



UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS:

**ANÁLISIS COMPARATIVO DE MATERIALES DE LAS CANTERAS
MONTAN MAYO Y CHANCAY BAÑOS PARA USO EN LAS VÍAS
DEL PROYECTO LA ZANJA, SANTA CRUZ - CAJAMARCA 2016**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO DE CIVIL**

Presentada por el Bachiller:

BUSTAMANTE TAPIA, CARLOS YANKPIER

Cajamarca – Perú

2016

A:

A Dios quien me ha dado la vida, salud, fuerza y el empeño para salir a adelante en los momentos más difíciles de mi vida.

A Segundo y María Esther mis padres, que confiaron en mí, y aún lo siguen haciendo, hoy inicia su cosecha de algo que con amor y paciencia sembraron, seguiré siempre sus consejos, sin mirar atrás y recordaré sólo lo que me hace feliz.

A Julbia, mi hermana corazón, nunca olvidaré tu apoyo incondicional, siempre lo tendré presente, gracias por tener ese corazón de pan, ¡sabes, no sé cómo pagarte!. No te defraudaré, es una promesa, gracias por tu confianza.

A mi mellizo incomparable, hoy se cumple un sueño más para los dos, siempre juntos, en todo momento compartiendo todo como cuando niños soñábamos ser grandes y mejores personas, para ti, con mucho cariño, gracias por ser como eres.

A Sara, mi hermana querida, gracias por tu apoyo que a pesar de todo, estaré ahí para tí.

Carlos Yankpier

AGRADECIMIENTO

A mi alma mater la Universidad Alas Peruanas y a mis docentes que me formaron, gracias.

A todas las personas que me apoyaron a realizar este trabajo de investigación, sin su apoyo no lo hubiera logrado.

A mis amigos, y a toda mi familia que me apoyaron moral y espiritual para culminar este trabajo de investigación. Un abrazo grande y gracias.

El autor

RESUMEN

Para establecer una carretera sobre la superficie es necesario hacer diferentes estudios como de topografía del terreno, el estudio de viabilidad de una carretera difiere de análisis comparativos de los materiales a usar como base. Por lo que el presente trabajo de investigación presenta el siguiente objetivo: Seleccionar la mezcla de los materiales de las canteras que reúnen las mejores características para uso como Base en las vías del proyecto La Zanja, Santa Cruz Cajamarca 2016, según las normas peruanas MTC-2000 y sus equivalentes internacionales: MTC, ASTM y AASHTO. El análisis se obtuvo de las mezclas de dos canteras Montan Mayo y Chancay Baños, cerca en el distrito de Pulán, provincia de Santa Cruz, departamento de Cajamarca. Desde el 11 de enero al 11 de julio de 2016. Con la mezcla de los materiales se buscó mejorar las características de las canteras en estudio combinándolas en proporción 75%-25%, 50%-50% y 25%-75%. Obteniendo los siguientes resultados: La mezcla seleccionada de los materiales de las canteras que reúnen las mejores características para uso como Base en las vías del proyecto La Zanja, es en proporción de 50% de la cantera Montan Mayo y 50% de la cantera Chancay Baños, no cumple con la gradación granulométrica y el CBR y presenta resistencia a la abrasión de 59.3%, porcentaje no admitido para Bases por las Especificaciones Técnicas peruanas. La cantera Chancay Baños contiene un bajo porcentaje de finos y una resistencia a la abrasión de 31.75%. Donde la granulometría sí, se encuentra dentro de los husos que establecen las especificaciones peruanas para capas de Base, el CBR obtenido en laboratorio, es de 76%, no cumple con los requerimientos técnicos.

Palabras claves: Granulometría, gradación, cantera, base, hinchamiento, Proctor, índice plástico, índice líquido, índice de liquidez.

ABSTRAC

In order to establish a road on the surface it is necessary to make different studies such as topography of the terrain, the feasibility study of a road differs from comparative analysis of the materials to be used as a basis. Therefore the present research work has the following objective: To select the mixture of materials from the quarries that meet the best characteristics for use as a base in the routes of the project La Zanja, Santa Cruz Cajamarca 2016, according to the Peruvian rules MTC- 2000 and its international equivalents: MTC, ASTM and AASHTO. The analysis was obtained from the mixtures of two quarries Montan Mayo and Chancay Baños, near in the district of Pulán, province of Santa Cruz, department of Cajamarca. From January 11 to July 11, 2016. With the mixture of materials was sought to improve the characteristics of the quarries under study by combining them in proportion 75% -25%, 50% -50% and 25% -75%. Obtaining the following results: The selected mixture of materials from the quarries that have the best characteristics for use as a base in the tracks of the project La Zanja, is in proportion to 50% of the quarry Montan Mayo and 50% of the quarry Chancay Baños, Does not comply with granulometric grading and CBR and presents resistance to abrasion of 59.3%, percentage not admitted for Bases by the Peruvian Technical Specifications. The Chancay Baños Quarry contains a low percentage of fines and an abrasion resistance of 31.75%. Where the granulometry is within the spindles that establish the Peruvian specifications for Base layers, the CBR obtained in the laboratory, is 76%, does not meet the technical requirements.

Key words: Granulometry, gradation, quarry, base, swelling, Proctor, plastic index, liquid index, liquidity index.

INTRODUCCIÓN

Del empeño de tener una red vial en buen estado ha surgido la opción de las mezclas asfálticas modificadas como una opción para garantizar pavimentos de mejor desempeño y mayor vida útil, que reúne una serie de técnicas para control de mezclas asfálticas.

Es aquí que reside la base de la presente investigación de realizar el análisis comparativo de materiales de las canteras Montan Mayo y Chancay Baños para uso en las vías del proyecto La Zanja, Santa Cruz Cajamarca 2016.

La disponibilidad de materiales en tiempos de lluvia en la región Cajamarca, es limitada, no habiendo material alguno que cumpla con las especificaciones adecuadas. Un problema que se presenta a menudo es cómo seleccionar la mejor cantera de materiales para uso en las vías del proyecto La Zanja. En la presente Tesis, se realiza la mezcla de dos materiales para obtener un tercer material que tenga las características adecuadas para poder utilizarlo en la conformación de Base en las vías de acarreo del proyecto minero la Zanja.

Esta investigación se justifica que en los últimos años se evidencia un avance tecnológico en el mundo de la vialidad de una carretera la cual se orienta a potenciar y expandir impactos positivos para mejora de la transitabilidad de las redes viales y la recuperación del patrimonio vial del país. Los resultados de la presente investigación permitieron realizar el análisis comparativo de los materiales de las canteras de Montan Mayo y Chancay Baños, obteniendo los siguientes ensayos: Contenido de humedad natural (norma MTC E108 – 2000), peso específico (norma MTC E113 – 2000), plasticidad de los materiales (norma MTC E110 - E111-2000), análisis granulométrico (norma MTC E107-2000) y sus gráficas de granulometría, para uso en las vías del proyecto La

Zanja, Santa Cruz Cajamarca. Con la comparación de los materiales existentes, se busca obtener mezclas de materiales que cumplan con las características granulométricas, de compactación y resistencia que garanticen su adecuado comportamiento que se adecuen económicamente a la realidad de las necesidades y los trabajos a realizar en la minera.

El presente trabajo consta de cinco capítulos: Primer Capítulo; contiene descripción de la realidad problemática, delimitación de la investigación, delimitación especial, delimitación social, delimitación temporal, delimitación conceptual, problema principal, problemas secundarios, objetivo general, objetivos especiales, justificación, importancia, limitaciones. Segundo Capítulo; incluye antecedentes del problema, bases teóricas, definición de términos básicos. Tercer Capítulo; Presentación, análisis e interpretación de resultados. Cuarto Capítulo; análisis e interpretación de datos y proceso de contratación de la hipótesis. Quinto Capítulo: Conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas. Anexos Matriz de consistencia, instrumentos, panel fotográfico.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Pág.
CARÁTULA	i
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
RESUMEN	iv
ABSTRACT	v
INTRODUCCIÓN	x

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO

1.1	Descripción de la realidad problemática	1
1.2	Delimitaciones de la investigación	2
	1.2.1. Delimitación espacial	2
	1.2.2. Delimitación social	3
	1.2.3. Delimitación temporal	3
	1.2.4. Delimitación conceptual	3
1.3	Problemas de investigación	3
	1.3.1. Problema principal	3
	1.3.2. Problemas secundarios	4
1.4	Objetivos de la investigación	4
	1.4.1. Objetivo general	4
	1.4.2. Objetivos específicos	4
1.5	Hipótesis y variables de la investigación	5
	1.5.1. Hipótesis General	5
	1.5.2. Hipótesis secundarias	5
	1.5.3. Variables de la investigación	5
1.6.	Metodología de la investigación	7
	1.6.1. Tipo y nivel de investigación	7

a. Tipo de investigación	7
b. Nivel de investigación	7
1.6.2. Método y diseño de la investigación	7
a. Método de Investigación	7
b. Diseño de investigación	7
1.6.3. Población y muestra de la investigación	8
1.8.1. Población	8
1.8.2. Muestra	8
1.6.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	8
a. Técnicas	8
b. Instrumentos	9
1.6.5. Justificación e importancia de la investigación	9
a. Justificación	9
b. Importancia	10
c. Limitaciones	10

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación	11
2.2. Bases teóricas	13
2.3. Definición de términos básicos	57

CAPÍTULO III: PRESENTACIÓN, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

3.1. Análisis de tablas y gráficos	60
------------------------------------	----

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS Y PROCESO DE CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS

4.1. Análisis de datos de las canteras	132
----------------------------------------	-----

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Conclusiones	137
- Recomendaciones	138
- Referencias Bibliográficas	139
- Anexos	141

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Operacionalización de variables	06
Tabla 2. Muestra de estudio, análisis comparativo	08
Tabla 3. Coordenadas de las canteras	16
Tabla 4. Propiedades funcionales de las mezclas asfálticas	19
Tabla 5. Técnica consistente para mezcla de materiales	20
Tabla 6. Próctor Estándar ASTM D 698	24
Tabla 7. Muestreo de suelos - criterio de la dirección técnica	29
Tabla 8. Caracterización de ensayos de laboratorio 2016	29
Tabla 9. Tipos de Ensayos de Laboratorio	31
Tabla 10. Requerimientos granulométricos para base granular	36
Tabla 11. Valor Relativo de Soporte	37
Tabla 12. Clasificación de Partículas del Suelo	37
Tabla 13. Características de suelos índices de plasticidad	42
Tabla 14. Características de los Suelos según sus IP	43
Tabla 15. Especificaciones de las Pruebas Próctor	45
Tabla 16. Características de Compactación de tipos de Suelos	45
Tabla 17. Comparación de resultados Proctor Estándar y Modificado	46
Tabla 18. Clasificación Típica de C.B.R.	47
Tabla 19. Peso de la carga abrasiva	48
Tabla 20. Granulometría de muestra- Ensayo de Desgaste o Abrasión	48
Tabla 21. Evaluación en porcentajes de desgaste o Abrasión	49
Tabla 22. Gradación de la muestra de ensayo	49
Tabla 23. Letras utilizadas en la Clasificación ASTM (A)	50
Tabla 24. Letras utilizadas en la Clasificación ASTM (B)	54
Tabla 25. Muestra de estudio análisis comparativo de materiales	61
Tabla 26. Cronograma de trabajo de investigación	63
Tabla 27. Instrumentos de laboratorio a utilizar en ensayos	66

Tabla 28. Ensayo Contenido de Humedad	68
Tabla 29. Peso Específico partículas gruesas y finas MM	69
Tabla 30. Porcentaje de lo que queda MM	70
Tabla 31. Peso Específico partículas gruesas y finas CB	71
Tabla 32. Porcentaje de lo que queda CB	71
Tabla 33. Ensayo límite líquido MM	72
Tabla 34. Ensayo límite plástico MM	74
Tabla 35. Ensayo límite líquido CB	75
Tabla 36. Ensayo Límite Plástico CB	76
Tabla 37. Ensayo Compactación Proctor Modificado (MM) Método "C"	79
Tabla 38. Ensayo Compactación Proctor Modificado (MM) Método "A"	80
Tabla 39. Ensayo Compactación Proctor Modificado (CB) Método "C"	81
Tabla 40. Ensayo Compactación Proctor Modificado (CB). Método "A"	82
Tabla 41. Ensayo: Compactación CBR (MM)	83
Tabla 42. Ensayo: Hinchamiento (MM)	83
Tabla 43. Ensayo Carga de penetración MM	84
Tabla 44. Esfuerzos para 01" y 02" de penetración (Cantera MM)	88
Tabla 45. C.B.R. y Densidad Seca (Cantera MM)	88
Tabla 46. California Bearing Ratio cantera (CB)	89
Tabla 47. Ensayo: Hinchamiento (CB)	89
Tabla 48. Ensayo: Carga de Penetración (CB)	90
Tabla 49. Esfuerzos para 01" y 02" de penetración (Cantera CB)	94
Tabla 50. C.B.R. y Densidad Seca (Cantera CB)	94
Tabla 51. Ensayo Límite plástico (MM 75% - CB 25%)	96
Tabla 52. Ensayo Límite plástico (MM 50% - CB 50%)	98
Tabla 53. Ensayo Límite plástico (MM 25% - CB 25%)	99
Tabla 54. E.C. Próctor modificado MM (75%)-CB (25%) Método "C"	107
Tabla 55. E. Abrasión Máquina Ángeles MM (75%) - CB (25%) Método "A"	108
Tabla 56. E.C. Próctor modificado MM (50%) - CB (50%) Método "C"	109
Tabla 57. E. Abrasión. Máquina Ángeles MM (50%)-CB (50%) Método "A"	110
Tabla 58. E.C. Próctor modificado MM (25%) - CB (75%) Método "C"	111
Tabla 59. E. Abrasión Máquina Ángeles MM (25%)-CB (75%) Método "A"	112
Tabla 60. Ensayo California Bearing Ratio MM (75%) - CB (25%)	112

Tabla 61. Ensayo de Hinchamiento MM (75%) - CB (25%)	113
Tabla 62. Carga de Penetración MM CBR MM (75%) - CB (25%)	113
Tabla 63. Esfuerzos 01" y 02" de Penetración MM (75%) - CB (25%)	117
Tabla 64. CBR y densidad seca MM (75%) – CB (25%)	118
Tabla 65. Ensayo California Bearing Ratio MM (50%) - CB (50%)	119
Tabla 66. Ensayo de Hinchamiento MM (50%) - CB (50%)	119
Tabla 67. Carga de Penetración MM CBR MM (50%) - CB (50%)	119
Tabla 68. Esfuerzos para 01" y 02" de Penetración MM (50%) - CB (50%)	124
Tabla 69. CBR y Densidad Seca MM (50%) –CB (50%)	124
Tabla 70. Ensayo de Compactación CBR MM (25%) - CB (75%)	125
Tabla 71. Ensayo de Hinchamiento (25%) - CB (75%)	125
Tabla 72. Carga de Penetración MM CBR MM (25%) - CB (75%)	126
Tabla 73. E. Esfuerzos 01" y 02" de Penetración MM (25%) - CB (75%)	131
Tabla 74. CBR y densidad seca MM (25%) –CB (75%)	131
Tabla 75. Resumen de características de cantera Montan Mayo (MM)	132
Tabla 76. Resumen de características de cantera Chancay Baños (CB)	133
Tabla 77. Proporción Montan Mayo (75 %) - Chancay Baños (25 %)	134
Tabla 78. Proporción Montan Mayo (50 %) - Chancay Baños (50 %)	135
Tabla 79. Proporción Montan Mayo (25 %) - Chancay Baños (25 %)	135
Tabla 80. Matriz de Consistencia	142
Tabla 81. Registro muestra de ensayos cantera Montan Mayo (MM)	145
Tabla 82. Registro muestra de ensayos cantera Chancay Baños (CB)	145

INDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Plano de Ubicación del Proyecto La Zanja 201	13
Figura 2. Tajo Abierto Proyecto La Zanja 2016	14
Figura 3. Mapa de ubicación canteras Montay Mayo - Chancay Baños	15
Figura 4. Parte alta Chancay Baños - Santa Cruz	16
Figura 5. Falla por capacidad de carga - Cimiento Superficial	20
Figura 6. Esquema de proceso inicial de deterioro de una carretera	26
Figura 7. Esquema de calzada en mal estado	26
Figura 8. Esquema de calzada en pésimo estado	27
Figura 9. Curva de comportamiento de una calzada sin conservación adecuada	27
Figura 10. Símbolos gráficos para suelos	31
Figura 11. Contenidos de humedad ASTM	34
Figura 12. Curvas de distribución tamaño de grano, arena y grava	38
Figura 13. Empaquetado idealizado completo	39
Figura 14. Sistema de clasificación de suelos AASHTO	52
Figura 15. Limite Líquido de MM	73
Figura 16. Peso promedio, ensayo de Límite Líquido MM	73
Figura 17. Límite Líquido de CB	75
Figura 18. Peso promedio, ensayo de Límite Líquido CB	76
Figura 19. Ensayo granulométrico de cantera Montan Mayo	77
Figura 20. Ensayo granulométrico de cantera Chancay Baños	78
Figura 21. Ensayo Compactación Proctor Modificado cantera Montan Mayo (MM)	79
Figura 22. Ensayo Compactación Proctor Modificado cantera Chancay Baños (CB)	81
Figura 23. Curvas esfuerzo – Deformación cantera MM	84
Figura 24. Curvas esfuerzo – Deformación cantera MM. Molde 1	85
Figura 25. Curvas esfuerzo – Deformación cantera MM. Molde 2	86
Figura 26. Curvas esfuerzo – Deformación cantera MM. Molde 3	27
Figura 27. Curva C.B.R. y Densidad Seca (Cantera Montan Mayo)	88
Figura 28. Curvas esfuerzo – Deformación cantera CB	90
Figura 29. Curvas esfuerzo – Deformación cantera CB. Molde 1	91
Figura 30. Curvas esfuerzo – Deformación cantera CB. Molde 2	92

Figura 31. Curvas esfuerzo – Deformación cantera CB. Molde 3	93
Figura 32. Curvas C.B.R. y Densidad Seca (Cantera Chancay Baños)	94
Figura 33. Contenido de humedad (Mezclas)	88
Figura 34. Ensayo: Límite Líquido (MM 75% - CB 25%)	95
Figura 35. Ensayo: Límite Líquido (MM 50% - CB 50%)	97
Figura 36. Ensayo: Límite Líquido (MM 25% - CB 75%)	99
Figura 37. Análisis Granulométrico MM (75%) - CB (25%)	101
Figura 38. Análisis Granulométrico MM (50%) - CB (50%)	102
Figura 39. Análisis Granulométrico MM (75%) - CB (25%)	103
Figura 40. Metodología Enrique Pasquel (75% MM - 25% CB)	104
Figura 41. Metodología Enrique Pasquel (50% MM - 50% CB)	105
Figura 42. Metodología Enrique Pasquel (25% MM - 75% CB)	106
Figura 43. Curva de compactación (75% MM - 25% CB)	107
Figura 44. Curva de compactación (50% MM - 50% CB)	109
Figura 45. Curva de compactación (25% MM - 75% CB)	111
Figura 46. Curva de Esfuerzo deformación MM (25%) - CB (75%)	114
Figura 47. Curva de Esfuerzo deformación MM (25%) - CB (75%) Molde 1	115
Figura 48. Curva de Esfuerzo deformación MM (25%) - CB (75%) Molde 2	116
Figura 49. Curva de Esfuerzo deformación MM (25%) - CB (75%) Molde 3	117
Figura 50. Curva CBR. Densidad Seca MM (75%) - CB (25%)	118
Figura 51. Curva de Esfuerzo deformación MM (50%) - CB (50%)	120
Figura 52. Curva de Esfuerzo deformación MM (50%) - CB (50%) Molde 1	121
Figura 53. Curva de Esfuerzo deformación MM (50%) - CB (50%) Molde 2	122
Figura 54. Curva de Esfuerzo deformación MM (50%) - CB (50%) Molde 3	123
Figura 55. Curva CBR y Densidad Seca MM (50%) –CB (50%)	124
Figura 56. Curva de Esfuerzo deformación MM (25%) - CB (75%)	127
Figura 57. Curva de Esfuerzo deformación MM (25%) - CB (75%). Molde 1	128
Figura 58. Curva de Esfuerzo deformación MM (25%) - CB (75%). Molde 2	129
Figura 59. Curva de Esfuerzo deformación MM (25%) - CB (75%). Molde 3	130
Figura 60. Curva - CBR y densidad seca MM (25%) –CB (75%)	131
Figura 61. Ábaco de Casagrande - Gráfica de plasticidad del SUCS	143
Figura 62. Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S).	144
Figura 63. Pesaje de las taras (01) y muestras canteras MM (C) y CB (C)	147

Figura 64. Pesaje de taras (02) y muestras de canteras MM (C) y CB (C)	148
Figura 65. Pesaje de taras (A) y muestras de material canteras MM (C) y CB (C)	149
Figura 66. Pesaje en taras muestra de material canteras MM	150
Figura 67. Pesaje en taras muestras de material canteras CB	151
Figura 68. Ensayo de límite líquido cantera MM, 2016	152
Figura 69. Ensayo de Limite Plástico cantera MM, 2016	153
Figura 70. Comportamiento del material de la cantera Montan Mayo	154
Figura 71. Comportamiento del material de la cantera Chancay Baños	155
Figura 72. Extracción de muestras canteras Montan Mayo y Chancay Baños	156

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO

1.1. Descripción de la realidad problemática

En México, se han desarrollado dentro de la Ingeniería Civil, tecnologías que han dado lugar a obras de infraestructura importantes; sin embargo la aplicación de la Mecánica de Suelos a las condiciones que presentan los suelos sobre la cual se va estructurar una vía terrestre, es fundamental ya que los sistemas de suelos son tan antiguos como la propia mecánica de suelos, pero por el escaso conocimiento que se tenía de los suelos.

Las nuevas tecnologías en viabilidad terrestre, el desarrollo consecuencial de profesionales de la ingeniería de transporte y la necesidad de que las carreteras y caminos sean un reflejo de tales realidades hacen que el país emplee las más modernas técnicas viales adaptadas a nuestras necesidades y que impulsen el uso de materiales de construcción autóctonos como la arcilla. (MTC, 2000)

El Banco Mundial, que en su Índice de Desempeño de Logística, agrupa a los países según la calidad de su infraestructura de transporte da la mayor calificación a Chile, seguido por México y Panamá. En países como Chile, coinciden en señalar que es un país avanzado en construir un sistema de carreteras de acuerdo con sus aspiraciones de desarrollo con infraestructura de carreteras, por su red de 77.764 kilómetros. En el Perú, la construcción de vías es deficiente teniendo un 13.4% de vías implantadas de acuerdo a la Normatividad peruana. En Cajamarca las construcciones de vías no cumplen con la normatividades exigidas por el reglamento de construcciones. El presente estudio comparativo según referencia del evaluación de impacto ambiental del proyecto La Zanja, detalla que existe la presencia de lluvias por que se encuentran a una altitud de 3,200 y 3,600 msnm, por lo que el mantenimiento inoportuno, insuficiente o inapropiado y la falta de una capa de rodadura adecuada

en las vías de acarreo minero, contribuyen a que la estructura y geometría de las vías se afecten negativamente por el intenso tráfico al que están sometidas las 24 horas del día, lo que incrementa mayores costos de operación y un mayor número de accidentes y dar seguridad en las vías de acceso existentes durante la realización de trabajos de reparación y reconstrucción de carreteras. Para lo cual se analizaron resultados de mezclar dos o más materiales de dos tipos de canteras, que cumpla con ciertas características granulométricas ineludibles exigidos por el Ministerio de Transporte y Comunicaciones del Perú (MTC) a través de la Dirección General de Caminos y Ferrocarriles, dentro de su rol normativo y fiscalizador, y de esta manera obtener un tercer material que tenga las características adecuadas y en qué proporción de mezcla de ambas canteras, para utilizarlo en la conformación de base en las vías de acarreo del proyecto minero La Zanja, de tal manera que se cumpla con los requisitos establecidos por las normas, para los tamices que especifica en la normatividad peruana (MTC 2000).

Por lo que este trabajo de investigación se ha enfocado en mejorar los materiales existentes, y encontrar materiales que cumplan con las características granulométricas, de compactación y resistencia que garanticen un adecuado comportamiento y logren alcanzar la vida útil que se va diseñar. Utilizando las normas peruanas MTC-2000 y sus equivalentes internacionales: MTC, ASTM y AASHTO.

1.2. Delimitaciones de la investigación

1.2.1. Delimitación espacial

El presente trabajo de investigación se desarrolló, en el distrito de Pulán, provincia de Santa Cruz Succhabamba, departamento de Cajamarca, lindante al Proyecto, La Zanja, que está ubicado en el caserío La Zanja (también denominado la redonda) a 4 horas de la

ciudad de Cajamarca, ubicado en el 102 km camino afirmado y trocha carrozable.

1.2.2. Delimitación social

El presente trabajo de investigación estuvo delimitado por todos los moradores de la provincia de San Miguel de Pallaques y caserío La Zanja

1.2.3. Delimitación temporal

El presente trabajo de investigación se realizó desde el 11 de enero al 11 de julio de 2016.

1.2.4. Delimitación conceptual

El presente proyecto de investigación utilizó las normas peruanas MTC-2000 y sus equivalentes internacionales: ASTM, AASHTO y el MTC, los cuales condujeron ensayos generales para clasificar los suelos, ensayos de control de calidad, ensayos de resistencia, contenido de humedad, peso específico, análisis granulométrico.

1.3. Problemas de investigación

1.3.1. Problema principal

- ¿Cuál mezcla de los materiales de las canteras de Montan Mayo y Chancay Baños, cumplen con los requisitos para conformación de base en las vías del proyecto La Zanja Santa Cruz, Cajamarca 2016?

1.3.2. Problema secundarios

- ¿Cuáles son las características de la cantera Montan Mayo, para uso de Base en las vías del proyecto La Zanja, Santa Cruz Cajamarca 2016?
- ¿Cuáles son las características de la cantera Chancay Baños, para uso de Base en las vías del proyecto La Zanja, Santa Cruz-Cajamarca 2016?

1.4. Objetivos de la investigación

1.4.1. Objetivo general

- Seleccionar la mezcla de los materiales de las canteras que reúnen las mejores características para uso como Base en las vías del proyecto La Zanja, Santa Cruz Cajamarca 2016, según las normas peruanas MTC-2000 y sus equivalentes internacionales: MTC, ASTM y AASHTO.

1.4.2. Objetivos específicos

- Determinar las características de la cantera Montan Mayo, para uso de Base en las vías del proyecto La Zanja, Santa Cruz Cajamarca 2016.
- Determinar las características de la cantera Chancay Baños, para uso de Base en las vías del proyecto La Zanja, Santa Cruz, Cajamarca 2016.

1.5. Hipótesis y variables de la investigación

1.5.1. Hipótesis general

- La mezcla de los materiales que cumple con los requisitos para material de base para uso en las vías del proyecto minero La Zanja se obtiene con 50% del material de la cantera de Chancay Baños y 50% del material de la cantera Montan Mayo.

1.5.2. Hipótesis secundarias

- La cantera de Montan Mayo, reúne alto porcentaje de las características requeridas para el uso en las vías del proyecto La Zanja, Santa Cruz- Cajamarca.
- La cantera de Chancay Baños, reúne bajo porcentaje de las características requeridas para el uso en las vías del proyecto La Zanja, Santa Cruz- Cajamarca.

1.5.3. Variables

Variable Independiente: Porcentajes de los materiales de las dos canteras para realizar la mezcla los cuales podrán cambiarse hasta obtener una mezcla óptima.

Variable dependiente: Serán las características correspondientes a cada uno de los materiales por separado de cada cantera.

1.5.4. Operacionalización de las variables de la investigación

Tabla 1: Operacionalización de las variables de investigación

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL		DIMENSIONES	INDICADORES	Instrumento
V.I:	Es una metodología, eficaz para conseguir equilibrio de estas propiedades, para obtener una mezcla óptima para inducir una disminución de la resistencia al desgaste.	Cantera Montan Mayo	50%	% de comportamiento seguro	calicatas
Son los porcentajes de los materiales de la mezcla a realizar ,		Cantera Chancay Baños	70%		
V.D:	Las cuales permitirán tener una comprensión más clara de los materiales.	Cantera Montan Mayo	Peso específico	Contenido Óptimo de Humedad	Registro de apuntes
Serán las propiedades correspondientes a cada uno de los materiales por separado de cada cantera, inclusive de la mezcla óptima conseguida			Granulometría	Análisis Granulométrico Por Lavado	Data del programa de laboratorio.
			Plasticidad	Límite Líquido Límite Plástico índice de plasticidad	
			Densidad Seca Máxima		
			Compactación De Proctor Modificado	Método C (Curva de compactación) Método A (Curva de Abrasión)	
			CBR	E. Compactación CBR. E. Hinchamiento, E. Carga de Penetración	
		Cantera Chancay Baños	Peso específico	Contenido Óptimo de Humedad	
Granulometría			Análisis Granulométrico Por Lavado		
Plasticidad			Límite Líquido Límite Plástico índice de plasticidad		
Densidad Seca Máxima				Data del programa de laboratorio.	
Compactación De Proctor Modificado			Método C (Curva de compactación) Método A (Curva de Abrasión)	Data del programa de laboratorio.	
CBR			E. Compactación CBR. E. Hinchamiento, E. Carga de Penetración		

Fuente: Elaboración Propia, 2016.

Para este trabajo de investigación se realizó ensayos de laboratorio, ensayos de compactación, ensayos generales utilizando la norma AASHTI, ASTM Y MTC, de acuerdo a las normas peruanas MTC-2000 y sus equivalentes internacionales. Estos ensayos junto con la granulometría por tamizado se requieren para la clasificación del suelo, su consistencia con respecto al contenido de humedad (Límite líquido, límite plástico y límite de retracción o contracción) según ASTM D 427/ AASHTO T 92.

1.6. Metodología de la investigación

1.6.1. Tipo y nivel de Investigación

a. Tipo de investigación

La investigación que se realizó fue de tipo Experimental, porque se aplicó a dos grupos como mínimo para establecer comparaciones, no se puede llevar a cabo con un sólo grupo de sujetos y una única condición experimental.

b. Nivel de investigación

El nivel de investigación fue Explicativo, porque presenta conocimientos más profundos que la descripción del tema a investigar.

1.6.2. Método y diseño de la investigación

a. Método de la investigación

El principal método que se utilizó en la presente tesis profesional será el método hipotético deductivo, porque se desarrolló en laboratorio para encontrar análisis de muestras para hacer una práctica científica.

b. Diseño de la investigación

Según el diseño de investigación, es *Transversal* porque el diseño de investigación va a recolectar los datos en un sólo momento, en un tiempo único. Tiene como propósito describir variables.

1.6.3. Población y muestra de la investigación

a. Población

La población está considerada por todas las canteras posibles ubicadas en el ámbito de proyecto La Zanja, Santa Cruz Cajamarca, durante el año 2016.

b. Muestra

Se considera muestra a los 60 ensayos realizados de los materiales de las canteras Montan Mayo y Chancay Baños, durante el periodo de estudios, desde el 11 de enero al 11 de julio de 2016, en el Laboratorio de Ensayo de Materiales “Mg. Ing. Carlos Alfredo Esparza Díaz” de la Universidad Nacional de Cajamarca, Ed 1-A.

Tabla 2. Muestra de estudio, análisis comparativo

Laboratorio de Ensayo de Materiales UNC	2016
Ensayos	N°
Plasticidad	20
Análisis granulométrico	5
Ensayo de Compactación por PRÓCTOR	10
Pruebas de CBR	25
Total	60

Fuente: Elaboración propia, 2016.

1.6.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

a. Técnicas

Las técnicas que se emplearon fueron la elaboración de muestras de suelo etc.

b. Instrumentos

Los instrumentos que se emplearon fueron la data del programa de laboratorio.

1.6.5. Justificación, importancia y limitaciones de la investigación

a. Justificación

La importancia del presente trabajo de investigación, radica que en los últimos años se evidencia un avance tecnológico en el mundo de la viabilidad terrestre, para contribuir así a alcanzar la productividad y la competitividad de las industrias en infraestructura. La vialidad, de una carretera se orienta a potenciar y expandir impactos positivos para mejora de la transitabilidad de las redes viales y la recuperación del patrimonio vial del país, a partir de una visión de conjunto.

Los resultados del presente trabajo de investigación permitieron realizar el análisis comparativo de los materiales de las canteras Montan Mayo y Chancay Baños, para uso en las vías del proyecto La Zanja, Santa Cruz Cajamarca. Con la comparación de los materiales existentes, se busca obtener mezclas de materiales que cumplan con las características granulométricas, de compactación y resistencia del desgaste por rozamiento de la superficie que garanticen su adecuado comportamiento que se adecuen económicamente a la realidad de las necesidades y los trabajos a realizar en la minera.

En este contexto, la presente investigación busca comparar mezclas de materiales que cumplan con las características granulométricas, de compactación y resistencia que garanticen su

adecuado comportamiento aplicando la norma peruana MTC-2000 y sus equivalentes internacionales: ASTM, AASHTO y MTC. Para la construcción, rehabilitación, mejoramiento y conservación, de la carretera del proyecto La Zanja.

b. Importancia

El presente trabajo de investigación es importante porque mediante estas pruebas se puede determinar la compactación o densidad máxima de un suelo o agregado en relación con su contenido de humedad. Para lo cual se utilizó el método C, el ensayo Próctor Estándar, de acuerdo con las normas ASTM D 698 / AASTHO T 99, Así como también se utilizó el método A, aplicando la Mecánica de Suelos a las condiciones que presentan los suelos de la zona de estudio sobre la cual se va estructurar una vía terrestre. El área e estudios presentan dos asociaciones, ocho asociaciones edáficas y cuatro asociaciones edáficas con misceláneo roca. En cuanto a la profundidad de los suelos en el área de estudios varían de muy superficiales (< 45 cm) a profundos (100-170 cm).

c. Limitaciones

- La toma de muestras de materiales se realizará insitu, y éstas se trasladarán al Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Universidad Nacional de Cajamarca para su análisis.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

En Colombia, en la Tesis *“Análisis comparativo entre materiales como el ferrocemento y el hormigón armado como sistema constructivo para proyectos de vivienda”*, para optar el título profesional de Ingeniero Civil, se concluye; que de acuerdo con los resultados obtenidos, y después de realizar la comparación según dos líneas de análisis de los dos tipos de materiales para así constatar lo ventajoso o factible que resultaría cada sistema constructivo en comparación con el otro, se obtuvo que según muestras de laboratorio: resulta más económico que el de una vivienda en hormigón armado, debido a que se utiliza una cantidad menor de materiales gracias a la propia distribución espacial de la estructura. En cuanto a la variable tiempo el comportamiento es similar, pese a que la prefabricación in situ de los paneles de ferrocemento acarrea un tiempo considerable, esta actividad no impide la realización de otras actividades como excavaciones, cimentación, etc., lo que da lugar al fraguado y puesta a punto de los paneles para su montaje luego de que la cimentación esté lista. (Valderrama, 2010)

En Chile, en la tesis *“Análisis comparativo entre un pavimento rígido y un pavimento flexible para la ruta s/r: santa elvira – el arenal, en la comuna de valdivia”* para optar el título profesional de ingeniero Civil, se concluye que la construcción de pavimentos, en el caso de las ventajas y desventajas de ambas alternativas, es importante conocer los parámetros a los que está sujeta la ruta seleccionada, como son el clima, la mecánica de suelos donde tiene gran preponderancia el tipo de suelo en que se va a trabajar como también la conformación de la subrasante, sin embargo el factor más importante es la cantidad de flujo vehicular. Bajo estos parámetros la solución más viable es la utilización del pavimento flexible debido a que el Transito Medio Diario Anual (TMDA) al que está sujeto el camino que une Santa Elvira con El Arenal

no presenta mayor exigencia en cuanto a los Ejes Equivalentes, también referente a los plazos de puesta en servicio, es indudable que la ventaja la adquiera el pavimentos flexible ya que puede abrirse la tránsito, horas después de terminadas las faenas, lo que no sucede con los pavimentos de hormigón ya que necesitan como máximo de 28 días para alcanzar su mayor resistencia de trabajo. (Quispe, 2014)

En Ecuador, en la Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ingeniería, Ciencias Físicas y Matemática. Carrera de Ingeniería Civil en la tesis "*Comportamiento de una mezcla asfáltica modificada con polímero etileno vinil acetato*" para optar el Título profesional de Ingeniero Civil, se concluye que los resultados obtenidos con la aplicación del ensayo de tensión indirecta nos muestran la posibilidad de emplear este ensayo en control de fabricación de mezclas asfálticas, ya que sus resultados se traducen en características mecánicas del pavimento y esto nos entrega una idea mejor respecto del comportamiento esperado para cualquier pavimento. Además es un ensayo de fácil realización e interpretación que no necesita de equipo sofisticado para su ejecución ya que se realiza con el equipo Marshall. Anteriormente las únicas propiedades que servían como elemento de juicio para caracterizar una mezcla eran la densidad estabilidad y el flujo, como se pudo comprobar con esta investigación la caracterización dinámica de las mezclas en lo referente a módulos dinámicos da información bastante clara del comportamiento de la mezcla en servicio y durante su vida útil. Las temperaturas de ensayo juegan un papel muy importante en los resultados, haciéndose evidente un descenso drástico en los módulos con el aumento de la temperatura. (Maila, 2013)

En la base de datos de la Universidad Alas Peruanas Filial Cajamarca, no se encuentra ningún trabajo de investigación denominado: Análisis comparativo de los materiales de las canteras Montan Mayo y Chancaybaños, para uso en las vías del proyecto la zanja, santa cruz-

Cajamarca 2016, por lo que este trabajo de investigación se cataloga con el primer trabajo de esta envergadura.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Ubicación de la zona de estudio

a. Ubicación

El presente trabajo de investigación se desarrollará en el proyecto La Zanja, ubicado en el caserío La Zanja en el distrito de Pulán, provincia de Santa Cruz Succhabamba, departamento de Cajamarca. El área del proyecto una altitud que varía los 2800 y 3811 msnm y la zona limítrofe con los distritos de Catache, Calquis y Tongod (provincia de San Miguel de Pallaques). (ASP, 2013)



Figura 1: Plano de Ubicación del Proyecto La Zanja 2016.
Fuente: Google Earth. 2016

b. Hidrografía y fisiografía

En general la topografía del área del proyecto es accidentada en la zona donde se ubicarán los tajos y plana en la zona

donde se construirán las instalaciones del proyecto. En la zona resalta la sucesión de montañas, con altitudes que fluctúan entre los 2800 a 3811 m y pendientes que varían entre 30 – 70% quebradas y planicies altas, con pendientes relativamente bajas, como es el caso de la Pampa del Bramadero.



Figura 2. Método de explotación: Tajo Abierto Proyecto La Zanja.
Fuente. Área de operaciones mina, 2016.

c. Clima y Meteorología

La Zanja que cubre temporadas seca y húmeda han permitir construir un año tipo. No existe información representativa adicional por parte del SENAMHI. La temperatura promedio mensual del aire varía entre 7.0 y 8.2 °C. La temperatura mínima mensual promedio varía entre 3.6 y 5.7 °C la temperatura máxima mensual promedio de la minera en mención alcanza valores de 11.1 y 12.3 °C. (STRACON G y M, 2015).

d. Precipitación

Para el análisis de precipitación se contó con información de 18 estaciones cercanas al proyecto. La cantidad de información informa que el periodo con menor precipitación ocurre en los meses de mayo a septiembre y el de mayor precipitación en los meses de octubre y abril, con una precipitación promedio de 1192mm. (ASP, 2013)

e. Calidad de aire

En el área del proyecto se encuentra por debajo de los valores establecidos en el reglamento de estándares nacionales de calidad ambiental del Aire, D.S.N°074 2001 – PCM. El valor máximo registrado se presentó en el campamento La Zanja (48 ug/m³) y el valor mínimo se registró en Pisit (12.42 g/m³). (ASP, 2013)

f. Ubicación de Canteras

Cantera de Montan Mayo: Se encuentra ubicada a una altura de 2459 msnm, a una longitud oeste de 78° 47' 42.3" W, Latitud sur de 6° 33' 16.2". Huso horario UTC-5. Pertenece al Distrito Chancaybaños, Provincia Santa Cruz, Regio de Cajamarca.



Figura 3. Mapa de ubicación de las canteras Montay Mayo - Chancay Baños.
Fuente. Google Earth, 2016.

Cantera Chancay Baños: La cantera se encuentra ubicada en el distrito de Chancay Baños, provincia de Santa Cruz, departamento de Cajamarca. A una altitud de 2,400 m.s.n.m.

Tabla 3: Coordenadas de las Canteras

Canteras	Coordenadas	
	UTM	Geográficas
Cantera de Montan Mayo	X=776800	78° 32'37.7" W
	Y=9242253	7° 35'14.2" S
Cantera Chancay Baños	X=776693	78° 32'37.1" W
	Y=9235103	7° 59'15.4" S

Fuente: Elaboración propia, 2016.

El clima es subhúmedo y Semicálido. La precipitación promedio anual es de 400 a 600 mm. La temperatura promedio es de 20° C en las partes bajas y 15° C en las partes altas. (ASP, 2013)



Figura 4. Parte alta Chancay Baños - Santa Cruz 2016.
Fuente. Google Earth, 2016.

2.2.2. Estudio de suelos y canteras

a. Generalidades

Los materiales naturales, como rocas, gravas, arenas y suelos denominados áridos, inertes o 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, como las formas en que se presentan y su disponibilidad, serán los actores principales que determinarán los usos de estos, como el grado de procesamiento que requerirán antes de su empleo.

Se define una cantera, como al lugar geográfico de donde se extraen o explotan agregados pétreos para la industria de la construcción o para toda obra civil, utilizando diferentes procesos de extracción dependiendo del tipo y origen de los materiales donde se puede presentar desde extracción con dragas en lechos de ríos hasta utilizar explosivos en laderas de montañas y cámaras de explotación. Previamente a su explotación hay que realizar sondeos pozos, análisis para cerciorarse de las propiedades y disposiciones de los yacimientos y bancos para su mejor extracción. Toda cantera tiene una vida útil, y una vez agotada, el abandono de la actividad suele originar serios problemas de carácter ambiental principalmente con la destrucción del paisaje. (ANTERES, 2013)

b. Clasificación de la calidad de materiales

Para una clasificación de la calidad de los materiales de una cantera es necesario contar con la información concreta acerca de la calidad de los materiales, requerimientos de

procesamiento, rendimientos, volúmenes disponibles, normas de acceso a las fuentes, distancias de transporte. Por tal motivo el estudio de canteras requiere una exploración detallada de las fuentes seleccionadas, conjuntamente con el muestreo y análisis de los materiales extraídos de estos para poder elaborar los perfiles mediante los cuales se pueda clasificar y cuantificar con precisión los volúmenes disponibles. (Rico, 2000)

c. Funcionalidad de las mezclas de dos canteras

Las mezclas de canteras se emplean en capas superficiales para soportar directamente las acciones de los neumáticos y transmitir las cargas a las capas inferiores, proporcionando unas condiciones adecuadas de rodadura, cuando se emplean en capas superficiales; y como material con resistencia simplemente estructural o mecánica en las demás capas de los firmes. (Rico, 2000)

Una mezcla asfáltica, presenta las propiedades siguientes: estabilidad, durabilidad, resistencia a la fatiga.

- Propiedades de las mezclas para capas inferiores.

Las capas de espesor apreciable de un firme tienen una misión estructural fundamental para absorber la mayor parte de las sollicitaciones del tráfico, de forma que éstas lleguen convenientemente disminuidas a las capas inferiores, explanada o cimiento de la carretera. En otros casos la función resistente radica en la colaboración con otras capas de materiales granulares o hidráulicos. La tendencia española tradicional para el diseño de las mezclas de las capas gruesas de base ha sido la de elegir granulometrías inspiradas en el Instituto del Asfalto, con muchos huecos.

Las mezclas anteriores son netamente abiertas con un esqueleto mineral, en cuyo rozamiento interno radica la función resistente. Estas mezclas se podían considerar inspiradas en las antiguas bases de piedra partida o Macadam tratadas por penetración con ligantes hidrocarbonados. (Rico, 2000)

Tabla 4. Propiedades funcionales de las mezclas asfálticas

Propiedades funcionales de las mezclas asfálticas
Seguridad
Resistencia al deslizamiento
Regularidad transversal
Visibilidad (marcas viales)
Comodidad
Regularidad longitudinal
Regularidad transversal
Visibilidad
Ruido
Durabilidad
Capacidad soporte
Resistencia a la desintegración superficial
Medio ambiente
Ruido
Capacidad de ser reciclado
Trabajabilidad

Fuente:

d. Mescla de materiales

Esta técnica consiste en combinar dos o más suelos de diferentes propiedades físico-químicas con el objetivo de lograr una única capa de suelo resultante cuyas propiedades geotécnicas sean mejores como suelos combinados que de manera individual. (Rico, 2000)

Para la realización del mezclado de un suelo sólo es necesaria la aportación de los suelos que se quieren mezclar y la cantidad,

para realizar el mezclado de suelos se cumple tres tipos de correcciones:

Tabla 5. Técnica consistente para mezcla de materiales

N°	variaciones	Características
1	Variación en la plasticidad de los materiales:	Al añadir a un material plástico materiales granulares de baja plasticidad se producen reducciones significativas de la plasticidad de éstos y viceversa
2	Variación en el esqueleto mineral de los materiales	Al añadir a un material con gran cantidad de finos materiales granulares con una elevada proporción de gruesos se producen correcciones de las curvas granulométricas que dan como resultado materiales más continuos
3	Variación del Valor Soporte (CBR):	Un suelo puede mejorar su Valor de Soporte mediante el mezclado con otro suelo de mejores características físico-mecánicas.

