

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil

Tesis

**Evaluación de la zeolita en estabilización de suelos
no cohesivos para pavimentos a nivel de afirmado,
Huancayo 2021**

Mayra Del Pilar Escudero Maldonado

Para optar el Título Profesional de
Ingeniera Civil

Huancayo, 2023

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS.....	ii
DEDICATORIA	iii
ÍNDICE	iv
LISTA DE TABLAS.....	viii
LISTA DE FIGURAS.....	xii
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT.....	xvi
INTRODUCCIÓN.....	xvii
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO.....	19
1.1. Planteamiento del Problema	19
1.2. Formulación del Problema	21
1.2.1. Problema General.....	21
1.2.2. Problemas Específicos	22
1.3. Objetivos	22
1.3.1. Objetivo general.....	22
1.3.2. Objetivos específicos	22
1.4. Justificación e importancia	23
1.4.1. Justificación práctica.....	23
1.4.2. Justificación económica.....	23
1.4.3. Justificación metodológica.	23
1.4.4. Importancia	23
1.5. Limitaciones de la presente investigación.....	23
1.5.1. Delimitación temporal.	23
1.5.2. Delimitación espacial.	24
1.5.3. Delimitación conceptual.	24
1.6. Hipótesis	24

1.6.1. Hipótesis General	24
1.6.2. Hipótesis Específicas	24
1.7. Variables	25
1.8. Operacionalización.....	25
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	27
2.1. Antecedentes del Problema	27
2.1.1. Antecedentes Nacionales	27
2.1.2. Antecedentes Internacionales.....	31
2.2. Bases Teóricas.....	37
2.2.1. Suelo.....	37
2.2.2. Análisis granulométrico.....	37
2.2.3. Contenido de humedad.....	37
2.2.4. Límite líquido.....	38
2.2.5. Límite plástico	38
2.2.6. Proctor	39
2.2.7. CBR	45
2.2.8. Zeolita	50
2.3. Definición de Térmicos Básicos	52
2.3.1. Cohesión.....	52
2.3.2. WMA (Warm Mix Asphalt): Mezcla de asfalto tibio	52
2.3.3. ASTM (American Society for Testing and Materials)	52
2.3.4. Pavimento a nivel de afirmado.....	52
2.3.5. Hidrotérmico.....	53
2.3.6. Aluminosilicato	53
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA	54
3.1. Métodos y alcance de la investigación	54

3.1.1. Método de Investigación	54
3.1.2. Nivel	54
3.1.3. Tipo	55
3.2. Diseño de la investigación.....	55
3.3. Población y muestra.....	56
3.3.1. Población	56
3.3.2. Muestra.....	56
3.3.3. Muestreo	56
3.4. Técnicas de recolección de datos	57
3.5. Instrumento de análisis de datos.....	57
3.6. Procedimiento metodológico de la investigación.....	57
3.6.1. Extracción de suelos	58
3.6.2. Selección del material	59
3.6.3. Caracterización y granulometría del suelo	61
3.6.4. Límite de Atterberg (Límites de consistencia)	61
3.6.5. Proctor modificado	64
3.6.6. California Bearing Ratio (CBR)	66
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	68
4.1. Descripción zona de estudio	68
4.1.1. Ubicación	68
4.1.2. Muestreo del suelo.....	70
4.2. Características de la zeolita	70
4.3. Determinación de características del suelo.....	73
4.3.1. Contenido de humedad.....	73
4.3.2. Análisis granulométrico	74
4.3.3. Límites de consistencia.....	78

4.3.4. Identificación de tipo de suelo.....	83
4.3.5. Compactación de suelo (Proctor modificado)	86
4.3.6. Resistencia del suelo (CBR)	91
4.4. Caracterización de suelo no cohesivo con zeolita.....	102
4.4.1. Ensayo de límites de consistencia	103
4.4.2. Máxima densidad seca y Óptimo contenido de humedad de suelo no cohesivo con zeolita.....	106
4.4.3. Valor de soporte de CBR de suelo no cohesivo con zeolita	112
4.5. Discusión de resultados	115
4.5.1. Resultados de los ensayos del suelo estabilizado con zeolita	115
4.6. Análisis estadístico.....	123
4.7. Contrastación de hipótesis	143
CONCLUSIONES.....	146
RECOMENDACIONES.....	149
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	151
ANEXOS.....	154
ANEXO 1. Matriz de consistencia.....	155
ANEXO 2. Panel fotográfico	156
ANEXO 3. Certificados de ensayos	179

