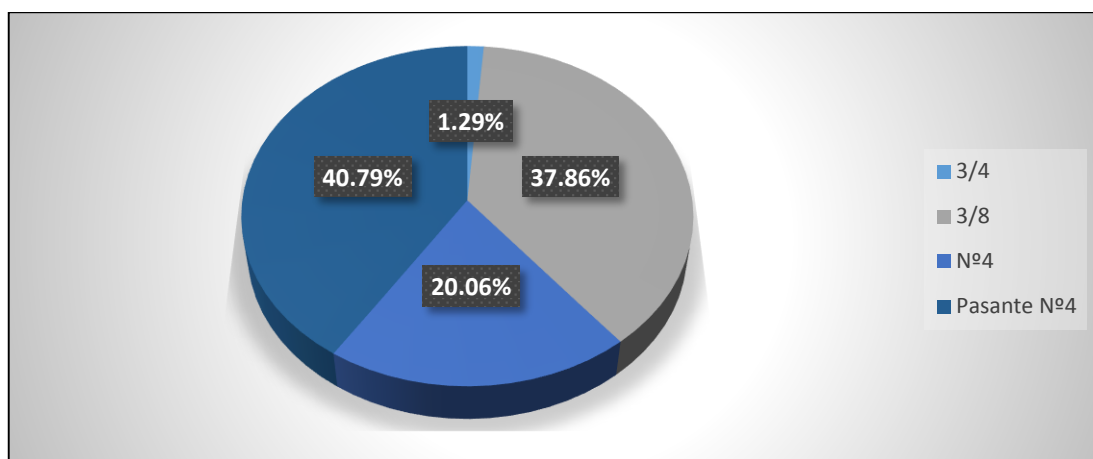
Gráfico N° 37. Porcentaje de material: Método “B”- Cantera Mitupampa



Fuente: Certificado de laboratorio de suelos DRTC- Junín.

Del **gráfico N° 37**, según los parámetros establecidos para el método “B”, cuando más del 20% del peso del material es retenido en el tamiz N° 4 y 20% o menos del peso del material es retenido en el tamiz 3/8”, es resultado de dos (2) procesos de tamizado.

Gráfico N° 38. Porcentaje de material retenido: Método “C”- Cantera Mitupampa



Fuente: Certificado de laboratorio de suelos DRTC- Junín.

Del **gráfico N° 38**, según los parámetros establecidos para el método “C”, cuando más del 20% del peso del material es retenido en el tamiz 3/8” y menos de 30% del peso del material es retenido en el tamiz 3/4”, es resultado de dos (2) procesos de tamizado.

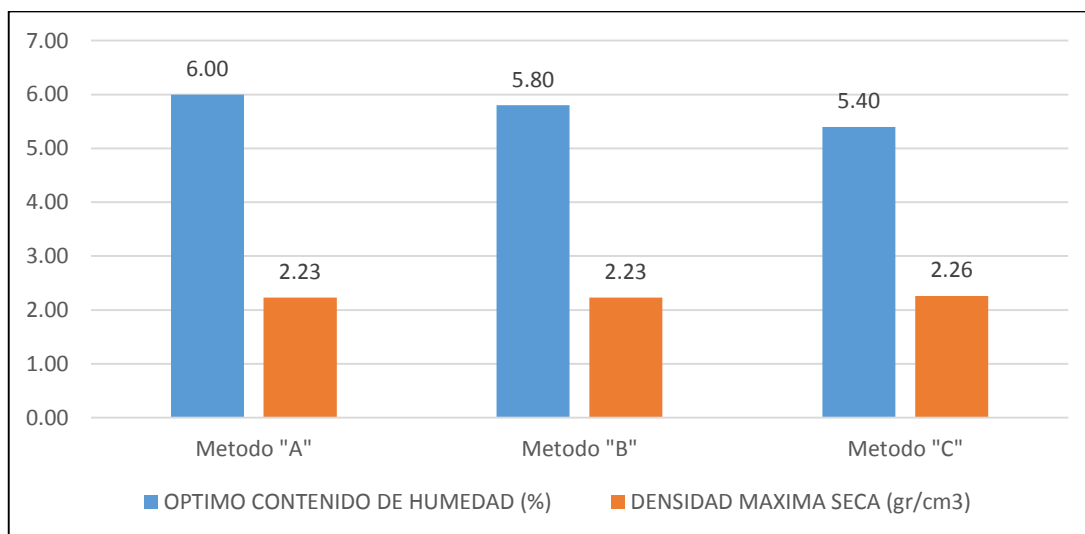
• Discusión de los resultados de la determinación Densidad Máxima Seca vs. Óptimo Contenido de Humedad

Una vez determinado los parámetros de los métodos A, B y C del ensayo Proctor Modificado para la determinación del óptimo contenido de humedad y la densidad máxima seca, indicado en la norma MTC E 115-2016, tener en consideración que el primer proceso de tamizado se obtuvo de la muestra patrón, el cual se determinó el método inicialmente, para realizar la comparación de los demás resultados.