Fuente: (Braja, 2001).

2.2.3. Capacidad Portante de un Suelo

El problema de la capacidad portante de cimientos superficiales se ha solucionado con teoría de plasticidad desde hace bastante tiempo suponiendo siempre el terreno de apoyo del cimiento horizontal y de extensión lateral infinita. (Braja, 2001)

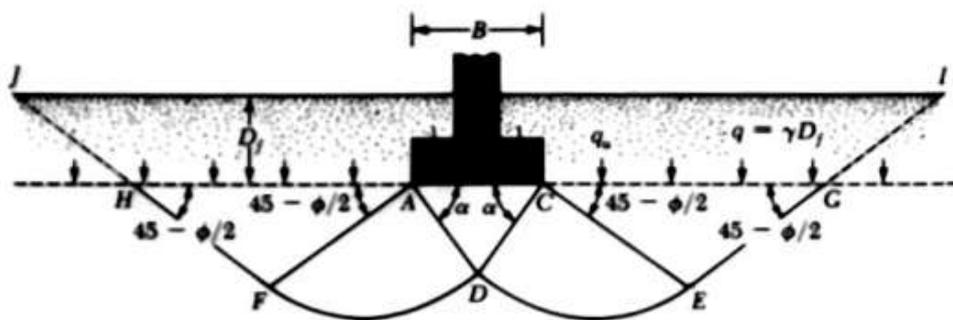


Figura 5: Falla por capacidad de carga - Cimiento Superficial.

Fuente: (Braja, 2001).

La ecuación de capacidad portante está dada, para resistencia Mohr-Coulomb, por:

$q_{ult} = c' N_c + q N_q + \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma$ (1) en la cual :

$$q_h = \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma + \gamma D N_f + c N_c$$

Dónde:

q_{ult} = capacidad última del cimiento (F/L²)

c' = cohesión efectiva (F/L²)

q = sobrecarga externa = $\gamma_1 \times D_f$ (F/L²)

γ_1 = peso unitario del suelo externo

D_f = altura de suelo externo

γ = peso unitario del suelo bajo el cimiento (F/L³)

B = ancho del cimiento (L)

N_c, N_q, N_γ = factores de capacidad portante que son función de ϕ'

ϕ' = ángulo de fricción interna del suelo portante

La Teoría de Plasticidad no incluye el peso propio de la masa del suelo que falla y al involucrarlo, con el factor N_γ , hay que apelar a valores semiempíricos o francamente experimentales y hay una gran variedad de soluciones, con valores muy dispares entre los extremos.

La carga de rotura de un suelo depende del ancho de la cimentación B , del peso específico γ , de la resistencia al corte del terreno representada por los parámetros c (cohesión) y ϕ (ángulo de rozamiento) y de la profundidad de la cimentación D .

Técnicamente la capacidad portante es la máxima presión media de contacto entre la cimentación y el terreno tal que no se produzcan un fallo por cortante general, local o por punzonamiento. (Braja, 2001)

2.2.4. Relación de soporte de un suelo (Índice Resistente CBR)

Esta norma describe el procedimiento de ensayo para la determinación de índice de resistencia de los suelos denominado valor de la relación de soporte, que es conocido debido a su origen, como CBR (California Bearing Ratio)¹.

El ensayo se realiza normalmente sobre suelo preparado en el laboratorio en condiciones determinadas de humedad y densidad; pero también puede operarse en forma análoga sobre muestras inalteradas tomadas del terreno. Este índice se utiliza para evaluar la capacidad de soporte de los suelos de subrasante y de las capas de base, subbase y de afirmado.

Esta Norma hace referencia a los ensayos para Determinación de las Relaciones de Peso Unitario-Humedad, usando un equipo normal (estándar) o un equipo modificado, normas INV E-141 y E-142, también conocidos como ensayos de compactación o ensayos Proctor Normal y Proctor Modificado. (Braja, 2001)

Describe el procedimiento de ensayo para la determinación de un índice de resistencia de los suelos denominado valor de la relación de soporte, que es muy conocido, como CBR (California Bearing Ratio). Este índice se utiliza para evaluar la capacidad de soporte de los suelos de subrasante y de las capas de base, sub-base y de afirmado. Se llama valor de la relación de soporte de un suelo o índice resistente CBR, al tanto por ciento de la presión ejercida por el pistón sobre el suelo, para una penetración determinada, en relación con la presión correspondiente a la misma penetración

¹ CBR (California Bearing Ratio): ASTM D-1883, AASHTO T-193, J. E. Bowles, MTC E 132-2000. El ensayo se realiza sobre suelo preparado en el laboratorio en condiciones determinadas de humedad y densidad; pero también puede operarse en forma análoga sobre muestras inalteradas tomadas del terreno.

(0.1" y 0.2") en una muestra patrón de material triturado y compactado. (Braja, 2001)

Definición de CBR: El CBR de un suelo es la carga unitaria correspondiente a 0.1" ó 0.2" de penetración, expresada en por ciento en su respectivo valor estándar. También se dice que mide la resistencia al corte de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controlada. El ensayo permite obtener un número de la relación de soporte, que no es constante para un suelo dado sino que se aplica solo al estado en el cual se encontraba el suelo durante el ensayo y es igual a:

$$\text{CBR} = \frac{\text{Carga Unitaria del Ensayo}}{\text{Carga Unitaria Patrón}} \times 100$$

El número CBR (o simplemente CBR), se obtiene de la relación de la carga unitaria (lbs/pulg².) necesaria para lograr una cierta profundidad de penetración del pistón de penetración (19.4 cm²) dentro de la muestra compactada de suelo a un contenido de humedad y densidad dadas con respecto a la carga unitaria patrón (lbs/pulg².) requerida para obtener la misma profundidad de penetración en una muestra estándar de material triturado. Los ensayos de CBR se hacen usualmente sobre muestras compactadas al contenido de humedad óptimo para un suelo específico, determinado utilizando el ensayo de compactación estándar o modificado del experimento.

Tabla 6. Próctor Estándar ASTM D 698

	Proctor Estándar	ASTM	D 698
	A	B	C
Peso martillo (lb)	5.5	5.5	5.5
Diám. molde (pulg)	4	4	6
No. de capas	3	3	3
No. golpes/capa	25	25	56
	Proctor Modificado	ASTM	D 1557
	A	B	C
Peso martillo (lb)	10	10	10
Diám. molde (pulg)	4	4	6
No. de capas	5	5	5
No. golpes/capa	25	25	56
	CBR	ASTM	D 4429-93
Martillo (lb)			10
Diám. molde (pulg)			6
No. de capas			5
No. golpes/capa	10	25	56

Fuente: Chang, 2010.

2.2.5. Especificaciones técnicas para la conservación de vías:

Las especificaciones técnicas para la conservación vial, hacen énfasis en los procedimientos por utilizar durante la ejecución de los trabajos para garantizar la calidad de los mismos. Las especificaciones son de carácter general y responden a la idea de promover en el Perú, la uniformidad y la consistencia de los aspectos técnicos de las partidas que son habituales y de uso repetitivo en la ejecución de los trabajos de conservación vial. (MTC, 2007)

La tecnología aplicada a la conservación vial está cambiando continuamente por la incorporación de nuevas técnicas, materiales y equipos, por lo cual es necesario efectuar una actualización

permanente. por lo que se debe de cumplir con el documento que contiene las Especificaciones Técnicas Generales para la Conservación de Carreteras, que está estructurado en dos partes con el siguiente contenido temático: norma conceptual de conservación de carreteras y especificaciones técnicas generales para la conservación de carreteras peruanas. (MTC, 2007)

El uso adecuado y la constante conservación de una vía, no sólo garantiza la inversión inicial de construcción, sino que disminuye el costo de explotación y alarga la vida de la carretera y de los vehículos que la usan. (Céspedes, 20019)

Es importante entender claramente que la conservación, más que un problema económico, es un reto de muy alta técnica de ingeniería y por lo tanto, los trabajos deben ejecutarse en su oportunidad, ya que de ello depende el que las inversiones que se hagan, sean mínimas.(Céspedes, 2001)

Consideración técnico económica de la conservación vial

Con el propósito de hacer más comprensible el proceso de deterioro vial cuando una vía no es atendida adecuadamente, se explica en seguida en forma sencilla lo que ocurre, con una vía pavimentada. Si se realiza la construcción de una vía asfaltada (calzada y demás elementos) con buen diseño, materiales adecuados, estricto control de calidad y en condiciones óptimas y se observa su comportamiento en el tiempo bajo las agresiones del tránsito y del clima, en ausencia de conservación, se notará un deterioro acelerado en función del tiempo. En un breve plazo, la capa de rodadura se desgasta y se fatiga, mientras que poco a poco se van colmatando los dispositivos de drenaje. Convencionalmente se puede decir que la vía pasa de un estado inicial A, a un estado B. (MTC, 2007)

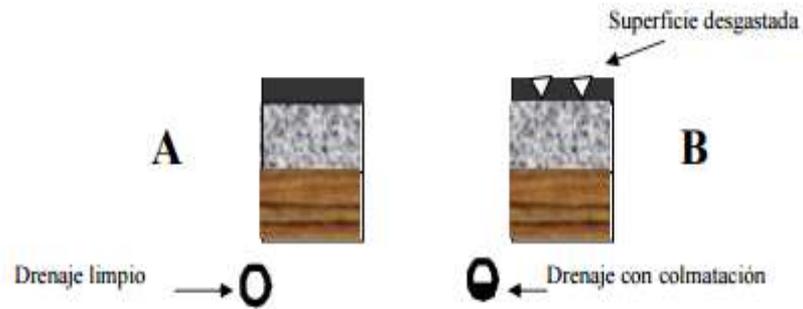


Figura 6. Esquema de proceso inicial de deterioro de una carretera
Fuente: (MTC, 2007).

Posteriormente, se presentan daños estructurales que afectan la capacidad de soporte del pavimento, los cuales son propiciados por las deficiencias y los deterioros superficiales, y por la repetición de las cargas. Figurativamente, se puede decir que la calzada pasa del estado B al estado C.

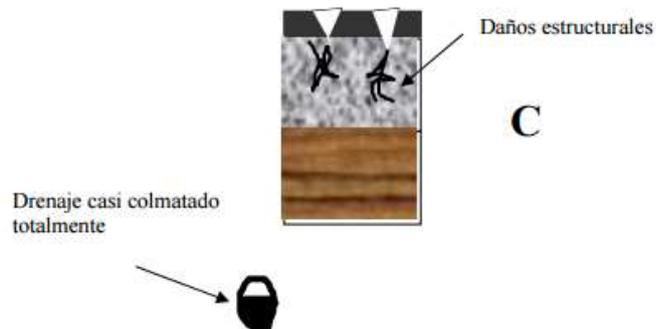


Figura 7. Esquema de calzada en mal estado
Fuente: (MTC, 2007).

Estado D. En situaciones extremas se puede alcanzar el límite crítico e interrumpirse la circulación vehicular por las pésimas condiciones de la vía.

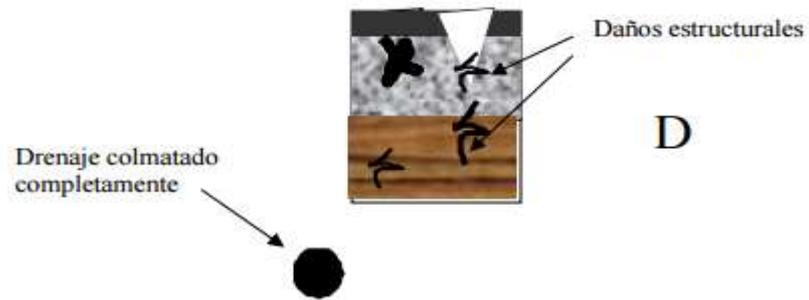


Figura 8. Esquema de calzada en pésimo estado drenaje colmatado
Fuente: (MTC, 2007).

La evolución de los daños y la degradación del estado de la vía, en función del tiempo, tienen la forma que se ilustra en la figura siguiente, tal como se comprobó en el conocido como Experimento Vial AASHO, desde 1960. (MTC, 2007).

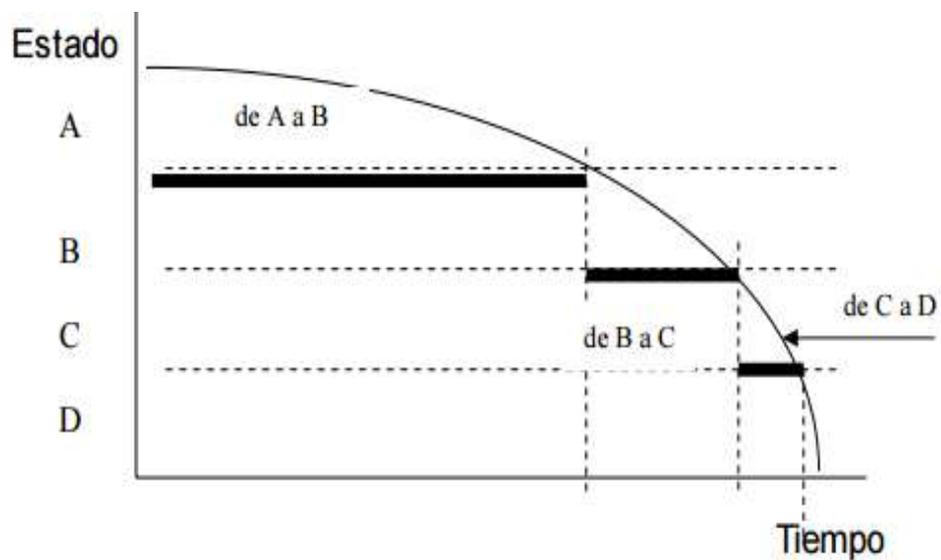


Figura 9. Curva de comportamiento de una calzada sin conservación adecuada
Fuente: (MTC, 2007).

Una calzada en buen estado inicial demora varios años (5 por ejemplo) para pasar del estado A al estado B, pero luego demorará menos tiempo para pasar al estado C, dependiendo de la suficiencia o insuficiencia de la conservación y, sin duda, aún menos tiempo para llegar al estado D, a partir del estado C. Esto se explica porque desde que se pierde la impermeabilidad de la capa de rodadura, la acción combinada del tránsito pesado (ejes sobrecargados) y la agresividad del clima (fuertes precipitaciones), aceleran de manera rápida e inevitable el proceso de degradación. (MTC, 2007)

El modelo de comportamiento anterior se cumple estrictamente, en la realidad, en pavimentos flexibles, con capas de rodadura asfálticas delgadas y con capas de base y sub-base constituidas con materiales granulares y especialmente con los de insuficiente calidad. Esta descripción del proceso de degradación de una carretera con pavimento flexible, que predomina en la mayoría de los países latinoamericanos es evidentemente, muy resumida. Se ha utilizado sólo para fines didácticos y de simplificación. Por vía en buen estado (Estado A) se debería entender una vía adaptada al tránsito, al clima, a los materiales, a la subrasante y a los demás elementos, tanto para la circulación, como para la seguridad y la comodidad de los usuarios, incluidos los correspondientes para la protección efectiva al pavimento. (MTC, 2007)

En general, una vía estaría en buen estado cuando el conjunto de los elementos que la constituyen ofrece al usuario un nivel de servicio que le satisface permanentemente, de acuerdo con el volumen total de tránsito que circula por ella. Según este concepto, no se puede llamar “en buen estado” una vía sin daños en la calzada, pero cuyo sistema de drenaje es inadecuado o deficiente. Tampoco se encontrará en buen estado (A) una vía cuya calzada está en buen estado, pero sus bermas están deterioradas y sus

taludes son inestables; o una vía con calzada en buen estado pero carente de una señalización vial adecuada. (MTC, 2007)

2.2.6. Análisis de Mecánica de Suelos

a. Muestreo

En mecánica de suelos, el muestreo sirve para determinar las propiedades de un suelo en laboratorio. Para tomar muestras individuales de un sondeo a cielo abierto se realiza una calicata de 1.50 m x 1.50 m de sección y de la profundidad requerida que puede ingresar una persona, se efectúa el procedimiento siguiente:

Se rebaja la parte seca y suelta del suelo con el propósito de obtener una superficie fresca. Se toma una muestra de cada capa en un recipiente y se coloca una tarjeta de identificación. Las muestras se envían en bolsas cerradas al laboratorio. El tamaño de muestras varía a criterio de la dirección técnica, pero se sugieren, las siguientes cantidades. (MTC, 2000)

Tabla 7: Muestreo de suelos - criterio de la dirección técnica

Muestreo de suelos y rocas	Cantidad
Clasificación visual	0.50 Kg – 50 - 500 gr.
Análisis granulométrico y constante de suelos no granulares.	0,50 -2.5 Kg.
Ensayo de compactación y granulometría del suelo, agregado granular	20 - 40 Kg.
Producción de agregados o ensayo de propiedades de agregados.	50 - 200 Kg.

Fuente:(MTC E 101, 2000).

Para muestreo de los estratos se ceñirá al Manual de Ensayo de Materiales del MTC vigente, norma MTC E 101. En lo no especificado en el Manual de Ensayo de Materiales, se procederá de acuerdo a lo siguiente: Se realizará mínimo 05 exploraciones, por cada área menor a una hectárea, la ubicación

de los puntos de prospección será a distancias iguales, para luego densificar. (Céspedes, 2001)

Se identificará cada muestra con la respectiva perforación o calicata y con la profundidad a la cual fue tomada. Previa identificación dentro del recipiente o bolsa, ciérrase en forma segura, protéjase del manejo rudo y márquese exteriormente con una identificación apropiada. Guárdense muestras para la determinación de la humedad natural en recipientes de cierre hermético para evitar pérdidas de la misma. El secado de muestras puede afectar la clasificación y resultados de los ensayos, las muestras deben ser protegidas para la pérdida de humedad, el tamaño de la muestra no deberá ser menor de 2.5 kg. (MTC E 101, 2000)

b. Clasificación del material

Las muestras para ensayos de suelos y de rocas deberán enviarse al laboratorio para los ensayos de clasificación física y mecánica respectiva, de acuerdo con las instrucciones del consultor geotécnico.

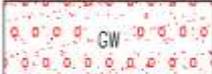
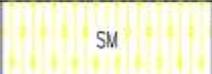
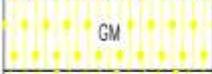
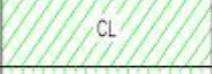
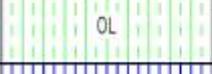
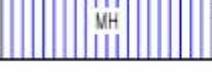
Se deberán realizar como mínimo los siguientes ensayos de laboratorio para todos los materiales que se deban caracterizar:

Tabla 8. Caracterización de ensayos de laboratorio

N°	Ensayos de laboratorio
1	Análisis granulométrico por tamizado MTC E 107.
2	Análisis granulométrico por hidrómetro MTC E 109
3	Humedad natural MTC E 108
4	Determinación del límite líquido MTC E 110
5	Determinación del límite plástico MTC E 111
6	Determinación del límite de contracción, si se encuentra alta actividad de los finos MTC E 112.
7	Gravedad específica de los suelos MTC E 113.

Fuente: (MTC E 101, 2000).

Tanto en los perfiles como en los registros estratigráficos se deberán usar los símbolos que se muestran a continuación.

	Gravas bien mezcladas arena, grava con poco o nada de material fino, variación en tamaños granulares.		Materiales finos sin plasticidad o con plasticidad muy baja.
	Grava mal graduada, mezcla de arena-grava con poco nada de material fino.		Arenas arcillosas, mezclas de arena-arcillosas.
	Gravas limosas mezclas de grava arena limosa.		Limos orgánicos y arenas muy finas, polvo de roca, arenas finas limosas o arcillosas o limas arcillosas con ligera plasticidad.
	Gravas arcillosas, mezclas de grava-arena-arcilla grava con material fino cantidad apreciable de material fino.		Arcillas inorgánicas de plasticidad baja o mediana, arcillas grasas, arcillas arenosas, arenas limosas, arcillas magras.
	Arena bien graduada, arenas con grava, poco o nada de material fino. Arenas limpias poco o nada, amplia variación en tamaño granulares y cantidades de partículas en tamaño intermedios.		Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas, baja plasticidad.
	Arena mal graduada con grava poco o nada de material fino. Un tamaño predominante o una serie de tamaños con ausencia de partículas intermedias.		Limo inorgánicas suelos finos granosos o limosos, micáceos o diatomáceos, limos elásticos.

	Arcillas inorgánicas de elevada plasticidad, arcillas grasas.
	Arcillas orgánicas de mediana o elevada plasticidad, limas orgánicas.
	Turba, suelos considerablemente orgánicos.

Figura.10. Símbolos gráficos para suelos
Fuente: (MTC E 101, 2000).

2.2.7. Tipos de ensayos de laboratorio

Los ensayos de laboratorio para carreteras se realizan de acuerdo a las normas peruanas MTC-2000 y sus equivalentes internacionales: ASTM y AASHTO, y son de tres tipos (Rico, 2000):

a. Ensayos generales para clasificar los suelos:

Nos permiten determinar las principales características de los suelos, para poder clasificarlos e identificarlos adecuadamente. (MTC, 2001)

Tabla 9: Tipos de Ensayos de Laboratorio

Ensayo de Laboratorio	Norma		
	MTC	AASHTO	ASTM
Ensayos Generales			
Contenido de humedad del suelo	E108-2000	-	D2216
Peso específico	E113-2000	T100 -T84	D854
Análisis granulométrico	E107-2000	T88	D422
Límite Líquido de los suelos	E110-2000	T89	D4318
Límite Plástico e Índice de Plasticidad	E111-2000	T90	D4318
Ensayos Compactación			
Proctor Modificado	E115-2000	T181 ²	D1557
Ensayos Resistencia			
Carga – Penetración C.B.R.	E132-2000	T193	D1883
Desgaste por Abrasión	E207-2000	T96	C131

Fuente: (Rico, 2000).

b. Ensayos de control de calidad:

Se efectúan para asegurar una buena compactación, los resultados son de mucha utilidad para evaluar la resistencia del suelo especialmente en el momento de la construcción. (MTC, 2001)

c. Ensayos de compactación y resistencia:

Su finalidad es evaluar la capacidad de soporte del suelo, así como el desgaste. La compactación es el procedimiento de aplicar energía al suelo suelto para eliminar espacios vacíos, aumentando así su densidad y en consecuencia, su capacidad de soporte y estabilidad entre otras propiedades. (MTC, 2001)

² El ensayo T181 AASHTO: Moisture - density Relations of soils Using a 4.24.Kg. (10lb)

2.2.8. Contenido de humedad

El contenido de humedad de una masa de suelo, está formado por la suma de sus aguas libre, capilar e higroscópica. La importancia del contenido de agua que presenta un suelo representa junto con la cantidad de aire, una de las características más importantes para explicar el comportamiento de este (especialmente en aquellos de textura más fina), como por ejemplo cambios de volumen, cohesión, estabilidad mecánica.

Es la cantidad de agua que hay en una muestra de suelo, se determina como la relación que existe entre el Peso del Agua (W_w) y el peso de su fase sólida (W_s). Generalmente se expresa en porcentaje (Rico, 2000):

La determinación de la humedad natural permitirá comparar con la humedad óptima que se obtendrá en los ensayos Proctor para obtener el CBR del suelo. Si la humedad natural resulta igual o inferior a la humedad óptima, el especialista propondrá la compactación normal del suelo y el aporte de la cantidad conveniente de agua. Sí la humedad natural es superior a la humedad óptima y según la saturación del suelo, se propondrá, aumentar la energía de compactación, airear el suelo, o reemplazar el material saturado. (Crespo, 2007)

El contenido de humedad en una masa de suelo es la cantidad de agua presente en dicha masa en términos de su peso en seco.

Se calcula con la siguiente fórmula (Crespo, 2007):

$$W(\%) = \frac{W_h - W_s}{W_s} \times 100 = \frac{W_w}{W_s} \times 100$$

Donde

W (%) = Contenido de humedad del suelo, en %.

Wh = Peso del suelo húmedo.

Ws = Peso del suelo seco.

Máximo tamaño de partícula (pasa el 100%)	Tamaño de malla Estándar	Masa mínima recomendada de espécimen de ensayo húmedo para contenidos de humedad reportados a $\pm 0.1\%$	Masa mínima recomendada de espécimen de ensayo húmedo para contenidos de humedad reportados a $\pm 1\%$
2 mm o menos	2.00 mm (N° 10)	20 g	20 g*
4.75 mm	4.760 mm (N° 4)	100 g	20 g*
9.5 mm	9.525 mm (3/8")	500 g	50 g
19.0 mm	19.050 mm (3/4")	2.5 kg	250 g
37.5 mm	38.1 mm (1 1/2")	10 kg	1 kg
75.0 mm	76.200 mm (3")	50 kg	5 kg

Figura. 11. Contenidos de humedad ASTM
Fuente: (Rico, 2000).

2.2.9. Peso específico

El Peso específico, es el cociente de dividir el peso de las partículas entre el volumen de las mismas sin considerar los vacíos entre ellas. Se define como el peso que una muestra de suelo o agregado puede tener en determinado volumen, sin considerar el volumen de sus vacíos. (Pasquel, 1998)

Su mayor aplicación está en la conversión de pesos a volúmenes y viceversa.

a. Peso específico de arena gruesa y grava:

$$\gamma_s = \frac{W_s \cdot \gamma_a}{V_f - V_i}$$

Dónde:

γ_s = Peso específico del suelo.

W_s = Peso de la muestra seca.

V_i = Volumen inicial del agua en la probeta.

V_f = Volumen final del material más el agua en la probeta.

γ_a = Peso específico del agua

b. Peso Específico de Material Fino:

$$\gamma_s = \frac{W_s \cdot \gamma_a}{W_s + W_{fw} - W_{fws}}$$

Donde

γ_s = Peso específico del suelo

γ_a = Peso específico del agua

W_s = Peso de la muestra seca

W_{fw} = Peso de la fiola con agua hasta la marca de 500 ml.

W_{fws} = Peso de la fiola con material, el agua hasta la marca de 500 ml y sometida a la bomba de vacíos.

c. Peso Específico de suelo compuesto por partículas gruesas y finas:

$$\gamma_s \text{ prom} = \frac{1}{\frac{R_1}{100\gamma_1} + \frac{R_2}{100\gamma_2}}$$

$\gamma_s \text{ prom}$ = Promedio ponderado del p.e. del suelo compuesto de partículas mayores y menores que la malla N°4.

R_1 = Porcentaje de partículas de suelo retenidas, malla N°4.

R_2 = Porcentaje de partículas de suelo que pasan malla N°4.

γ_1 = P.e de partículas de suelo retenidas en malla N°4.

γ_2 = P.e. de partículas de suelo que pasan la malla N°4.

2.2.10. Análisis granulométrico

La granulometría de un suelo grueso sirve para discernir sobre la influencia que puede tener en la densidad del material compactado. El análisis granulométrico se refiere a la determinación de la cantidad en % de los diversos tamaños de las partículas que constituyen el suelo. Para el conocimiento de la composición granulométrica de un determinado suelo existen diferentes procedimientos para clasificar por tamaños las partículas gruesas el procedimiento más utilizado es el de tamizado. Sin embargo al aumentar la finura de los granos el tamaño se hace cada vez más difícil teniéndose entonces a recurrir a procedimientos por sedimentaciones conocidas la composición granulométrica del material se le representa gráficamente para formar la llamada curva granulométrica del mismo. (Crespo, 2007)

Tabla 10: Requerimientos granulométricos para base granular

Requerimientos granulométricos para base granular				
Tamiz	Porcentaje que pasa en peso			
	Gradación A (1)	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 µm. (N°40)	8-20	15-30	15-30	25-45
75 µm. (N°200)	2-8	5-15	5-15	8-15

Fuente: (Manual de Carreteras EG-2013).

El material de Base Granular debe cumplir con las sucesivas características físico-mecánicas y químicas que se indican en la siguiente Tabla 11:

Tabla 11: Valor Relativo de Soporte

Valor Relativo de Soporte, CBR (1)	Mín. 80%
Densidad Seca	100%

Fuente: Manual de Carreteras EG-2013 para Construcción (MTC)

El CBR, referido al 100% de la Máxima Densidad Seca y una Penetración de Carga de 0.1" (2.5 mm). El análisis granulométrico de un suelo determina la proporción de sus diferentes elementos clasificados en función de su tamaño. De acuerdo al tamaño de las partículas de suelo, se definen los siguientes términos (Crespo, 2007):

Tabla 12: Clasificación de Partículas del Suelo

75mm.	2 mm.	0.2	0.05	0.005		>0.05
		Gruesa	Fina			
	Grava	Arena		Limo	Arcilla	

Fuente:(Manual de carreteras EG 2013).

Los porcentajes se plotean para obtener de curvas de distribución granulométrica, donde se grafica el diámetro de las partículas en el eje de las abscisas y el porcentaje que pasa en el eje de las ordenadas. (Crespo, 2007)

Existen dos indicadores de importancia, el coeficiente de uniformidad (Cu) y el coeficiente de Curvatura (Cc). Para los cálculos de ambos se utiliza la variable Dx, definida como la luz del tamiz por el que pasa el X por ciento de muestra. (Crespo, 2007)

a. **Coefficiente de Uniformidad (C_u):**

El C_u mide la condición de la uniformidad o de distribución de tamaños, será de un valor bajo si la curva se extiende poco horizontalmente e inversamente si se extiende demasiado tendrá un valor grande y habrá una v buena distribución de tamaños.

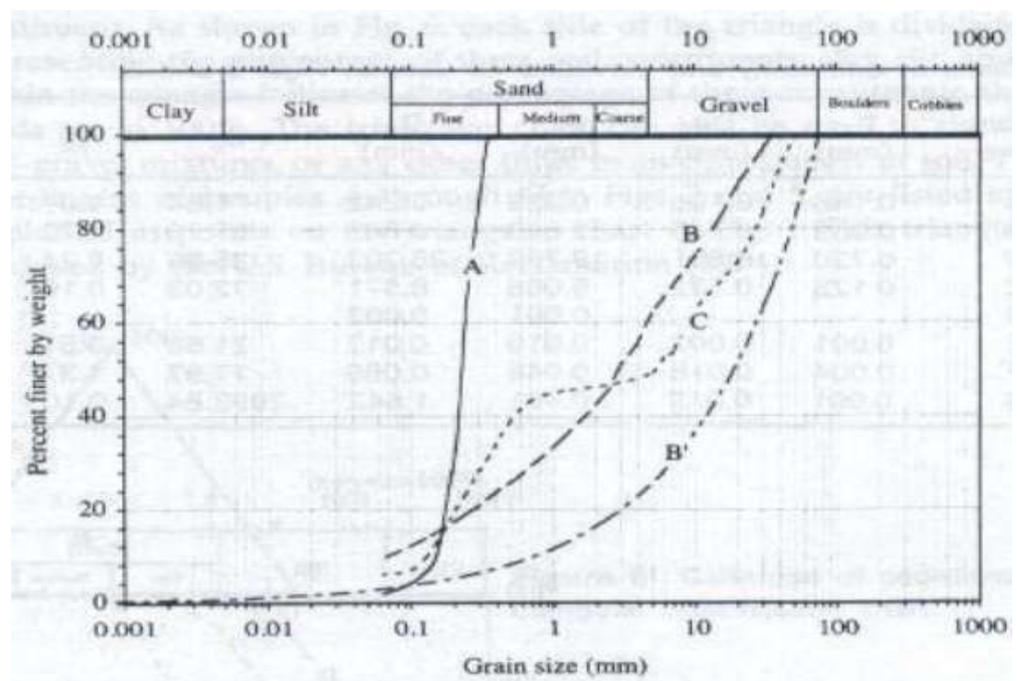


Figura. 12. Curvas de distribución tamaño de grano para arena y grava.
Fuente: (Rico, 2000).

En el C_u , su valor numérico decrece cuando la uniformidad de la muestra aumenta, y está relacionado con el origen del suelo, así se tiene:

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

Si:

$C_u < 3$ → Muy Uniforme, Arenas de Playa.

$3 < C_u < 15$ → Heterogéneo.

$15 < C_u$ → Muy Heterogéneo, suelos glaciares.

b. Coeficiente de Curvatura (C_c):

El Coeficiente de Curvatura (C_c), califica que sucede en cuanto a la distribución de tamaños intermedios. Se expresa con la siguiente fórmula (Rico, 2000):

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

Si:

$1 < C_c < 3$ → Bien Gradado

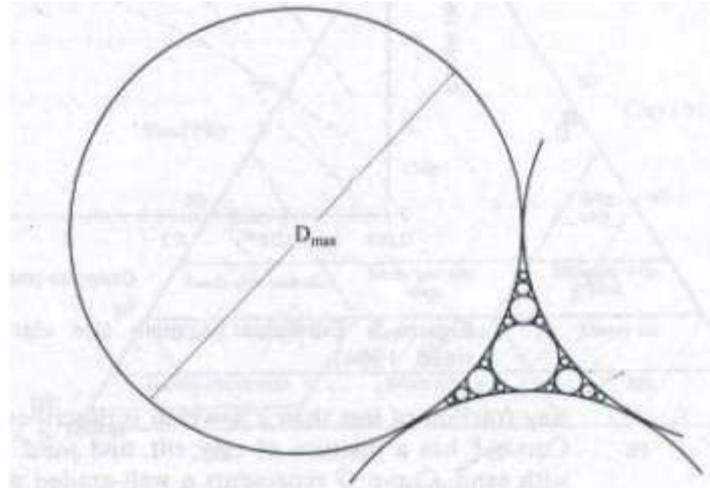


Figura. 13. Empaquetado idealizado completo
Fuente: (Rico, 2000).

2.2.11. Plasticidad

En la mecánica de suelos, la plasticidad se puede definir como la propiedad que tiene un material de soportar deformaciones rápidas, sin rebote elástico, sin variación volumétrica apreciable y sin desmoronarse o agrietarse. (Rico, 2000)

La plasticidad de las arcillas es una propiedad circunstancial, que depende directamente de la cantidad de agua presente en el suelo. El comportamiento plástico del suelo se da entre estos dos extremos. Atterberg determinó los siguientes estados de consistencia de un suelo acuerdo al contenido decreciente de agua. (Rico, 2000)

- **Estado Líquido:** Tiene las propiedades y apariencia de una suspensión.
- **Estado semilíquido:** Tiene las propiedades de un fluido viscoso.
- **Estado plástico:** el suelo se comporta plásticamente.
- **Estado semisólido:** Tiene apariencia sólida pero presenta disminuciones de temperatura durante el secado.
- **Estado sólido:** El volumen del suelo ya no varía durante el secado.

La plasticidad es la propiedad que presentan los suelos de poder deformarse hasta cierto límite, sin romperse. Por medio de ella se mide el comportamiento de los suelos en todas las épocas. (Crespo, 2007)

Límites de consistencia

Para conocer la plasticidad, se hace uso de los límites de consistencia o límites de Atterberg³ que son: el límite líquido (LL), el límite plástico (LP) y el límite de contracción (LC). (Crespo, 2007)

a. Límite Líquido (LL):

Límite líquido es el contenido de humedad expresado en porcentaje con respecto al peso seco de la muestra con el cual el suelo cambia del estado líquido al plástico, es decir, tendrían una resistencia pequeña al corte definida en 25g/cm² (Crespo, 2007)

Es el contenido de humedad del material en el límite superior de su estado plástico. El método operativo para obtener el límite líquido está basado en las normas ASTM-D-4318 Y AASHTO-T-89, haciendo uso del aparato manual llamado Copa de Casa Grande, se obtendrá la curva de fluidez, la que se consigue graficando a escala logarítmica el número de golpes en el eje de las abscisas y a escala natural los contenidos de humedad correspondiente a 25 golpes representa el límite líquido del suelo en estudio, cuya fórmula es:

$$L.L = \frac{P_h - P_s}{P_s} \times 100 = \frac{P_w}{P_s} \times 100$$

³ Límites de consistencia es el grado de cohesión de las partículas de un suelo y su resistencia a aquellas fuerzas exteriores que tienden a deformar o destruir su estructura.

b. Límite Plástico (LP):

Contenido de humedad expresado en porcentaje con respecto al peso seco de la muestra con el cual el suelo cohesivo cambia del estado semi sólido al plástico. (Crespo, 2007)

El modo operativo para obtener el límite plástico está basado en las normas ASTM-D4318 Y AASHTO-T-90, se determina en el instante en que los rollitos de aproximadamente 3mm sufren el agrietamiento y desmoronamiento al ser rodados sobre superficies de papel o de vidrio.

$$IP = LL - LP$$

El Reglamento Nacional de Construcciones recomienda lo siguiente:

IP < 20 corresponde generalmente a limos.

IP > 20 corresponde generalmente a arcillas.

Tabla 13: Características de suelos índices de plasticidad

IP	características	tipos	Cohesividad
0	No plástico	Arenosos	No cohesivo
< 7	Baja plasticidad	Limoso	Parcialmente cohesivo
7 - 17	Plasticidad med	Arcillo-limos	Cohesivo
>	Altamente plástic	Arcilla	Cohesivo

Fuente: (Gonzales, 2003).

c. Índice de Plasticidad (IP):

Es el valor numérico de la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico (Crespo, 2007).

$$IP = LL - LP$$

Un IP grande corresponde a un suelo muy arcilloso; por el contrario, un IP pequeño es característico de un suelo poco

arcilloso. Sobre todo esto se puede dar la siguiente clasificación (*Manual para el Diseño CNPBVT– MTC 2005*).

Tabla 14: Características de los Suelos según sus IP

índice de plasticidad	Característica
IP > 20 %	Suelos muy arcillosos
20 > IP > 10	Suelos arcillosos
10 > IP > 4	Suelos poco arcillosos
IP = 0	Suelos exentos de arcilla

Fuente: (MTC 2005).

Se debe tener en cuenta que, en un suelo el contenido de arcilla, es el elemento más peligroso para una carretera, debido sobre todo a su gran sensibilidad al agua. (MTC 2005)

2.2.12. Compactación

La compactación es el procedimiento de aplicar energía al suelo suelto para eliminar espacios vacíos, aumentando así su densidad y en consecuencia, su capacidad de soporte y estabilidad entre otras propiedades. La compactación es una densificación rápida, donde se realiza la disminución de los huecos del suelo ocupados por aire. En el proceso no se produce pérdida de humedad, y si ésta es tan alta que satura el material, el agua actúa como un muelle. (Kraemer, 2000)

La compactación incrementa las características de resistencia de los suelos, aumentando así la capacidad de carga de las cimentaciones construidas sobre ellos. Podemos decir que es la densificación del suelo por remoción de aire, que requiere energía mecánica. Los factores que afectan la compactación son: los efectos del tipo de suelo, el efecto del esfuerzo de compactación, y la humedad de compactación. (Braja, 2001)

Ventajas de la compactación:

- Aumenta la capacidad de soporte del suelo.
- Reduce los asentamientos del terreno.
- Reduce la permeabilidad del suelo, el escurrimiento y la penetración del agua. El agua fluye y el drenaje puede regularse.
- Reduce el esponjamiento y la contracción del suelo, ya que si hay vacíos, el agua penetra y habrá un esponjamiento en invierno y contracción en verano.
- Impide los daños de las heladas, puesto que el agua se expande y aumenta el volumen al congelarse, haciendo que pavimentos se hinchen, losas y estructuras se agrieten.

Para calcular la máxima densidad seca utilizamos la siguiente fórmula:

$$D_s = D_h / (1 + w \% / 100)$$

Donde

D_s = Máxima densidad seca

D_h = Densidad húmeda

W = Contenido de humedad en porcentaje

Los métodos de compactación en el laboratorio se determinan mediante:

- Método Compactación Proctor Estándar según la norma MTC 116-2000.
- Método de Compactación Proctor Modificado según norma MTC 115-2000.

Tabla 15: Especificaciones de las Pruebas Próctor

Especificaciones prueba Proctor Estándar ASTM 698			
Concepto	Método A	Método B	Método C
Diámetro del Molde	101.6 mm.	101.06 mm.	152.4 mm.
Volumen del Molde	943.3 cm ³	943.3 cm ³	2124 cm ³
Peso del Pistón	24.4 N	24.4 N	24.4 N
Nº de golpes del pisón por cada suelo	25	25	56
Nº de capas de compactación	3	3	3
Energía de compactación	591.3 kN-m/m ³	591.3 kN-m/m ³	591.3 kN-m/m ³
Especificaciones prueba Proctor Modificado ASTM 1557			
Concepto	Método A	Método B	Método C
Diámetro del Molde	101.6 mm.	101.06 mm.	152.4 mm.
Volumen del Molde	943.3 cm ³	943.3 cm ³	2124 cm ³
Peso del Pistón	24.4 N	24.4 N	24.4 N
Nº de golpes del pisón por cada suelo	25	25	56
Nº de capas de compactación	5	5	5
Energía de compactación	2696 kN-m/m ³	2696 kN-m/m ³	2696 kN-m/m ³
Suelos a usarse en ambos métodos			
Suelo por usarse	Porción que pasa la malla Nº 4 (4.57mm.) Se usa si el 20% o menos por peso de material es retenido en a malla Nº 4	Porción que pasa la malla 9.5 mm. Se usa si el suelo retenido en la malla Nº 4 es más del 20% y 20% o menos por peso es retenido en la malla 3/8 (9.5 mm.).	Porción que pasa la malla 19 mm. Se usa si más de 20% por peso de material es retenido en la malla 9.5 mm. Es más del 20% y menos de 30% por peso retenido en la malla 3/4 (19 mm.)

Fuente: (Braja, 2001).

Tabla 16: Características de Compactación de tipos de Suelos

Clasificación AASHTO	Densidad seca máxima (kg./dm ³)	Humedad Óptima (%)
A-1	1.85 – 2.25	7 - 15
A-2	1.75 – 2.15	9 – 18
A-3	1.75 – 1.85	9 – 15
A-4	1.50 – 2.10	10 – 20
A-5	1.35 – 1.60	20 – 35
A-6	1.50 – 1.90	10 – 30
A-7-5	1.35 – 1.60	20 – 35
A-7-6	1.45 – 1.85	15 - 30

Fuente: (Braja, 2001).

Tabla 17: Comparación de resultados de Ensayos Proctor Estándar y Modificado

Tipo de suelo	Densidad seca máxima (kg./dm ³)		Difer. (Kg./dm ³)	Humedad óptima (%)		Diferencia. (%)
	Estándar	Modificada		Estándar	Modificada	
Arcilla muy plástica	1.55	1.87	+ 0.32	28	18	- 10
Arcilla limosa	1.66	1.64	+ 0.28	21	12	- 9
Arcilla arenosa	1.84	2.05	+ 0.21	14	11	- 3
Arena	1.94	2.08	+ 0.14	11	9	- 2
Gravas y arenas bien gradadas	2.06	2.19	+ 0.13	9	8	- 1

Fuente: (Braja, 2001).

2.2.13. Ensayo de CBR (California Bearing Ratio)

El número CBR se define como el porcentaje del esfuerzo requerido para hacer penetrar un pistón en la muestra compactada, dividido con el esfuerzo para hacer penetrar el mismo pistón hasta la misma profundidad, en una muestra patrón de material triturado y compactado. En forma de ecuación se expresa de la siguiente manera. (MTC E 13, 2000)

Este ensayo nos permitirá diseñar la estructura del afirmado y/o pavimento.

$$CBR = \frac{\text{Carga Unitaria del Ensayo}}{\text{Carga Unitaria Patrón}} \times 100$$

Para el diseño de obras viales, el CBR que se utiliza es el valor que se obtiene para una penetración de 0.1" a 0.2", considerando el mayor valor obtenido. (MTC E 13, 2000)

Ensayos para determinar el CBR de un suelo

Se realizan los siguientes:

- i. Compactación para CBR (Densidad Seca y Húmeda óptima)
- ii. Determinación de las propiedades de expansión del material - hinchamiento
- iii. Determinación de la resistencia a la penetración.

Lo que se consigue con estos ensayos:

- Determinación de la densidad y humedad.
- Determinación de las propiedades expansivas del material.
- Determinación de la resistencia a la penetración.

Tabla 18: Clasificación Típica de C.B.R.

CBR	CLASIFICACIÓN	USOS	AASHTO
0-3	Muy pobre	Sub rasante	A5, A6, A7
3-7	Pobre a regular	Sub rasante	A4, A5, A6, A7
7-20	Regular	Sub-base	A2, A4, A6, A7
20-50	Bueno	Base, Sub - Base	A1b, A2-5, A3, A2-6
Mayor a 50	Excelente	Base	A1a, A2-4, A3

Fuente: (MTC E 13, 2000)

2.2.14. Ensayo de Desgaste Abrasión

En este ensayo se utiliza la Máquina de los Ángeles, y consiste en determinar el desgaste por Abrasión del agregado grueso (para muestreo de canteras), previa selección del material a emplear por medio de un juego de tamices apropiados. (MTC E 13, 2000)

La carga abrasiva consiste en esferas de acero o de fundición, de un diámetro entre 46.38 mm. (1 13/16") y 47.63 mm. (1 7/8"), y un peso comprendido entre 390 g y 445 g. La carga abrasiva dependerá de la granulometría de ensayo: A, B, C o D, según se indica en la siguiente tabla:

Tabla 19. Peso de la carga abrasiva

Ensayo de Granulometría (Graduación) ⁴	Número de esferas	Peso Total (gramos).
A	12	5000 ± 25
B	11	4584 ± 25
C	8	3330 ± 20
D	6	2500 ± 15

Fuente: MTC E207-2000.

La muestra consiste en agregado limpio por lavado y secado en horno a una temperatura constante comprendida entre 105 y 110 °C (221 a 230°F), separada por fracciones de cada tamaño y recombinadas con una de las granulometrías indicadas en la Tabla 19. La granulometría(s) elegida(s) serán representativas del agregado tal y como va a ser utilizado en la obra. La muestra antes de ensayada deberá ser pesada con aproximación de 1g. El porcentaje de desgaste del material se calculará según la fórmula (MTC E 13, 2000):

$$D(\%) = \frac{\text{Peso Inicial} - \text{Peso Final}}{\text{Peso Inicial}} \times 100$$

Tabla 20. Granulometría de muestra- Ensayo de Desgaste o Abrasión

Pasa tamiz		Retenido en tamiz		Pesos y granulometrías de la muestra para ensayo (g)			
mm.	(alt.)	mm.	(alt.)	A	B	C	D
37,5	(1 1/2")	-25,0	(1")	1250 ± 25			
25,0	(1")	-19,0	(3/4")	1250 ± 25			
19,0	(3/4")	-12,5	(1/2")	1250 ± 10	2500 ± 10		
12,5	(1/2")	-9,5	(3/8")	1250 ± 10	2500 ± 10		
9,5	(3/8")	-6,3	(1/4")			2500 ± 10	
6,3	(1 1/4")	-4,75	(Nº 4)			2500 ± 10	
4,75	(Nº 4)	-2,36	(Nº 8)				5000 ± 10
TOTALES				5000 ± 10	2500 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10

Fuente: (Rico, 2000).

⁴ La curva de Graduación "A" deberá emplearse en zonas cuya altitud sea igual o superior a 3000 msnm.

Método de abrasión

Este método establece el procedimiento a seguir, para determinar el desgaste por abrasión, del agregado menor a 11/2 (38mm), utilizando la máquina de los Ángeles. Los requerimientos bajo las pruebas para la resistencia y solidez varían para diferentes lugares y tipos de pavimentos.

Tabla 21. Evaluación en porcentajes de desgaste o Abrasión

Desgaste %	Tipo de ensayo	Utilidad
30	AASHTO – 96	Para todo uso
50	AASHTO – 96	Para Capa de Base
60	AASHTO – 96	Para Capa e Sub base
Mayor de 60	AASHTO – 96	No sirve el material

Fuente: Manual de carreteras, EG-2013.

Carga de desgaste

La carga de desgaste que debe llevar la máquina consistirá en bolas o esferas de acero de 17/8'' de diámetro y cuyo peso puede variar entre 390 y 455 gr. El número de bolas de acero que se usará depende de la gradación de la muestra de ensayo y será como sigue.

Tabla 22. Gradación de la muestra de ensayo

Gradación	N° de esferas	Peso de la carga (gr.)	% de Desgaste
A	12	5.000 ± 25	33.5
B	11	4.584 ± 25	
C	8	3.030 ± 20	
D	6	2.500 ± 15	

Fuente: (Rico, 2000).

2.2.15. Clasificación e identificación de suelos

La clasificación de los tipos de granos presentes en el suelo no aporta información sobre la "estructura" o "fábrica" del suelo. Los ingenieros geológicos también clasifican el suelo en función de su génesis o su historial de estratificación más difundida son: el AASHTO y el SUCS. (Crespo, 2007)

a. Sistema de Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)

Es un sistema de suelos usado en ingeniería y geología para describir la textura y el tamaño de las partículas de un suelo. Este sistema de clasificación puede ser aplicado a la mayoría de los materiales sin consolidar y se representa mediante un símbolo con dos letras. Cada letra es descrita debajo (con la excepción de Pt). Para clasificar el suelo hay que realizar previamente una granulometría del suelo mediante tamizado.

Se determina mediante el modo operativo cumpliendo la norma de ASTM D 2487. Así mismo la clasificación se detalla en la siguiente tabla (Ver Tabla 23)

Tabla 23. Letras utilizadas en la Clasificación ASTM (A)

Primera Letra	Palabra	Segunda Letra	Palabra
G	Grava << Gravel >>	W	Bien gradado <Well graded>
S	Arena <<Sand >>	P	Mal gradado <poorly graded>
M	Limo << Mo >>	M	Limoso < Mo en sueco >
C	Arcilla << Clay >>	C	Arcilloso < Clayey >
O	Orgánico < Organic >>	L	Baja plasticidad < low plasticity>
PT	Turba << Peat >>	H	Alta plasticidad < High plasticity>

Fuente: (Braja, 2001).

Si el suelo tiene entre un 5-12% de finos, pasantes del tamiz #200 se considera que ambas distribuciones de granos tienen un efecto significativo para las propiedades ingenieriles del material.

Si el suelo tiene más del 15% del peso retenido por el tamiz #4 ($R\#4 > 15\%$), hay una cantidad significativa de grava, y al sufijo "con grava" se le puede añadir el nombre del grupo, pero el símbolo del grupo no cambia. (Ver Anexo 3)

b. Sistema AASHTO (Asociación Americana de Funcionarios de Carreteras Estatales y del transporte)

Este sistema de clasificación se basa en los siguientes criterios: Tamaño del grano, Plasticidad, Presencia de cantos rodados o boleos en la muestra.

Para la evaluación de la calidad de un suelo como material para la subrasante de carreteras, hacemos uso del Índice de Grupo, que está dado por la ecuación:

$$IG = 0.2(a) + 0.005(ac) + 0.01(bd)$$

Donde

IG: Índice de Grupo: de uso corriente para clasificar suelos, está basado en gran parte en los límites de Atterberg.

a: F-35 (F=Fracción del porcentaje que pasa el tamiz 200).
Expresado por un número entero positivo entre 1 y 40.

b: F-15 (F=Fracción del porcentaje que pasa el tamiz 200).
Expresado por un número entero positivo entre 1 y 40.

c: LL-40(LL=Límite Líquido). Expresado por un número entero comprendido entre 0 y 20.

d: IP-10 (IP=índice plástico). Expresado por un número entero comprendido entre 0 y 20 o más.

Al IG siempre se lo reporta aproximándolo al número entero más cercano, a menos que su valor calculado sea negativo, en cuyo caso se reportará como cero. (Braja, 2001)

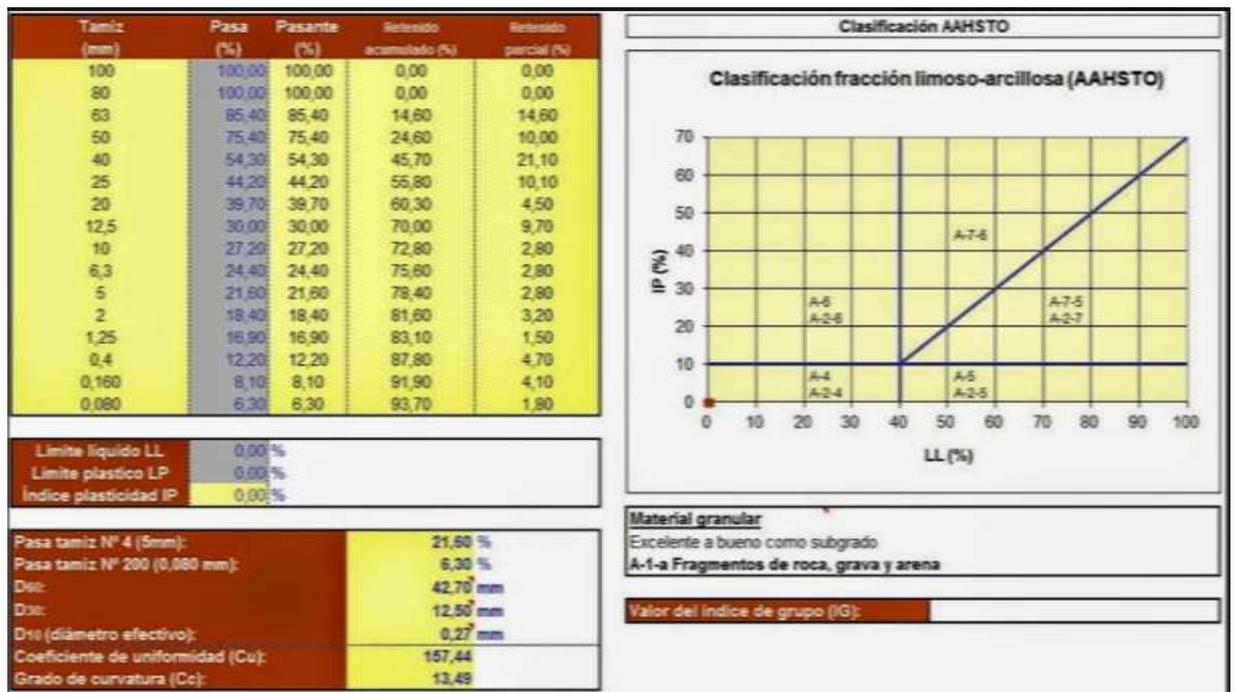


Figura 14: Sistema de clasificación de suelos AASHTO
Fuente: Manual de Ensayo de Materiales (ICG-2011).

2.2.16. Clasificación e identificación de suelos

A la luz de los conceptos detallados sobre granulometría y la forma de caracterizarla numéricamente para optimizar las gradaciones, se deduce que la manera de introducir modificaciones granulométricas en los agregados es mezclándolos. (Pasquel, 1998)

Existen muchos métodos matemáticos y gráficos para mezclar agregados, que en algunos casos permiten determinar la distribución granulométrica en peso y otros en volumen absoluto (que es la más adecuada), pero en este acápite desarrollaremos únicamente las expresiones matemáticas que permitan calcular la gradación resultante tanto en peso como en volumen absoluto, dependiendo del uso que le demos. (Pasquel, 1998)

Hay que partir de que en el laboratorio al hacer la prueba de tamizado, contamos con pesos retenidos en cada malla, que se

convierten en porcentajes retenidos en cada malla referidos al peso total, y que luego estos porcentajes se van acumulando para poder dibujar la curva granulométrica en escala semilogarítmica. Adicionalmente contamos con los pesos específicos de cada uno de los agregados que se desea mezclar. (Pasquel, 1998)

En estas condiciones, tenemos que la mezcla de agregados en peso en base a los porcentajes retenidos acumulativos en cada malla se deduce de la siguiente manera:

Sea:

P_n = Peso retenido acumulativo del agregado P en la malla n.

A_n = Peso retenido acumulativo del agregado A en la malla n.

P_t = Peso total del agregado P a mezclarse.

A_t = Peso total del agregado A a mezclarse.

K = Proporción de mezcla en peso

$$K = \frac{P_t}{A_t}$$

El porcentaje retenido acumulativo de la mezcla de P y A para la malla n viene dado por:

$$\% \text{Mezcla en peso } (P + A)_n = \frac{P_n + A_n}{P_t + A_t} \cdot 100$$

Si $P_t = K \cdot A_t$ y reemplazando se tiene:

$$\% \text{Mezcla en peso } (P + A)_n = \frac{P_n + A_n}{A_t \cdot K + A_t} \cdot 100 = \frac{P_n}{A_t \cdot (K + 1)} \cdot 100 + \frac{A_n}{A_t \cdot (K + 1)} \cdot 100$$

$$\% \text{Mezcla en peso } (P + A)_n = \frac{P_n}{A_t \cdot (K + 1)} \cdot 100 + \frac{A_n}{A_t \cdot (K + 1)} \cdot 100$$

Pero por otro lado:

$$\frac{P_n}{P_t} \cdot 100 = \%P_n = \% \text{ Retenido acum. de P en la malla n}$$

$$\frac{A_n}{A_t} \cdot 100 = \%A_n = \% \text{ Retenido acum. de A en la malla n}$$

De las formulas anteriores se concluye reemplazando que el porcentaje retenido acumulativo de la mezcla de los agregados P y A en peso para la malla n, en la proporción K viene dada por:

$$\% \text{Mezcla en peso } (P + A)_n = \frac{K\%P_n + \%A_n}{K+1}$$

Esta expresión se usa para calcular mezclas de agregados de peso específico similar ya que no se introduce mucho error en comparación con hacerlos en volumen absoluto, pero cuando varían mucho se deben utilizar las siguientes expresiones:

Tabla 24. Letras utilizadas en la Clasificación ASTM (B)

ea las siguientes expresiones:
P _n = Peso retenido acumulativo del agregado P en la malla n.
A _n = Peso retenido acumulativo del agregado A en la malla n.
%P _n = % retenido acumulativo del agregado P en la malla n en peso.
%A _n = % retenido acumulativo del agregado A en la malla n en peso.
VP _n = Volumen absoluto acumulativo del agregado P en la malla n.
VA _n = Volumen absoluto acumulativo del agregado A en la malla n.
%VP _n = % retenido acumulado del agregado P en la malla n en volumen absoluto.
%VA _n = % retenido acumulado del agregado A en la malla n en volumen absoluto.
P _t = Peso acumulativo total del agregado P.
A _t = Peso acumulativo total del agregado A
G _p = Gravedad Específica del agregado P.
G _A = Gravedad específica del agregado A.

Fuente: (Braja, 2001).

Tenemos que:

$$VP_n = \frac{P_n}{G_p} \quad \text{y} \quad VA_n = \frac{A_n}{G_A}$$

$$K = \frac{P_t}{A_t} = \text{Proporción de mezcla en peso.}$$

$$Z = \frac{P_t/G_p}{A_t/G_A} = K \frac{G_A}{G_p}$$

$$Z = K \frac{G_A}{G_p} = \text{Proporción de mezcla en volumen absoluto.}$$

Con estas consideraciones, tendremos que el % retenido acumulativo de la mezcla de P y A para la malla n en volumen absoluto será:

$$\% \text{ Mezcla } (P + A)_n \text{ en volumen absoluto} = \frac{P_n/G_p + A_n/G_A}{P_t/G_p + A_t/G_A} \cdot 100$$

Reemplazando y simplificando se obtiene:

$$\% \text{ Mezcla } (P + A)_n \text{ en volumen absoluto} = \frac{Z\%P_n + \%A_n}{Z+1}$$

Si los pesos específicos son iguales o muy similares, se tiene que $Z=K$ y la fórmula adquiere la misma expresión verificándose pues matemáticamente que en estos casos mezclar en peso o en volumen absoluto producen la misma distribución granulométrica. (Pasquel, 1998)

Cuando se mezclan 3 agregados hay que aplicar las fórmulas de 2 en 2 y el peso específico promedio luego de mezclar los dos primeros viene dado por:

$$G_{\text{PROMEDIO}} = G_{PA} = \frac{G_p G_A}{\%P G_p + \%A G_A}$$

Dónde:

% P = % en Peso en que interviene el agregado P en la mezcla.

% A = % en Peso en que interviene el agregado A en la mezcla.

En base a estas expresiones y al concepto de Módulo de Fineza, podemos deducir las siguientes expresiones:

$$MF_p = \text{Módulo de fineza del agregado P} = 0.01 \sum_3^{100} P_n$$

$$MF_A = \text{Módulo de fineza del agregado A} = 0.01 \sum_{3''}^{\#100} A_n$$

El módulo de fineza de la mezcla de P y A en volumen absoluto será:

$$MF_{(P+A)} = 0.01 \sum_{3''}^{\#100} \frac{Z\%P_n + \%A_n}{Z+1} = \frac{Z.MF_P + MF_A}{Z+1}$$

$$\text{Pero } Z = \frac{\%P_V}{\%A_V} = \frac{\% \text{ En Vol. Abs. en que interviene P}}{\% \text{ En Vol. Abs. en que interviene A}}$$

Reemplazando y despejando se tiene:

$$\frac{Z}{Z+1} = \%P_V \quad \text{y} \quad \frac{1}{Z+1} = \%A_V$$

Reemplazando tenemos finalmente:

$$MF_{(P+A)} \text{ en Volumen Absoluto} = \%P_V . MF_P + \%A_V . MF_A$$

La expresión se ha deducido para una mezcla en volumen absoluto, pero obviamente se deduce similarmente para una mezcla en peso donde se tiene:

$$MF_{(P+A)} \text{ en Peso} = \%P . MF_P + \%A . MF_A$$

Dónde:

% P = % en peso en que interviene P en la mezcla.

% A = % en peso en que interviene A en la mezcla.

Estas deducciones sirven para comprender el significado práctico de las expresiones finales que son las que se aplican en un caso real en obra. (Pasquel, 1998).

2.3. Definiciones términos básicos

Abrasión: Desgaste mecánico de agregados y rocas resultante de la fricción y/o impacto.

Abrasivo: Cualquier roca, mineral u otra sustancia que debido a su superior dureza, tenacidad, consistencia u otra propiedad, es apropiado para moler, afilar, cortar, frotar u otro uso similar.

Acanalador (Casagrande o ASTM): mango de calibre de 1 cm. para verificar altura de caída de la cuchara.

Acarreo: Transporte de materiales a diferentes distancias en el área de la obra.

Agregado Fino: Se denominará así a los materiales que pasan la malla N° 4, que podrán provenir de fuentes naturales, procesadas o combinación de ambos. Deberán cumplir las características, indicadas en la Tabla 20.

Agregado Grueso: Se denominará así a los materiales retenidos en la malla N° 4, que podrán provenir de fuentes naturales, procesadas o combinación de ambos.

Arcillas: Partículas finas con tamaño de grano menor a 2 μm (0,002 mm) provenientes de la alteración física y química de rocas y minerales.

Árido: Llamados también agregados se definen como materiales compuestos de partículas de origen pétreo, duras, de forma y tamaño estables, como la arena, la grava, arcillas y rocas de todas las dimensiones.

Bases granulares: Los materiales para la construcción de la base granular deberán ajustarse a las siguientes especificaciones de calidad (ETGC- MTC, EG 2013).

Camino: Vía terrestre para el tránsito de vehículos motorizados y no motorizados, peatones y animales, con excepción de las vías férreas.

Cantera: Una cantera es una explotación, a cielo abierto, en la que se obtienen rocas industriales, ornamentales o materiales áridos.

Capacidad portante: Calcula el esfuerzo máximo que ese suelo puede soportar bajo el efecto de una carga uniformemente distribuida en el mismo.

Carretera Afirmada: Carretera cuya superficie de rodadura está constituida por una o más capas de afirmado.

Equipo CBR: Consiste en 3 moldes cilíndricos con placa de basa y collar de extensión, 3 discos espaciadores, 3 placas de expansión, 3 sobrecargas cada una de 4.5 kg de peso y 3 trípodes). Capacidad de soporte de terreno, o resistencia del suelo.

Granulometría: La composición final de los materiales presentará una granulometría continua, bien gradada y según los requerimientos de una de las franjas granulométricas (ETGC- MTC, EG 2013).

Límite de contracción (LC). Humedad máxima de un suelo para la cual una reducción de la humedad no causa una variación del volumen del suelo, expresado en porcentaje.

Límite líquido (LL). Humedad de un suelo remoldeado, límite entre los estados líquido y plástico, expresado en porcentaje.

Límite plástico (LP). Humedad de un suelo remoldeado, límite entre los estados plástico y semi-sólido, expresado en porcentaje.

Máquina de los Ángeles: El equipo consta de un tambor montado en los extremos con ejes y rodamientos sobre una estructura metálica, la cual lo soporta para que este gire de acuerdo a lo programado con contador digital que activa y/o desactiva el motor para que el tambor de un determinado número de vueltas según se requiera en la realización del ensayo.

Prensa Hidráulica: Es la máquina que aplicará presión sobre las muestras drenadas del ensayo de CBR. Aplicará diversas cargas, las que serán graficadas versus la deformación que ocasionen en la muestra.

Suelos: Los suelos son un conjunto de partículas minerales, producto de la desintegración mecánica y/o química de rocas preexistentes.

Tajo: Las minas a cielo abierto, o minas a tajo abierto, son aquellas cuyo proceso extractivo se realiza en la superficie del terreno, y con maquinarias mineras de gran tamaño.

Valor Soporte: Es la relación que hay entre un esfuerzo en el terreno y un esfuerzo patrón ejercido por un pistón que penetra al suelo.

CAPÍTULO III: PRESENTACIÓN, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

3.1. Análisis de tablas y gráficos

El presente trabajo de investigación, se ejecutó en el distrito de Pulán, provincia de Santa Cruz Succhabamba, departamento de Cajamarca, lindante al Proyecto La Zanja, que está ubicado en el caserío La Zanja. Para la elaboración de la investigación se analizó la mezcla de dos tipos de canteras, que cumplan con ciertas características granulométricas ineludibles exigidos por el Ministerio de Transporte y Comunicaciones del Perú (MTC) y obtener un tercer material que tenga las características adecuadas y la proporción de mezcla de ambas canteras, desde el 11 de enero al 11 julio de 2016, para utilizarlo en la conformación de base en las vías de acarreo del proyecto minero La Zanja, de tal manera que se cumpla con las características granulométricas, de compactación y resistencia que garanticen un adecuado comportamiento y logren alcanzar la vida útil que se va a rediseñar en la referida vía, cumpliendo las normas peruanas MTC-2000 y sus equivalentes internacionales: MTC, ASTM y AASHTO.

Así mismo se realizó, el análisis comparativo de los materiales de las canteras de Montan Mayo y Chancay Baños, obteniendo los siguientes ensayos: Contenido de humedad natural (norma MTC E108 – 2000), peso específico (norma MTC E113 – 2000), plasticidad de los materiales (norma MTC E110 - E111-2000), análisis granulométrico (norma MTC E107-2000) y sus gráficas de granulometría, se aplicó también la metodología para la mezcla de materiales en peso y en volumen. Así mismo se clasificó materiales por Método SUCS, se realizó el ensayo de Compactación por Próctor Modificado MTC E115 – 2000, pruebas de CBR (MTC E132 – 2000) y finalmente se realizó el ensayo de Abrasión (MTC E207 – 2000).

a. Desarrollo del trabajo de investigación

Para la elaboración del presente trabajo de investigación, se utilizó materiales provenientes de las canteras de Montan Mayo y Chancay Baños, en el distrito de Pulán, provincia de Santa Cruz Succhabamba, departamento de Cajamarca, lindante al Proyecto La Zanja

El análisis de los ensayos, de la presente investigación se realizó en el *Laboratorio de Ensayo de Materiales “Mg. Carlos Alfredo Esparza Díaz”* de la Universidad Nacional de Cajamarca, Ed 1-A.

El trabajo se realizó de la siguiente manera:

- Extracción de los agregados de las dos canteras Montan Mayo y Chancay Baños.
- Se desarrolló los ensayos de las muestras de las respectivas canteras, como se detallan en la tabla de la muestra del presente trabajo de investigación, desde el 11 de enero al 11 de julio de 2016. (Ver Tabla 25)

Tabla 25. Muestra de estudio de análisis comparativo de materiales

N°	ENSAYOS	
PLASTICIDAD		
4	Plas 0	LL- MM
		LP-MM
		ÍNDICE DE PLASTICIDAD
		ÍNDICE DE LIQUIDEZ
4	Plas 1	LL- CB
		LP-CB
		ÍNDICE DE PLASTICIDAD
		ÍNDICE DE LIQUIDEZ
4	Plas 2	LL- MM 75% - CB 25%
		LP-MM 75% - CB 25%
		ÍNDICE DE PLASTICIDAD
		ÍNDICE DE LIQUIDEZ
4	Plas 3	LL- MM 50% - CB 50%
		LP-MM 50% - CB 50%
		ÍNDICE DE PLASTICIDAD
		ÍNDICE DE LIQUIDEZ
4	Plas 4	LL- MM 25% - CB 75%
		LP-25% - CB 75%
		ÍNDICE DE PLASTICIDAD
		ÍNDICE DE LIQUIDEZ
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO		
1	AG 0	AGL- MM
1	AG 1	AGL-CB

1	AG 2	AGL- MM 75% -CB 25%
1	AG 3	AGL- MM 50% -CB 50%
1	AG 4	AGL- MM 25% -CB 75%
ENSAYO DE COMPACTACIÓN POR PRÓCTOR		
2	PROC 0	METODO C (COMPACTACION) - MM METODO A (ABRASION) - MM
2	PROC 1	METODO C (COMPACTACION) - CB METODO A (ABRASION) - CB
2	PROC 2	METODO C (COMPACTACION) - MM 75% -CB 25% METODO A (ABRASION) - MM 75% -CB 25%
2	PROC 3	METODO C (COMPACTACION) - MM 50% -CB 50% METODO A (ABRASION) - MM 50% -CB 50%
2	PROC 4	METODO C (COMPACTACION) - MM 25% -CB 75% METODO A (ABRASION) - MM 25% -CB 75%
PRUEBAS DE CBR		
5	CBR 0	ENSAYO COMP CBR MM ENSAYO HINCHAMIENTO MM ENSAYO DE CARGA DE PENETRACION ESFUERZOS CBR Y DENSIDAD SECA
5	CBR 1	ENSAYO COMP CBR CB ENSAYO HINCHAMIENTO CB ENSAYO DE CARGA DE PENETRACION ESFUERZOS CBR Y DENSIDAD SECA
5	CBR 2	ENSAYO COMP CBR (MM 75% -CB 25%) ENSAYO HINCHAMIENTO CB (MM 75% -CB 25%) ENSAYO DE CARGA DE PENETRACION (MM 75% -CB 25%) ESFUERZOS CBR Y DENSIDAD SECA
5	CBR 3	ENSAYO COMP CBR (MM 50% -CB 50%) ENSAYO HINCHAMIENTO CB (MM 50% -CB 50%) ENSAYO DE CARGA DE PENETRACION (MM 50% -CB 50%) ESFUERZOS CBR Y DENSIDAD SECA
5	CBR 4	ENSAYO COMP CBR (MM 25% -CB 75%) ENSAYO HINCHAMIENTO CB (MM 25% -CB 75%) ENSAYO DE CARGA DE PENETRACION (MM 25% -CB 75%) ESFUERZOS CBR Y DENSIDAD SECA
60	TOTAL	

Fuente: Elaboración propia, 2016.

b. Cronograma del trabajo de investigación

En el presente trabajo profesional, se realizó las siguientes etapas como reconocimiento del entorno de las dos canteras Montan Mayo y Chancay Baños, recolección de muestras de las canteras, análisis en el laboratorio UNC, complementación de la información y procesamiento de datos, desde el 11 de enero al 11 de julio de 2016, como se exhibe en la tabla (Ver Tabla 26):

Tabla 26. Cronograma de trabajo de investigación

Etapa I. Reconocimiento del entorno de las canteras							
	L	M	M	J	V	S	D
enero	11	12	13	14	15	16	17
	18	19	20	21	22	23	24
	25	26	27	28	29	30	31
Etapa II. Recolección de muestras de canteras							
	L	M	M	J	V	S	D
febrero	1	2	3	4	5	6	7
	8	9	10	11	12	13	14
	15	16	17	18	19	20	21
	22	23	24	25	26	27	28
	29						
Etapa III. Análisis en el laboratorio UNC							
	L	M	M	J	V	S	D
marzo		1	2	3	4	5	6
	7	8	9	10	11	12	13
	14	15	16	17	18	19	20
	21	22	23	24	25	26	27
	28	29	30	31			
Etapa IV Complementación de la información							
	L	M	M	J	V	S	D
abril					1	2	3
	4	5	6	7	8	9	10
	11	12	13	14	15	16	17
	18	19	20	21	22	23	24
	25	26	27	28	29	30	
Etapa V. Procesamiento de datos							
	L	M	M	J	V	S	D
mayo							1
	3	4	5	6	7	8	9
	10	11	12	13	14	15	16
	20	21	22	23	24	25	26
	27	28	29	30	31		
Etapa VI. Procesamiento de datos							
	L	M	M	J	V	S	D
junio			1	2	3	4	5
	6	7	8	9	10	11	12
	13	14	15	16	17	18	19
	20	21	22	23	24	25	26
	27	28	29	30			
Etapa VII. Análisis e interpretación de datos							
	L	M	M	J	V	S	D
julio					1	2	3
	4	5	6	7	8	9	10
	11						

Fuente: Elaboración propia, 2016.

3.1.1. Ejecución de las etapas desarrolladas en laboratorio

Para el presente trabajo de investigación, se cumplió el cronograma de trabajo de investigación detallado en la Tabla 26.

Etapa I: Reconocimiento del entorno y selección de las zonas a muestrear en las canteras de Montan Mayo y Chancay Baños

Para reconocer el área de estudio de las canteras de Montan Mayo y Chancay Baños, se identificaron aspectos básicos como relieve, el clima, hidrografía, y actividades antrópicas, con esta información se salió a campo con un previo conocimiento. Teniendo en cuenta la finalidad de obtener la distribución por tamaño de las partículas presentes en una muestra de suelo de cantera, para su clasificación mediante sistemas como AASHTO o SUCS.

A partir de la observación y la información dada por el distrito de Pulán, se identificaron las canteras y se procedió a tomar muestras de las dos canteras.

Etapa II: Recolección de las muestras de canteras

a. Recolección de las muestras de canteras

Identificadas las muestras de las canteras, se seleccionó bajo los siguientes criterios: condiciones de sombra, condiciones ambientales, propiedades edáficas. El ensayo a realizar en el Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Universidad Nacional de Cajamarca, es importante, porque gran parte de los criterios de aceptación de suelos serán utilizados en bases o subbases de carreteras del proyecto minero La Zanja.

Etapa III: Análisis en el laboratorio UNC

Resultados de los análisis de laboratorio

Identificadas las muestras de las canteras, se las condujo al Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Universidad Nacional de Cajamarca, ubicado en la Av. Atahualpa Km 3, carretera a Baños del Inca de la ciudad de Cajamarca, previa autorización del Jefe de Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cajamarca, Dra. Ing. Rosa Haydee Llique Mondragón.

Las muestras alteradas extraídas del estrato de las canteras Montan Mayo y Chancay Baños, para el estudio de conformación de base en las vías de acarreo del proyecto minero La Zanja, se determinan con los diferentes ensayos realizados como se especifica en la Tabla 26 de muestra de estudio de análisis comparativo de materiales de la presente tesis profesional, desde el 11 de enero al 11 de julio de 2016.

Para realizar los respectivos ensayos mencionados se necesitaron los siguientes equipos de laboratorio:

Equipos, instrumentos utilizados en el laboratorio

Tabla 27. Instrumentos de laboratorio a utilizar en ensayos

Equipos, instrumentos utilizados en el laboratorio UNC	
N°	Equipos, instrumentos
01	Taras debidamente identificadas
01	Estufa con control de temperatura
01	Fiola de Vidrio
01	Balanza con aproximación de 0.1 gr
02	Bomba de vacíos
03	Copa de Casagrande
01	Ranurador de meta
01	Ranurador de plástico
02	Espátula
01	Juego de Tamices (1 ½", 1", ¾", ½", 3/8", ¼", N°4, N°10, N°20, N°30, N°40, N°60, N°100, N°200)
01	Papel filtro
01	Equipo Próctor Modificado ⁵
01	Recipiente de 6 kg de capacidad (tina grande)
01	Balanza con aproximación de 1 gr
01	Pisón Próctor Modificado
01	Probeta de 1000 ml
01	Comba, cincel, brocha, alicate, enrasador
01	Equipo CBR ⁶
02	Deflectómetros
02	Bandeja de mezclas
01	Prensa Hidráulica ⁷
01	Máquina de los Ángeles
01	Muestra alterada de cantera Montan Mayo
01	Muestra alterada de Cantera Chancay Baños

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos UNC, 2016.

En el proceso de investigación se ha logrado conseguir una curva aplicativa del índice de plasticidad con el contenido óptimo de humedad, utilizando el Método de la Curva de Mínimos Cuadrados y el coeficiente de correlación, para determinar las ecuaciones cuadráticas de cada gráfica. Realizando la evaluación de los siguientes ensayos: granulometría, límite líquido, límite plástico, compactación Próctor modificado, clasificación de suelos mediante el sistema AASHTO y SUCS. Se realizó de conformidad con la Norma MTC E 101 – 2000.

⁵ **Equipo Próctor Modificado:** Consiste en un molde cilíndrico, placa de base y anillo de extensión.

⁶ **Equipo CBR:** Consiste en 3 moldes cilíndricos con placa de basa y collar de extensión, 3 discos espaciadores, 3 placas de expansión, 3 sobrecargas cada una de 4.5 kg de peso y 3 trípodes).

⁷ **Prensa Hidráulica:** Máquina que se aplicará presión sobre muestras drenadas del ensayo de CBR que serán graficadas versus la deformación que ocasionen en la muestra; y así obtener finalmente la curva Esfuerzo-Deformación de la muestra.

Los resultados obtenidos fueron comparados con los estándares planteados en las Especificaciones Técnicas del MTC peruana, verificando de esta manera los materiales analizados si cumplían o no con la normativa para su uso como capa de Base, para lo cual se desarrolló los siguientes ensayos:

I. Ensayo contenido de humedad:

Como se explicó el contenido de humedad es la cantidad de agua que existe en una mezcla de suelo, se determina como la relación que existe entre el peso del agua (W_w), contenida en la muestra y el peso de su fase sólida (W_s).

Para la obtención de los resultados de contenido de humedad, se ejecutó en cumpliendo a la Norma MTC E 113-2000. Se clasificó a las muestras separadas por cantera alterada extraída del estrato en estudio, posteriormente se procedió a pesar la tara (W_t), se secó la muestra en la estufa durante 24 horas a una temperatura de 105°C , así como también se pesó la muestra seca en la tara ($W_s + t$), se determinó el peso del agua $\{W_w = (W_h + t) - (W_s + t)\}$, el peso de la muestra seca $\{W_s = (W_s + t) - W_t\}$, para finalmente encontrar el contenido de humedad $\{w\% = W_w/W_s * 100\}$.

Tabla 28. Ensayo Contenido de Humedad

Ensayo: Contenido de Humedad Montan Mayo		
W	Muestras de Montan Mayo	
	M1	M2
Wt (gr)	26.30	25.40
Wh+t (gr)	137.00	135.00
Ws+t (gr)	111.70	111.90
Wh (gr)	110.70	109.60
Ws (gr)	85.40	86.50
Ww (gr)	25.30	23.10
W (%)	29.63	26.71
Total	28.17	
Ensayo: Contenido de Humedad Chancay Baños		
W	Muestras de Chancay Baños	
	M1	M2
Wt (gr)	27.40	28.70
Wh+t (gr)	142.10	138.50
Ws+t (gr)	139.90	135.30
Wh (gr)	114.70	109.80
Ws (gr)	112.50	106.60
Ww (gr)	2.20	3.20
W (%)	1.96	3.00
Total	2.48	

Fuente: Laboratorio Mecánica de Suelos UNC, 2016.

En la Tabla 28 de ensayo de contenido de humedad de las dos canteras, se obtiene en la muestra de la cantera de Montan Mayo en los dos contenidos de humedades distintos considerados como M1 y M2, un porcentaje de peso promedio de 28.17%, sin embargo en la muestra de la cantera de Chancay Baños de los dos contenidos de humedades distintos considerados como M1 y M2, se obtiene un porcentaje de peso promedio de 2.48%. Luego de homogeneizado y dejado en reposo dentro de una bolsa plástica, hermética en cámara húmeda durante 24 horas, que previamente se dividió en dos recipientes con 100 gr de suelo húmedo cada uno y se llevó al horno microondas de 105 °C.

Ensayo de peso específico del material con partículas gruesas y finas

El peso específico es la relación entre el peso y el volumen de las partículas minerales de la muestra del suelo. El ensayo realizado según la base a la Norma MTC E 113-2000 se procedió al cálculo del peso específico bajo el siguiente procedimiento: se pesó la muestra seca W_s , se colocó agua en la probeta y se determinó el volumen que ocupa volumen de la fiola (V_f) y finalmente se determinó el peso específico obtenido de la siguiente fórmula:

$$\gamma_s = \frac{W_s \cdot \gamma_a}{V_f - V_i}$$

De la muestra de masa saturada superficialmente seca del agregado grueso y fino de las dos canteras de Montay Mayo y Chancay Baños respectivamente, con fecha 15 de enero de 2016. Para lo cual se pesó el material y se tamizó en la malla número 4⁸, como se especifica a continuación (Ver Tabla 29):

Peso específico de la cantera Montan Mayo

Tabla 29. P. e. partículas gruesas y finas MM

Para Partículas Finas	Cantera Montan Mayo		para partículas gruesa	Cantera Montan Mayo	
	M1	M2		M1	M2
Wms (gr)	49	63	Paire (gr)	41.2	52.9
Wfw (gr)	643	641	Psum (gr)	21.97	28.3
Wfws (gr)	673	681	ys (gr/cm ³)	2.14	2.15
ys (gr/cm ³)	2.58	2.74	Ysprom (gr/cm ³)	2.15	
Ysprom (gr/cm ³)	2.66				

Fuente: Laboratorio Mecánica de Suelos UNC, 2016.

⁸ La muestra de ensayo debe ser igual o mayor que 100 gr. y pasar completamente por el tamiz de 0,5 mm. (malla N°4 ASTM).

Tabla 30. Porcentaje de lo que queda MM

Tamiz número 4	Cantera Montan Mayo	
% que queda	384	50.73%
% que pasa	373	49.27%
Total	757	100

Fuente: Laboratorio Mecánica de Suelos UNC, 2016.

Para determinar el p.e de las muestras de suelo compuestas de partículas gruesas y finas, primero se encontró el porcentaje de partículas de suelo retenidas en la malla N° 4 (R1) y el porcentaje de partículas de suelo que pasa por la malla N° 4 (R2), así como también se encontraron el peso específico de partículas de suelo de las canteras Montan Mayo y Chancay Baños retenidas en la malla N° 4 (γ_1), y el peso específico de partículas de suelo que pasan a la malla N° 4 (γ_2), para encontrar finalmente el promedio ponderado del peso específico del suelo de partículas mayores y menores que la malla N° 4, como se muestran en las Figuras 29 y 30.

$$\gamma_{s\ prom} = \frac{1}{\frac{R1}{100(\gamma_1)} + \frac{R2}{100(\gamma_2)}}$$

$$\gamma_{s\ prom} = \frac{1}{\frac{57,68}{100(2,37)} + \frac{42,32}{100(2,62)}}$$

$\gamma_{s\ prom} =$	2.37	gr/cm ³
----------------------	------	--------------------

Peso específico de la cantera Chancay Baños

Tabla 31. P. e. partículas gruesas y finas CB

Para Partículas Finas	Cantera Chancay Baños		para partículas gruesa	Cantera Chancay Baños	
	M1	M2		M1	M2
Wms (gr)	107	112	Paire (gr)	58.9	63.1
Wfw (gr)	639	642	Psum (gr)	32.9	36.7
Wfws (gr)	709	710	ys (gr/cm ³)	2.27	2.39
ys (gr/cm ³)	2.89	2.55	Ys prom (gr/cm ³)	2.33	
Ys prom (gr/cm ³)	2.72				

Fuente: Laboratorio Mecánica de Suelos UNC, 2016.

Tabla 32. Porcentaje de lo que queda CB

Tamiz numero 4	Cantera Chancay Baños	
0 % que queda	311	58.24%
% que pasa	223	41.76%
Total	534	100

Fuente: Laboratorio Mecánica de Suelos UNC, 2016.

Luego, usaremos la siguiente fórmula:

$$\gamma_{s prom} = \frac{1}{\frac{R1}{100(\gamma1)} + \frac{R2}{100(\gamma2)}}$$

$$\gamma_{s prom} = \frac{1}{\frac{57,68}{100(2,37)} + \frac{42,32}{100(2,62)}}$$

$\gamma_{s prom} = 2.476 \text{ gr/cm}^3$

II. Ensayo de plasticidad

Para determinar la plasticidad de los suelos de las canteras de Montan Mayo y Chancay Baños, se señala que plasticidad, es la propiedad de los suelos cohesivos por la cual son capaces de soportar deformaciones rápidas, sin variación volumétrica apreciable y sin desmoronarse ni

agrietarse esta propiedad es circunstancial porque depende del contenido de humedad del suelo.

Para lo cual se encontrará el *Límite de Consistencia*; que es la frontera convencional entre los estados de consistencia de los suelos: líquido, semi líquido, plástico y semisólido y sólido de un suelo. A continuación se muestra los siguientes ensayos de las dos canteras en estudio:

Límite líquido cantera Montan Mayo (MM)

El Límite líquido, corresponde al límite arbitrario entre los estados de consistencia semilíquido y plástico de un suelo. Analizado en base a la Norma MTC E 110-2000. El suelo con contenido de humedad, menor a su límite líquido se comporta como material plástico.

Se procedió a calcular el límite líquido, desde el 15 de enero de 2016, para lo cual se pesó el material y se tamizó en la malla número 4, como se especifica a continuación (Ver Tabla 33):

Tabla 33. Ensayo límite líquido MM

W	LL1	LL2	LL3	LL4
$W_{t(gr)}$	26.8	26.5	39.2	27.4
$W_{mh+t(gr)}$	38.1	37.5	46.9	36.1
$W_{ms+t(gr)}$	35.6	34	43.7	31.9
$W_{w(gr)}$	2.5	3.5	3.2	4.2
$W_{ms(gr)}$	8.8	7.5	4.5	4.5
Nº Golpes	12	20	25	32
W%	28.41	46.67	71.11	93.33
LL	60			

Fuente: Laboratorio Mecánica de Suelos UNC, 2016.

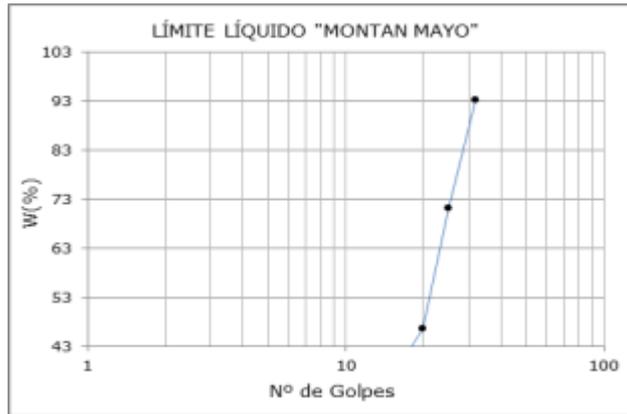


Figura. 15. Límite Líquido de MM
Fuente: Elaboración propia, 2016.

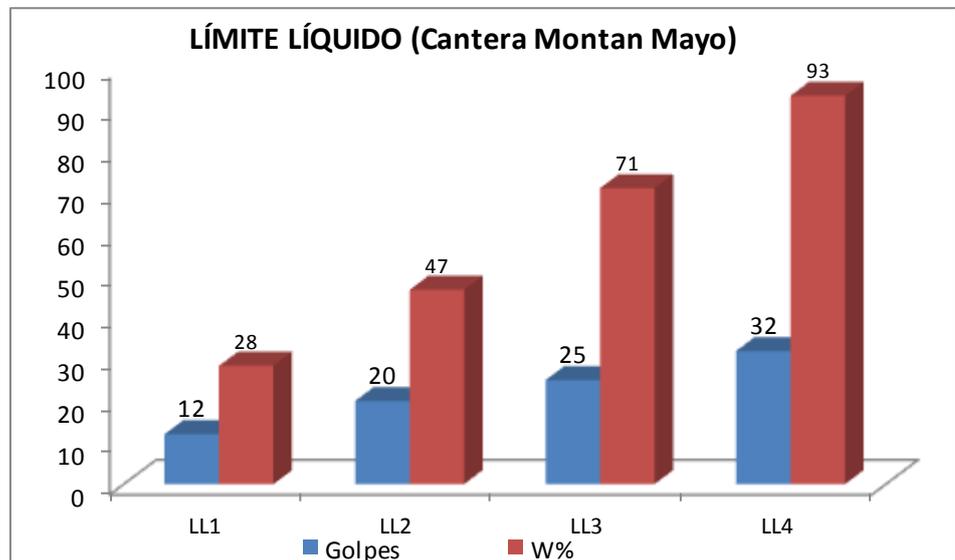


Figura. 16. Peso promedio, ensayo de Límite Líquido MM.
Fuente: Elaboración propia, 2016.

En la Figura 16, de Peso promedio de ensayo de Límite Líquido de la cantera de Montan Mayo, se aprecia que el peso promedio del contenido de humedad de 4 ensayos realizados de límite líquido, la cuarta muestra alcanza un peso de contenido de humedad de 93% en 32 golpes y el menor peso se encontró en la primera muestra de LL1 con 28% de peso de contenido de humedad

realizados en 12 golpes⁹, realizados en la muestra de la cantera de Montan Mayo.

Límite plástico cantera Montan Mayo

El Límite líquido o contenido de humedad, en base a la norma MTC E 111-2000, realizada el 22 de enero de 2016, corresponde al límite arbitrario entre los estados de consistencia plástico y semisólido y de un suelo. El suelo con contenido de humedad, menor a su límite plástico se comporta como material no plástico.

Tabla 34. Ensayo límite plástico MM

W	LP1	LP2
$W_{t(gr)}$	39.1	39.1
$W_{mh+t(gr)}$	45.7	43.8
$W_{ms+t(gr)}$	44.1	42.6
$W_{w(gr)}$	1.6	1.2
$W_{ms(gr)}$	5	3.5
W%	32.00	34.29
LP	33	

Fuente: Elaboración propia, 2016.

Índice de liquidez de la cantera Montan Mayo

CONSISTENCIA RELATIVA

$$C.R. = \frac{L.L. - w_n}{I.P.}$$

$$C.R. = 1.19$$

ÍNDICE DE LIQUIDEZ

$$I_L = \frac{w_n - L.P.}{I.P.}$$

$$I.L = -0.19$$

⁹ Golpe: Es una técnica de compactación de Proctor Modificado. Compactar cada muestra.