En el **gráfico N° 39**, se presenta los resultados del Óptimo Contenido de Humedad (OCH) y Densidad Máxima Seca (DMS) de la cantera Estrella, se determinó lo siguiente, en el método “A” se tiene 6% de OCH y 2,23 gr/cm³ de DMS, con el método “B” se determinó 5,80% de OCH y 2,23 gr/cm³ de DMS y con

el método "C" se obtuvo 5,40% de OCH y 2,26 gr/cm³ de DMS. El método "B" es de la muestra patrón, con el cual se analizó y se procedió a comparar los métodos, se observó que en el método "A" el OCH aumenta un 3.45% teniendo un DMS igual, y con respecto al método "C" el OCH disminuye un 6.89% y en cuanto al DMS se tiene un aumento del 1.35%.

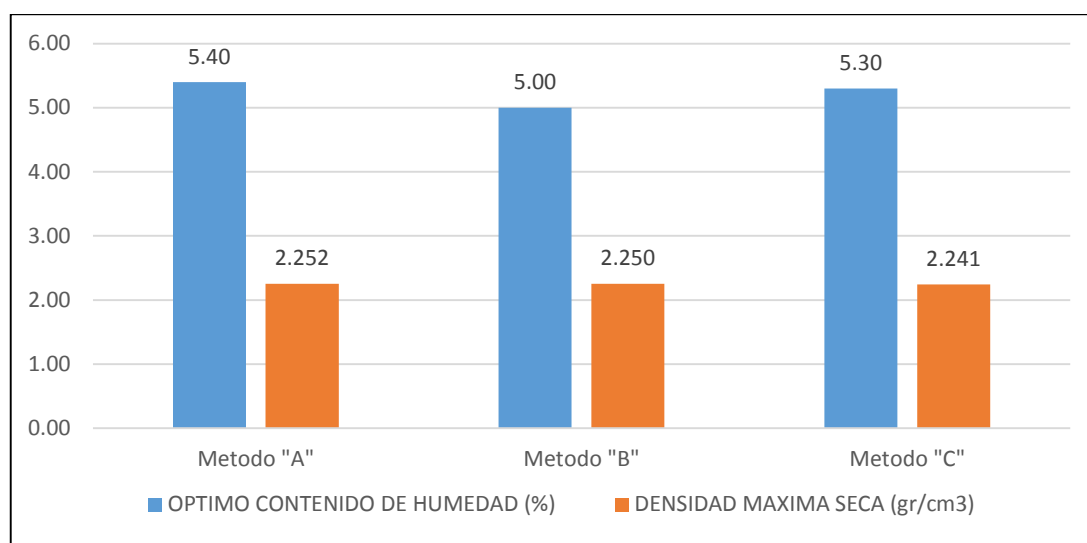
Gráfico N° 39. Cantera Estrella, resultados del Ensayo del Proctor modificado.



Fuente: Certificado de laboratorio de suelos DRTC- Junín.