El Índice de liquidez de la cantera de Montan Mayo, se aprecia que el Índice de liquidez es - 0.19, que significa que según Crespo 2007, afirma que si el IL es moer de 0, el suelo es muy colapsable. (Crespo, 2007)

Límite líquido cantera Chancay Baños (CB)

Se procedió a calcular el límite líquido, de la cantera Chancay Baños, desde el 22 de enero de 2016, para lo cual se pesó el material y se tamizó en la malla número 4, como se especifica a continuación (Ver Tabla 35):

Tabla 35. Ensayo límite líquido CB

LL	LL1	LL2	LL3
$W_{t(gr)}$	29.8	40.2	44.3
$W_{mh+t(gr)}$	40.1	48.1	52.5
$W_{ms+t(gr)}$	38.5	46.9	51.3
$W_{w(gr)}$	1.6	1.2	1.2
$W_{ms(gr)}$	8.7	6.7	7
Nº Golpes	6	12	28
W%	18.4	17.9	17.1
LL	18		

Fuente: Laboratorio Mecánica de Suelos UNC, 2016.

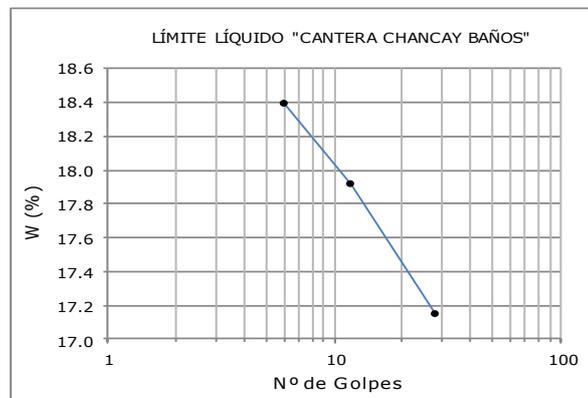


Figura. 17. Límite Líquido de CB

Fuente: Elaboración propia, 2016.

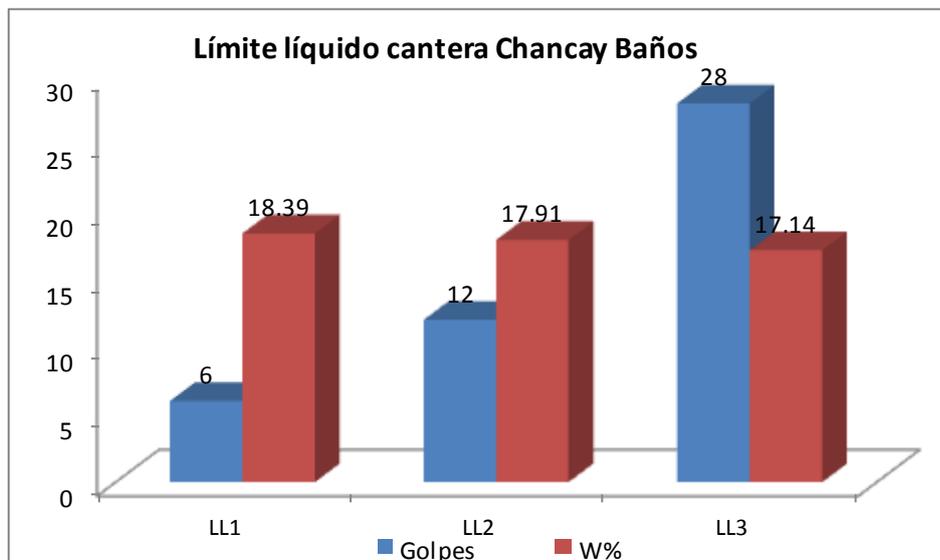


Figura. 18. Peso promedio, ensayo de Límite Líquido CB.
Fuente: Elaboración propia, 2016.

En la Figura 18, de Peso promedio de ensayo de Límite Líquido, el contenido de humedad de 3 ensayos realizados de límite líquido, el primer ensayo alcanza 18.39% de humedad en 6 golpes y un equivalente promedio en LL2 y LL3 de 17.53% en 12 y 28 golpes respectivamente.

Límite plástico cantera Chancay Baños

El Límite líquido, en base a la norma MTC E 111-2000, realizada el 22 de enero de 2016, se aprecia que el material es excesivamente arenoso con poca presencia de arcilla.

Tabla 36. Ensayo Límite Plástico CB

LP =	NO TIENE
IP =	N.P.

Fuente: Elaboración propia, 2016.

III. Ensayo granulométrico de las dos canteras

Malla	Malla (mm)	PRP (gr)	%RP	%RA	%PASA
1 1/2"	39.10		0.00	0.00	100.00
1"	25.22	16.20	4.34	4.34	95.66
3/4"	18.15	7.73	2.07	6.41	93.59
1/2"	12.95	38.78	10.40	16.81	83.19
3/8"	9.59	12.81	3.43	20.24	79.76
1/4"	5.74	45.11	12.09	32.34	67.66
Nº 4	4.46	10.27	2.75	35.09	64.91
Nº 10	2.17	45.91	12.31	47.40	52.60
Nº 20	0.99	33.10	8.87	56.27	43.73
Nº 30	0.63	10.40	2.79	59.06	40.94
Nº 40	0.41	8.70	2.33	61.39	38.61
Nº 60	0.27	19.19	5.14	66.54	33.46
Nº 100	0.16	12.30	3.30	69.84	30.16
Nº 200	0.07	8.30	2.23	72.06	27.94
Pérdida por lavado	0.00	104.20	27.94	100.0	0.00

Porcentaje de finos:	27.9 %
% retenido en malla Nº 200:	72.1 %
Peso de la fracción gruesa:	268.8 gr
Peso retenido en malla Nº 4:	130.9 gr
% fracción gruesa retenido en malla Nº 4:	48.7 %

* Como más de la mitad del material es retenido en la malla Nº 200, pertenece a Suelos de Partículas Gruesas.

* Como más del 50% de la fracción de material grueso es retenido en la malla Nº 4, entra en clasificación de Gravas.

LL = 60	Según la carta de plasticidad, ubicamos los límites LL e IP, que se intersectan debajo de la Línea A y con $LL > 28$ por lo que el suelo será clasificado como GMu.
IP = 27	

CLASIFICACIÓN SUCS:	GMu + 4.64 > 1"
DESCRIPCIÓN:	GRAVA LIMOSA, MEZCLA DE ARENA, GRAVA Y LIMO.
COLOR:	ROJIZO

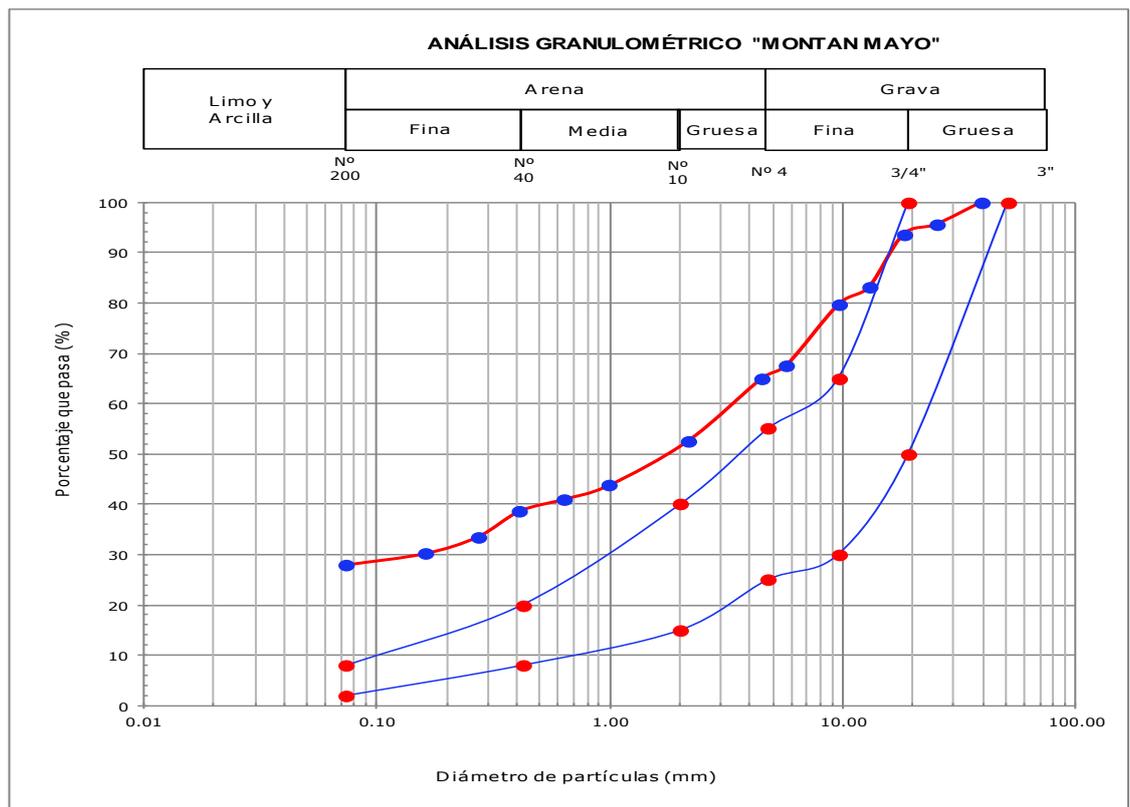
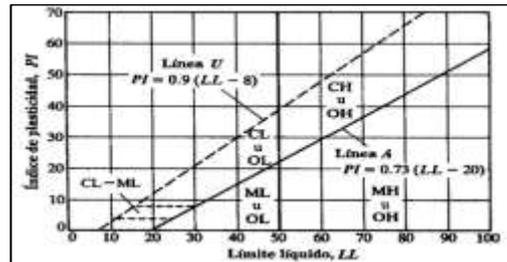


Figura 19. Ensayo granulométrico de cantera Montan Mayo
Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos UNC, 2016.

Malla	Malla (mm)	PRP (gr)	%RP	%RA	%PASA
3/4"	19.05		0.00	0.00	100.00
1/2"	12.70	79.20	11.38	11.38	88.62
3/8"	9.53	83.90	12.05	23.43	76.57
1/4"	6.35	160.69	23.09	46.52	53.48
Nº4	4.76	49.40	7.10	53.62	46.38
Nº10	2.00	161.50	23.20	76.82	23.18
Nº20	0.84	64.57	9.28	86.10	13.90
Nº30	0.59	19.19	2.76	88.86	11.14
Nº40	0.42	10.81	1.55	90.41	9.59
Nº60	0.25	16.17	2.32	92.73	7.27
Nº100	0.15	8.23	1.18	93.92	6.08
Nº200	0.07	8.61	1.24	95.15	4.85
Pérdida por lavado	0.00	33.70	4.84	100.0	0.00

Porcentaje de finos:	4.8 %
% retenido en malla Nº 200:	95.2 %
Peso de la fracción gruesa:	662.3 gr
Peso retenido en malla Nº 4:	373.2 gr
% fracción gruesa retenido en malla Nº 4:	56.4 %

* Como más de la mitad del material es retenido en la malla Nº200, pertenece a Suelos de Partículas Gruesas.

* Como más del 50% de la fracción de material grueso es retenido en la malla Nº 4, entra en clasificación de Gravas.

* LL = 18

* LP = NO TIENE

* IP = N.P.

De acuerdo a los valores para D10, D30 y D60, se obtienen valores de Cc y Cu:

El D_{60} = 7.00 mm Cu = 15.22
El D_{30} = 2.50 mm Cc = 1.941
El D_{10} = 0.46 mm

Como $Cu > 4$ y $1 < Cc < 3$, clasificaremos al material de la Cantera de Pinos como GW.

CLASIFICACIÓN SUCS:	GW + 11.39 > 1/2"
DESCRIPCIÓN:	GRAVA BIEN GRADADA. MEZCLA DE ARENA Y GRAVA CON POCOS FINOS
COLOR:	PLOMO

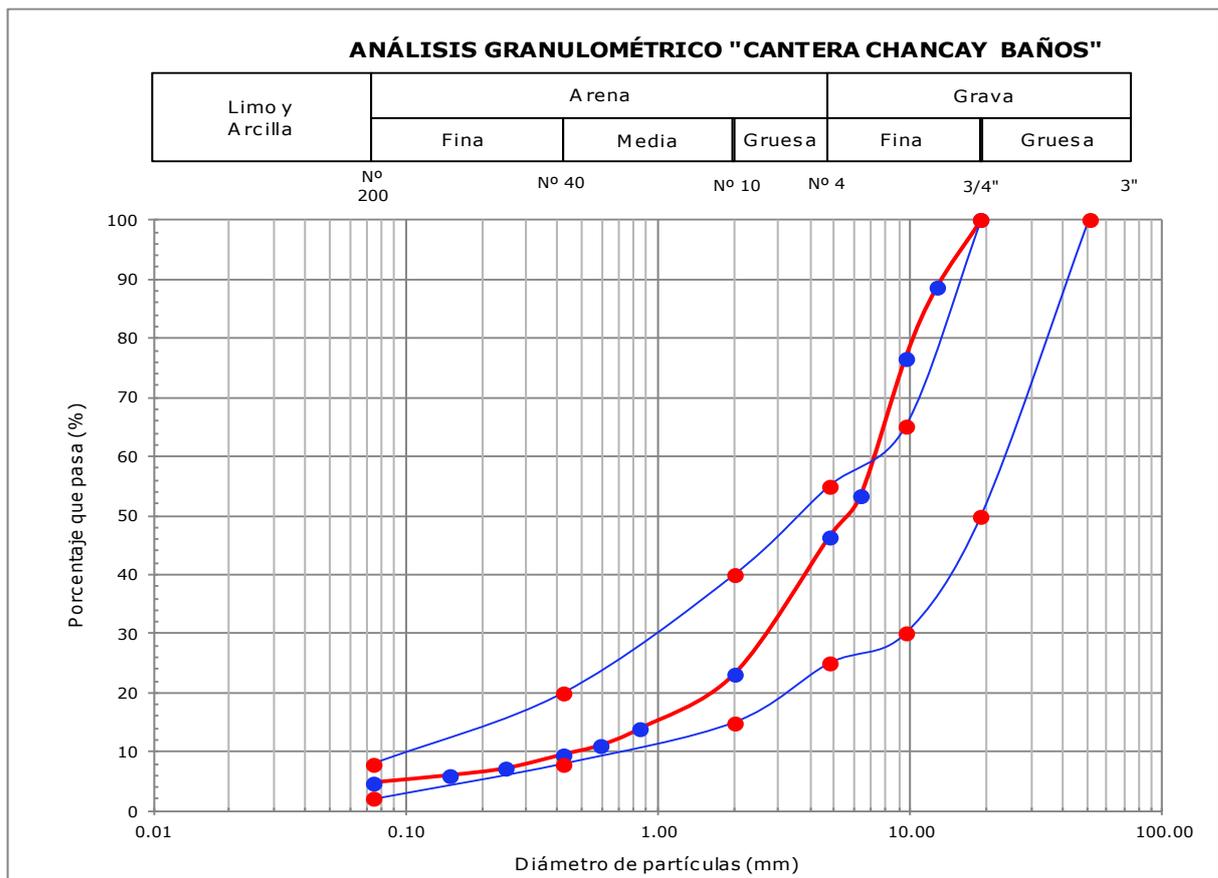


Figura 20. Ensayo granulométrico de cantera Chancay Baños
Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos UNC, 2016.

IV. Ensayo Compactación de Proctor Modificado

Ensayo Compactación de Proctor Modificado cantera Montan Mayo (MM) Norma MTC E 115- 2000 - Método "C"

Tabla 37. Ensayo Compactación Proctor Modificado (MM) Método "C"

Molde Nº	A		B		C		D	
Nº Capas	5		5		5		5	
Nº golpes por capa	56		56		56		56	
Peso molde (gr)	6295		6295		6295		6295	
Wmh + molde (gr)	9455		9685		10005		10195	
Wmh (gr)	3160		3390		3710		3900	
Vmh (cm ³)	2086.8		2086.8		2086.8		2086.8	
Dh (gr/cm ³)	1.51		1.62		1.78		1.87	
Recipiente Nº	a	b	c	d	e	f	g	h
Pt (gr)	25.9	27.1	27.3	27	26.8	27.2	27.6	26.7
Wmh + t (gr)	111.8	93.1	117.9	118.2	145.2	140.2	105.4	94.5
Wms + t (gr)	105.8	87.4	105.1	107.4	120.7	117	85.5	78
Ww (gr)	6	5.7	12.8	10.8	24.5	23.2	19.9	16.5
Wms (gr)	79.9	60.3	77.8	80.4	93.9	89.8	57.9	51.3
W (%)	7.509	9.453	16.45	13.43	26.09	25.84	34.37	32.16
Wprom (%)	8.48		14.94		25.96		33.27	
Ds (gr/cm ³)	1.40		1.41		1.41		1.40	

Wopt = 23 %
Ds Máx = 1.416 gr/cm ³

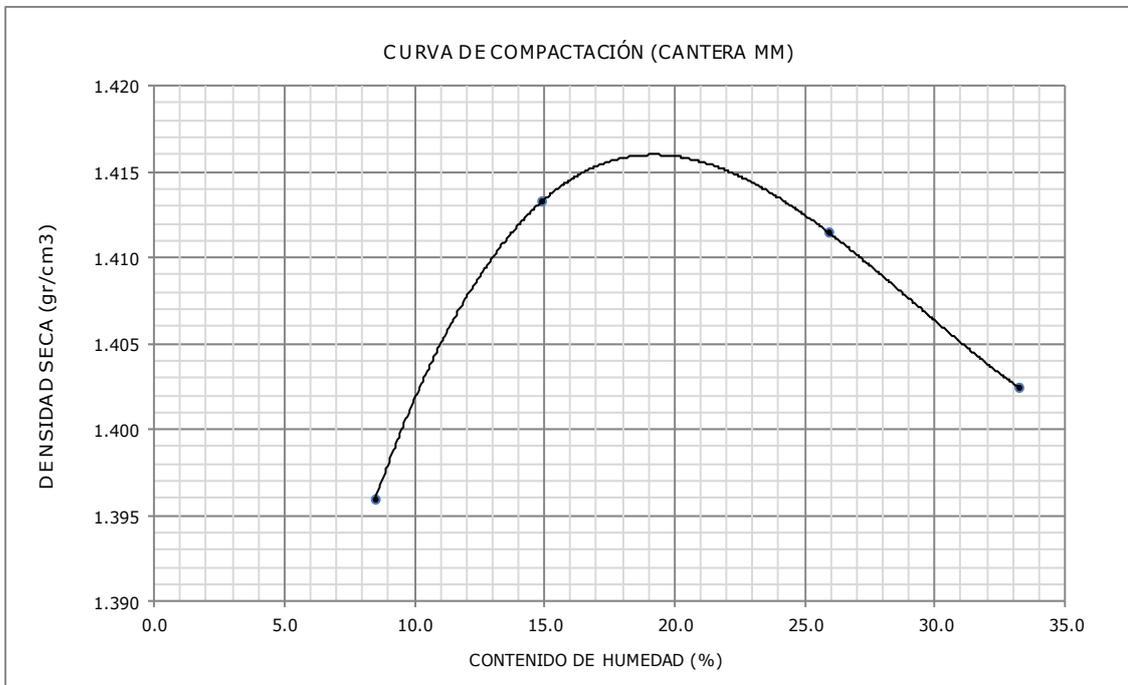


Figura 21. Ensayo Compactación Proctor Modificado cantera Montan Mayo (MM)
Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos UNC, 2016.

**Ensayo Compactación de Proctor Modificado
cantera Montan Mayo (MM) Norma MTC E 207-
2000 - Método A**

Tabla 38. Ensayo Compactación Proctor Modificado (MM) Método "A"

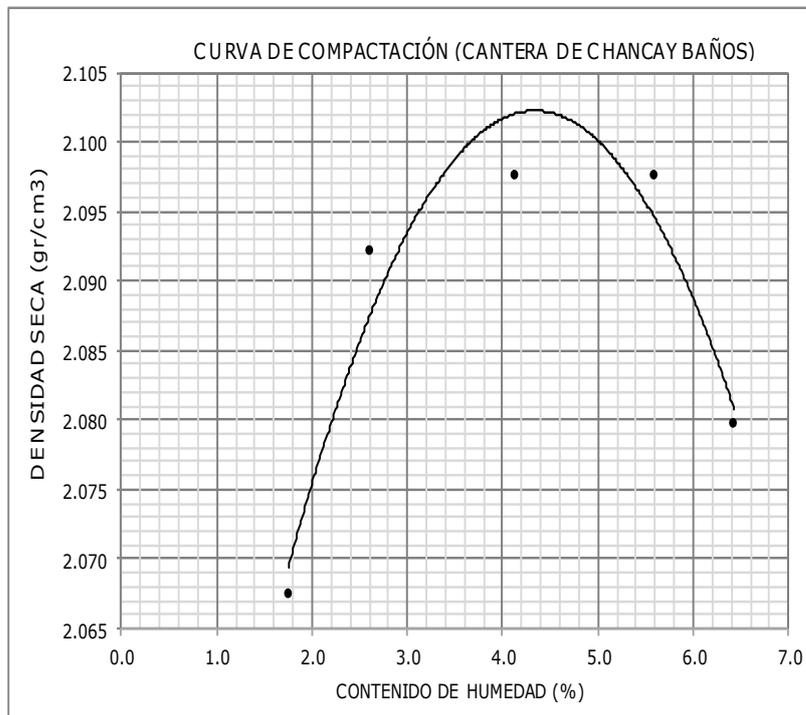
Prueba	1	OBSERVACIONES:						
Gradación usada	A	MUESTREADO CERCA A LA VÍA EL ALISO - MONTAN MAYO						
Nº de esferas	12							
Nº de revoluciones	500							
Peso muestra seca antes de ensayo (g)	5001.4							
Peso muestra seca después de ensayo (g)	2034.5							
Pérdida (g)	2966.9							
% de desgaste	59.3							
DATOS SOBRE GRADACIÓN, CARGA ABRASIVA Y REVOLUCIONES								
TAMAÑO DEL TAMIZ		PESOS Y GRADACIÓN DE LA MUESTRA						
PASA	RETENIDO	A	B	C	D	E	F	G
3"	2 1/2"							
2 1/2"	2"							
2"	1 1/2"							
1 1/2"	1"	1250.8						
1"	3/4"	1249.0						
3/4"	1/2"	1251.3						
1/2"	3/8"	1250.3						
3/8"	1/4"							
1/4"	Nº 4							
Nº 4	Nº 8							
Nº de esferas		12	11	8	6	12	12	12
Nº de revoluciones		500	500	500	500	1000	1000	1000

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos UNC, 2016.

Ensayo Compactación de Proctor Modificado cantera Chancay Baños (CB) Norma MTC E 115 - 2000 - Método "C"

Tabla 39. Ensayo Compactación Proctor Modificado (CB) Método "C"

Molde Nº	A		B		C		D		E	
Nº Capas	5		5		5		5		5	
Nº golpes por capa	56		56		56		56		56	
Peso molde (gr)	6295		6295		6295		6295		6295	
Wmh + molde (gr)	10685		10775		10853		10917		10914	
Wmh (gr)	4390		4480		4558		4622		4619	
Vmh (cm ³)	2086.8		2086.8		2086.8		2086.8		2086.8	
Dh (gr/cm ³)	2.10		2.15		2.18		2.21		2.21	
Recipiente Nº	a	b	c	d	e	f	g	h	g	h
Pt (gr)	26.8	24.5	26.9	27.1	27.8	27.7	27.7	27.1	47.4	39.2
Wmh + t (gr)	232.1	265.1	242.5	258.8	243.0	267.9	268.1	247.0	240.9	271.5
Wms + t (gr)	228.7	260.8	236.8	253.1	234.0	258.9	255.4	235.3	229.5	257.1
Ww (gr)	3.4	4.3	5.7	5.7	9.0	9.0	12.7	11.7	11.4	14.4
Wms (gr)	201.9	236.3	209.9	226.0	206.2	231.2	227.7	208.2	182.1	217.9
W (%)	1.68	1.82	2.72	2.52	4.36	3.89	5.58	5.62	6.26	6.61
Wprom (%)	1.75		2.62		4.13		5.60		6.43	
Ds (gr/cm ³)	2.068		2.092		2.098		2.097		2.080	



Wopt = 4.15 %
Ds Máx = 2.1 gr/cm ³

Figura 22. Ensayo Compactación Proctor Modificado cantera Chancay Baños (CB)
Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos UNC, 2016.

Tabla 40. Ensayo Compactación Proctor Modificado (CB). Método "A"

Prueba	1	OBSERVACIONES:						
Gradación usada	A	MUESTREADO CERCA A LA VÍA EL ALISO - MONTAN MAYO						
Nº de esferas	12							
Nº de revoluciones	500							
Peso muestra seca antes de ensayo (g)	5004.4							
Peso muestra seca después de ensayo (g)	3415.7							
Pérdida (g)	1588.7							
% de desgaste	31.7							
DATOS SOBRE GRADACIÓN, CARGA ABRASIVA Y REVOLUCIONES								
TAMAÑO DEL TAMIZ		PESOS Y GRADACIÓN DE LA MUESTRA						
PASA	RETENIDO	A	B	C	D	E	F	G
3"	2 1/2"							
2 1/2"	2"							
2"	1 1/2"							
1 1/2"	1"	1250						
1"	3/4"	1253.2						
3/4"	1/2"	1251.2						
1/2"	3/8"	1250						
3/8"	1/4"							
1/4"	Nº 4							
Nº 4	Nº 8							
Nº de esferas		12	11	8	6	12	12	12
Nº de revoluciones		500	500	500	500	1000	1000	1000

Fuente: Norma MTC E 207-2000, 2016.

V. Ensayo California Bearing Ratio

Ensayo California Bearing Ratio cantera Montan Mayo (MM) Norma MTC E 132-2000.
De fecha 12/02/2016.

Tabla 41. Ensayo: Compactación CBR (MM)

Molde Nº	1		2		3				
Nº Capas	5		5		5				
Nº Golpes por capa	13		27		56				
CONDICIÓN DE MUESTRA	ANTES DE EMPAPAR	DESPUÉS	ANTES DE EMPAPAR	DESPUÉS	ANTES DE EMPAPAR	DESPUÉS			
Peso molde (gr)	7960	7960	7635	7635	7775	7775			
Wmh + molde (gr)	11245	11645	11160	11460	11460	11695			
Wmh (gr)	3285	3685	3525	3825	3685	3920			
Vmh (cm ³)	2114.3	2114	2114.3	2114	2114.3	2114			
Densidad húmeda (gr/cm ³)	1.55	1.743	1.67	1.809	1.74	1.854			
CONTENIDO DE HUMEDAD									
Ensayo Nº	1-A	1-B	1-C	2-A	2-B	2-C	3-A	3-B	3-C
Wt (gr)	26	27.6	26.1	27.6	27.7	27.7	27.3	26.4	26.4
Wmh + t (gr)	127.1	158.1	141.7	140.5	139.9	173.3	131.5	151.6	181.9
Wms + t (gr)	106.2	131.3	112.5	118.4	116.9	139.1	114.5	131.2	146
Ww (gr)	20.9	26.8	29.2	22.1	23	34.2	17	20.4	35.9
Wms (gr)	80.2	103.7	86.4	90.8	89.2	111.4	87.2	104.8	119.6
w (%)	26.06	25.84	33.8	24.34	25.78	30.7	19.5	19.47	30.02
w prom (%)	25.95		33.80	25.06		30.70	19.48		30.02
Densidad seca (gr/cm ³)	1.23		1.30	1.33		1.38	1.46		1.43

Fuente: Elaboración propia, 2016.

Tabla 42. Ensayo: Hinchamiento (MM)

TIEMPO		MOLDE Nº 1			MOLDE Nº 2			MOLDE Nº 3		
ACUMULADO		LECTURA	HINCHAMIENTO		LECTURA	HINCHAMIENTO		LECTURA	HINCHAMIENTO	
(HORAS)	(DÍAS)	DEFORM.	(mm)	(%)	DEFORM.	(mm)	(%)	DEFORM.	(mm)	(%)
0	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
24	1	0.080	0.080	0.148	0.100	0.100	0.185	0.140	0.140	0.259
48	2	0.120	0.120	0.222	0.160	0.160	0.296	0.215	0.215	0.398
72	3	0.120	0.120	0.222	0.160	0.160	0.296	0.220	0.220	0.407
96	4	0.120	0.120	0.222	0.160	0.160	0.296	0.220	0.220	0.407

Fuente: Elaboración propia, 2016.

Tabla 43. Ensayo Carga de penetración MM

PENETRACIÓN		MOLDE Nº 1			MOLDE Nº 2			MOLDE Nº 3		
		CARGA	ESFUERZO		CARGA	ESFUERZO		CARGA	ESFUERZO	
(mm)	(pulg)	(kg)	(kg/cm ²)	(lb/pulg ²)	(kg)	(kg/cm ²)	(lb/pulg ²)	(kg)	(kg/cm ²)	(lb/pulg ²)
0.00	0.000	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00
0.64	0.025	45.00	2.292	32.60	120.00	6.112	86.93	345.00	17.57	249.91
1.27	0.050	60.00	3.056	43.46	250.00	12.73	181.10	495.00	25.21	358.57
1.91	0.075	90.00	4.584	65.19	345.00	17.57	249.91	555.00	28.27	402.03
2.54	0.100	135.00	6.875	97.79	450.00	22.92	325.97	830.00	42.27	601.24
3.18	0.125	165.00	8.403	119.52	460.00	23.43	333.22	1115.00	56.79	807.69
3.81	0.150	220.00	11.2	159.36	660.00	33.61	478.09	1340.00	68.25	970.67
4.45	0.175	230.00	11.71	166.61	710.00	36.16	514.31	1450.00	73.85	1050.35
5.08	0.200	250.00	12.73	181.10	860.00	43.8	622.97	1795.00	91.42	1300.26
6.35	0.250	280.00	14.26	202.83	1020.00	51.95	738.87	1935.00	98.55	1401.68
7.62	0.300	300.00	15.28	217.31	1175.00	59.84	851.15	2500.00	127.3	1810.95
8.89	0.350	325.00	16.55	235.42	1300.00	66.21	941.70	2815.00	143.4	2039.13
10.16	0.400	360.00	18.33	260.78	1420.00	72.32	1028.62	2970.00	151.3	2151.41
11.43	0.450	380.00	19.35	275.26	1500.00	76.39	1086.57	3105.00	158.1	2249.20
12.70	0.500	400.00	20.37	289.75	1615.00	82.25	1169.88	3205.00	163.2	2321.64

Fuente: Elaboración propia, 2016.

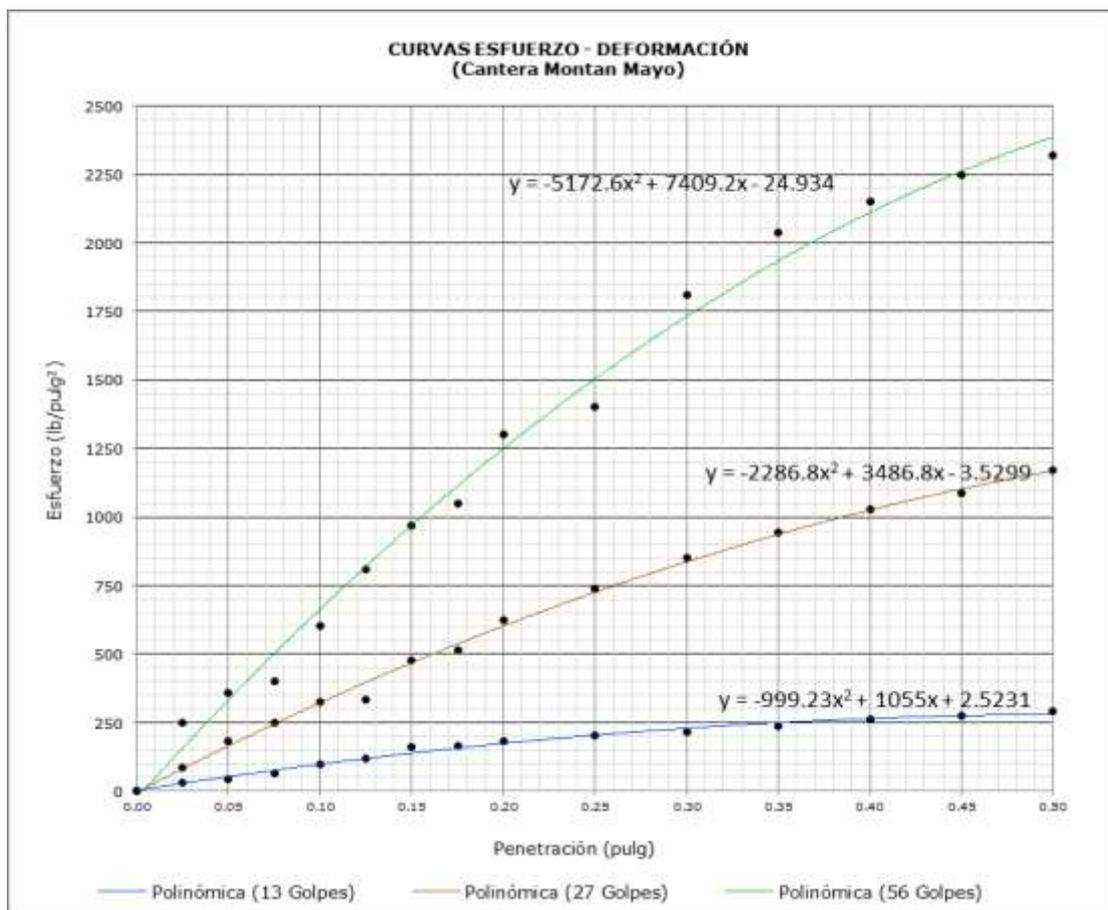


Figura 23. Curvas esfuerzo – Deformación cantera MM
Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos UNC, 2016.

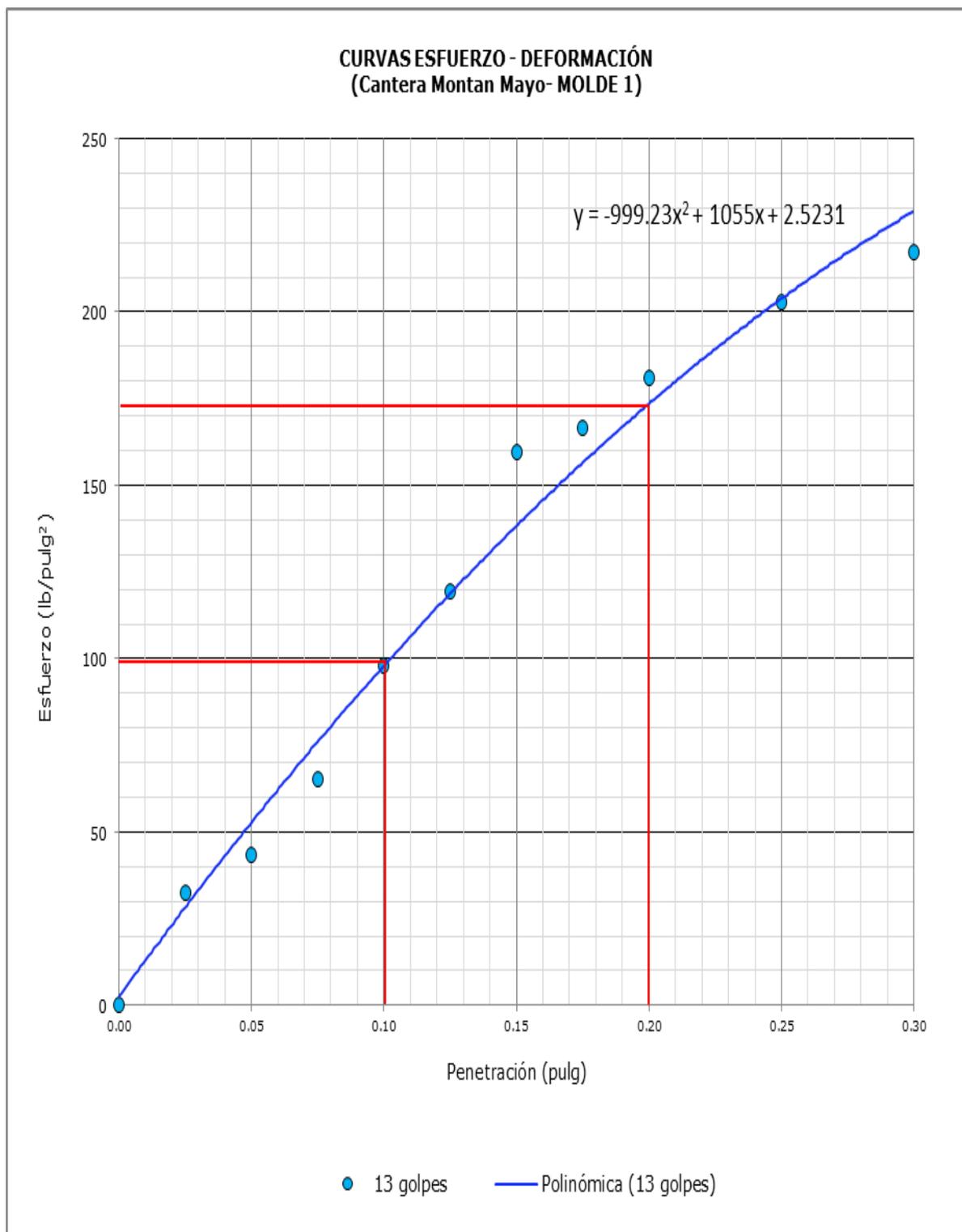


Figura 24. Curvas esfuerzo – Deformación cantera MM. Molde 1.

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos UNC, 2016.

CURVAS ESFUERZO - DEFORMACIÓN
(Cantera Montan Mayo- MOLDE 2)

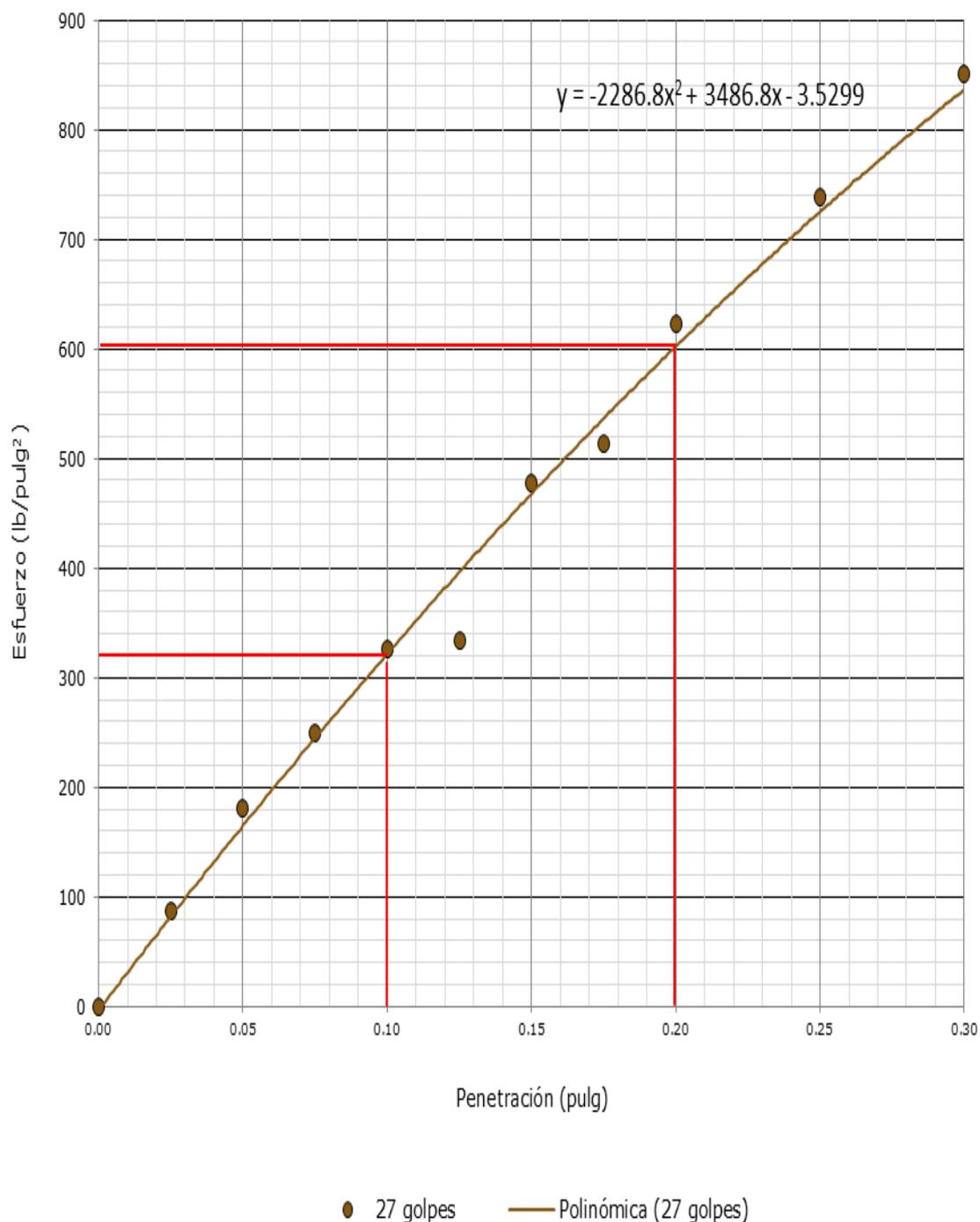


Figura 25. Curvas esfuerzo – Deformación cantera MM. Molde 2.
Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos UNC, 2016.

**CURVAS ESFUERZO - DEFORMACIÓN
(Cantera Montan Mayo- MOLDE 3)**

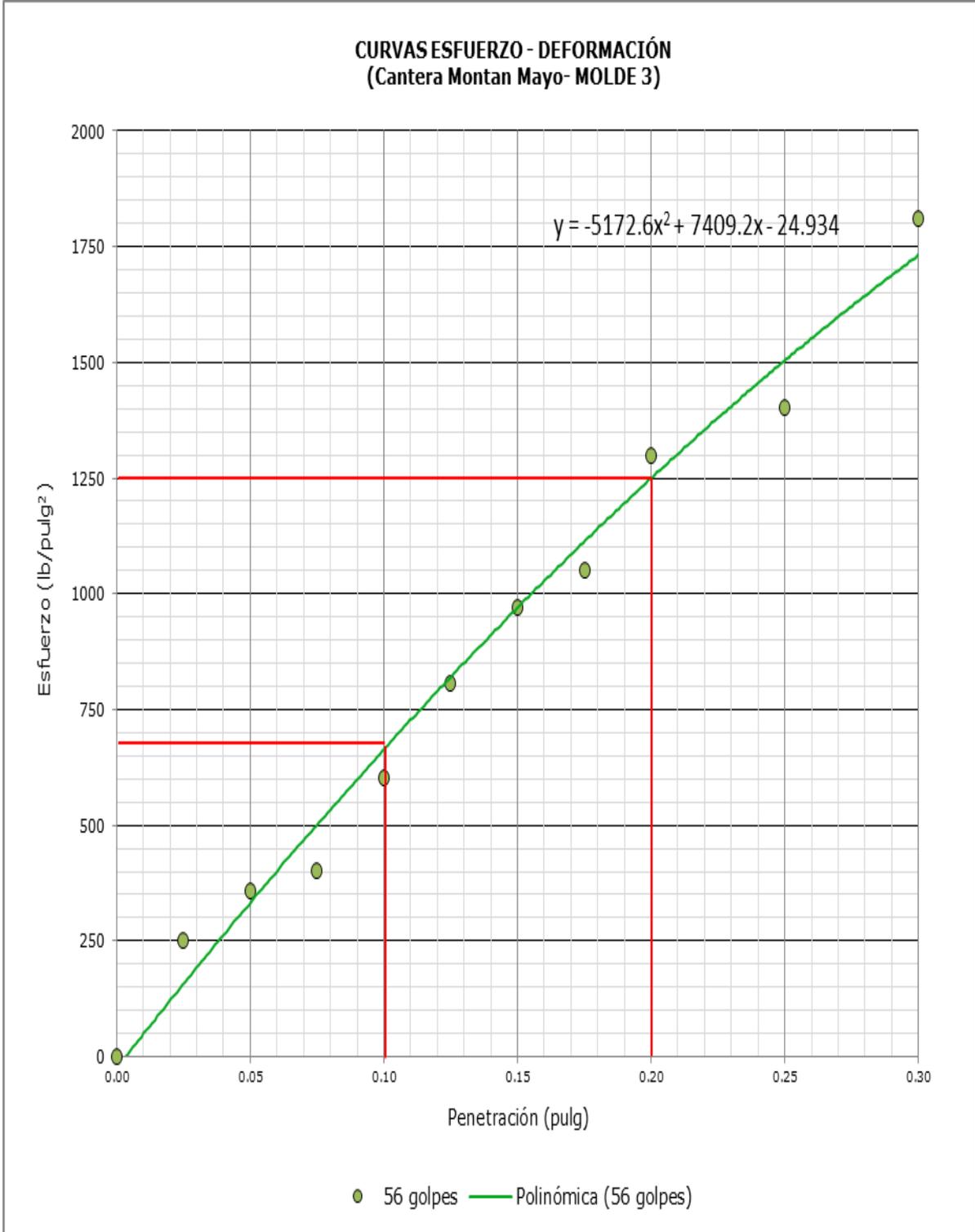


Figura 26. Curvas esfuerzo – Deformación cantera MM. Molde 3.
Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos UNC, 2016.

Tabla 44. Esfuerzos para 01" y 02" de penetración (Cantera Montan Mayo)

Penetración (")	MOLDE Nº 1		MOLDE Nº 2		MOLDE Nº 3	
	01"	02"	01"	02"	01"	02"
Esfuerzo terreno (lb/pulg2)	98.0	173.6	322.3	602.4	664.3	1250.0
Esfuerzo patrón (lb/pulg2)	1000	1500	1000	1500	1000	1500
CBR (%)	9.803	11.57	32.23	40.16	66.43	83.33

Fuente: Elaboración propia, 2016.

Tabla 45. C.B.R. y Densidad Seca (Cantera Montan Mayo)

Penetración (")	MOLDE Nº 1		MOLDE Nº 2		MOLDE Nº 3	
	01"	02"	01"	02"	01"	02"
CBR (%)	9.803	11.57	32.23	40.16	66.43	83.33
Ds (gr/cm3)	1.234	1.234	1.333	1.333	1.459	1.459

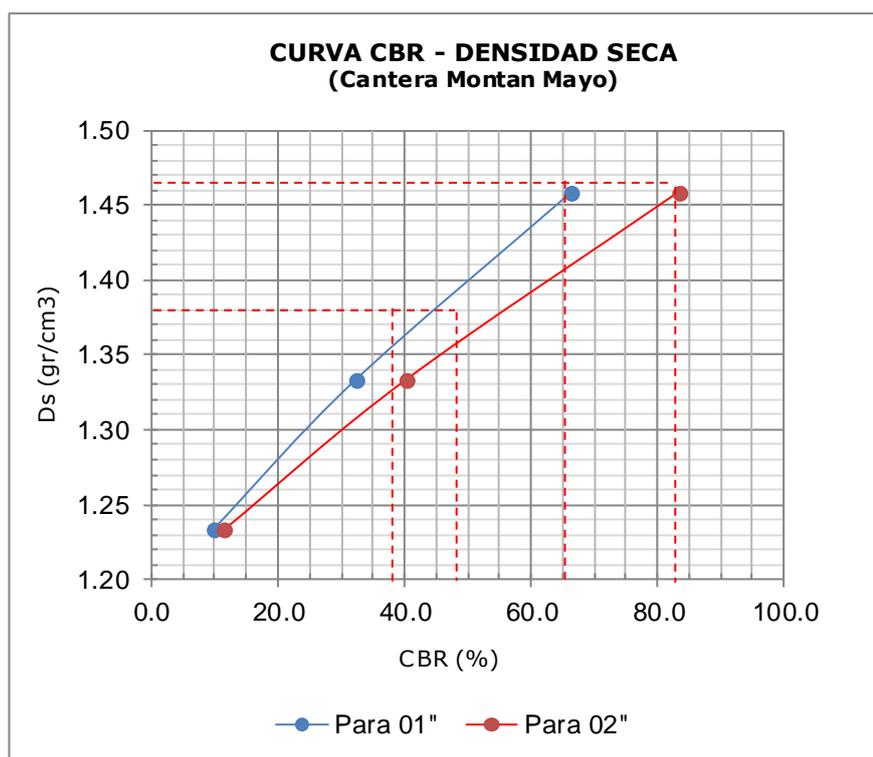


Figura 27. Curva C.B.R. y Densidad Seca (Cantera Montan Mayo)

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos UNC, 2016.

Ds Máx = 1.42 gr/cm3	CBR (0.1") = 65 %
	CBR (0.2") = 82 %
95% Ds Máx = 1.35 gr/cm3	CBR (0.1") = 38 %
	CBR (0.2") = 48 %

Tabla 46. California Bearing Ratio cantera Chancay Baños (CB)

Molde Nº	1		2		3				
Nº Capas	5		5		5				
Nº Golpes por capa	13		27		56				
CONDICIÓN DE MUESTRA	ANTES DEEMPAPAR	DESPUÉS	ANTES DEEMPAPAR	DESPUÉS	ANTES DEEMPAPAR	DESPUÉS			
Peso molde (gr)	7960	7960	7635	7635	7775	7775			
Wmh + molde (gr)	12220	12480	12065	12300	12395	12585			
Wmh (gr)	4260	4520	4430	4665	4620	4810			
Vmh (cm ³)	2114.3	2114	2114.3	2114	2114.3	2114			
Densidad húmeda (gr/cm ³)	2.01	2.138	2.10	2.206	2.19	2.275			
CONTENIDO DE HUMEDAD									
Ensayo Nº	1-A	1-B	1-C	2-A	2-B	2-C	3-A	3-B	3-C
Wt (gr)	26.4	27.7	26.4	26.1	27.2	26.1	27.1	27.3	27.2
Wmh + t (gr)	156.9	162.9	179.2	153.3	129	181.8	156.5	152	177.4
Wms + t (gr)	153.2	158.5	168.7	149	125.9	171	152	147.4	167.1
Ww (gr)	3.7	4.4	10.5	4.3	3.1	10.8	4.5	4.6	10.3
Wms (gr)	126.8	130.8	142.3	122.9	98.7	144.9	124.9	120.1	139.9
w (%)	2.92	3.36	7.38	3.50	3.14	7.45	3.60	3.83	7.36
w prom (%)	3.14		7.38	3.32		7.45	3.72		7.36
Densidad seca (gr/cm ³)	1.95		1.99	2.03		2.05	2.11		2.12

Fuente: Norma MTC E 132-2000 de fecha 12/02/2016.

Tabla 47. Ensayo: Hinchamiento (CB)

TIEMPO ACUMULADO		MOLDE Nº 1			MOLDE Nº 2			MOLDE Nº 3		
		LECTURA	HINCHAMIENTO		LECTURA	HINCHAMIENTO		LECTURA	HINCHAMIENTO	
(HORAS)	(DÍAS)	DEFORM.	(mm)	(%)	DEFORM.	(mm)	(%)	DEFORM.	(mm)	(%)
0	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
24	1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
48	2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
72	3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
96	4	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Fuente: Elaboración propia, 2016.

Tabla 48. Ensayo: Carga de Penetración (CB)

PENETRACIÓN		MOLDE Nº 1			MOLDE Nº 2			MOLDE Nº 3		
		CARGA	ESFUERZO		CARGA	ESFUERZO		CARGA	ESFUERZO	
(mm)	(pulg)	(kg)	(kg/cm2)	(lb/pulg2)	(kg)	(kg/cm2)	(lb/pulg2)	(kg)	(kg/cm2)	(lb/pulg2)
0.00	0.000	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00
0.64	0.025	45.00	2.292	32.60	120.00	6.112	86.93	345.00	17.57	249.91
1.27	0.050	60.00	3.056	43.46	250.00	12.73	181.10	495.00	25.21	358.57
1.91	0.075	90.00	4.584	65.19	345.00	17.57	249.91	555.00	28.27	402.03
2.54	0.100	135.00	6.875	97.79	450.00	22.92	325.97	830.00	42.27	601.24
3.18	0.125	165.00	8.403	119.52	460.00	23.43	333.22	1115.00	56.79	807.69
3.81	0.150	220.00	11.2	159.36	660.00	33.61	478.09	1340.00	68.25	970.67
4.45	0.175	230.00	11.71	166.61	710.00	36.16	514.31	1450.00	73.85	1050.35
5.08	0.200	250.00	12.73	181.10	860.00	43.8	622.97	1795.00	91.42	1300.26
6.35	0.250	280.00	14.26	202.83	1020.00	51.95	738.87	1935.00	98.55	1401.68
7.62	0.300	300.00	15.28	217.31	1175.00	59.84	851.15	2500.00	127.3	1810.95
8.89	0.350	325.00	16.55	235.42	1300.00	66.21	941.70	2815.00	143.4	2039.13
10.16	0.400	360.00	18.33	260.78	1420.00	72.32	1028.62	2970.00	151.3	2151.41
11.43	0.450	380.00	19.35	275.26	1500.00	76.39	1086.57	3105.00	158.1	2249.20
12.70	0.500	400.00	20.37	289.75	1615.00	82.25	1169.88	3205.00	163.2	2321.64

Fuente: Elaboración propia, 2016.

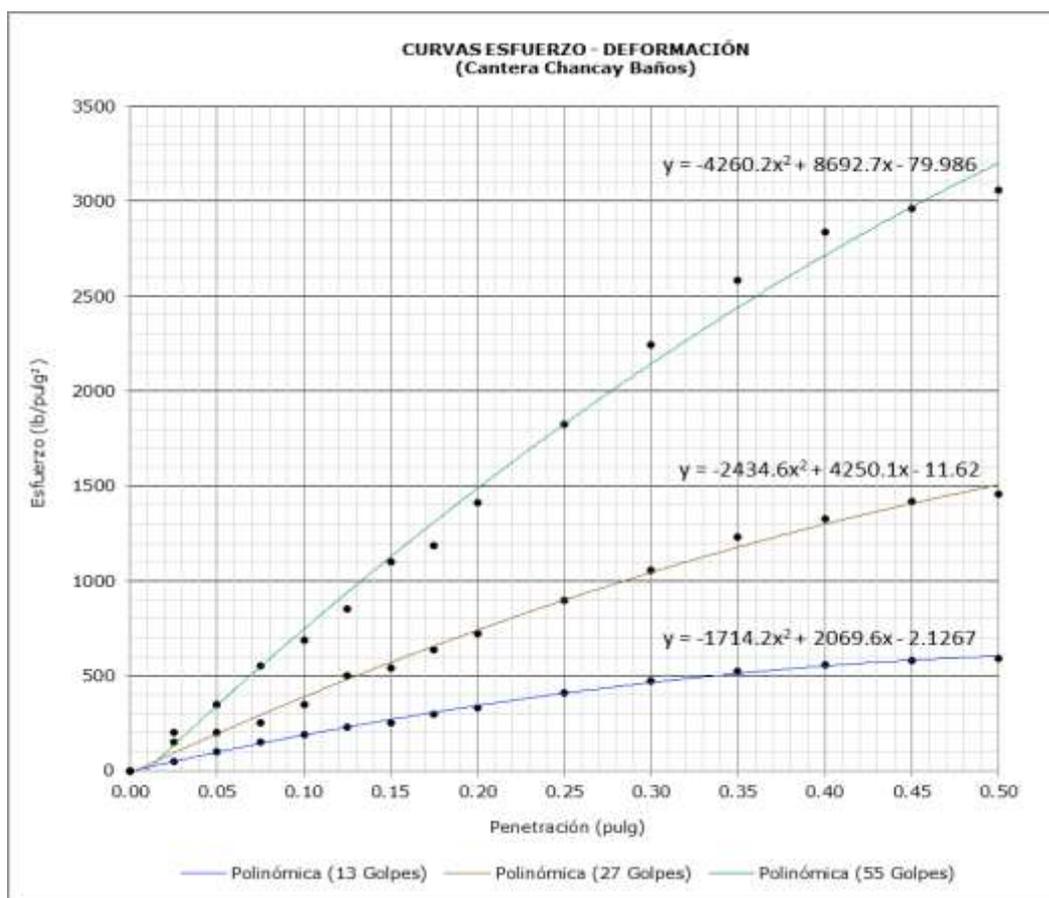


Figura 28. Curvas esfuerzo – Deformación cantera CB

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos UNC, 2016.

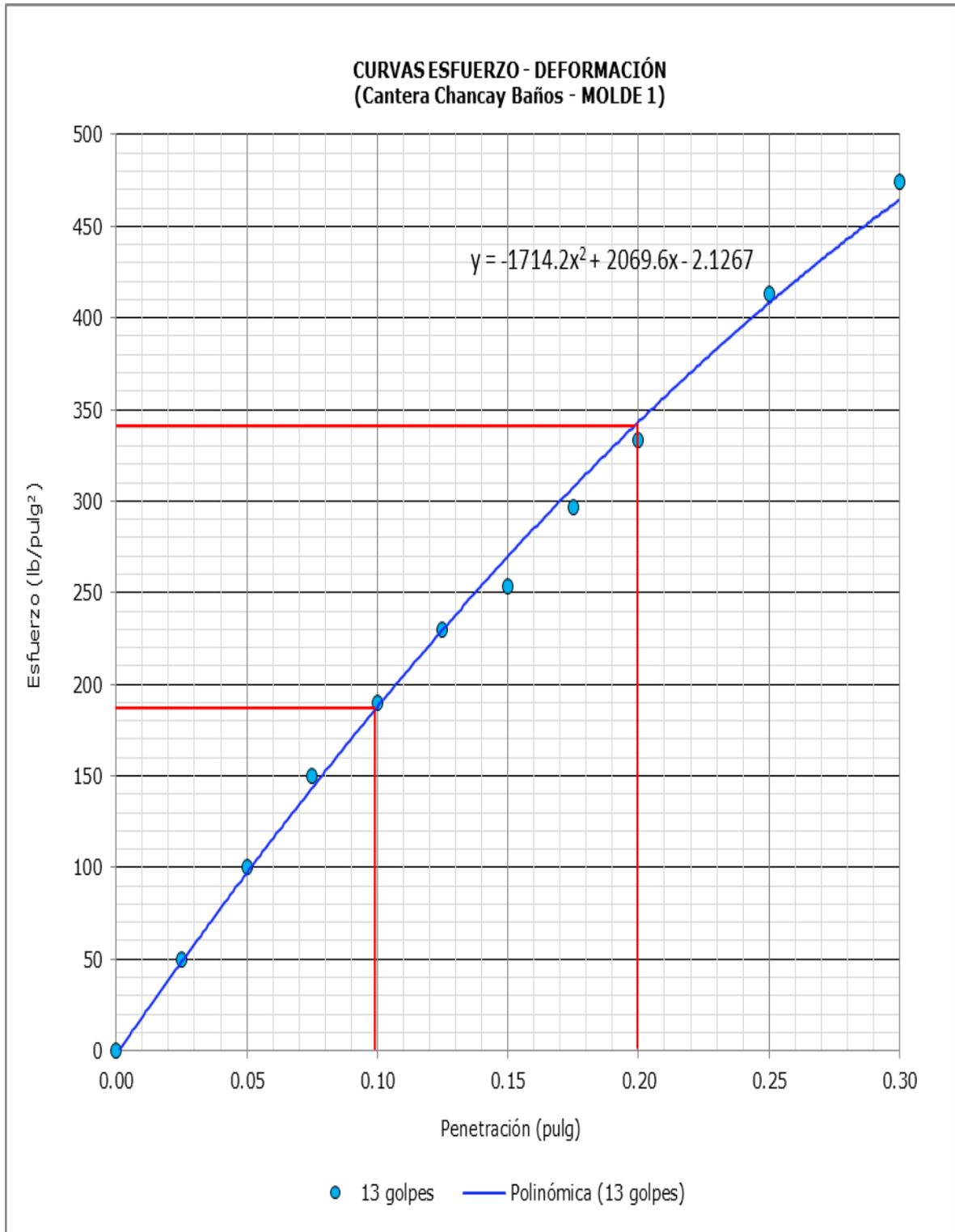


Figura 29. Curvas esfuerzo – Deformación cantera CB. Molde 1
Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos UNC, 2016.

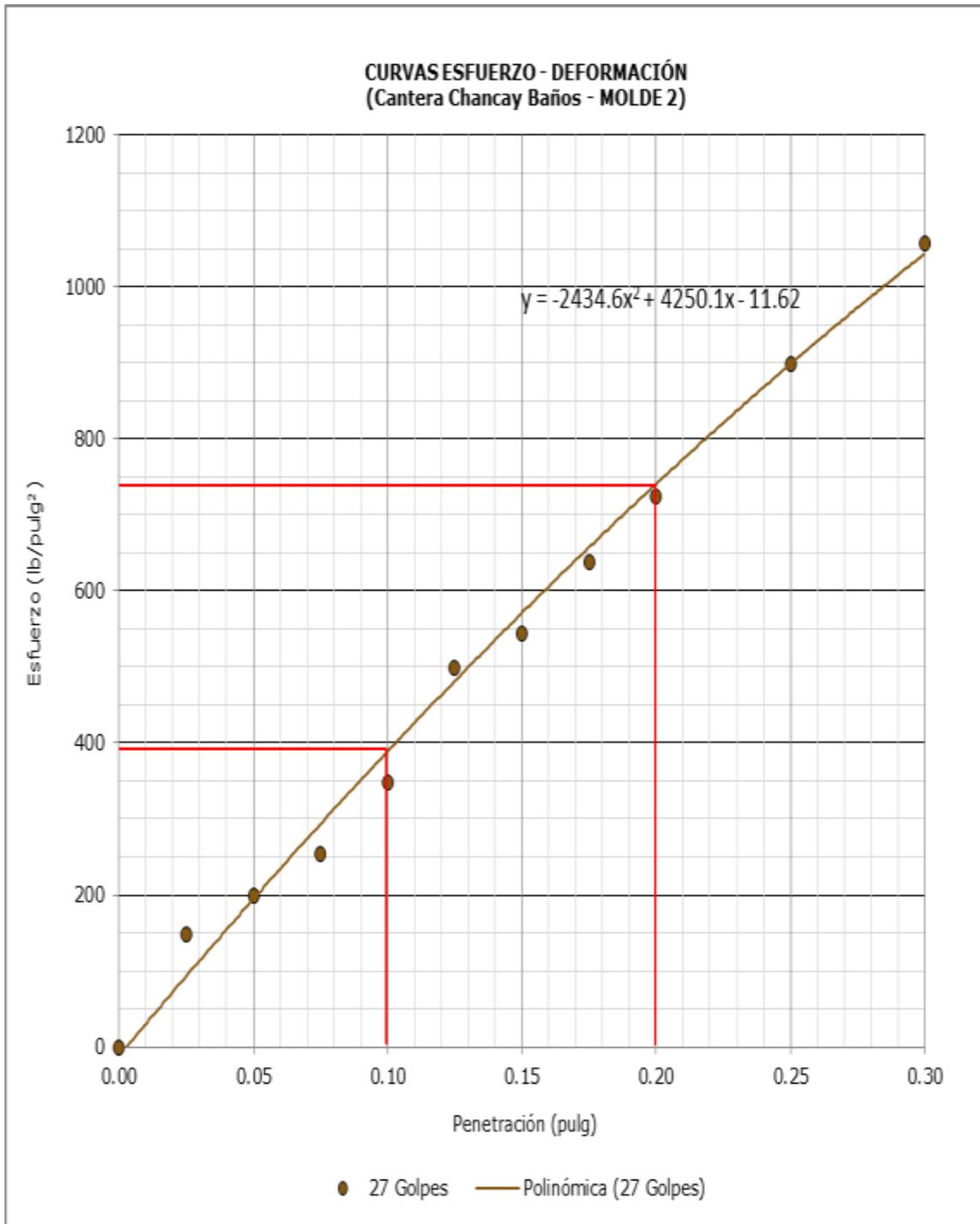


Figura 30. Curvas esfuerzo – Deformación cantera CB. Molde 2
Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos UNC, 2016.

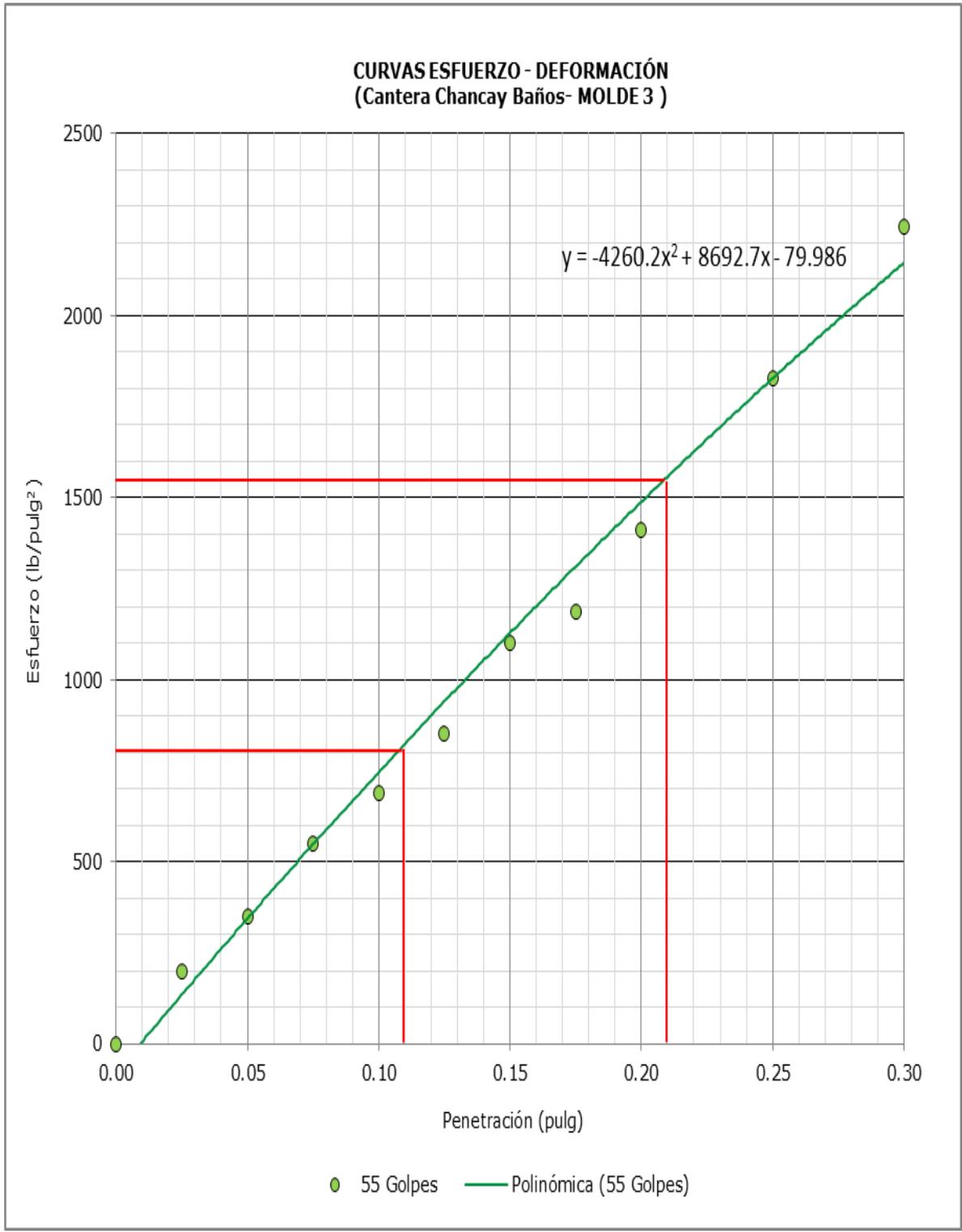


Figura 31. Curvas esfuerzo – Deformación cantera CB. Molde 3
Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos UNC, 2016.

Tabla 49. Esfuerzos para 01" y 02" de penetración (Cantera Chancay Baños)

Penetración (")	MOLDE Nº 1		MOLDE Nº 2		MOLDE Nº 3	
	01"	02"	01"	02"	01"	02"
Esfuerzo terreno (lb/pulg2)	187.7	343.2	389.3	741.1	812.3	1542.3
Esfuerzo patrón (lb/pulg2)	1000	1500	1000	1500	1000	1500
CBR (%)	18.77	22.88	38.93	49.4	81.23	102.8

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos UNC, 2016.

Tabla 50. C.B.R. y Densidad Seca (Cantera Chancay Baños)

Penetración (")	MOLDE Nº 1		MOLDE Nº 2		MOLDE Nº 3	
	01"	02"	01"	02"	01"	02"
CBR (%)	18.77	22.88	38.93	49.4	81.23	102.8
Ds (gr/cm3)	1.953	1.953	2.028	2.028	2.107	2.107

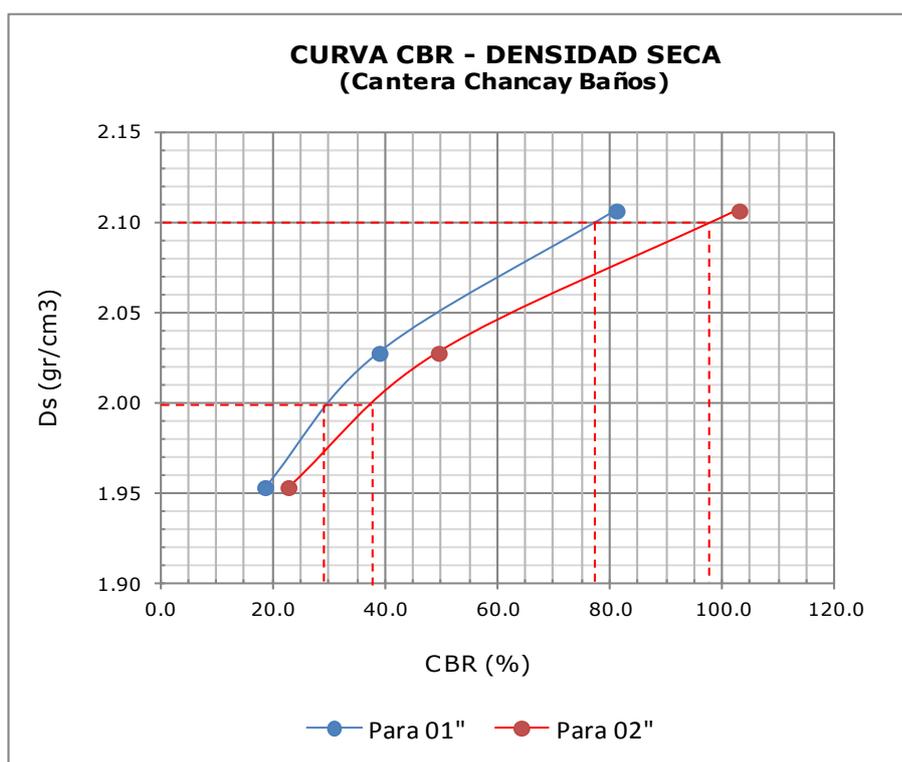


Figura 32. Curvas C.B.R. y Densidad Seca (Cantera Chancay Baños)

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos UNC, 2016.

Ds Máx = 2.10 gr/cm3

CBR (0.1") = 76 %

CBR (0.2") = 95 %

95% Ds Máx = 2.00 gr/cm3

CBR (0.1") = 29 %

CBR (0.2") = 35 %

Ensayo: Contenido de Humedad (Mezclas)

75MM - 25CB			50MM- 50CB			25MM - 75CB		
	M1	M2		M1	M2		M1	M2
Wt (gr)	26.3	26.3	Wt (gr)	25.8	29.3	Wt (gr)	27.3	29.4
Wh+t (gr)	127.1	143.5	Wh+t (gr)	116	124	Wh+t (gr)	152.6	112.5
Ws+t (gr)	108.4	123	Ws+t (gr)	103.8	110.3	Ws+t (gr)	140.2	104.9
Wh (gr)	100.8	117.2	Wh (gr)	90.2	94.7	Wh (gr)	125.3	83.1
Ws (gr)	82.1	96.7	Ws (gr)	78.0	81.0	Ws (gr)	112.9	75.5
Ww (gr)	18.7	20.5	Ww (gr)	12.2	13.7	Ww (gr)	12.4	7.6
W (%)	22.78	21.2	W (%)	15.64	16.91	W (%)	10.98	10.07
	21.99			16.28			10.52	

Figura. 33. Contenido de humedad (Mezclas)
Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos UNC, 2016.

Ensayo: Límite Líquido (MM 75% - CB 25%)

Se realizó los ensayos de límite líquido de fecha 11 de marzo de 2016, en la proporción siguiente según los datos estadísticos efectuados, para la cantera Montan Mayo en 75% y para la cantera Chancay Baños en 25%, en cumplimiento con la Norma MTC E 110-2000.

w	LL1	LL2	LL3
$W_{t(gr)}$	29	27.9	28.7
$W_{mh+t(gr)}$	38.9	40.3	36.1
$W_{ms+t(gr)}$	36.1	36.9	34.1
$W_w(gr)$	2.85	3.4	2
$W_{ms(gr)}$	7.05	9	5.4
Nº Golpes	10	23	30
W%	40.43	37.78	37
LL	38		

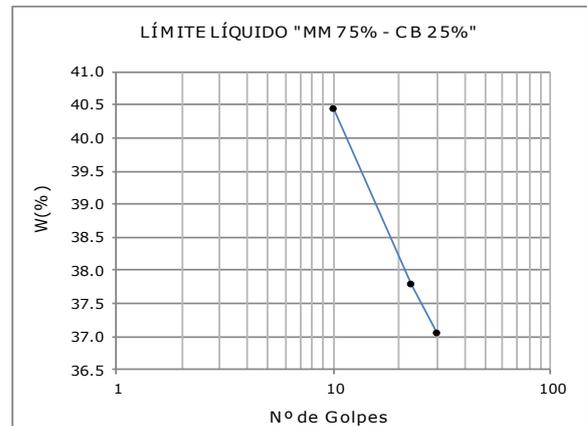


Figura. 34. Ensayo: Límite Líquido (MM 75% - CB 25%)
Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos UNC, 2016

Ensayo: Límite Plástico (MM 75% - CB 25%)

Se realizó los ensayos de límite plástico de fecha 11 de marzo de 2016, en la proporción siguiente para la cantera Montan Mayo en 75% y para la cantera Chancay Baños en 25%, en cumplimiento con la Norma MTC E 111-2000.

Tabla 51. Ensayo Límite plástico (MM 75% - CB 25%)

LP	LP5	LP6
$W_{t(gr)}$	29.2	28.2
$W_{mh+t(gr)}$	37.8	43.4
$W_{ms+t(gr)}$	36	40.5
$W_{w(gr)}$	1.8	2.9
$W_{ms(gr)}$	6.8	12.3
W%	26.5	23.6
LP	25	

Fuente: Elaboración propia, 2016.

Índice de Plasticidad (MM 75% - CB 25%)

$$IP = LL - LP = 13$$

CONSISTENCIA RELATIVA

$$C.R. = \frac{L.L. - w_n}{I.P.}$$

$$C.R. = 0.77 \quad C.R. \text{ varía de } 0 - 1 \text{ ¿?}$$

ÍNDICE DE LIQUIDEZ

$$I_L = \frac{w_n - L.P.}{I.P.}$$

$$IL = 0.23$$

De los resultados que se encontraron en el laboratorio de mecánica de suelos de la UNC, de las muestras de las dos canteras MM 75% - CB 25%, el índice de liquidez encontrado fue de 0.23

lo que infiere que, Si el IL es menor a 0, el suelo es muy colapsable. (Crespo, 2007).

Ensayo: Límite Líquido (MM 50% - CB 50%)

Se realizó los ensayos de límite líquido de fecha 11 de marzo de 2016, en la proporción siguiente para la cantera Montan Mayo en 50% y para la cantera Chancay Baños en 50%, en cumplimiento con la Norma MTC E 110-2000.

	LL1	LL2	LL3
$W_{t(gr)}$	27.1	27.3	27.1
$W_{mh+t(gr)}$	37.3	37.4	36.1
$W_{ms+t(gr)}$	33.1	35.6	35.8
$W_{w(gr)}$	4.2	1.8	0.3
$W_{ms(gr)}$	6	8.3	8.7
Nº Golpes	12	27	35
W%	70.00	21.69	3.45
LL	32		

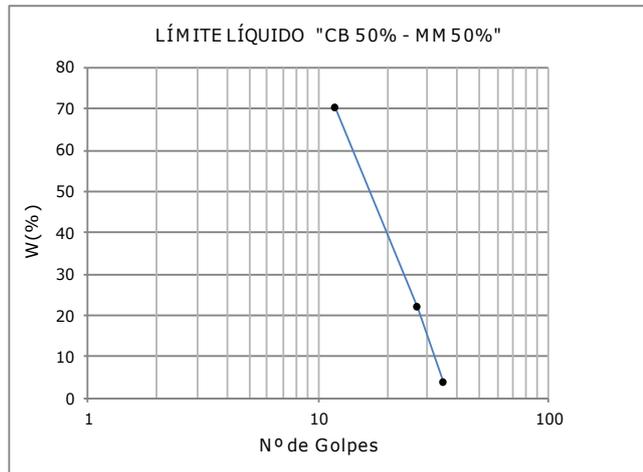


Figura. 35 Ensayo: Límite Líquido (MM 50% - CB 50%)
Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos UNC, 2016

Ensayo: Límite Plástico (MM 50% - CB 50%)

Se realizó los ensayos de límite plástico de fecha 11 de marzo de 2016, en la proporción siguiente para la cantera Montan Mayo en 50% y para la cantera Chancay Baños en 50%, en cumplimiento con la Norma MTC E 111-2000.

Tabla 52. Ensayo Límite plástico (MM 50% - CB 50%)

LP	LP5	LP6
$W_{t(gr)}$	27.4	26.3
$W_{mh+t(gr)}$	33.6	36.8
$W_{ms+t(gr)}$	32.4	35.1
$W_{w(gr)}$	1.2	1.7
$W_{ms(gr)}$	5	8.8
$W\%$	24.00	19.32
LP	22	

Fuente: Elaboración propia, 2016.

Índice de Plasticidad (MM 50% - CB 50%)

$$IP = LL - LP = 10$$

CONSISTENCIA RELATIVA

$$C.R. = \frac{L.L. - w_n}{I.P.}$$

$$C.R. = 0.97 \quad C.R. \text{ varía de } 0 - 1 \text{ ¿?}$$

ÍNDICE DE LIQUIDEZ

$$I_L = \frac{w_n - L.P.}{I.P.}$$

$$IL = -0.54$$

De los resultados encontrados en el laboratorio de mecánica de suelos de la UNC, de las muestras de las dos canteras MM 50% - CB 50%, el índice de liquidez encontrado fue de -0.54 lo que infiere que, Si el IL es menor a 0, el suelo es muy colapsable. (Crespo, 2007)

Ensayo: Límite Líquido (MM 25% - CB 75%)

Se realizó los ensayos de límite líquido de fecha 11 de marzo de 2016, en la proporción siguiente para la cantera Montan Mayo en 25% y para la cantera Chancay Baños en 75%, en cumplimiento con la Norma MTC E 110-2000.

	LL1	LL2	LL3
$W_{t(gr)}$	27.9	26.2	26.1
$W_{mh+t(gr)}$	41.1	35.8	39.4
$W_{ms+t(gr)}$	35.7	33.6	37.1
$W_{w(gr)}$	5.4	2.2	2.3
$W_{ms(gr)}$	7.8	7.4	11
Nº Golpes	9	18	25
W%	69.23	29.73	20.91
LL	40		

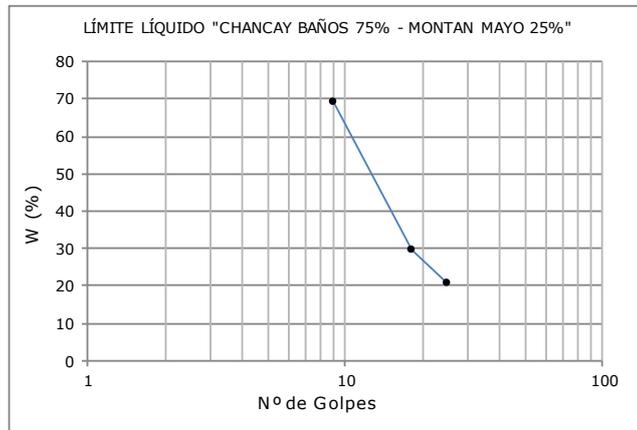


Figura. 36. Ensayo: Límite Líquido (MM 25% - CB 75%)
Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos UNC, 2016.

Ensayo: Límite Plástico (MM 25% - CB 75%)

Se realizó los ensayos de límite plástico de fecha 11 de marzo de 2016, en la proporción siguiente para la cantera Montan Mayo en 25% y para la cantera Chancay Baños en 75%, en cumplimiento con la Norma MTC E 111-2000.

Tabla 53. Ensayo Límite plástico (MM 25% - CB 25%)

LP	LP1	LP2
$W_{t(ar)}$	27.1	27.3
$W_{mh+t(ar)}$	28.5	29
$W_{ms+t(ar)}$	28.3	28.8
$W_{w(ar)}$	0.2	0.2
$W_{ms(ar)}$	1.2	1.5
W%	16.67	13.33
LP	15	

Fuente: Elaboración propia, 2016.

Índice de Plasticidad (MM 25% - CB 75%)

$$IP = LL - LP = 25$$

CONSISTENCIA RELATIVA

$$C.R. = \frac{L.L. - w_n}{I.P.}$$

$$C.R. = 0.72$$

De los resultados encontrados en el laboratorio de mecánica de las dos canteras MM 25% - CB 75%, cuando el CR, se encuentra entre 0.75 - 1.00, indica que el suelo tiene consistencia rígida y alta resistencia al corte (Crespo, 2007).

ÍNDICE DE LIQUIDEZ

$$I_L = \frac{w_n - L.P.}{I.P.}$$

$$IL = 0.28$$

Si el Índice de Liquidez corresponde a 0.2 o más, el suelo tendrá poca o nula expansión (Crespo, 2007).

VII. Ensayo: Análisis Granulométrico por lavado

Realizado bajo la Norma MTC E 107-2000, con fecha 08/04/2016, en el laboratorio de la Universidad nacional de Cajamarca.

Ensayo: Análisis Granulométrico MM (75%) - CB (25%) Norma MTC E 107-2000. De fecha 08/04/2016

Malla	Malla (mm)	PRP (gr)	%RP	%RA	%PASA
1"	25.40		0.00	0.00	100.00
3/4"	19.05	27.30	3.41	3.41	96.59
1/2"	12.70	89.50	11.19	14.60	85.40
3/8"	9.53	58.90	7.36	21.96	78.04
1/4"	6.35	94.70	11.84	33.80	66.20
Nº4	4.76	41.60	5.20	39.00	61.00
Nº10	2.00	110.50	13.81	52.81	47.19
Nº20	0.84	82.90	10.36	63.18	36.83
Nº30	0.59	26.00	3.25	66.43	33.58
Nº40	0.42	11.90	1.49	67.91	32.09
Nº60	0.25	33.90	4.24	72.15	27.85
Nº100	0.15	22.10	2.76	74.91	25.09
Nº200	0.07	22.10	2.76	77.68	22.33
Pérdida por lavado	0.00	178.60	22.33	100.0	0.00

Porcentaje de finos:	22.3 %
% retenido en malla Nº 200:	77.7 %
Peso de la fracción gruesa:	621.4 gr
Peso retenido en malla Nº 4:	312.0 gr
% fracción gruesa retenido en malla Nº 4:	50.2 %

* Como más de la mitad del material es retenido en la malla Nº200, pertenece a Suelos de Partículas Gruesas.
 * Como más del 50% de la fracción de material grueso es retenido en la malla Nº 4, entra en clasificación de

LL = 38	Según la carta de plasticidad, ubicamos los límites LL e IP, que se intersectan debajo de la Línea A, con $IP < 4$ y $LL > 28$ por lo que el suelo será
IP = 13	

CLASIFICACIÓN SUCS:	$GMu + 3.41 > 3/4"$
DESCRIPCIÓN:	GRAVA LIMOSA, MEZCLA DE ARENA, GRAVA Y LIMO.
COLOR:	ROJIZO

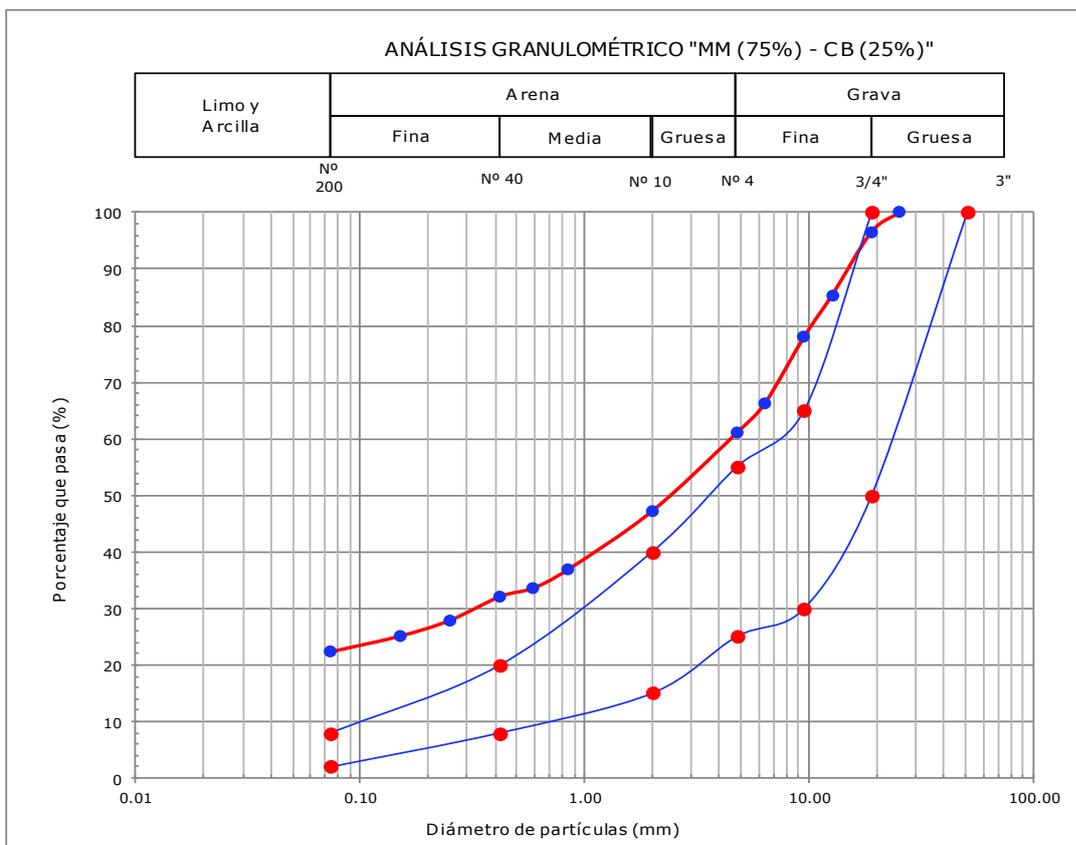
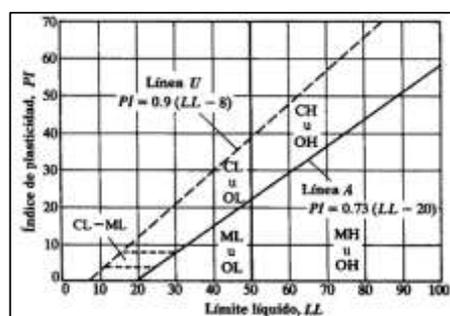


Figura.37. Análisis Granulométrico MM (75%) - CB (25%)
 Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos UNC, 2016.

**Ensayo: Análisis Granulométrico por lavado
MM (50%) - CB (50%). Norma MTC E 107-2000.
De fecha 08/04/2016**

Malla	Malla (mm)	PRP (gr)	%RP	%RA	%PASA
1"	25.40		0.00	0.00	100.00
3/4"	19.05	34.30	4.08	4.08	95.92
1/2"	12.70	102.90	12.25	16.33	83.67
3/8"	9.53	98.20	11.69	28.02	71.98
1/4"	6.35	137.90	16.42	44.44	55.56
Nº4	4.76	45.30	5.39	49.83	50.17
Nº10	2.00	128.90	15.35	65.18	34.82
Nº20	0.84	56.50	6.73	71.90	28.10
Nº30	0.59	18.00	2.14	74.05	25.95
Nº40	0.42	8.20	0.98	75.02	24.98
Nº60	0.25	24.30	2.89	77.92	22.08
Nº100	0.15	15.80	1.88	79.80	20.20
Nº200	0.07	15.30	1.82	81.62	18.38
Pérdida por lavado	0.00	154.40	18.38	100.0	0.00

Porcentaje de finos:	18.4 %
% retenido en malla Nº 200:	81.6 %
Peso de la fracción gruesa:	685.6 gr
Peso retenido en malla Nº 4:	418.6 gr
% fracción gruesa retenido en malla Nº 4:	61.1 %

* Como más de la mitad del material es retenido en la malla Nº200, pertenece a Suelos de Partículas Gruesas.