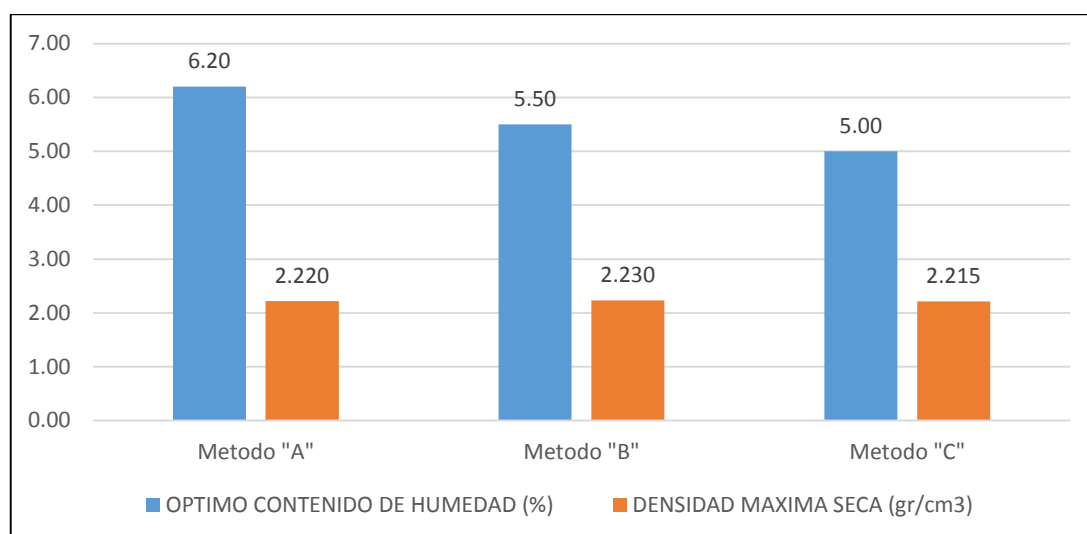
En el **gráfico N° 40**, se presenta los resultados del Óptimo Contenido de Humedad (OCH) y Densidad Máxima Seca (DMS) de la cantera Pumpunya, se determinó lo siguiente; en el método "A" se tiene 5,40% de OCH y 2,252 gr/cm³ de DMS, con el método "B" se determinó 5,00% de OCH y 2,25 gr/cm³ de DMS y con el método "C" se obtuvo 5,30% de OCH y 2,241 gr/cm³ de DMS. El método "A" es de la muestra patrón con el cual se analizó y se procedió a comparar los métodos, se observó que en el método "B" el OCH disminuye un 8% teniendo un DMS igual, y con respecto al método "C" el OCH disminuye un 1.9% y en cuanto al DMS se tiene un decremento del 0.5%.

Gráfico N° 40. Cantera Pumpunya, resultados del ensayo del Proctor modificado.



Fuente: Certificado de laboratorio de suelos DRTC- Junín.

En el **gráfico N° 41**, se presenta los resultados del Óptimo Contenido de Humedad (OCH) y Densidad Máxima Seca (DMS) de la cantera Pumpunya se determinó lo siguiente en el método "A" se tiene 6,20% de OCH y 2,22 gr/cm³ de DMS, con el método "B" se determinó 5,50% de OCH y 2,23 gr/cm³ de DMS y con el método "C" se obtuvo 5,00% de OCH y 2,215 gr/cm³ de DMS. El método "A" es de la muestra patrón con el cual se analizó y se procedió a comparar los métodos, se observó que en el método "B" el OCH disminuye un 22% teniendo un aumento del 0,2% de DMS y con respecto al método "C" el OCH disminuye un 24% y en cuanto al DMS se tiene un aumento del 0,20%.

Gráfico N° 41. Cantera Mitupampa, resultados del ensayo del Proctor modificado.

Fuente: Certificado de laboratorio de suelos DRTC- Junín.

De los ensayos anteriormente citados, se tiene el cuadro resumen siguiente;

Tabla N° 36: Comparación de resultados de las canteras seleccionadas.

CANTERA	HUMEDAD NATURAL (%)	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO MTC E 107		LÍMITES DE ATTERBERG MTC E 110-111			PROCTOR MODIFICADO MTC E 115-116					
							MÉTODO "A"		MÉTODO "B"		MÉTODO "C"	
							OCH	DMS	OCH	DMS	OCH	DMS
ESTRELLA	4.02	GM	A-1-b (0)	17.5	15.73	1.78	6.00	2.23	5.80	2.23	5.40	2.26
PUMPUNYA	3.20	GP	A-2-6 (0)	14.8	-	NP	5.40	2.252	5.00	2.250	5.3	2.241
MITUPAMPA	4.10	GM	A-2-4 (0)	18.3	14.93	3.38	6.20	2.220	5.5	2.230	5.00	2.215

Fuente: Certificado de laboratorio de suelos DRTC- Junín.

CONCLUSIONES

1. Se determinó en la evaluación de la aplicación de los métodos A, B y C del ensayo Proctor modificado en los agregados de las canteras Estrella, Pumpunya y Mitupampa, que la máxima diferencia respecto del óptimo contenido de humedad y densidad máxima seca, con el método A se tiene un OCH de 0.20% y una DMS de 0.022gr/cm³, con el método B se tuvo un OCH de 0.30% y una DMS de 0.023gr/cm³ y con el método C se tiene un OCH de 0.10% y una DMS de 0.15gr/cm³, concluyéndose que no presenta variaciones significativas.
2. Se identificó en la evaluación de la aplicación del método “A” del ensayo Proctor modificado con respecto al óptimo contenido de humedad (OCH) y densidad máxima seca (DMS), obteniendo los resultados en la siguiente tabla:

PROCTOR MODIFICADO		CANTERAS		
		ESTRELLA	PUMPUNYA	MITUPAMPA
METODO A	OCH	6.00%	5.40%	6.20%
	DMS	2.23 gr/cm ³	2.252 gr/cm ³	2.22 gr/cm ³

Que los valores obtenidos de OCH reflejan el contenido de plasticidad de finos del agregado, donde el ensayo granulométrico determina valores de: 18.5%, 4.8% y 33.6% respectivamente, concluyéndose que los finos de las canteras son poco plásticos, por consiguiente el agregado absorbe poca humedad (6.20%), esto conlleva a que el agregado lige rápidamente alcanzando un DMS de regular a alto valor.

3. Se analizó en la evaluación de la aplicación del método “B” del ensayo Proctor modificado con respecto al óptimo contenido de humedad (OCH) y densidad máxima seca (DMS), obteniendo los resultados en la siguiente tabla:

PROCTOR MODIFICADO		CANTERAS		
		ESTRELLA	PUMPUNYA	MITUPAMPA
METODO B	OCH	5.80%	5.00%	5.50%
	DMS	2.23 gr/cm ³	2.25 gr/cm ³	2.23 gr/cm ³

Que los valores obtenidos de OCH reflejan el contenido de plasticidad y finos del agregado, donde el ensayo granulométrico determina valores de finos a: 18.5%, 4.8% y 33.6% respectivamente, concluyéndose que los finos de las canteras son poco plásticos, por consiguiente el agregado absorbe poca humedad (5.80%), esto conlleva a que el agregado lige rápidamente alcanzando un DMS de regular a alto valor.

- Se explicó el resultado de evaluación de la aplicación del método “C” del ensayo Proctor modificado con respecto al óptimo contenido de humedad (OCH) y densidad máxima seca (DMS), obteniendo los resultados en la siguiente tabla:

PROCTOR MODIFICADO		CANTERAS		
		ESTRELLA	PUMPUNYA	MITUPAMPA
METODO C	OCH	5.40%	5.30%	5.00%
	DMS	2.26 gr/cm ³	2.241 gr/cm ³	2.215 gr/cm ³

Que los valores obtenidos de OCH reflejan el contenido de plasticidad y finos del agregado, donde el ensayo granulométrico determina valores de finos a: 18.5%, 4.8% y 33.6% respectivamente, concluyéndose que los finos de las canteras son poco plásticos, por consiguiente el agregado absorbe poca humedad (5.40%), esto conlleva a que el agregado lige rápidamente alcanzando un DMS de regular a alto valor.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda el empleo del método "C" en la cantera Estrella por que presenta una mayor densidad máxima seca; a su vez se recomienda su empleo del agregado para afirmado, en la cantera Pumpunya se sugiere el empleo del método "B" ya que se obtuvo mayor densidad máxima seca; a su vez se recomienda su empleo del agregado para base granular, y en la cantera Mitupampa se sugiere el empleo del método "B" por qué se tiene un mayor densidad máxima seca, a su vez se recomienda la combinación del material para mejorar las deficiencias de su gradación.
2. Para el resultado de la evaluación de la aplicación del método "A" del ensayo Proctor modificado, se sugiere la ampliación de la investigación incluyendo el ensayo CBR, para determinar la resistencia al esfuerzo cortante, y su calidad para las capas de pavimentos a diseñar.
3. Para el resultado de la evaluación de la aplicación del método "B" del ensayo Proctor modificado, se sugiere la ampliación de la investigación incluyendo el ensayo CBR, para determinar la resistencia al esfuerzo cortante, y su calidad para las capas de pavimentos a diseñar.
4. Para el resultado de la evaluación de la aplicación del método "C" del ensayo Proctor modificado, se sugiere la ampliación de la investigación incluyendo el ensayo CBR, para determinar la resistencia al esfuerzo cortante, y su calidad para las capas de pavimentos a diseñar.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. **Salazar, M. (2016)**, en su investigación titulada “Correlación entre el ensayo de CBR y el ensayo del Proctor para determinar la resistencia del suelo de la parroquia Ambatillo alto en el sector de San Pedro”, tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil.
2. **Camacho, J. & Reyes, O. & Mendez, D. (2007)**, en su artículo titulado “Ensayo de compactación giratoria en suelos como alternativa al ensayo de compactación Proctor”, artículo al cuidado revista Redalyc.org.
3. **Reynoso, W. & Zelaya, N. (2014)**, en su investigación titulada “Estudio de los Agregados de la cantera de (Cangari) para la elaboración de la Mezcla Asfáltica para pavimento Flexible en la provincia de Huanta - Ayacucho”, tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil.
4. **Aranguri, G. (2015)**, en su artículo titulado “La importancia del uso de Agregados provenientes de canteras de calidad”, artículo al cuidado revista In.Crescendo Ingeniería de la Universidad Católica los Ángeles de Chimbote.
5. **Braja, M. Das. (2001)**, Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, México, 1era edición.
6. **MTC (2013)**, Manual de Carreteras. Especificaciones técnicas generales para Construcción. Ministerio de Transportes y Comunicaciones.Lima.
7. **Juarez, E. & Rico, A. (2005)**, Fundamentos de la Mecánica de suelos, Tomo I, México.
8. **Escario, C. (1989)**, Terraplenes y Pedraplenes. Madrid: Ministerio de Obras Públicas y Transporte.
9. **Jorajuria, D. (2004)**, Resistencia mecánica del suelo como parametro mecanico del suelo. Buenos Aires: Lumen.