* Como más del 50% de la fracción de material grueso es retenido en la malla Nº 4, entra en clasificación de

LL = 32
IP = 10

Según la carta de plasticidad, ubicamos los límites LL e IP, que se intersectan debajo de la Línea A, con LL > 28, por lo que el suelo será clasificado

CLASIFICACIÓN SUCS:	<i>GMu + 4.08 > 1/2"</i>
DESCRIPCIÓN:	GRAVA LIMOSA, MEZCLA DE ARENA, GRAVA Y LIMO.
COLOR:	MARRÓN

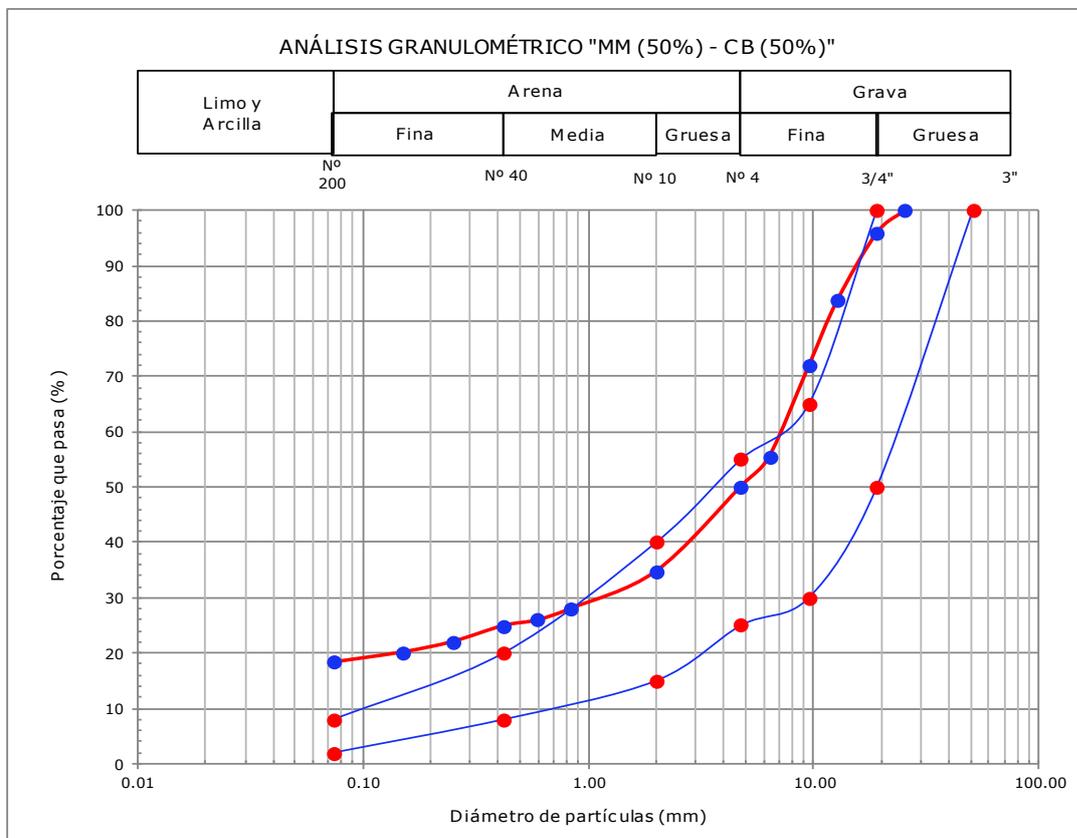
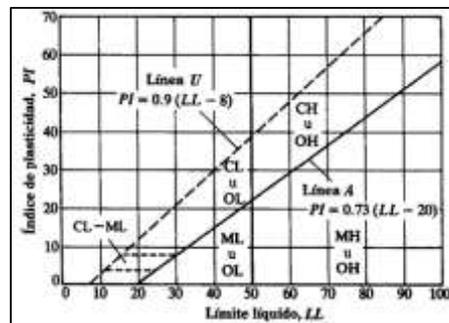


Figura.38. Análisis Granulométrico MM (50%) - CB (50%)
Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos UNC, 2016.

**Ensayo: Análisis Granulométrico por lavado
MM (25%) - CB (75%). Norma MTC E 107-2000.
De fecha 08/04/2016**

Malla	Malla (mm)	PRP (gr)	%RP	%RA	%PASA
1"	25.40		0.00	0.00	100.00
3/4"	19.05	78.00	7.80	7.80	92.20
1/2"	12.70	111.00	11.10	18.90	81.10
3/8"	9.53	135.40	13.54	32.44	67.56
1/4"	6.35	221.50	22.15	54.59	45.41
Nº4	4.76	59.00	5.90	60.49	39.51
Nº10	2.00	153.20	15.32	75.81	24.19
Nº20	0.84	63.40	6.34	82.15	17.85
Nº30	0.59	17.50	1.75	83.90	16.10
Nº40	0.42	8.00	0.80	84.70	15.30
Nº60	0.25	20.30	2.03	86.73	13.27
Nº100	0.15	13.30	1.33	88.06	11.94
Nº200	0.07	13.00	1.30	89.36	10.64
Pérdida por lavado	0.00	106.40	10.64	100.0	0.00

Porcentaje de finos:	10.6 %
% retenido en malla Nº 200:	89.4 %
Peso de la fracción gruesa:	893.6 gr
Peso retenido en malla Nº 4:	604.9 gr
% fracción gruesa retenido en malla Nº 4:	67.7 %

* Como más de la mitad del material es retenido en la malla Nº200, pertenece a Suelos de Partículas Gruesas.

* Como más del 50% de la fracción de material grueso es retenido en la malla Nº 4, entra en clasificación de

LL = 40	Según la carta de plasticidad, ubicamos los límites LL e IP, que se intersectan arriba de la Línea A, con $IP < 4$ y $LL < 28$, por lo que el suelo será
IP = 25	

CLASIFICACIÓN SUCS:	$G_{Md} + 7.8 > 3/4"$
DESCRIPCIÓN:	GRAVA LIMOSA, MEZCLA DE ARENA, GRAVA Y LIMO.
COLOR:	PLOMO

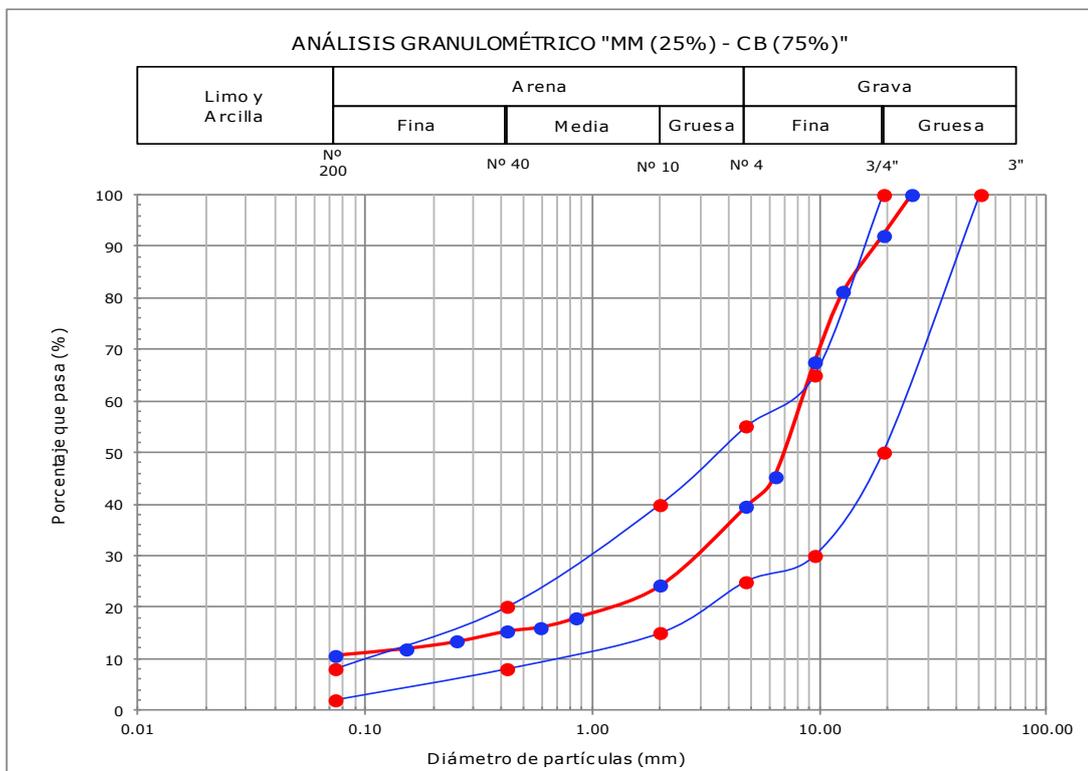
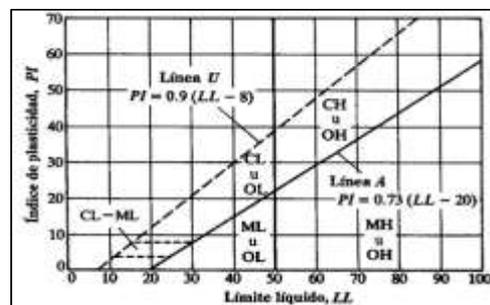


Figura.39. Análisis Granulométrico MM (75%) - CB (25%)
Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos UNC, 2016.

Metodología Enrique Pasquel

A. Metodología Enrique Pasquel (25% Montan Mayo - 75% Chancay Baños):

Pt = (material Montan M_i = 750 gr Gp = 2.37 MFp = 4.76
 At = (material Chancay l = 250 gr Ga = 2.48 MFa = 6.64
 K = (Proporción de mez = 3 Z = 2.87 MF(p+a) = 5.23

Tamiz	Tamiz (mm)	Cantera MM			Cantera CB			Mezcla		Gráfica	
		G = 2.37			G = 2.48			50% LQ	50% LQ	50% LQ	50% LQ
		Peso en gr.	% Ret. Ind.	% Ret. Acum. (Pn)	Peso en gr.	% Ret. Ind.	% Ret. Acum. (An)	50% Pinos en peso K=3	50% Pinos en volumen V=	50% Pinos en peso K=Z=	50% Pinos en volumen V=
1 1/2"	38.10	0.00	0.00	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00
1"	25.40	16.20	4.34	4.34	0	0	0.00	3.26	3.22	96.74	96.78
3/4"	19.05	7.73	2.07	6.41	0	0.00	0.00	4.81	4.76	95.19	95.24
1/2"	12.70	38.78	10.40	16.81	79.20	11.38	11.38	15.45	15.41	84.55	84.59
3/8"	9.53	12.81	3.43	20.24	83.90	12.05	23.43	21.04	21.07	78.96	78.93
1/4"	6.35	45.11	12.09	32.34	160.69	23.09	46.52	35.88	36.00	64.12	64.00
Nº4	4.76	10.27	2.75	35.09	49.40	7.10	53.62	39.72	39.87	60.28	60.13
Nº10	2.00	45.91	12.31	47.40	161.50	23.20	76.82	54.76	55.00	45.24	45.00
Nº20	0.84	33.10	8.87	56.27	64.57	9.28	86.10	63.73	63.97	36.27	36.03
Nº30	0.59	10.40	2.79	59.06	19.19	2.76	88.86	66.51	66.75	33.49	33.25
Nº40	0.42	8.70	2.33	61.39	10.81	1.55	90.41	68.65	68.89	31.35	31.11
Nº60	0.25	19.19	5.14	66.54	16.17	2.32	92.73	73.09	73.30	26.91	26.70
Nº100	0.15	12.30	3.30	69.84	8.23	1.18	93.92	75.86	76.05	24.14	23.95
Nº200	0.07	8.30	2.23	72.06	8.61	1.24	95.15	77.83	78.02	22.17	21.98
		104.20	27.94	100.00	33.70	4.84	100.00	100.00	100.00	0.00	0.00

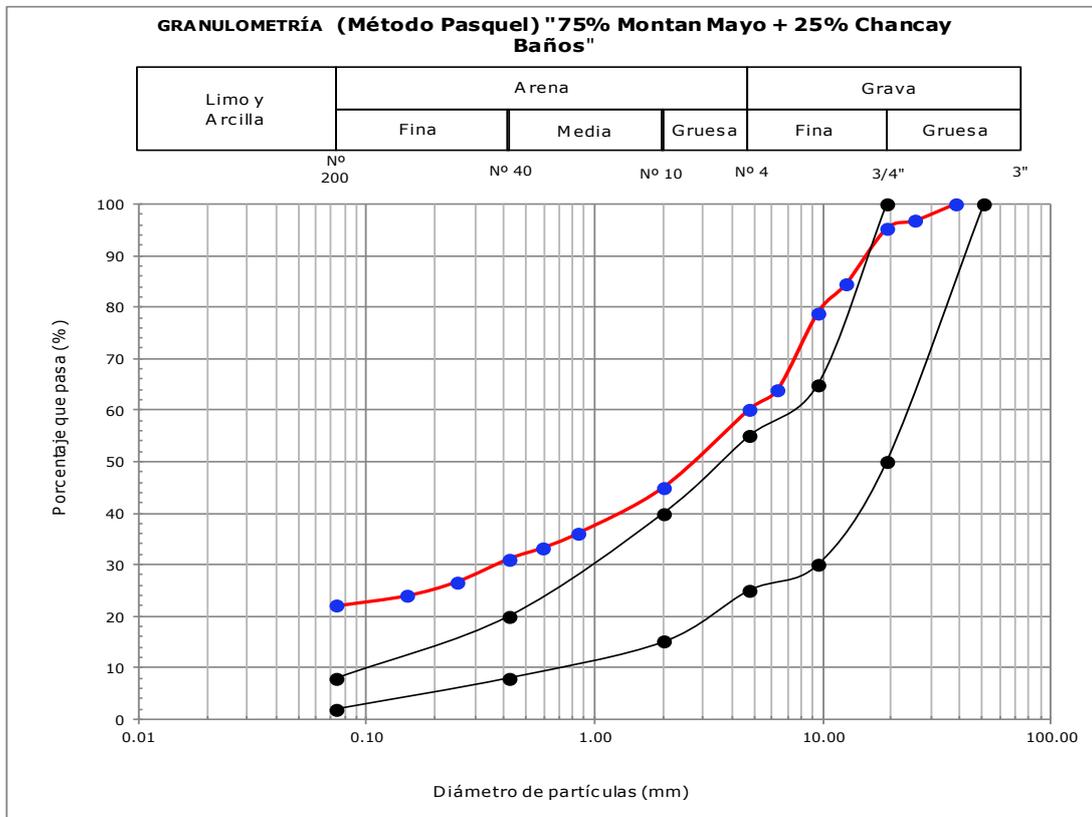


Figura. 40. Metodología Enrique Pasquel (75% Montan Mayo - 25% Chancay Baños)
 Fuente: Elaboración propia, 2016.

B. Metodología Enrique Pasquel (50% Montan Mayo - 50% Chancay Baños):

Pt = (material Montan Mayo) = 400 gr Gp = 2.37 MFp = 4.76
 At = (material Chancay Baños) = 400 gr Ga = 2.48 MFa = 6.64
 K = (Proporción de mezcla) = 1 Z = 0.96 MF(p+a) = 5.70

Tamiz	Tamiz (mm)	Cantera Montan Mayo			Cantera Chancay Baños			Mezcla		Gráfica	
		G = 2.37			G = 2.48			50% MM 50% CB en peso	50% MM 50% CB en volumen	50% MM 50% CB en peso	50% MM 50% CB en volumen
		Peso en gr.	% Ret. Ind.	% Ret. Acum. (Ph)	Peso en gr.	% Ret. Ind.	% Ret. Acum. (An)	K= 1	V =	K= Z =	V =
1 1/2"	38.10	0.00	0.00	0.00	0	0	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00
1"	25.40	16.20	4.34	4.34	0	0	0.00	2.17	2.12	97.83	97.88
3/4"	19.05	7.73	2.07	6.41	0	0.00	0.00	3.21	3.14	96.79	96.86
1/2"	12.70	38.78	10.40	16.81	79.20	11.38	11.38	14.09	14.04	85.91	85.96
3/8"	9.53	12.81	3.43	20.24	83.90	12.05	23.43	21.84	21.87	78.16	78.13
1/4"	6.35	45.11	12.09	32.34	160.69	23.09	46.52	39.43	39.58	60.57	60.42
Nº4	4.76	10.27	2.75	35.09	49.40	7.10	53.62	44.36	44.56	55.64	55.44
Nº10	2.00	45.91	12.31	47.40	161.50	23.20	76.82	62.11	62.43	37.89	37.57
Nº20	0.84	33.10	8.87	56.27	64.57	9.28	86.10	71.19	71.51	28.81	28.49
Nº30	0.59	10.40	2.79	59.06	19.19	2.76	88.86	73.96	74.28	26.04	25.72
Nº40	0.42	8.70	2.33	61.39	10.81	1.55	90.41	75.90	76.22	24.10	23.78
Nº60	0.25	19.19	5.14	66.54	16.17	2.32	92.73	79.64	79.92	20.36	20.08
Nº100	0.15	12.30	3.30	69.84	8.23	1.18	93.92	81.88	82.14	18.12	17.86
Nº200	0.07	8.30	2.23	72.06	8.61	1.24	95.15	83.61	83.86	16.39	16.14
		104.20	27.94	100.00	33.70	4.84	100.00	100.00	100.00	0.00	0.00

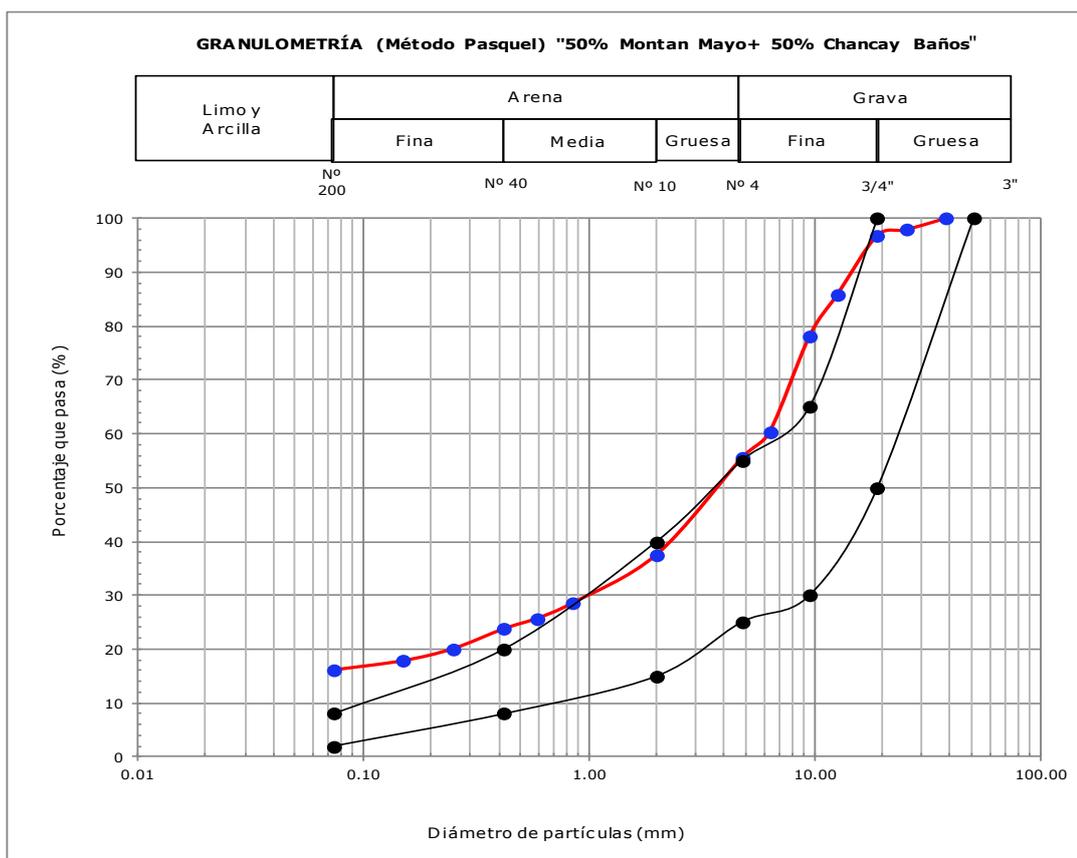


Figura. 41. Metodología Enrique Pasquel (50% Montan Mayo - 50% Chancay Baños).
 Fuente: Elaboración propia, 2016.

C. Metodología Enrique Pasquel (25% Montan Mayo - 75% Chancay Baños):

= (material Montan Mayo = 250 gr Gp = 2.37 MFp = 4.76
 = (material Chancay Baños = 750 gr Ga = 2.48 MFa = 6.64
 = (Proporción de mezcla = 0.333 Z = 0.32 MF(p+a) = 6.17

Tamiz	Tamiz (mm)	Cantera Montan Mayo			Cantera Chancay Baños			Mezcla		Gráfica	
		G = 2.37			G = 2.48			50% MM	50% MM	50% MM	50% MM
		Peso en gr.	% Ret. Ind.	% Ret. Acum. (Pn)	Peso en gr.	% Ret. Ind.	% Ret. Acum. (An)	50% CB en peso	50% CB en volumen	50% CB en peso	50% CB en volumen
1 1/2"	38.10	0.00	0.00	0.00	0	0	0.00	0.00	100.00	100.00	
1"	25.40	16.20	4.34	4.34	0	0	0.00	1.09	1.05	98.91	
3/4"	19.05	7.73	2.07	6.41	0	0.00	0.00	1.60	1.55	98.40	
1/2"	12.70	38.78	10.40	16.81	79.20	11.38	11.38	12.74	12.69	87.26	
3/8"	9.53	12.81	3.43	20.24	83.90	12.05	23.43	22.64	22.66	77.36	
1/4"	6.35	45.11	12.09	32.34	160.69	23.09	46.52	42.98	43.09	57.02	
Nº4	4.76	10.27	2.75	35.09	49.40	7.10	53.62	48.99	49.14	51.01	
Nº10	2.00	45.91	12.31	47.40	161.50	23.20	76.82	69.47	69.70	30.53	
Nº20	0.84	33.10	8.87	56.27	64.57	9.28	86.10	78.64	78.88	21.36	
Nº30	0.59	10.40	2.79	59.06	19.19	2.76	88.86	81.41	81.65	18.59	
Nº40	0.42	8.70	2.33	61.39	10.81	1.55	90.41	83.16	83.39	16.84	
Nº60	0.25	19.19	5.14	66.54	16.17	2.32	92.73	86.19	86.40	13.81	
Nº100	0.15	12.30	3.30	69.84	8.23	1.18	93.92	87.90	88.09	12.10	
Nº200	0.07	8.30	2.23	72.06	8.61	1.24	95.15	89.38	89.57	10.62	
		104.20	27.94	100.00	33.70	4.84	100.00	100.00	100.00	0.00	

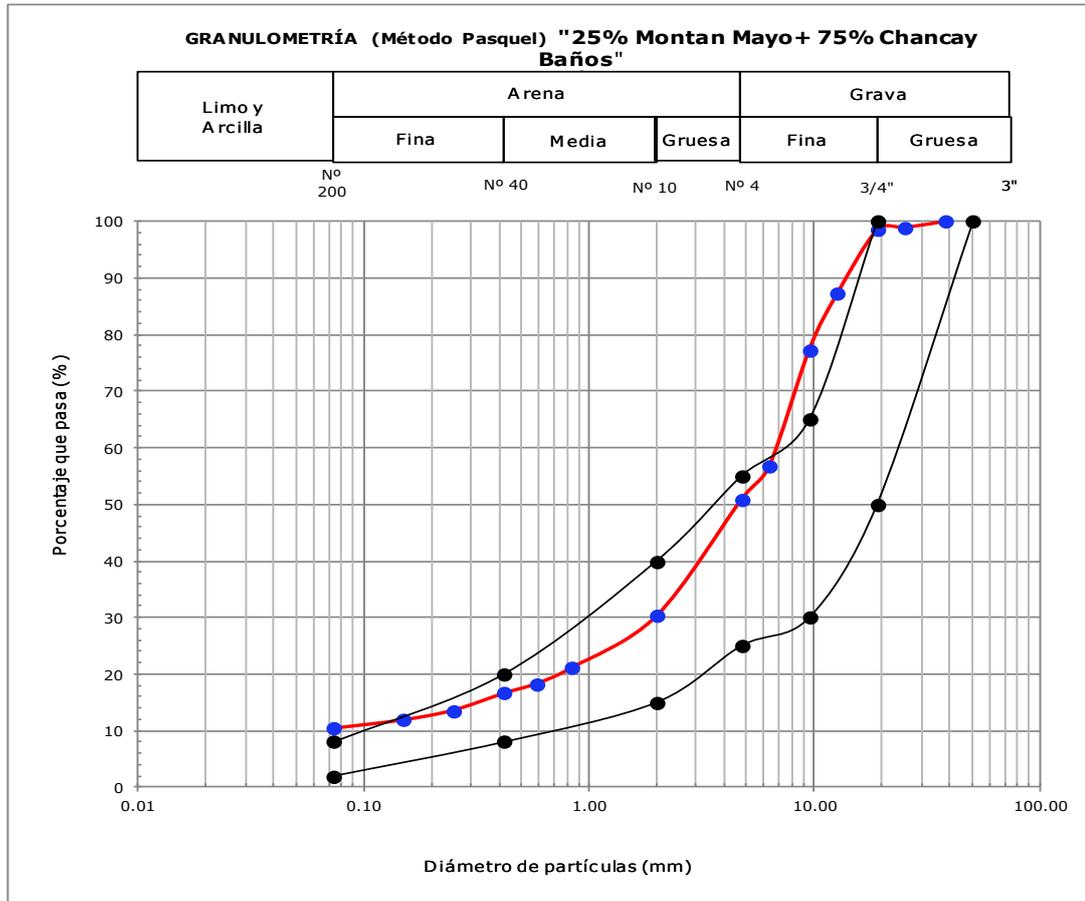


Figura. 42. Metodología Enrique Pasquel (25% Montan Mayo - 75% Chancay Baños).
 Fuente: Elaboración propia, 2016.

VIII. Ensayo: Compactación de Proctor Modificado de fecha 29/04/2016.

Tabla 54. Ensayo Compactación Próctor modificado MM (75%) - CB (25%) Método "C"

Molde N°	A		B		C		D	
N° Capas	5		5		5		5	
N° golpes por capa	56		56		56		56	
Peso molde (gr)	6295		6295		6295		6295	
Wmh + molde (gr)	9735		10015		10585		10430	
Wmh (gr)	3440		3720		4290		4135	
Vmh (cm ³)	2086.77		2086.77		2086.77		2086.77	
Dh (gr/cm ³)	1.65		1.78		2.06		1.98	
Recipiente N°	a	b	c	d	e	f	g	h
Pt (gr)	27.2	27.3	26.8	26.1	27.4	27.2	26.8	27.4
Wmh + t (gr)	127.2	109.9	97.8	99.1	115.8	141.9	156.5	126.0
Wms + t (gr)	118.8	102.3	90.8	91.5	102.3	123.6	130.5	105.8
Ww (gr)	8.4	7.6	7	7.6	13.5	18.3	26	20.2
Wms (gr)	91.6	75	64	65.4	74.9	96.4	104	78.4
W (%)	9.17	10.1	10.9	11.6	18	19	25.1	25.8
Wprom (%)	9.65		11.28		18.50		25.42	
Ds (gr/cm ³)	1.50		1.60		1.73		1.58	

Wopt = 18.5 %

Ds Máx = 1.74 gr/cm³

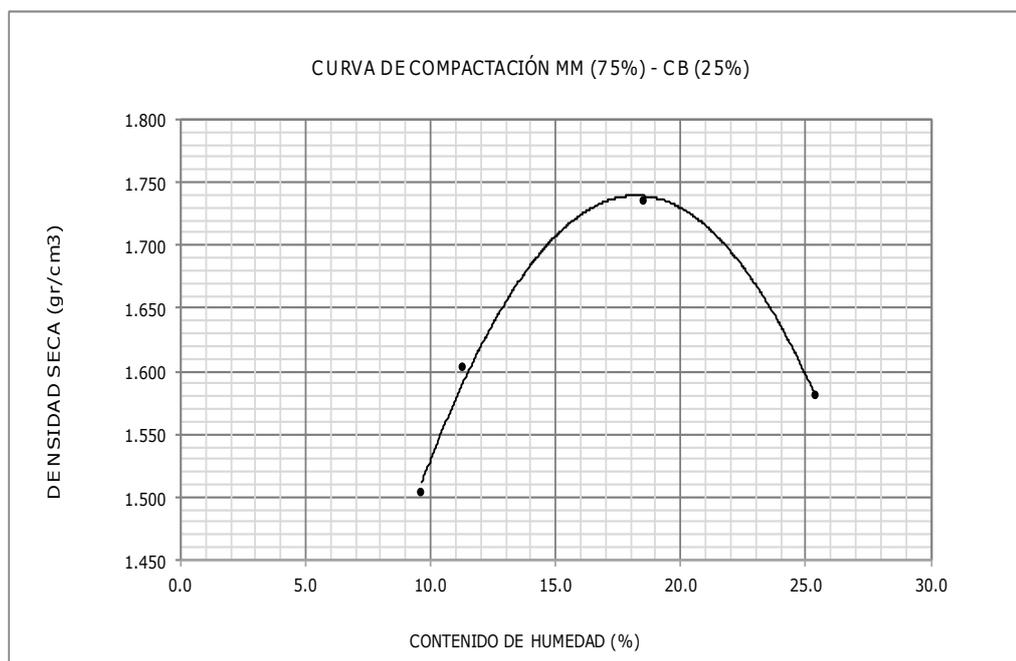


Figura. 43. Curva de compactación (75% Montan Mayo - 25% Chancay Baños).
Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos UNC, 2016.

Tabla. 55. E. Abrasión. Máquina los Ángeles MM (75%) - CB (25%) Método "C".

Prueba	1	OBSERVACIONES:						
Gradación usada	A	MUESTREADO CERCA A LA VÍA EL ALISO - MONTAN MAYO						
Nº de esferas	12							
Nº de revoluciones	500							
Peso muestra seca antes de ensayo (g)	5025.8							
Peso muestra seca después de ensayo (g)	2907.6							
Pérdida (g)	2118.2							
% de desgaste	42.1							
DATOS SOBRE GRADACIÓN, CARGA ABRASIVA Y REVOLUCIONES								
TAMAÑO DEL TAMIZ		PESOS Y GRADACIÓN DE LA MUESTRA						
PASA	RETENIDO	A	B	C	D	E	F	G
3"	2 1/2"							
2 1/2"	2"							
2"	1 1/2"							
1 1/2"	1"	1258.6						
1"	3/4"	1252.7						
3/4"	1/2"	1255.4						
1/2"	3/8"	1259.1						
3/8"	1/4"							
1/4"	Nº 4							
Nº 4	Nº 8							
Nº de esferas		12	11	8	6	12	12	12
Nº de revoluciones		500	500	500	500	1000	1000	1000

Fuente: Elaboración propia, 2016.

Tabla 56. E. Compactación de Proctor modificado MM (50%) - CB (50%). Método "C"

Molde N°	A		B		C		D	
N° Capas	5		5		5		5	
N° golpes por capa	56		56		56		56	
Peso molde (gr)	6295		6295		6295		6295	
Wmh + molde (gr)	10080		10480		10610		10580	
Wmh (gr)	3785		4185		4315		4285	
Vmh (cm ³)	2086.77		2086.77		2086.77		2086.77	
Dh (gr/cm ³)	1.81		2.01		2.07		2.05	
Recipiente N°	a	b	c	d	e	f	g	h
Pt (gr)	26.9	25.5	27.5	27.4	27.5	27.4	28.0	27.7
Wmh + t (gr)	164.8	168.2	145.3	117.1	196.7	190.2	170.0	169.2
Wms + t (gr)	154.9	157.9	131.8	106.9	172.4	166.8	143.8	144.9
Ww (gr)	9.9	10.3	13.5	10.2	24.3	23.4	26.2	24.3
Wms (gr)	128	132	104	79.5	145	139	116	117
W (%)	7.73	7.78	12.9	12.8	16.8	16.8	22.6	20.7
Wprom (%)	7.76		12.89		16.78		21.68	
Ds (gr/cm ³)	1.68		1.78		1.77		1.69	

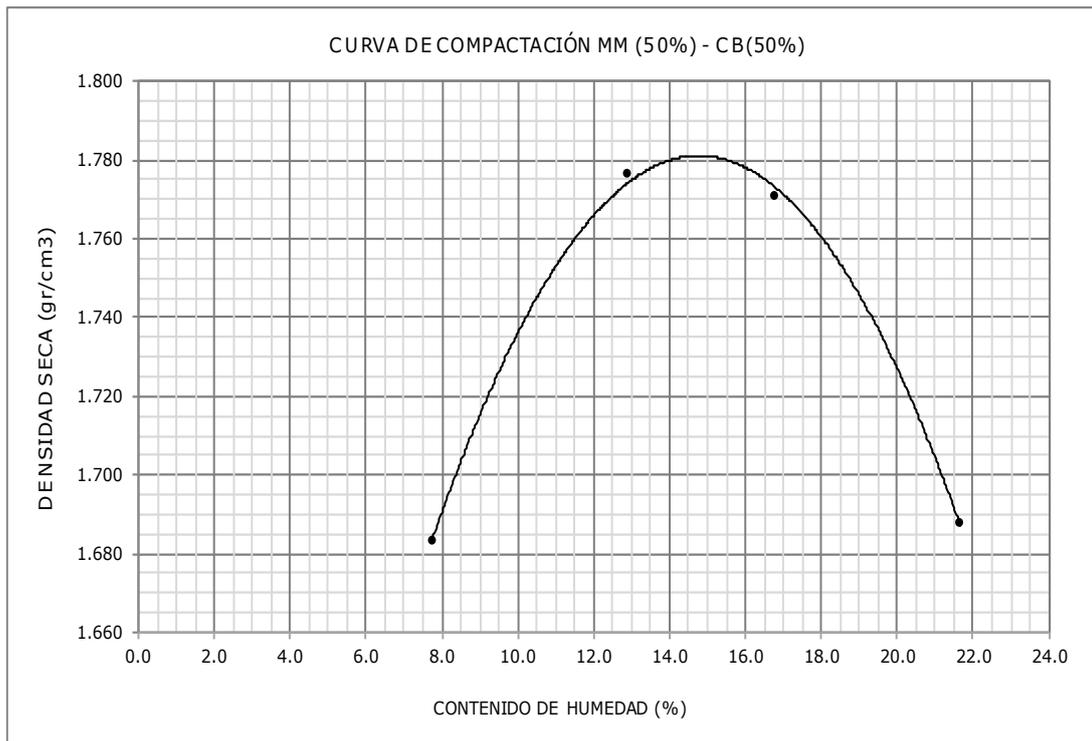


Figura. 44. Curva de compactación (50% Montan Mayo - 50% Chancay Baños).
Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos UNC, 2016.

Tabla.57. E. Compactación de Proctor modificado MM (50%) - CB (50%). Método "A".

Prueba	1	OBSERVACIONES:						
Gradación usada	A	MUESTREO CERCA A LA VÍA EL ALISO - MONTANMAYO						
Nº de esferas	12							
Nº de revoluciones	500							
Peso muestra seca antes de ensayo (g)	5012.0							
Peso muestra seca después de ensayo (g)	3107.6							
Pérdida (g)	1904.4							
% de desgaste	38.0							
DATOS SOBRE GRADACIÓN, CARGA ABRASIVA Y REVOLUCIONES								
TAMAÑO DEL TAMIZ		PESOS Y GRADACIÓN DE LA MUESTRA						
PASA	RETENIDO	A	B	C	D	E	F	G
3"	2 1/2"							
2 1/2"	2"							
2"	1 1/2"							
1 1/2"	1"	1252.6						
1"	3/4"	1253.9						
3/4"	1/2"	1252.4						
1/2"	3/8"	1253.1						
3/8"	1/4"							
1/4"	Nº 4							
Nº 4	Nº 8							
Nº de esferas		12	11	8	6	12	12	12
Nº de revoluciones		500	500	500	500	1000	1000	1000

Fuente: Elaboración propia, 2016.

Tabla 58. Compactación de Proctor modificado MM (25%) - CB (75%) Método "C"

Molde N°	A		B		C		D	
N° Capas	5		5		5		5	
N° golpes por capa	56		56		56		56	
Peso molde (gr)	6295		6295		6295		6295	
Wmh + molde (gr)	10340		10680		10765		10590	
Wmh (gr)	4045		4385		4470		4295	
Vmh (cm ³)	2086.77		2086.77		2086.77		2086.77	
Dh (gr/cm ³)	1.94		2.10		2.14		2.06	
Recipiente N°	a	b	c	d	e	f	g	h
Pt (gr)	27.4	26.8	27.3	26.1	27.2	26.9	26.7	27.4
Wmh + t (gr)	127.3	162.1	153.4	164.0	115.1	174.2	164.8	148.7
Wms + t (gr)	122.8	155.2	142.6	152.2	105.6	158.8	141.8	128.7
Ww (gr)	4.5	6.9	10.8	11.8	9.5	15.4	23	20
Wms (gr)	95.4	128	115	126	78.4	132	115	101
W (%)	4.72	5.37	9.37	9.36	12.1	11.7	20	19.7
Wprom (%)	5.05		9.36		11.90		19.86	
Ds (gr/cm ³)	1.85		1.92		1.91		1.72	

Wopt = 10.5 %
Ds Máx = 1.92 gr/cm ³

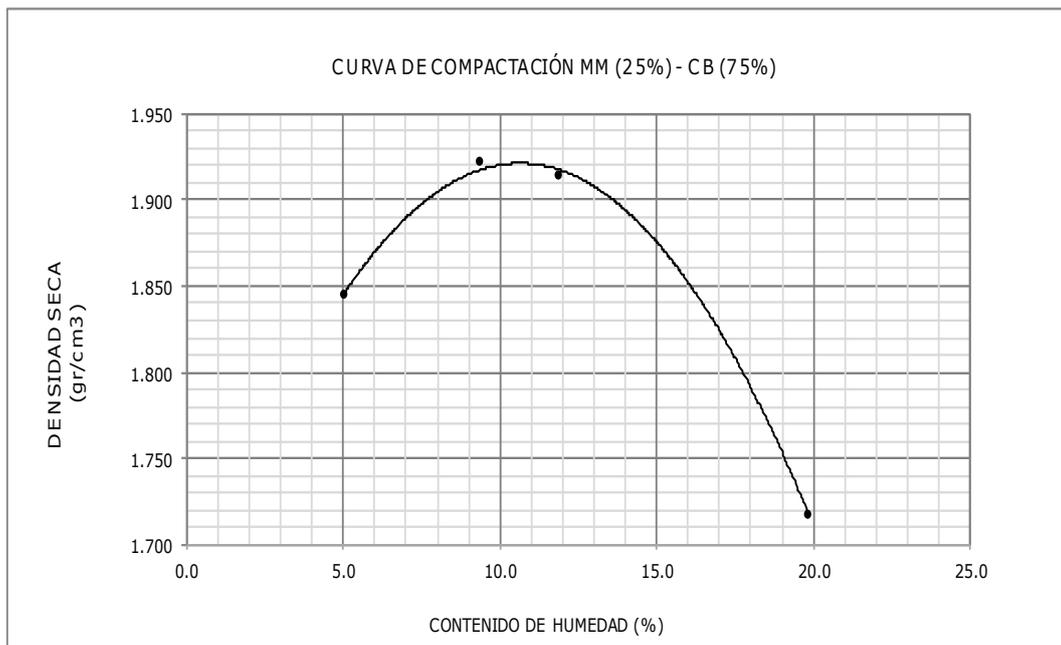


Figura. 45. Curva de compactación (25% Montan Mayo - 75% Chancay Baños).

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos UNC, 2016.

Tabla 59. E. Abrasión Máquina los Ángeles MM (25%) - CB (75%) Método "A"

Prueba	1		OBSERVACIONES:					
Gradación usada	A		MUESTREO CERCA A LA VÍA EL ALISO - MONTAN MAYO					
Nº de esferas	12							
Nº de revoluciones	500							
Peso muestra seca antes de ensayo (g)	5001.1							
Peso muestra seca después de ensayo (g)	3241.7							
Pérdida (g)	1759.4							
% de desgaste	35.2							
DATOS SOBRE GRADACIÓN, CARGA ABRASIVA Y REVOLUCIONES								
TAMAÑO DEL TAMIZ			PESOS Y GRADACIÓN DE LA MUESTRA					
PASA	RETENIDO	A	B	C	D	E	F	G
3"	2 1/2"							
2 1/2"	2"							
2"	1 1/2"							
1 1/2"	1"	1250.6						
1"	3/4"	1249.9						
3/4"	1/2"	1250.4						
1/2"	3/8"	1250.2						
3/8"	1/4"							
1/4"	Nº 4							
Nº 4	Nº 8							
Nº de esferas		12	11	8	6	12	12	12
Nº de revoluciones		500	500	500	500	1000	1000	1000

Fuente: Elaboración propia, 2016.

Tabla 60. Ensayo California Bearing Ratio MM (75%) - CB (25%)

Molde Nº	1		2		3				
Nº Capas	5		5		5				
Nº Golpes por capa	13		27		56				
CONDICIÓN DE MUESTRA	ANTES DE EMPAPAR	DESPUÉS	ANTES DE EMPAPAR	DESPUÉS	ANTES DE EMPAPAR	DESPUÉS			
Peso molde (gr)	7960	7960	7635	7635	7775	7775			
Wmh + molde (gr)	11995	12640	12165	12280	12480	12710			
Wmh (gr)	4035	4680	4530	4645	4705	4935			
Vmh (cm ³)	2114.3	2114	2114.3	2114	2114.3	2114			
Densidad húmeda (gr/cm ³)	1.91	2.213	2.14	2.197	2.23	2.334			
CONTENIDO DE HUMEDAD									
Ensayo Nº	1-A	1-B	1-C	2-A	2-B	2-C	3-A	3-B	3-C
Wt (gr)	26.8	26.1	26.1	27.3	27.8	27.8	26.1	26.2	27.4
Wmh + t (gr)	146.1	140.8	130.5	164.8	149.4	137.7	186.9	216.7	139.4
Wms + t (gr)	127.7	123.1	109.7	141.2	129.6	116.8	161.7	186.2	119.3
Ww (gr)	18.4	17.7	20.8	23.6	19.8	20.9	25.2	30.5	20.1
Wms (gr)	100.9	97	83.6	113.9	101.8	89	135.6	160	91.9
w (%)	18.24	18.25	24.88	20.72	19.45	23.48	18.58	19.06	21.87
w prom (%)	18.24		24.88	20.08		23.48	18.82		21.87
Densidad seca (gr/cm ³)	1.61		1.77	1.78		1.78	1.87		1.92

Fuente: Elaboración propia, 2016.

Fuente: Norma MTC E 132-2000, del 20/05/2016.

Tabla 61. Ensayo de Hinchamiento MM (75%) - CB (25%)

TIEMPO ACUMULADO		MOLDE Nº 1			MOLDE Nº 2			MOLDE Nº 3		
		LECTURA	HINCHAMIENTO		LECTURA	HINCHAMIENTO		LECTURA	HINCHAMIENTO	
(HORAS)	(DÍAS)	DEFORM.	(mm)	(%)	DEFORM.	(mm)	(%)	DEFORM.	(mm)	(%)
0	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
24	1	0.060	0.060	0.111	0.080	0.080	0.148	0.100	0.100	0.185
48	2	0.095	0.095	0.176	0.105	0.105	0.194	0.152	0.152	0.281
72	3	0.095	0.095	0.176	0.105	0.105	0.194	0.183	0.183	0.339
96	4	0.095	0.095	0.176	0.105	0.105	0.194	0.183	0.183	0.339

Fuente: Elaboración propia, 2016.

Tabla 62. Carga de Penetración MM CBR MM (75%) - CB (25%)

PENETRACIÓN		MOLDE Nº 1			MOLDE Nº 2			MOLDE Nº 3		
		CARGA	ESFUERZO		CARGA	ESFUERZO		CARGA	ESFUERZO	
(mm)	(pulg)	(kg)	(kg/cm ²)	(lb/pulg ²)	(kg)	(kg/cm ²)	(lb/pulg ²)	(kg)	(kg/cm ²)	(lb/pulg ²)
0.00	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.0	0.00
0.64	0.03	110.00	5.6	79.68	240.00	12.2	173.85	150.00	7.6	290.00
1.27	0.05	225.00	11.5	162.99	345.00	17.6	249.91	290.00	14.8	560.00
1.91	0.08	410.00	20.9	297.00	725.00	36.9	525.18	480.00	24.4	780.00
2.54	0.10	515.00	26.2	373.06	1100.00	56.0	796.82	760.00	38.7	970.00
3.18	0.13	610.00	31.1	441.87	1365.00	69.5	988.78	1095.00	55.8	1150.00
3.81	0.15	640.00	32.6	463.60	1620.00	82.5	1173.50	1520.00	77.4	1390.00
4.45	0.18	690.00	35.1	499.82	1770.00	90.1	1282.16	1910.00	97.3	1520.00
5.08	0.20	780.00	39.7	565.02	1880.00	95.7	1361.84	2245.00	114.3	1700.00
6.35	0.25	830.00	42.3	601.24	2180.00	111.0	1579.15	2760.00	140.6	1999.29
7.62	0.30	880.00	44.8	637.46	2340.00	119.2	1695.05	3120.00	158.9	2260.07
8.89	0.35	910.00	46.3	659.19	2370.00	120.7	1716.78	3415.00	173.9	2473.76
10.16	0.40	960.00	48.9	695.41	2410.00	122.7	1745.76	3610.00	183.9	2615.02
11.43	0.45	980.00	49.9	709.89	2450.00	124.8	1774.73	3670.00	186.9	2658.48
12.70	0.50	1025.00	52.2	742.49	2460.00	125.3	1781.98	3700.00	188.4	2680.21

Fuente: Elaboración propia, 2016.