10. **Sagués, P. (2008)**, Propiedades de los Suelos Compactados. Buenos Aires: LMS-FIUBA.
11. **Sagués, P. (2008)**, Tesis: Rigidez a baja deformación en el Pampeado Compactado. Buenos Aires: FIUBA.
12. **Pérez, J. (2014)**, Introducción a la Mecánica de Suelos. La Coruña: Universidad La Coruña.
13. **Escobar, C (2007)**, Mecánica de Suelos. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
14. **González, J. (2013)**, Incidencia de Resultados del ensayo Proctor Modificado por la Influencia del Clima. México: UNAM.
15. **Sánchez, V. (1996)**, Dinámica y Mecánica de Suelos. Madrid: Ediciones.
16. **Georges, A (2004)**, Compactación en carreteras y aeropuertos. Barcelona: Técnicos Asociados.
17. **Ruíz, C. (2005)**, Mecanismo de Compactación de Suelos. Mar de Plata: EUBEDA.
18. **Sowers, G. (2014)**, Introducción a la Mecánica de los Suelos y Cimentación. Madrid: Limusa-Wiley.
19. **López, W. (2011)**, slideshare. Recuperado el 18 de 12 de 2017, de <http://es.slideshare.net/wlopezalmarza/compactacion-de-suelos>.
20. **ASTM D-1557. (2000)**, Proctor Modificado. West Conshohocken: ASTM.
21. **Ravines, M. (2010)**. Pruebas con un producto Enzimático como Agente Estabilizador de Suelos para Carreteras - Piura. Piura: Universidad de Piura.
22. **Parano, J. (2012)**, Compactación de Suelos y Materiales Estabilizados. México: UNAM.
23. **MTC (2016)**. Manual ensayos de Materiales. Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Lima.

24. **Rico, A. & Del Castillo, H. (2005)**, La ingeniería de suelos en las vías terrestres pavimentos, ferrocarriles y aeropistas. Vol. 1. México: Limusa.
25. **Bañon, L. & Beviá, J. (2000)**. Manual de Carreteras, Vol. II, España.
26. **MTC (2014)**. Manual de Carreteras. Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos. Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Lima.
27. **FYJJ Laboratorio de Mecánica de Suelos. (2015)**. Estudio de Suelos para Pavimentaciones. Cusco.
28. **MTC (2014)**, Manual de Carreteras. Suelos, Geología, Geotécnica y Pavimentos, Sección Suelos y Pavimentos. Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Lima.
29. **Coronado, J. (2002)**, Manual Centroamericano para Diseños de Pavimentos. Guatemala: Secretaria de Investigación Económica de Centroamérica.
30. **Márquez, J. (2006)**, Mecánica de Suelos y Estudios Geotécnicos en Obras de Ingeniería.
31. **NTP 339.127 (2014)**, Métodos de Ensayo para Determinar el Contenido de Humedad de un Suelo.
32. **NTP 339.128 (2014)**, Método de Ensayo para el Análisis Granulométrico.
33. **NTP 339.131 (2014)**, Método de Ensayo para Determinar el Peso Específico Relativo de las Partículas Sólidas de un Suelo.
34. **NTP 400.012 (2001)**, AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global.
35. **Crespo, C. (2004)**, Mecánica de Suelos y Cimentaciones, México, 5ta edición.
36. **Berry, P. & Reid, D. (2000)**, Mecanica de Suelos, México, McGraw-Hill.
37. **Carrasco, S. (2005)**, Metodología de la investigación, Perú, 2da edición.
38. **H. Sampieri, R. (2014)**, Metodología de la investigación, México, 6ta edición.

ANEXOS