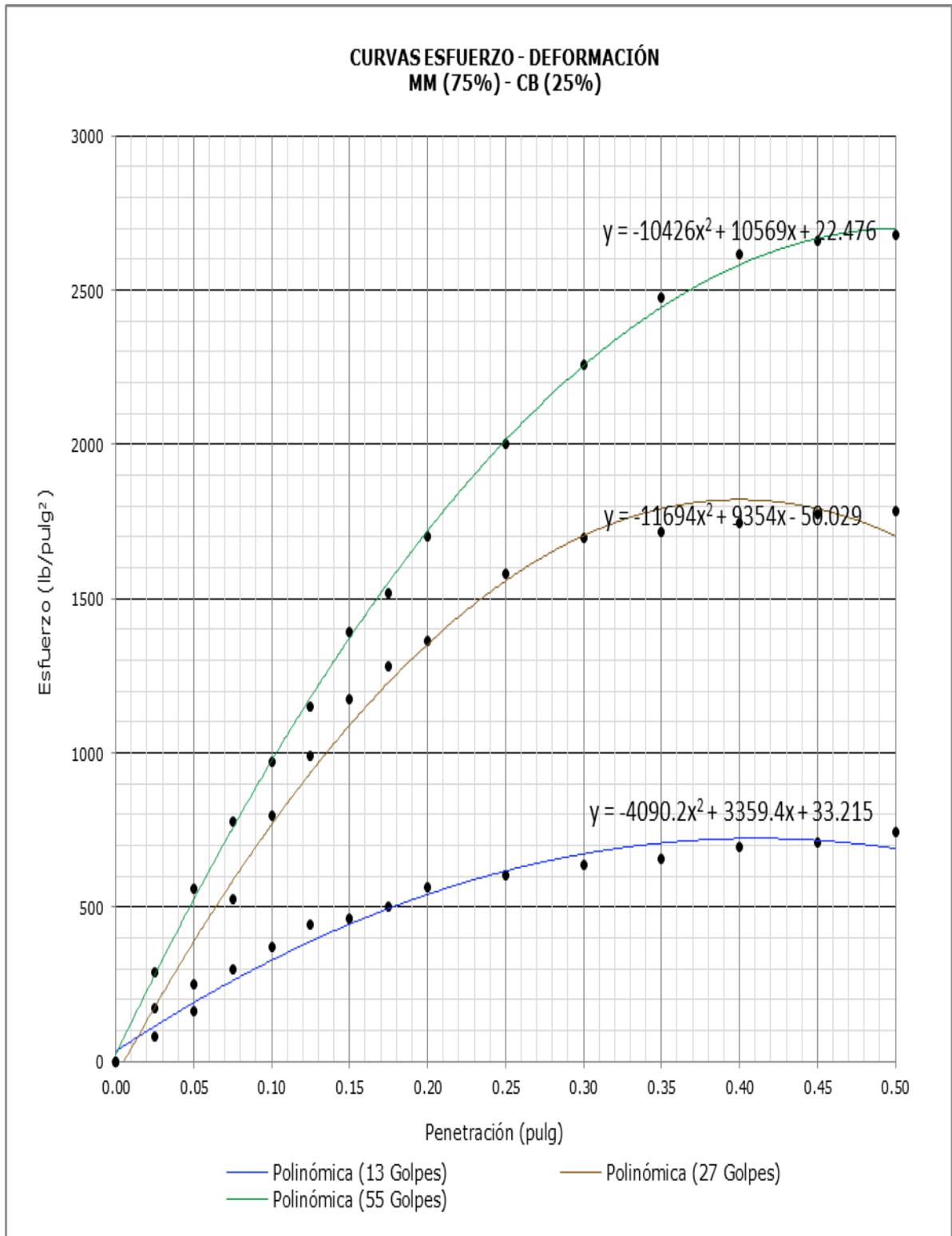


Figura. 46. Curva de Esfuerzo deformación MM (25%) - CB (75%).
Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos UNC, 2016.

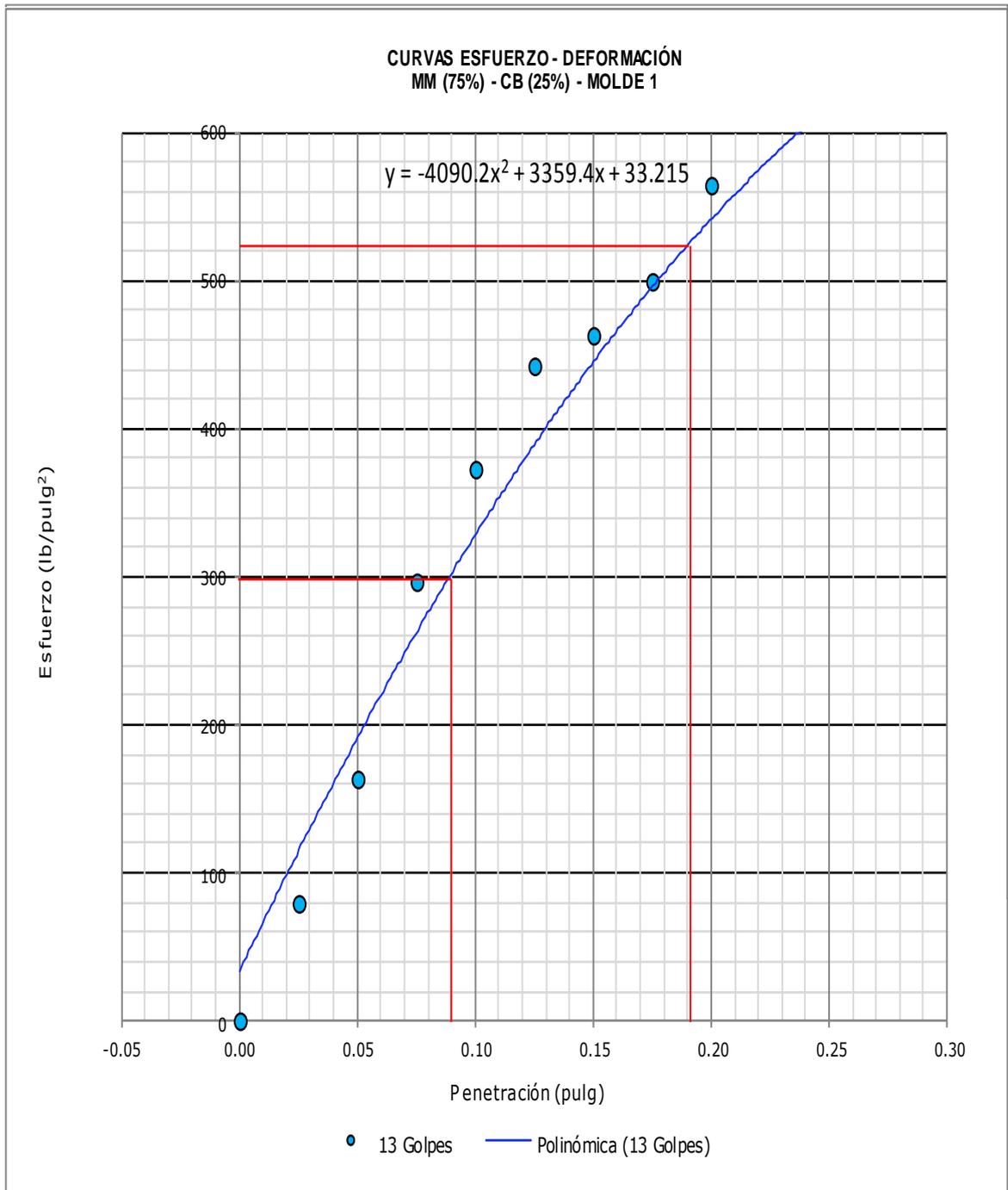


Figura. 47. Curva de Esfuerzo deformación MM (25%) - CB (75%). Molde 1.
Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos UNC, 2016.

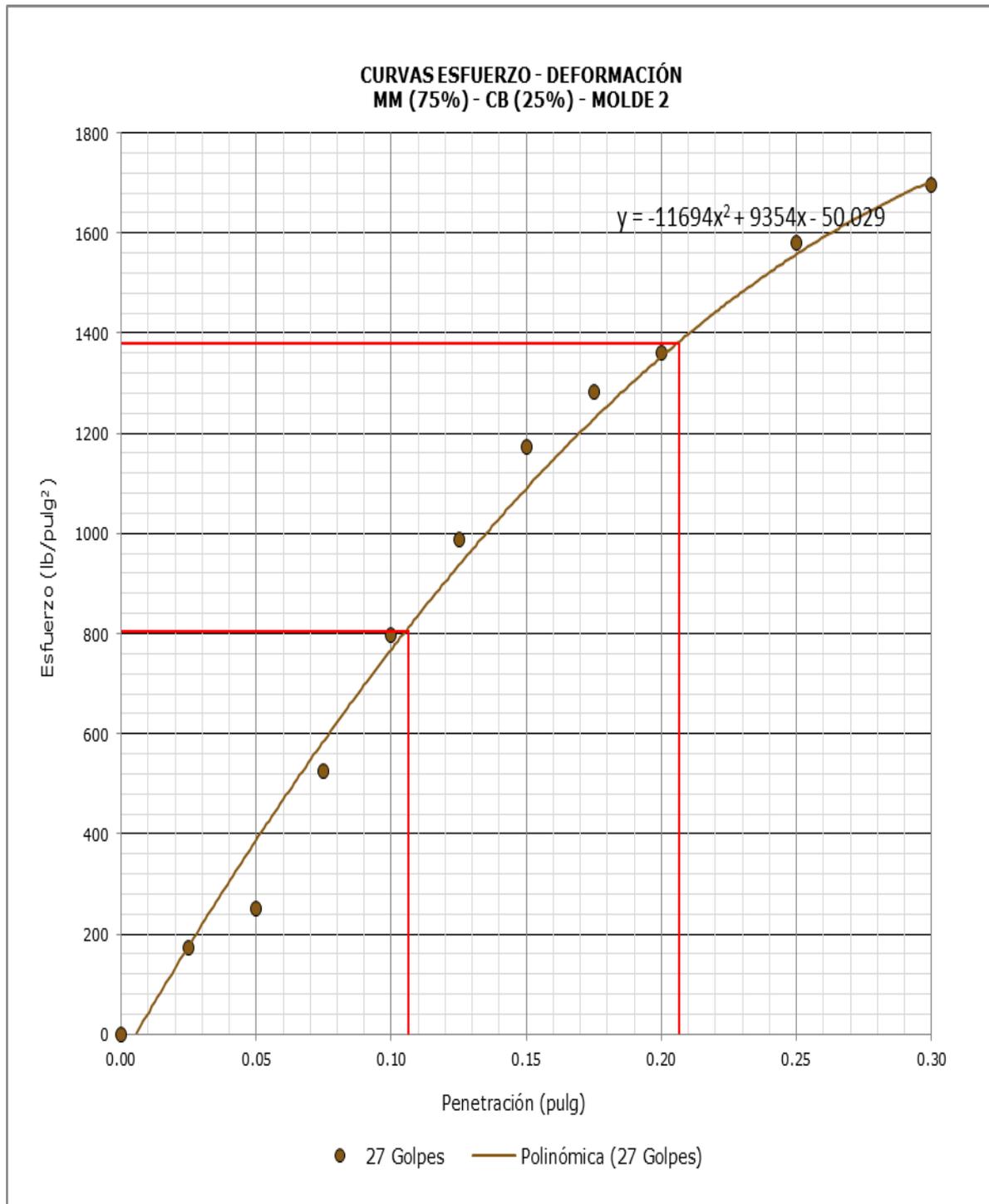


Figura. 48. Curva de Esfuerzo deformación MM (25%) - CB (75%). Molde 2.
Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos UNC, 2016.

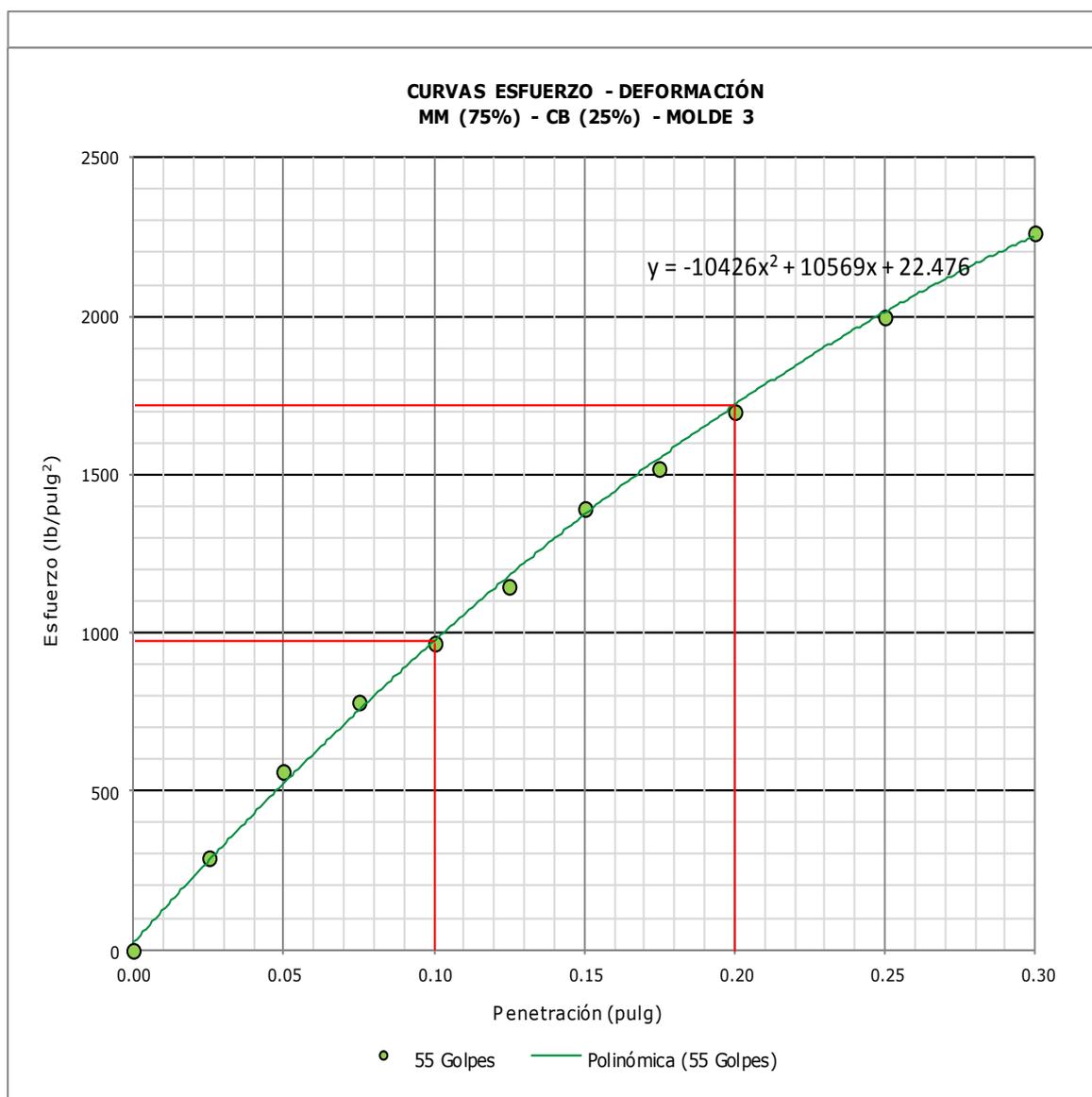


Figura. 49. Curva de Esfuerzo deformación MM (25%) - CB (75%). Molde 3.
Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos UNC, 2016.

Tabla. 63. Esfuerzos para 01" y 02" de Penetración MM (75%) - CB (25%)

Penetración (")	MOLDE Nº 1		MOLDE Nº 2		MOLDE Nº 3	
	01"	02"	01"	02"	01"	02"
Esfuerzo terreno (lb/pulg ²)	302.4	504.4	810.1	1380.6	975.1	1719.2
Esfuerzo patrón (lb/pulg ²)	1000	1500	1000	1500	1000	1500
CBR (%)	30.24	33.63	81.01	92.04	97.51	114.6

Fuente: Elaboración propia, 2016.

Tabla. 64. CBR y densidad seca MM (75%) – CB (25%)

Penetración (")	MOLDE Nº 1		MOLDE Nº 2		MOLDE Nº 3	
	01"	02"	01"	02"	01"	02"
CBR (%)	30.24	33.63	81.01	92.04	97.51	114.6
Ds (gr/cm ³)	1.614	1.614	1.784	1.784	1.873	1.873

Fuente: Elaboración propia, 2016.

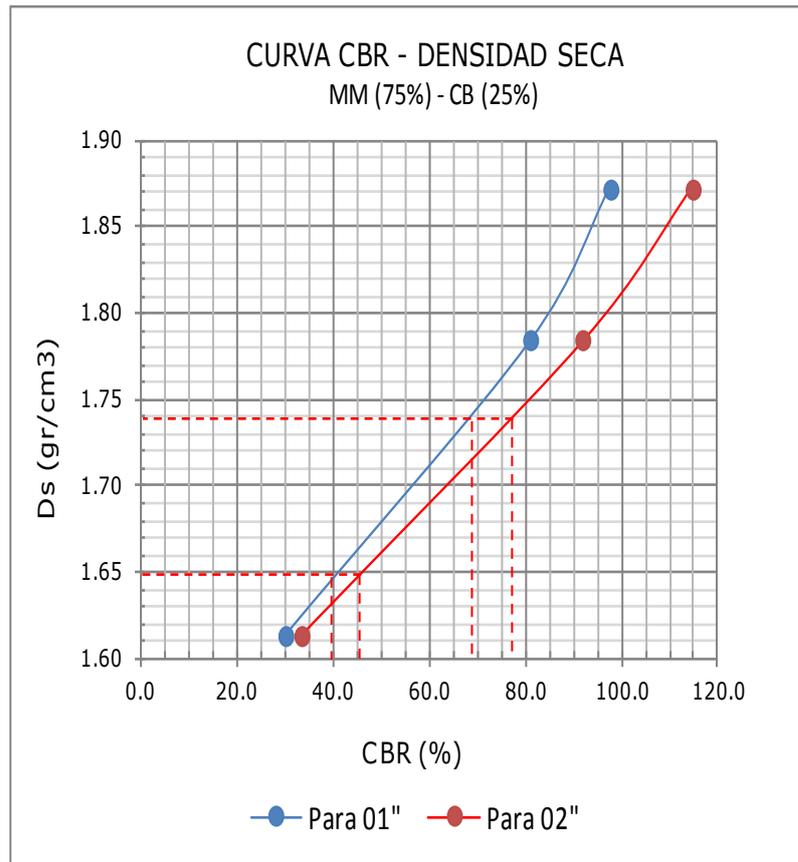


Figura 50. Curva CBR. Densidad Seca MM (75%) - CB (25%)

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos UNC, 2016.

Ds Máx = 1.74 gr/cm³ CBR (0.1") = 69 %
 CBR (0.2") = 77 %

95% Ds Máx = 1.65 gr/cm³ CBR (0.1") = 40 %
 CBR (0.2") = 28 %

Tabla 65. Ensayo California Bearing Ratio MM (50%) - CB (50%)

Molde Nº	1			2			3		
Nº Capas	5			5			5		
Nº Golpes por capa	13			27			56		
CONDICIÓN DE MUESTRA	ANTES DE EMPAPAR		DESPUÉS	ANTES DE EMPAPAR		DESPUÉS	ANTES DE EMPAPAR		DESPUÉS
Peso molde (gr)	7960		7960	7635		7635	7775		7775
Wmh + molde (gr)	11665	12095	11820	11980	12055	12155	12155	12155	12155
Wmh (gr)	3705		4135	4185		4345	4280		4380
Vmh (cm ³)	2114.3		2114	2114.3		2114	2114.3		2114
Densidad húmeda (gr/cm ³)	1.75		1.956	1.98		2.055	2.02		2.072
CONTENIDO DE HUMEDAD									
Ensayo Nº	1-A	1-B	1-C	2-A	2-B	2-C	3-A	3-B	3-C
Wt (gr)	27.1	26.8	26.8	27.4	26.9	26.9	26.5	26.7	26.7
Wmh + t (gr)	182.3	145.6	164.2	160.7	215.3	111.1	175.8	123.6	132.8
Wms + t (gr)	162.1	130.7	142.9	144.9	192.6	99.9	158.7	112.5	117.3
Ww (gr)	20.2	14.9	21.3	15.8	22.7	11.2	17.1	11.1	15.5
Wms (gr)	135	103.9	116.1	117.5	165.7	73	132.2	85.8	90.6
w (%)	14.96	14.34	18.35	13.45	13.7	15.34	12.93	12.94	17.11
w prom (%)	14.65		18.35	13.57		15.34	12.94		17.11
Densidad seca (gr/cm ³)	1.53		1.65	1.74		1.78	1.79		1.77

Fuente: Norma MTC E 132-2000, de fecha 20/05/2016.

Tabla 66. Ensayo de Hinchamiento MM (50%) - CB (50%)

TIEMPO ACUMULADO		MOLDE Nº 1			MOLDE Nº 2			MOLDE Nº 3		
(HORAS)	(DÍAS)	LECTURA	HINCHAMIENTO		LECTURA	HINCHAMIENTO		LECTURA	HINCHAMIENTO	
		DEFORM.	(mm)	(%)	DEFORM.	(mm)	(%)	DEFORM.	(mm)	(%)
0	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
24	1	0.040	0.040	0.074	0.065	0.065	0.120	0.080	0.080	0.148
48	2	0.065	0.065	0.120	0.082	0.082	0.152	0.105	0.105	0.194
72	3	0.065	0.065	0.120	0.082	0.082	0.152	0.106	0.106	0.196
96	4	0.065	0.065	0.120	0.082	0.082	0.152	0.106	0.106	0.196

Fuente: Elaboración propia, 2016.

Tabla 67. Carga de Penetración MM CBR MM (50%) - CB (50%)

PENETRACIÓN		MOLDE Nº 1			MOLDE Nº 2			MOLDE Nº 3		
(mm)	(pulg)	CARGA	ESFUERZO		CARGA	ESFUERZO		CARGA	ESFUERZO	
		(kg)	(kg/cm ²)	(lb/pulg ²)	(kg)	(kg/cm ²)	(lb/pulg ²)	(kg)	(kg/cm ²)	(lb/pulg ²)
0.00	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.0	0.00
0.64	0.03	105.00	5.3	76.06	175.00	8.9	126.77	162.00	8.3	117.35
1.27	0.05	210.00	10.7	152.12	245.00	12.5	177.47	485.00	24.7	351.33
1.91	0.08	300.00	15.3	217.31	450.00	22.9	325.97	675.00	34.4	488.96
2.54	0.10	405.00	20.6	293.37	720.00	36.7	521.55	820.00	41.8	593.99
3.18	0.13	480.00	24.4	347.70	1005.00	51.2	728.00	1105.00	56.3	800.44
3.81	0.15	570.00	29.0	412.90	1195.00	60.9	865.64	1365.00	69.5	988.78
4.45	0.18	650.00	33.1	470.85	1435.00	73.1	1039.49	1640.00	83.5	1187.99
5.08	0.20	710.00	36.2	514.31	1655.00	84.3	1198.85	1865.00	95.0	1350.97
6.35	0.25	805.00	41.0	583.13	2045.00	104.2	1481.36	2395.00	122.0	1734.89
7.62	0.30	890.00	45.3	644.70	2255.00	114.8	1633.48	2955.00	150.5	2140.55
8.89	0.35	970.00	49.4	702.65	2375.00	121.0	1720.41	3200.00	163.0	2318.02
10.16	0.40	1040.00	53.0	753.36	2415.00	123.0	1749.38	3435.00	174.9	2488.25
11.43	0.45	1080.00	55.0	782.33	2440.00	124.3	1767.49	3440.00	175.2	2491.87
12.70	0.50	1100.00	56.0	796.82	2445.00	124.5	1771.11	3465.00	176.5	2509.98

Fuente: Elaboración propia, 2016.

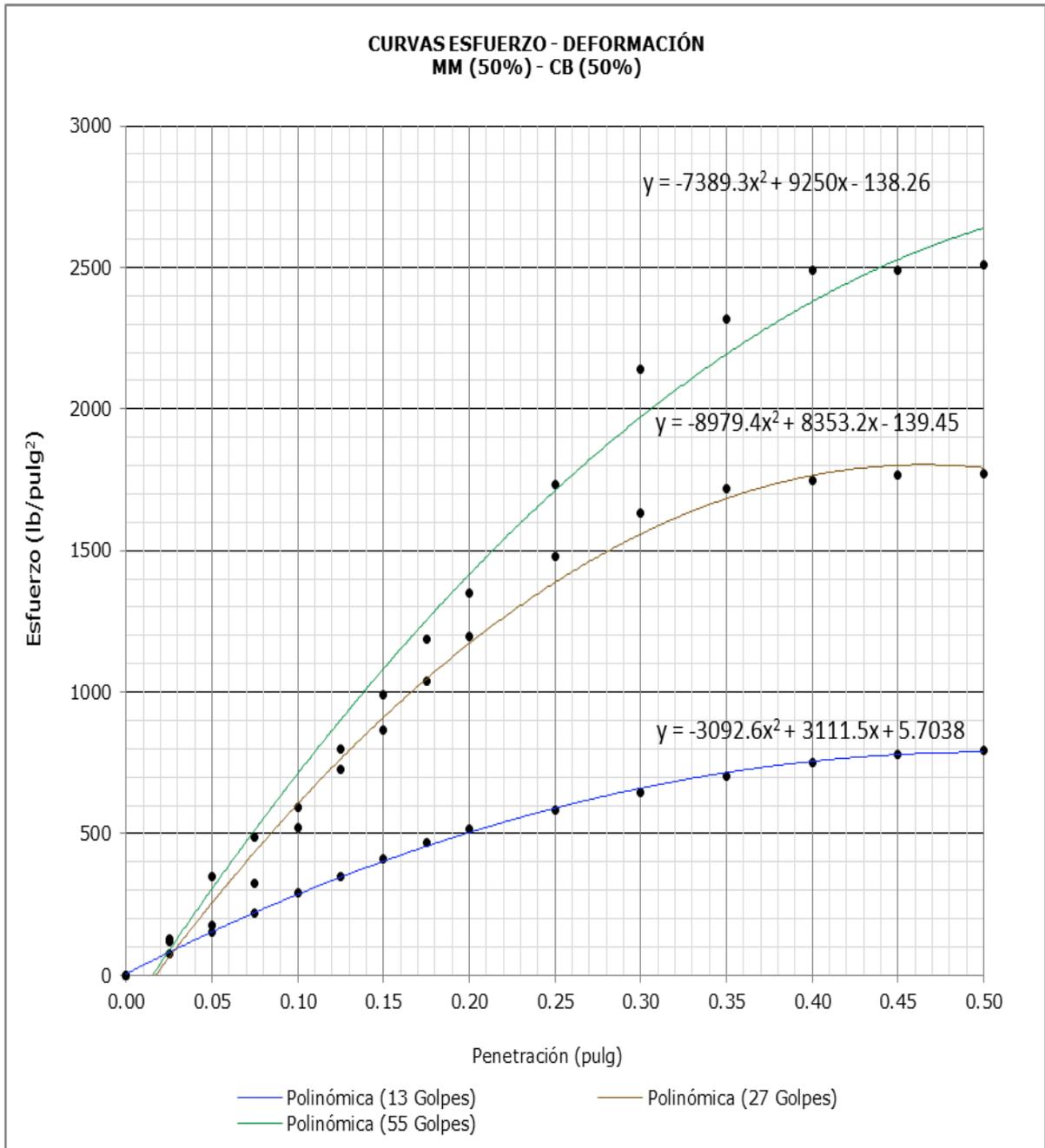


Figura. 51. Curva de Esfuerzo deformación MM (50%) - CB (50%)
Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos UNC, 2016.

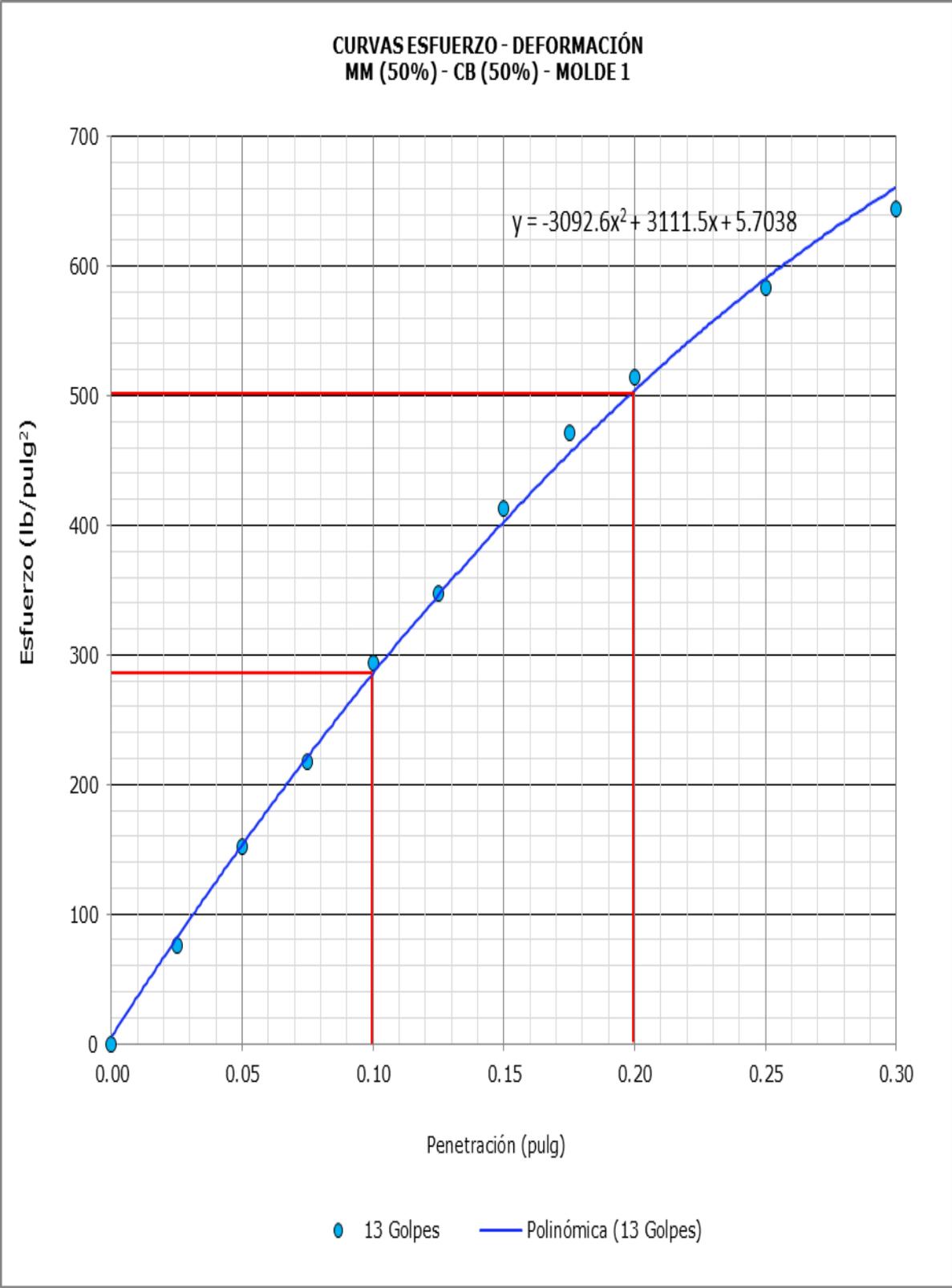


Figura. 52. Curva de Esfuerzo deformación MM (50%) - CB (50%). Molde 1.
Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos UNC, 2016.

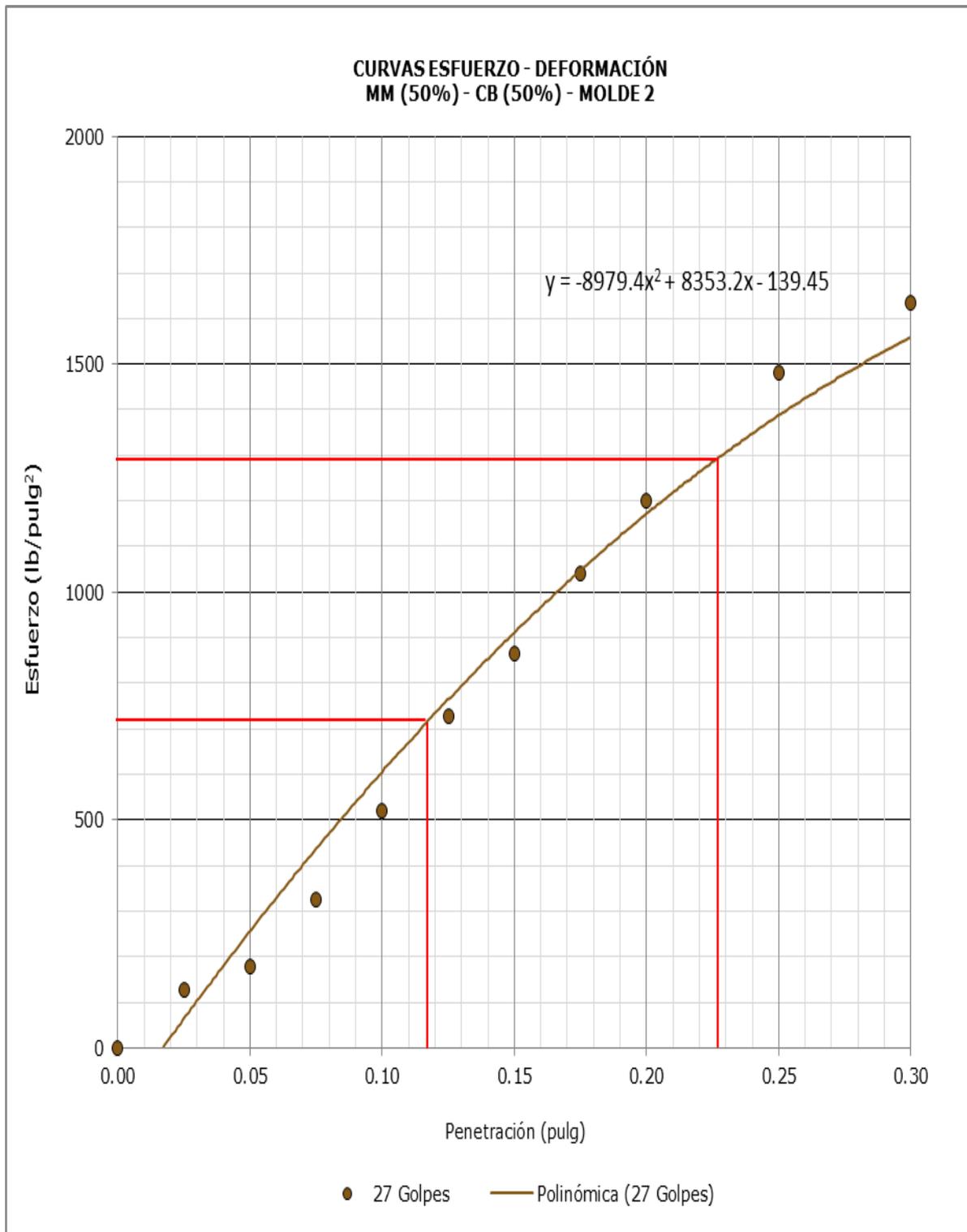


Figura. 53. Curva de Esfuerzo deformación MM (50%) - CB (50%). Molde 2.
Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos UNC, 2016

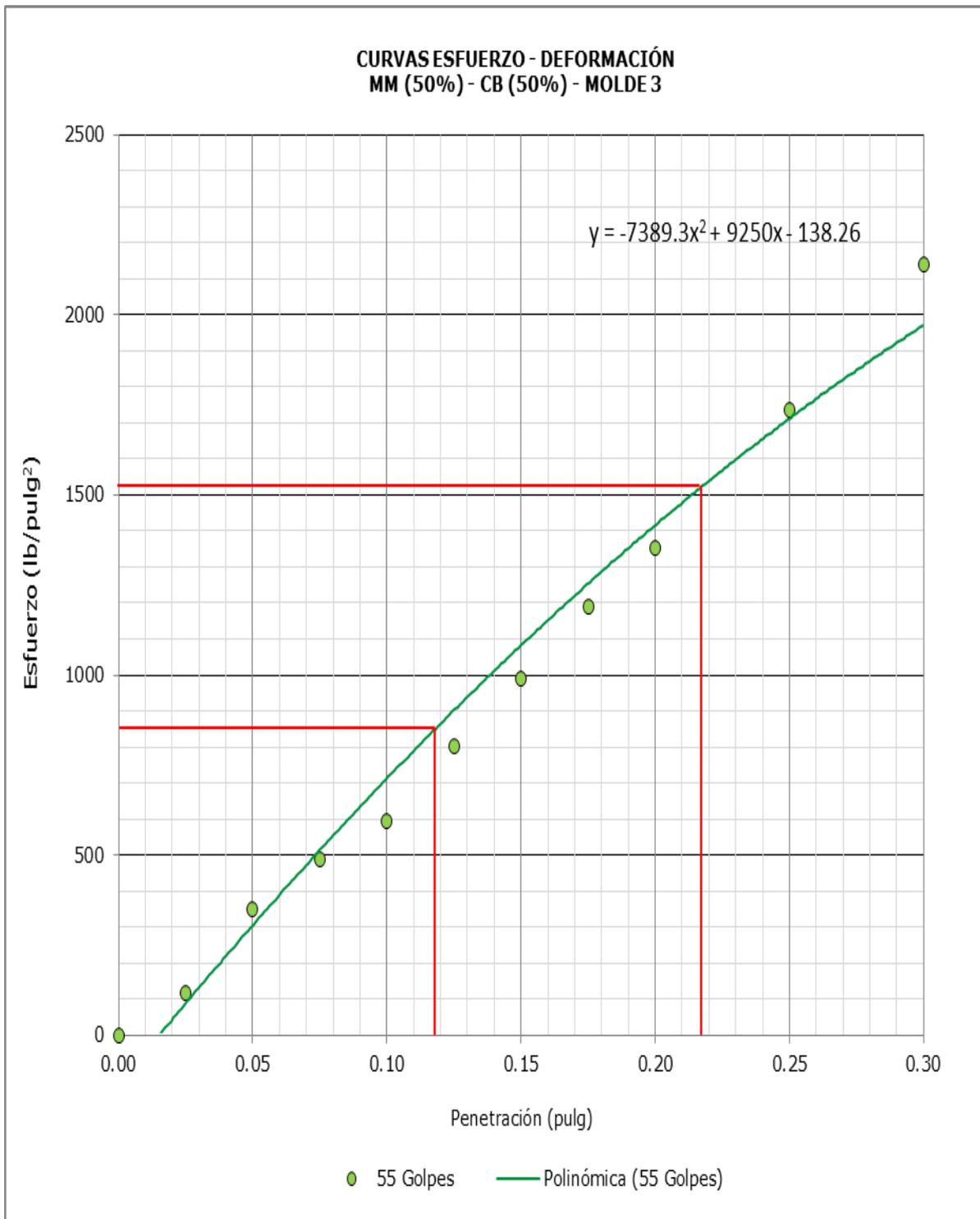


Figura. 54. Curva de Esfuerzo deformación MM (50%) - CB (50%). Molde 3.
Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos UNC, 2016.

Tabla. 68. Esfuerzos para 01" y 02" de Penetración MM (50%) - CB (50%)

Penetración (")	MOLDE Nº 1		MOLDE Nº 2		MOLDE Nº 3	
	01"	02"	01"	02"	01"	02"
Esfuerzo terreno (lb/pulg2)	285.9	504.3	800.7	1232.4	850.4	1527.1
Esfuerzo patrón (lb/pulg2)	1000	1500	1000	1500	1000	1500
CBR (%)	28.59	33.62	80.07	82.16	85.04	101.8

Fuente: Elaboración propia, 2016.

Tabla. 69. CBR y Densidad Seca MM (50%) –CB (50%)

Penetración (")	MOLDE Nº 1		MOLDE Nº 2		MOLDE Nº 3	
	01"	02"	01"	02"	01"	02"
CBR (%)	28.59	33.62	80.07	82.16	85.04	101.8
Ds (gr/cm3)	1.528	1.528	1.743	1.743	1.792	1.792

Fuente: Elaboración propia, 2016.

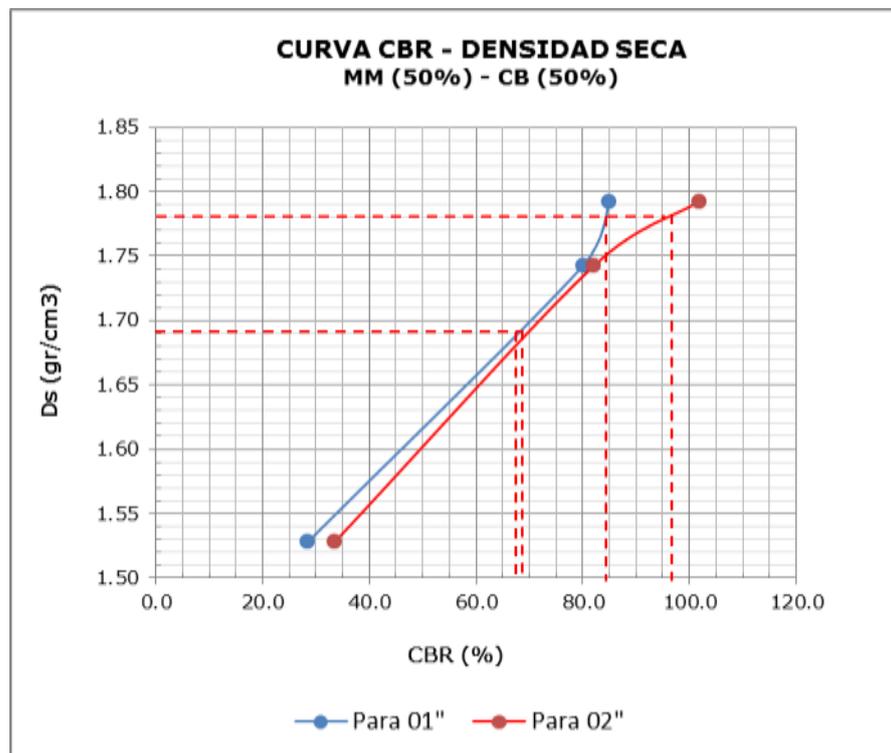


Figura. 55. Curva CBR y Densidad Seca MM (50%) –CB (50%)

Fuente: Elaboración propia, 2016.

Ds Máx = 1.78 gr/cm³ CBR (0.1") = 84 %
 CBR (0.2") = 92 %

95% Ds Máx = 1.69 gr/cm³ CBR (0.1") = 67 %
 CBR (0.2") = 69 %

Tabla 70. Ensayo de Compactación CBR MM (25%) - CB (75%)

Molde N°	1		2		3				
N° Capas	5		5		5				
N° Golpes por capa	13		27		56				
CONDICIÓN DE MUESTRA	ANTES DE EMPAPAR	DESPUÉS	ANTES DE EMPAPAR	DESPUÉS	ANTES DE EMPAPAR	DESPUÉS			
Peso molde (gr)	7960	7960	7635	7635	7775	7775			
Wmh + molde (gr)	12090	12305	12180	12215	12270	12420			
Wmh (gr)	4130	4345	4545	4580	4495	4645			
Vmh (cm ³)	2114.3	2114	2114.3	2114	2114.3	2114			
Densidad húmeda (gr/cm ³)	1.95	2.055	2.15	2.166	2.13	2.197			
CONTENIDO DE HUMEDAD									
Ensayo N°	1-A	1-B	1-C	2-A	2-B	2-C	3-A	3-B	3-C
Wt (gr)	27.5	25.5	25.5	27.2	28	28	27.5	27.7	27.7
Wmh + t (gr)	163.5	181.8	149.5	187.2	238.8	125.8	175.3	175.9	129
Wms + t (gr)	151.6	168.3	135.4	172.9	220.6	115.8	163.1	162.5	120.2
Ww (gr)	11.9	13.5	14.1	14.3	18.2	10	12.2	13.4	8.8
Wms (gr)	124.1	142.8	109.9	145.7	192.6	87.8	135.6	134.8	92.5
w (%)	9.589	9.454	12.83	9.815	9.45	11.39	8.997	9.941	9.514
w prom (%)	9.52		12.83	9.63		11.39	9.47		9.51
Densidad seca (gr/cm ³)	1.78		1.82	1.96		1.94	1.94		2.01

Fuente: Norma MTC E 132-2000 de fecha 20/05/2016.

Tabla 71. Ensayo de Hinchamiento (25%) - CB (75%)

TIEMPO ACUMULADO		MOLDE N° 1			MOLDE N° 2			MOLDE N° 3		
		LECTURA	HINCHAMIENTO		LECTURA	HINCHAMIENTO		LECTURA	HINCHAMIENTO	
(HORAS)	(DÍAS)	DEFORM.	(mm)	(%)	DEFORM.	(mm)	(%)	DEFORM.	(mm)	(%)
0	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
24	1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
48	2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
72	3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
96	4	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Fuente: Elaboración propia, 2016.

Tabla 72. Carga de Penetración MM CBR MM (25%) - CB (75%)

PENETRACIÓN N		MOLDE Nº 1			MOLDE Nº 2			MOLDE Nº 3		
		CARGA A	ESFUERZO		CARGA A	ESFUERZO		CARGA A	ESFUERZO	
(mm)	(pulg)	(kg)	(kg/cm ²)	(lb/pulg ²)	(kg)	(kg/cm ²)	(lb/pulg ²)	(kg)	(kg/cm ²)	(lb/pulg ²)
0.00	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.0	0.00
0.64	0.03	115.00	5.9	83.30	160.00	8.1	115.90	230.00	11.7	166.61
1.27	0.05	215.00	10.9	155.74	420.00	21.4	304.24	450.00	22.9	325.97
1.91	0.08	335.00	17.1	242.67	650.00	33.1	470.85	700.00	35.7	507.07
2.54	0.10	450.00	22.9	325.97	950.00	48.4	688.16	1000.00	50.9	724.38
3.18	0.13	550.00	28.0	398.41	1200.00	61.1	869.26	1300.00	66.2	941.70
3.81	0.15	700.00	35.7	507.07	1500.00	76.4	1086.57	1600.00	81.5	1159.01
4.45	0.18	750.00	38.2	543.29	1600.00	81.5	1159.01	1800.00	91.7	1303.89
5.08	0.20	800.00	40.7	579.51	1850.00	94.2	1340.11	2200.00	112.0	1593.64
6.35	0.25	900.00	45.8	651.94	2200.00	112.0	1593.64	2600.00	132.4	1883.39
7.62	0.30	1000.00	50.9	724.38	2400.00	122.2	1738.52	2950.00	150.2	2136.93
8.89	0.35	1100.00	56.0	796.82	2500.00	127.3	1810.95	3200.00	163.0	2318.02
10.16	0.40	1300.00	66.2	941.70	2600.00	132.4	1883.39	3430.00	174.7	2484.63
11.43	0.45	1350.00	68.8	977.92	2650.00	135.0	1919.61	3480.00	177.2	2520.85
12.70	0.50	1380.00	70.3	999.65	2680.00	136.5	1941.34	3500.00	178.3	2535.34

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos UNC, 2016.

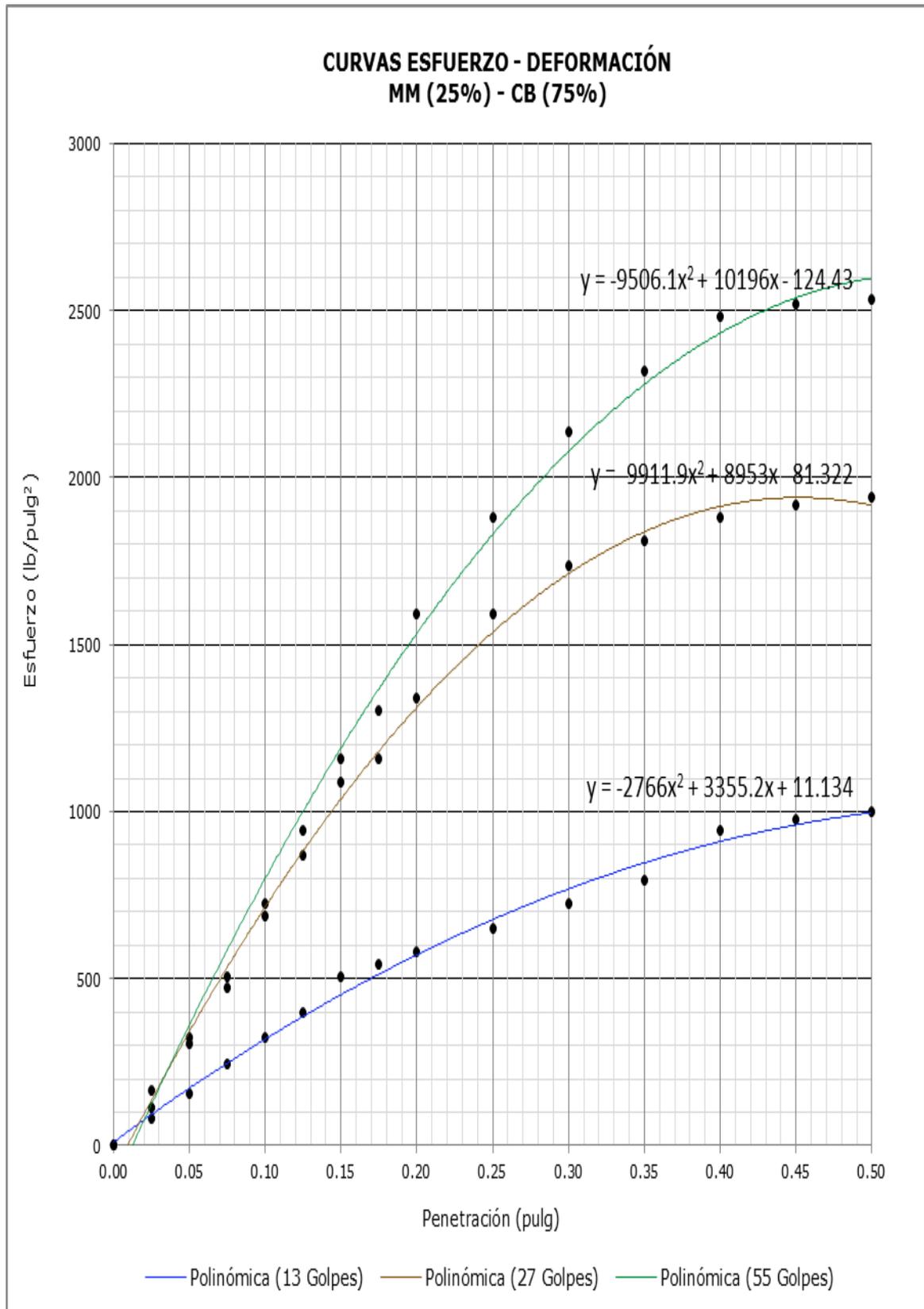


Figura. 56. Curva de Esfuerzo deformación MM (25%) - CB (75%).

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos UNC, 2016.

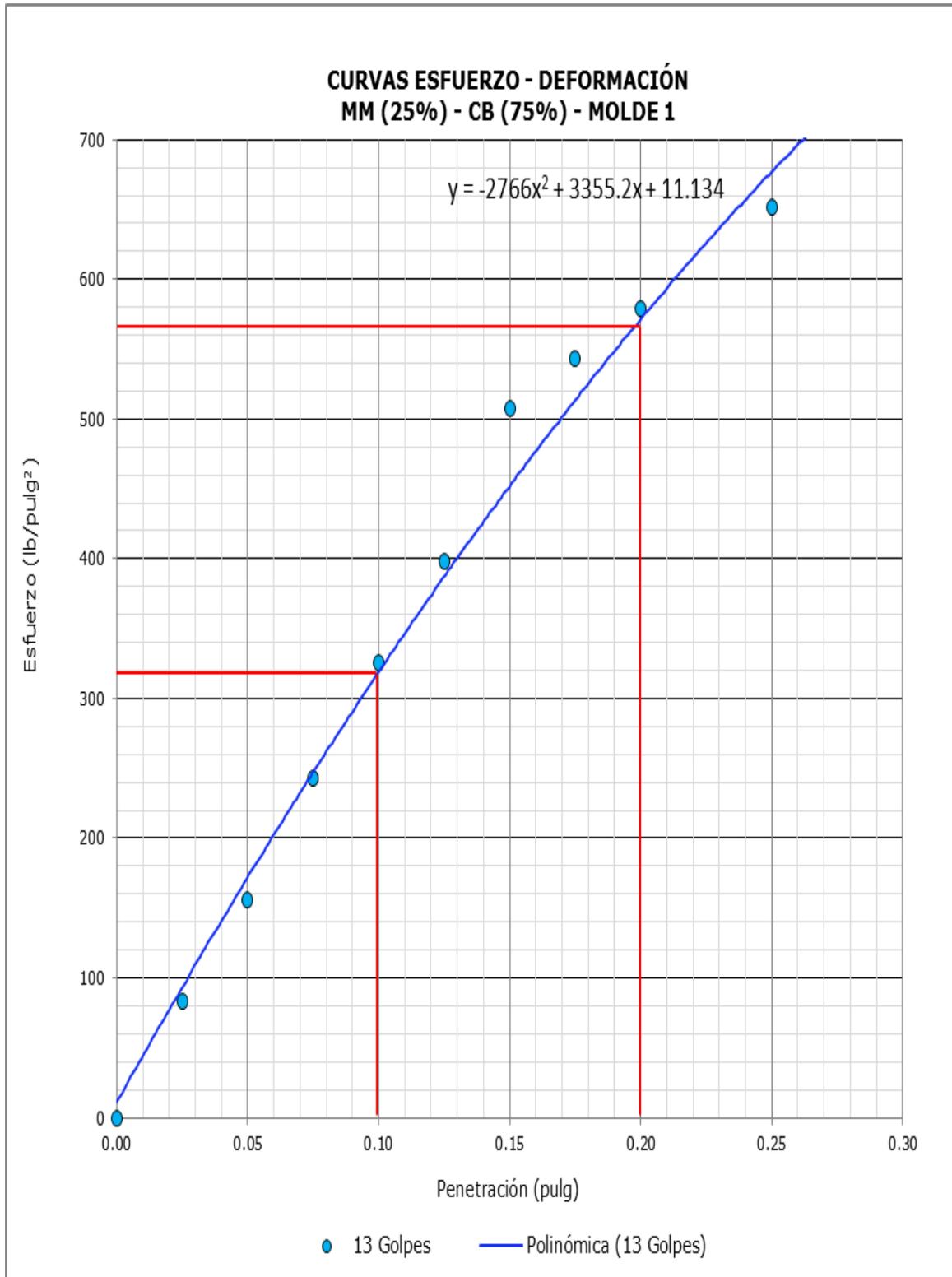


Figura. 57. Curva de Esfuerzo deformación MM (25%) - CB (75%). Molde 1.
Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos UNC, 2016.

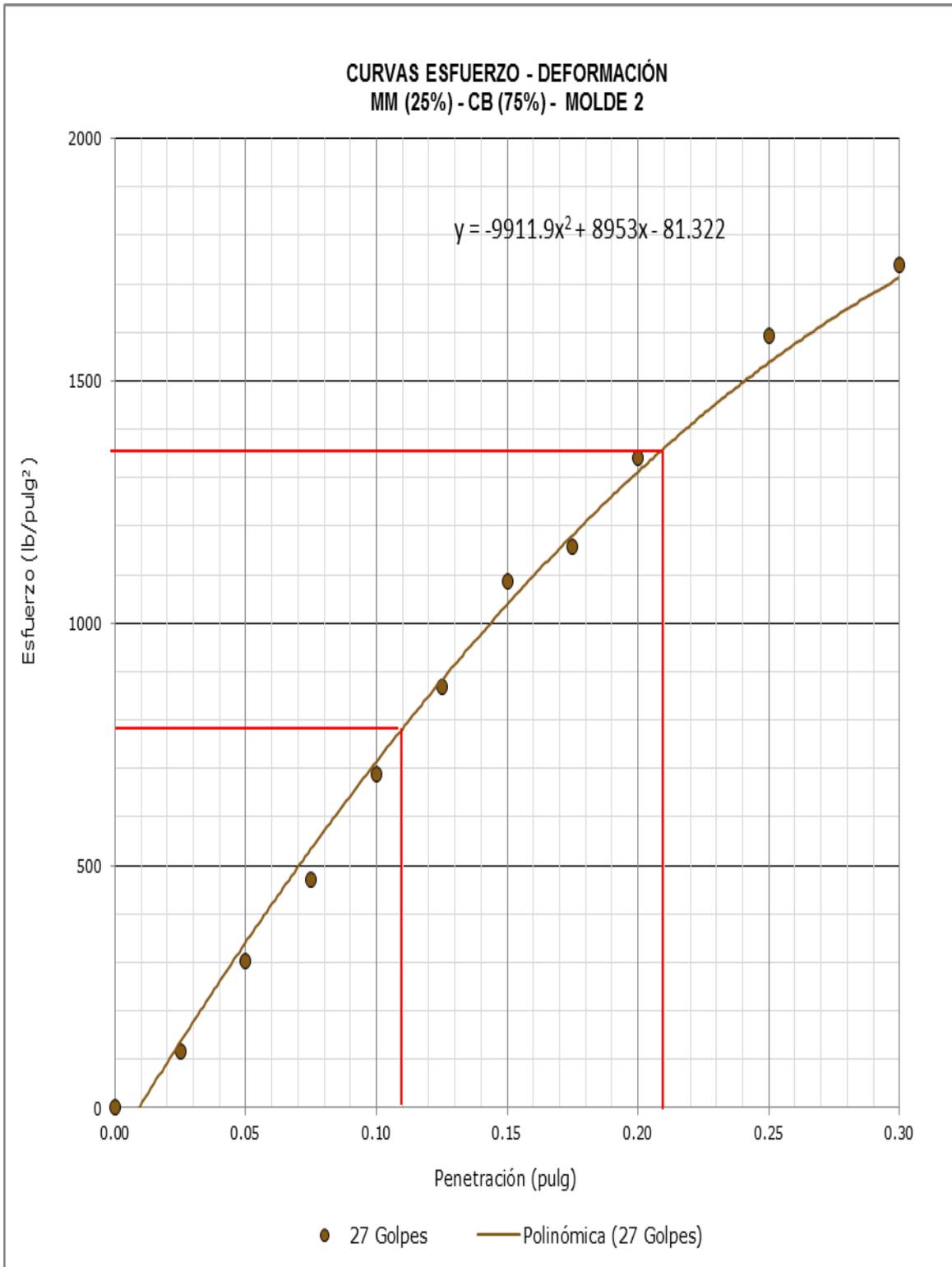


Figura. 58. Curva de Esfuerzo deformación MM (25%) - CB (75%). Molde 2
Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos UNC, 2016.

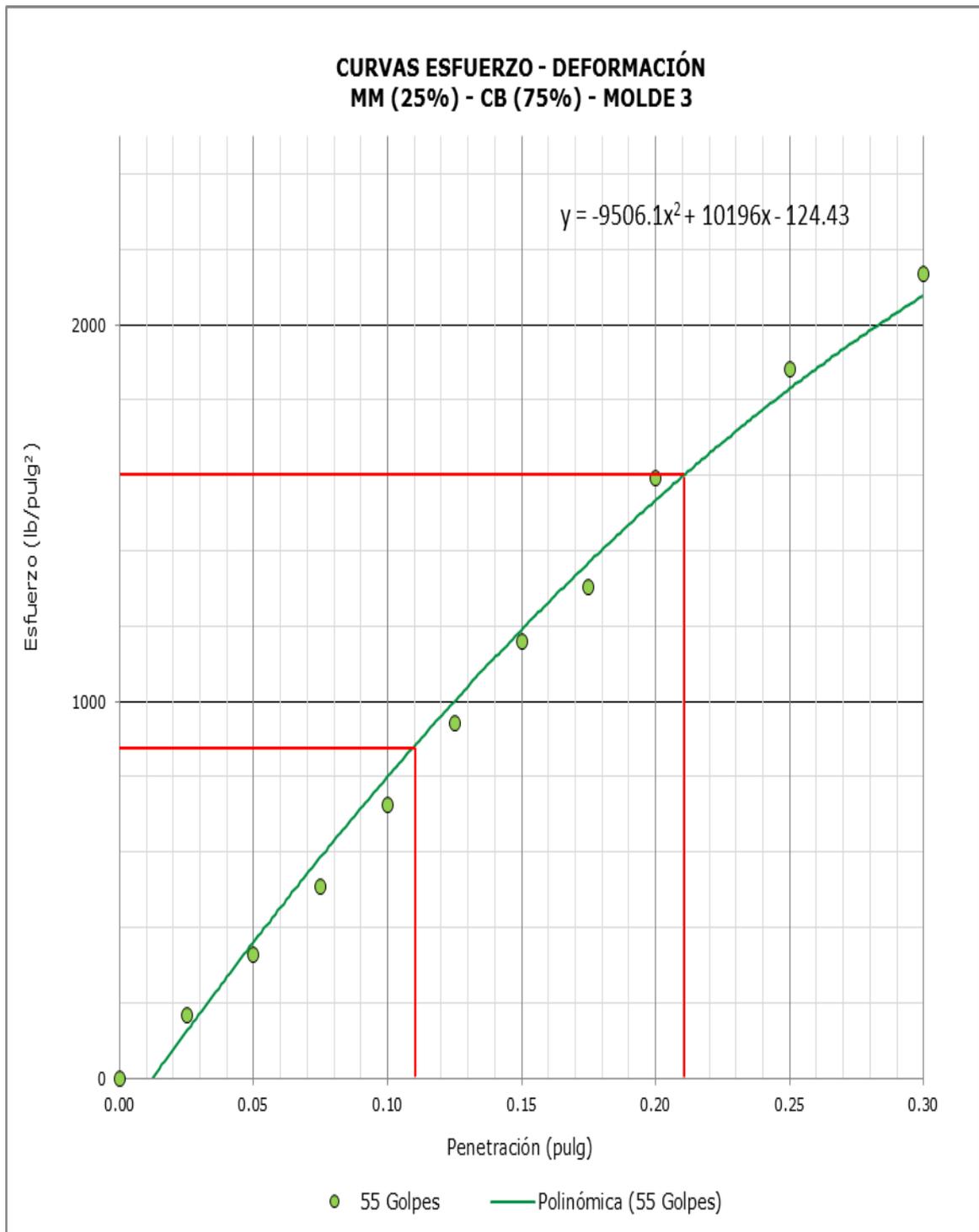


Figura. 59. Curva de Esfuerzo deformación MM (25%) - CB (75%). Molde 3.
Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos UNC, 2016.

Tabla. 73. Esfuerzos para 01" y 02" de Penetración MM (25%) - CB (75%)

	MOLDE Nº 1		MOLDE Nº 2		MOLDE Nº 3	
	01"	02"	01"	02"	01"	02"
Penetración (")	01"	02"	01"	02"	01"	02"
Esfuerzo terreno (lb/pulg2)	319.0	571.5	783.6	1361.7	882.1	1597.5
Esfuerzo patrón (lb/pulg2)	1000	1500	1000	1500	1000	1500
CBR (%)	31.9	38.1	78.36	90.78	88.21	106.5

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos UNC, 2016.

Tabla. 74. CBR y densidad seca MM (25%) – CB (75%)

	MOLDE Nº 1		MOLDE Nº 2		MOLDE Nº 3	
	01"	02"	01"	02"	01"	02"
Penetración (")	01"	02"	01"	02"	01"	02"
CBR (%)	31.9	38.1	78.36	90.78	88.21	106.5
Ds (gr/cm3)	1.784	1.784	1.961	1.961	1.942	1.942

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos UNC, 2016.

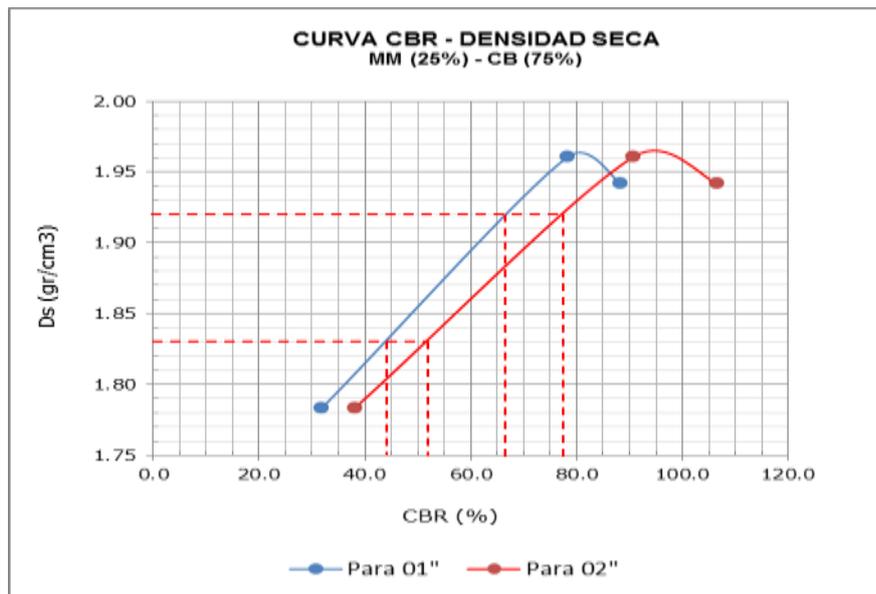


Figura. 60. Curva - CBR y densidad seca MM (25%) –CB (75%)

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos UNC, 2016.

Ds Máx =	1.92	gr/cm3	CBR (0.1") =	67 %
			CBR (0.2") =	77 %
95% Ds Máx =	1.83	gr/cm3	CBR (0.1") =	44 %
			CBR (0.2") =	52 %

CAPÍTULO VI: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS Y PROCESO DE CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS

4.1. Análisis de datos de las canteras de Montan Mayo y Chancay Baños

Las siguientes tablas muestran el resumen de los análisis realizados a cada muestra de suelo de las diferentes canteras en estudio:

Tabla 75. Resumen de características de cantera Montan Mayo (MM)

	MM	ESPECIF. BASE	CUMPLE
W(%)	28.17		
Yesp	2.37		
LL	60		
LP	33		
IP	26.74	40% máx	SI
SUCS	GM		
¿Cumple Husos?		Gradación A	NO
Wopt	23		
Ds Máx	1.416		
95% Ds Máx	1.35		
CBR al 100% (0.1")	65	80% mín	NO
CBR al 95% (0.1")	38		
% ABRASIÓN	59.32	40% máx	NO

Fuente: Elaboración propia, 2016.

En la Tabla 75 de las características de cantera Montan Mayo, se aprecia que el CBR correspondiente a 0.1" y al 100% de la Densidad Máxima Seca de la cantera Montan Mayo, se encuentra por debajo del requerimiento de las especificaciones para bases, presenta resistencia a la abrasión de 59.3%, porcentaje no admitido para bases por las especificaciones técnicas. Por lo que se concluye que el material de la cantera no, cumple con la gradación granulométrica exigida por la Norma Peruana para su utilización como capa de base.

Tabla 76. Resumen de características de cantera Chancay Baños (CB)

	CB	ESPECIF. BASE	CUMPLE
W(%)	2.48		
Yesp	2.48		
LL	18		
LP	NO TIENE		
IP	N.P.	40% máx	SI
SUCS	GW		
¿Cumple Husos?		Gradación A	SI
Wopt	4.15		
Ds Máx	2.103		
95% Ds Máx	1.35		
CBR al 100% (0.1")	76	80% mín	NO
CBR al 95% (0.1")	29		
% ABRASIÓN	31.75	40% máx	SI

Fuente: Elaboración propia, 2016.

En la Tabla 76 de las características del material de la cantera de Chancay Baños se concluye que contiene bajo porcentaje de finos, es granular y con una resistencia a la abrasión de 31.75%. Sin embargo, aunque la granulometría de este material, sí se encuentra dentro de los husos que establecen las especificaciones peruanas para capas de base, el CBR obtenido en laboratorio, para 0.1" y un 100% de la Densidad Máxima Seca, es de 76%. Por lo que se concluye que no cumple con los requerimientos técnicos exigidos por la Norma Peruana para su utilización como capa de Base.

Resultados de las mezclas en diferentes proporciones de las dos canteras Montan Mayo y Chancay Baños

Tabla 77. Proporción Montan Mayo (75 %) - Chancay Baños (25 %)

	75MM-25CB	ESPECIF. BASE	CUMPLE
W(%)	21.99		
Yesp	-		
LL	38		
LP	25		
IP	13.39	40% máx	SI
SUCS	GM		
¿Cumple Husos?		Gradación A	NO
Wopt	18.5		
Ds Máx	1.735		
95% Ds Máx	1.65		
CBR al 100% (0.1")	69	80% mín	NO
CBR al 95% (0.1")	40		
% ABRASIÓN	42.15	40% máx	NO

Fuente: Elaboración propia, 2016.

En la Tabla 77 del análisis de la proporción de material de Montan Mayo (75 %) y de Chancay Baños (25 %) se concluye, que tiene un CBR obtenido en laboratorio, para 0.1" y un 100% de la Densidad Máxima Seca, menor al 80% que la normativa peruana exige, presenta un porcentaje de abrasión de 42.15%, mayor al que establece la norma para el caso de la utilización en Bases.

Tabla 78. Proporción Montan Mayo (50 %) - Chancay Baños (50 %)

	50MM-50CB	ESPECIF. BASE	CUMPLE
W(%)	16.28		
Yesp	-		
LP	22		
IP	10.05	40% máx	SI
SUCS	GM		
¿Cumple Husos?		Gradación A	NO
Wopt	14.8		
Ds Máx	1.78		
95% Ds Máx	1.69		
CBR al 100% (0.1")	84	80% mín	SI
CBR al 95% (0.1")	67		
% ABRASIÓN	38.00	40% máx	SI

Fuente: Elaboración propia, 2016.

En la Tabla 78 del análisis de la proporción de material de Montan Mayo (50 %) y de Chancay Baños (50%) se concluye, que la granulometría del material de Chancay Baños, no se ajusta a los husos granulométricos requeridos y presenta un CBR de 84% y un porcentaje de desgaste por abrasión de 38% que sí, se encuentra dentro de los requerimientos que establece la norma para el caso de la utilización en Bases.

Tabla 79. Proporción Montan Mayo (25 %) - Chancay Baños (25 %)

	25MM-75CB	ESPECIF. BASE	CUMPLE
W(%)	10.52		
Yesp	-		
LL	40		
IP	24.96	40% máx	SI
SUCS	GM		
¿Cumple Husos?		Gradación A	SI
Wopt	10.5		
Ds Máx	1.922		
95% Ds Máx	1.83		
CBR al 100% (0.1")	67	80% mín	NO
CBR al 95% (0.1")	44		
% ABRASIÓN	35.18	40% máx	SI

Fuente: Elaboración propia, 2016.

En la Tabla 79 del análisis de la proporción de material de Montan Mayo (25%) y de Chancay Baños (75%) se concluye, que no cumple con el CBR requerido para un 100% de la Densidad Seca Máxima para su utilización como capa de Base, pero cumple con la granulometría más no con el resultado del desgaste por abrasión.

4.2. Prueba de hipótesis general

Hipótesis: La mezcla de los materiales que cumple con los requisitos para material de base para uso en las vías del proyecto minero La Zanja se obtiene con 50% del material de la cantera de Chancay Baños y 50% del material de la cantera Montan Mayo.

Por lo que se acepta la hipótesis general, porque al mezclar los materiales de las canteras de Chancay Baños y Montan Mayo, en distintas proporciones se obtienen materiales con mejores características Granulométricas, de Compactación y Resistencia a la Abrasión, la mezcla obtenida del 50% de Montan Mayo más el 50% de cantera de Chancay Baños, no logra cumplir con las especificaciones de Granulometría, sin embargo, presenta un mayor valor CBR y resistencia a la abrasión, por lo que sí, se considera apropiado el material para poder ser utilizado como material de Base en el proyecto minero la Zanja.

CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

La mezcla seleccionada de los materiales de las canteras que reúnen las mejores características para uso como Base en las vías del proyecto La Zanja, es en proporción de 50% de la cantera Montan Mayo y 50% de la cantera de Chancay Baños, la adición del material de la cantera de Montan Mayo modificó la granulometría del material de Chancay Baños (que en un inicio cumplía con los husos granulométricos para Bases) de tal manera que no se ajusta a los husos granulométricos requeridos. No obstante, como la granulometría no es un factor determinante, esta mezcla de volúmenes da como resultado un CBR de 84% y un porcentaje de desgaste por abrasión de 38% que definitivamente cumple con las especificaciones para capas de Base, según las normas peruanas MTC-2000.

Según las características del material de la cantera Montan Mayo, no cumple con la gradación granulométrica exigida por la Norma Peruana para su utilización como capa de Base. Al calcular el CBR correspondiente a 0.1" y al 100% de la Densidad Máxima Seca de la cantera Montan Mayo, se encontró que está por debajo del requerimiento de las especificaciones para Bases, presenta resistencia a la abrasión de 59.3%, porcentaje no admitido para Bases por las Especificaciones Técnicas peruanas.

Según las características del material de la cantera Chancay Baños, el material contiene un bajo porcentaje de finos, es granular y con una resistencia a la abrasión de 31.75%. Sin embargo, aunque la granulometría de este material, sí se encuentra dentro de los husos que establecen las especificaciones peruanas para capas de Base, el CBR obtenido en laboratorio, para 0.1" y un 100% de la Densidad Máxima Seca, es de 76%, que no cumple con los requerimientos técnicos que se establecen para su uso.

5.2. Recomendaciones

En base a los análisis obtenidos en laboratorio, con la mezcla de los materiales de dos canteras diferentes, se sugiere que cuando no se tenga muestras de buena calidad para Base, se busque mezclarlos con agregados de otras canteras para mejorar sus propiedades y características y así obtener la muestra requerida.

Se recomienda realizar la mezcla de los materiales en una proporción de 50% de la cantera Montan Mayo y 50% de la cantera de Chancay Baños en volumen, para utilizarlo en la construcción como capa de Base, del proyecto minero La Zanja.

Según los resultados obtenidos en laboratorio, se debe realizar investigaciones utilizando otras proporciones de mezclas diferentes a las utilizadas en esta investigación de tal manera que se cumpla con las especificaciones para capas de Base, según las normas peruanas MTC-2000.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Asociación Nacional Técnica de Mapas de Suelos del Perú (ASP). (2013).

Braja M, D. (2001). *“Fundamentos de Ingeniería Geotécnica”*, Thomson Learning, México D.F. México. 150 p.

Crespo V, C. (2007). *“Mecánica de Suelos y Cimentaciones”*. Ed 6ta. Editorial. Limusa Noriega. México D.F. México. 152 p.

Kraemer, P, R. (2000). *“Ingeniería de Carreteras Tomo II”*. Edic.2000. Limusa Wiley. México D.F. México.145 p.

Maila, M. (2013). Universidad Central Ecuador. *“Comportamiento de mezcla asfáltica modificada con polímero etileno vinil acetato”*. Ecuador. 142 p.

Manual de Carreteras. Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción. EG - 2013.

Manual de ensayo de materiales ICG (2011). Instituto de la Construcción y Gerencia. Perú. 145 p.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC). (2000). *“Guía para muestreo de Suelos y Rocas”*.Edit. MTC. Lima. Perú. 45 p.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC). (2001). *“Normas peruanas para el diseño de carreteras”*.Edit. MTC. Lima. Perú. 105 p.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones República del Perú (MTC) E 101-2000- Guía para muestreo de Suelos y Rocas. Perú. 149 p.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones República del Perú (MTC). (2007). Especificaciones técnicas generales para la conservación de carreteras.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones República del Perú (MTC). (2005). Guía para muestreo de suelos y rocas, MTC E 101 – 2000.

Norma MTC E 101-2000. “Guía para Muestreo de Suelos y Rocas”

Norma MTC E 107-2000. “Análisis Granulométrico de Suelos por Tamizado.”

Norma MTC E 108-2000. “Método de ensayo para determinar el Contenido de Humedad de un suelo.

Norma MTC E 110-2000. “Determinación del Límite Líquido de los suelos”

Norma MTC E 111-2000. “Determinación del Límite Plástico e Índice de Plasticidad”.

Norma MTC E 113-2000. Gravedad Específica de los Suelos.

Norma MTC E 115-2000. Compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada.

Norma MTC E 132-2000. CBR de suelos (Laboratorio).

Norma MTC E 207-2000. Abrasión Los Ángeles (L.A.) al desgaste de los agregados de tamaños menores de 37.5 mm (1 ½”).

Norma MTC E Anexo N° 1. Sistemas de Clasificación de los suelos.

Pasquel C.E.1998.Tópicos de Tecnología del Concreto en el Perú. Edit. CIP. Lima. 380 p.

Quispe, J. (2014). En la tesis “Análisis comparativo entre un pavimento rígido y un pavimento flexible para la ruta s/r: Santa Elvira. Valdivia. Chile, 150 p.

Rico R. (2000). “Ingeniería de Suelos en Vías Terrestres (Carreteras, Ferrocarriles)-Vol. I”. Ed. 16^{ava}. Limusa Noriega. México D.F. México. 145 p.

STRACON G y M. (2015). Minera la zanja. 159 p.

Valderrama, J. (2010). “Análisis comparativo entre materiales como el ferrocemento y el hormigón armado como sistema constructivo para proyectos de vivienda “. Colombia. 129 p.

ANEXOS

Anexo 1: Matriz de Consistencia

Tabla 80. Análisis comparativo de los materiales de las canteras Montan Mayo y Chancay Baños para uso en las vías del proyecto La Zanja, Santa Cruz- Cajamarca 2016.

PROBLEMA(S) DE INVESTIGACIÓN	OBJETIVO(S) DE LA INVESTIGACION	HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	VARIABLES E INDICADORES	MÉTODO DE ANÁLISIS	INSTRUMENTOS	METODOLOGÍA
<p>Problema principal:</p> <p>¿Cuál mezcla de los materiales de las canteras de Montan Mayo y Chancay Baños, cumplen con los requisitos para conformación de base en las vías del proyecto La Zanja Santa Cruz, Cajamarca 2016?</p>	<p>Objetivo general:</p> <p>Seleccionar la mezcla de los materiales de las canteras que reúnen las mejores características para uso como Base en las vías del proyecto La Zanja, Santa Cruz Cajamarca 2016, según las normas peruanas MTC-2000 y sus equivalentes internacionales: MTC, ASTM y AASHTO.</p>	<p>Hipótesis general:</p> <p>La mezcla de los materiales que cumple con los requisitos para material de base para uso en las vías del proyecto minero La Zanja se obtiene con 50% del material de la cantera de Chancay Baños y 50% del material de la cantera Montan Mayo.</p>	<p>Variable Independiente:</p> <p>Porcentajes de los materiales de las dos canteras para realizarse en la mezcla los cuales podrán cambiarse hasta obtener una mezcla óptima.</p> <p>Variable dependiente:</p> <p>Serán las características correspondientes a cada uno de los materiales por separado de cada cantera, inclusive de la mezcla óptima conseguida, esto es:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Porcentaje de Abrasión. - Granulometría. - Plasticidad. - Densidad Seca Máxima. - Contenido Óptimo de Humedad. - CBR 	<p>Método hipotético deductivo, porque se desarrollará en laboratorio para encontrar análisis hacer una práctica científica.</p>	<p>Fichas de ensayos de laboratorio</p> <p>Data del programa de laboratorio</p>	<p>Tipo de investigación</p> <ul style="list-style-type: none"> - Experimental, porque se aplicará a dos grupos como mínimo para establecer comparaciones, no se puede llevar a cabo con un sólo grupo de sujetos y una única condición experimental. <p>Nivel de investigación</p> <ul style="list-style-type: none"> - Explicativo <p>Diseño de investigación</p> <ul style="list-style-type: none"> - Transversal <p>Población</p> <p>La población está considerada por todas las canteras posibles ubicadas en el ámbito de proyecto La Zanja, Santa Cruz Cajamarca, durante el año 2016.</p> <p>Muestra</p> <p>Se considera muestra a los 60 ensayos realizados de los materiales de las canteras Montan Mayo y Chancay Baños, durante el periodo de estudios, desde el 11 de enero al 11 de julio de 2016, en el Laboratorio de Ensayo de Materiales "Mg. Ing. Carlos Alfredo Esparza Díaz" de la Universidad Nacional de Cajamarca, Ed 1-A.</p> <p>Técnicas de recolección de datos</p> <p>Las técnicas empleadas para las calicatas, muestreo de suelos etc.</p>
<p>Problemas secundarios:</p> <p>-¿Cuáles son las características de la cantera Montan Mayo, para uso de Base en las vías del proyecto La Zanja, Santa Cruz Cajamarca 2016?</p> <p>-¿Cuáles son las características de la cantera Chancay Baños, para uso de Base en las vías del proyecto La Zanja, Santa Cruz- Cajamarca 2016?</p>	<p>Objetivos específicos:</p> <p>-Determinar las características de la cantera Montan Mayo, para uso de Base en las vías del proyecto La Zanja, Santa Cruz Cajamarca 2016.</p> <p>-Determinar las características de la cantera Chancay Baños, para uso de Base en las vías del proyecto La Zanja, Santa Cruz, Cajamarca 2016.</p>	<p>Hipótesis secundarias:</p> <p>- La cantera de Montan Mayo, reúne alto porcentaje de las características requeridas para el uso en las vías del proyecto La Zanja, Santa Cruz- Cajamarca.</p> <p>- La cantera de Chancay Baños, reúne bajo porcentaje de las características requeridas para el uso en las vías del proyecto La Zanja, Santa Cruz- Cajamarca.</p>				

Fuente: Elaboración propia, 2016.

Anexo 2: Ábaco de Casagrande

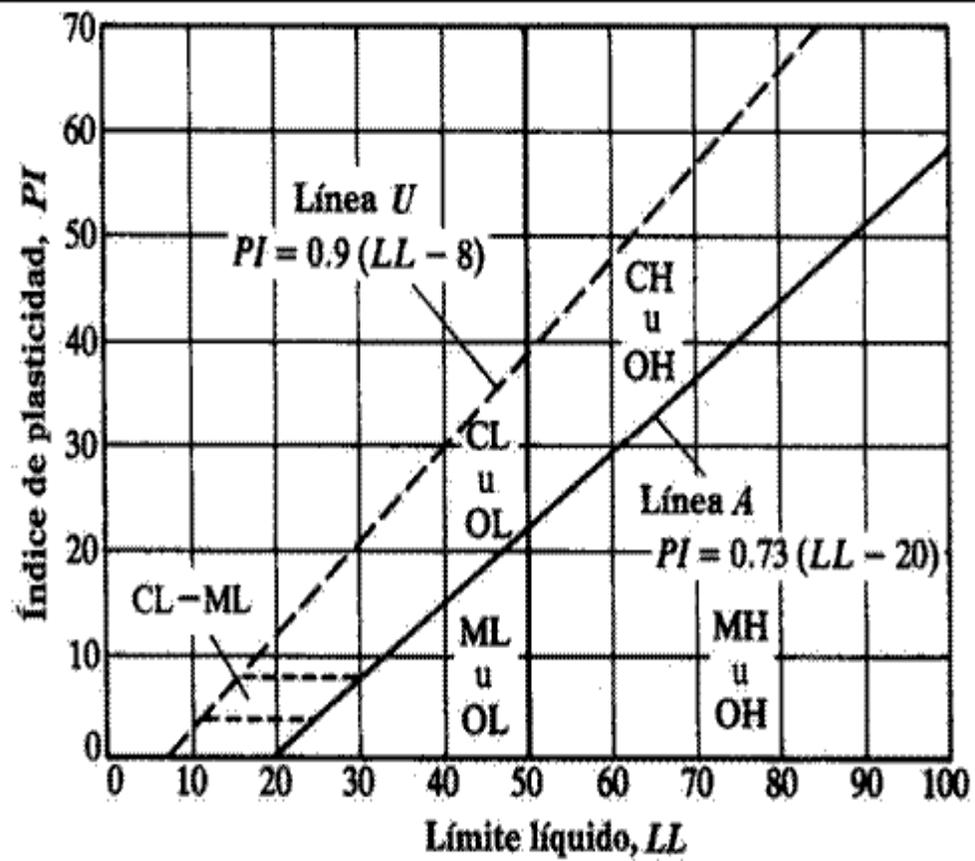


Figura 61. Ábaco de Casagrande - Gráfica de plasticidad del SUCS.
Fuente: Manual de Ensayo de Materiales (EM-2000),

Anexo 3: Clasificación de Suelos (S.U.C.S)

SISTEMA DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS UNIFICADO "U.S.C.S."				SISTEMA DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS AASHTO										
DIVISIONES PRINCIPALES	Simbolos del grupo	NOMBRES TÍPICOS	IDENTIFICACIÓN DE LABORATORIO	Materiales granulares (35% o menos pasa por el tamiz Nº 200)							Materiales limoso arcilloso (más del 35% pasa el tamiz Nº 200)			
				A-1-a	A-1-b	A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7	A-4	A-5	A-6	A-7
SUELOS DE GRANO GRUESO	GRAYAS limpias (sin o con pocos finos)	GW	Gravas bien graduadas, mezclas grava-arena, pocos finos o sin finos.	Co	D ₁₀	D ₃₀	D ₆₀							
		GP	Gravas mal graduadas, mezclas grava-arena, pocos finos o sin finos.	Co	D ₁₀	D ₃₀	D ₆₀							
		GM	Gravas limosas, mezclas grava-arena-limo.	Co	D ₁₀	D ₃₀	D ₆₀							
	ARENAS limpias (poco o sin finos)	GW	Arenas bien graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos.	G	U	SP	SP							
		GP	Arenas mal graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos.	G	U	SP	SP							
		GM	Arenas limosas, mezclas arena-limo.	G	U	SP	SP							
	SUELOS DE GRANO FINO	Limos y arcillas:	MH	Limos orgánicos y arenas muy finas, limos limpios, arenas finas, limos orgánicos, y limos arcillosos con baja plasticidad.										
			ML	Limos orgánicos y arenas muy finas, limos limpios, arenas finas, limos orgánicos, y limos arcillosos con baja plasticidad.										
		Limos y arcillas:	CL	Limos orgánicos y arenas muy finas, limos limpios, arenas finas, limos orgánicos, y limos arcillosos con alta plasticidad.										
			CH	Limos orgánicos y arenas muy finas, limos limpios, arenas finas, limos orgánicos, y limos arcillosos con alta plasticidad.										

Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos pasa por el tamiz Nº 200)							Materiales limoso arcilloso (más del 35% pasa el tamiz Nº 200)			
	A-1-a	A-1-b	A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7	A-4	A-5	A-6	A-7
Grupo:											
Porcentaje que pasa:											
Nº 10 (2mm)											
Nº 40 (0.425mm)											
Nº 200 (0.075mm)											
Características de la fracción que pasa por el tamiz Nº 40											
Límite líquido											
Índice de plasticidad											
Constituyentes principales											
Características como subgrupo											

Índice de grupo:

$$IG = (F - 35) \cdot [0.2 + 0.005 \cdot (LL - 40)] + 0.01 \cdot (F - 15) \cdot (P - 10)$$

Siendo:

F: % que pasa el tamiz ASTM nº 200.

LL: límite Líquido.

IP: índice de plasticidad.

El índice de grupo para los suelos de los subgrupos A-2-6 y A-2-7 se calcula usando sólo: $IG = 0.01 \cdot (F - 15) \cdot (P - 10)$

Figura 62. Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S)
Fuente: Manual de Ensayo de Materiales (EM-2000)

Anexo 4: Registro para muestra de ensayos

Tabla 81. Registro para muestra de ensayos cantera Montan Mayo (MM)

ENSAYO I: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR LAVADO CANTERA MONTAN MAYO, SANTA CRUZ, CAJAMARCA.					
TESIS:		<i>"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS MATERIALES DE LAS CANTERAS MONTAN MAYO Y CHANCA Y BAÑOS PARA USO EN LAS VÍAS DEL PROYECTO LA ZANJA, SANTA CRUZ- CAJAMARCA 2016"</i>			
UBICACIÓN:	Proyecto La Zanja				
FECHA:					
SOLICITANTE:	BUSTAMANTE TAPIA, CARLOS YANKPIER				
REALIZADO POR:	BUSTAMANTE TAPIA, CARLOS YANKPIER				
DATOS DE MUESTREO					
Malla	Malla (mm)	PRP (gr)	%RP	%RA	%PASA
1"					
3/4"					
1/2"					
3/8"					
1/4"					
Nº4					
Nº10					
Nº20					
Nº30					
Nº40					
Nº60					
Nº100					
Nº200					

Fuente: Elaboracion propia, 2016.

Anexo 5: Registro para muestra de ensayos

Tabla 82. Registro para muestra de ensayos cantera Chancay Baños (CB)

ENSAYO I: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR LAVADO CANTERA CHANCAY BAÑOS SANTA CRUZ, CAJAMARCA.					
TESIS:	<i>"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS MATERIALES DE LAS CANTERAS MONTAN MAYO Y CHANCAY BAÑOS PARA USO EN LAS VÍAS DEL PROYECTO LA ZANJA, SANTA CRUZ- CAJAMARCA 2016"</i>				
UBICACIÓN:	Proyecto La Zanja				
FECHA:					
SOLICITANTE:	BUSTAMANTE TAPIA, CARLOS YANKPIER				
REALIZADO POR:	BUSTAMANTE TAPIA, CARLOS YANKPIER				
DATOS DE MUESTREO					
Malla	Malla (mm)	PRP (gr)	%RP	%RA	%PASA
1"					
3/4"					
1/2"					
3/8"					
1/4"					
Nº4					
Nº10					
Nº20					
Nº30					
Nº40					
Nº60					
Nº100					
Nº200					

Fuente: Elaboracion propia, 2016.

Anexo 6: Ensayo de contenido de humedad (01)



Figura 63. Pesaje de las taras (A) y muestras de material canteras MM (B) y CB (C).
Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos UNC, 2016.

Anexo 7: Ensayo de contenido de humedad (02)



Figura 64. Pesaje de la fiola, toma de muestras de material canteras MM (C) y CB (C).
Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos UNC, 2016.

Anexo 8: Ensayo de Peso Específico



Figura 65. Selección de tamices para muestras de material canteras MM (A) y CB (B).
Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos UNC, 2016.

Anexo 9: Ensayo de Análisis Granulométrico



Figura 66. Pesaje del material de muestras de la canteras MM 2016.
Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos UNC, 2016.

Anexo 10: Ensayo de Análisis Granulométrico



Figura 67. Selección del material de canteras CB 2016.
Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos UNC, 2016.

Anexo 11: Ensayo de Limite Líquido



Figura 68. Ensayo de límite líquido cantera MM, 2016
Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos UNC, 2016

Anexo 12: Ensayo de Límite Plástico



Figura 69. Ensayo de Limite Plástico cantera MM, 2016
Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos UNC, 2016

Anexo 13: Ensayo del Proctor modificado



Figura 70. Comportamiento del material de la cantera Montan Mayo, 2016.
Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos UNC, 2016.

Anexo 14: Ensayo del Proctor modificado



Figura 71. Comportamiento del material de la cantera Chancay Baños, 2016
Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos UNC, 2016.

Anexo 15: Ensayo del Proctor modificado



Figura 72. Extracción de muestras canteras Montan Mayo y Chancay Baños
Fuente: Distrito de Santa Cruz-Pulán, 2016.