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de la variable	25
Tabla 2. Métodos alternativos para ensayo de Proctor Modificado	65
Tabla 3. Tabla de valores típicos de CBR.....	67
Tabla 4. Composición química de la zeolita.....	71
Tabla 5. Propiedades físicas de la zeolita.....	71
Tabla 6. Ensayo de granulometría - Zeolita	72
Tabla 7. Contenido de humedad (%) - Cantera de Matahuasi (C-01).....	73
Tabla 8. Contenido de humedad (%) - Cantera de Orcotuna (C-02)	73
Tabla 9. Contenido de humedad (%) - Cantera de Pilcomayo (C-03).....	74
Tabla 10. Resumen de contenido de humedad (%).....	74
Tabla 11. Ensayo de granulometría - Cantera de Matahuasi (C-01)	75
Tabla 12. Ensayo de granulometría - Cantera de Orcotuna (C-02)	76
Tabla 13. Ensayo de granulometría - Cantera de Pilcomayo (C-03)	77
Tabla 14. Límite líquido – Cantera de Matahuasi (C-01)	79
Tabla 15. Límite líquido – Cantera de Orcotuna (C-02)	79
Tabla 16. Límite líquido – Cantera de Pilcomayo (C-03)	80
Tabla 17. Límite líquido – Resultados resumen.....	81
Tabla 18. Límite plástico – Cantera de Matahuasi (C-01).....	82
Tabla 19. Límite plástico – Cantera de Orcotuna (C-02).....	82
Tabla 20. Límite plástico – Cantera de Pilcomayo (C-03).....	82
Tabla 21. Límite plástico – Resultados resumen	83
Tabla 22. Límites de consistencia.....	83
Tabla 23. Clasificación de suelos según SUCS – Cantera de Matahuasi (C-01)	83

Tabla 24. Clasificación de suelos según AASHTO – Cantera de Matahuasi (C-01)	84
Tabla 25. Clasificación de suelos según SUCS – Cantera de Orcotuna (C-02)	84
Tabla 26. Clasificación de suelos según AASHTO – Cantera de Orcotuna (C-02)	84
Tabla 27. Clasificación de suelos según SUCS – Cantera de Pilcomayo (C-03)	85
Tabla 28. Clasificación de suelos según AASHTO – Cantera de Pilcomayo (C-03)	85
Tabla 29. Clasificación de suelos	86
Tabla 30. Método de compactación - Cantera de Matahuasi (C-01)	86
Tabla 31. Proctor modificado "Método C" - Cantera de Matahuasi (C-01).....	86
Tabla 32. Método de compactación - Cantera de Orcotuna (C-02)	88
Tabla 33. Proctor modificado "Método B" - Cantera de Orcotuna (C-02).....	88
Tabla 34. Método de compactación - Cantera de Pilcomayo (C-03)	89
Tabla 35. Proctor modificado "Método C" - Cantera de Pilcomayo (C-03).....	90
Tabla 36. Proctor modificado	91
Tabla 37. Densidad seca del suelo - Cantera de Matahuasi (C-01)	92
Tabla 38. Expansión (%) - Cantera de Matahuasi (C-01)	92
Tabla 39. Lecturas de penetración - Cantera de Matahuasi (C-01)	93
Tabla 40. Densidad seca del suelo - Cantera de Orcotuna (C-02)	95
Tabla 41. Expansión (%) - Cantera de Orcotuna (C-02).....	96
Tabla 42. Lecturas de penetración - Cantera de Orcotuna (C-02).....	96
Tabla 43. Densidad seca del suelo - Cantera de Pilcomayo (C-03)	99
Tabla 44. Expansión (%) - Cantera de Pilcomayo (C-03)	99
Tabla 45. Lecturas de penetración - Cantera de Pilcomayo (C-03)	100

Tabla 46. Valores de índice de plasticidad ante la adición de zeolita – Suelo GP-GM	103
Tabla 47. Valores de índice de plasticidad ante la adición de zeolita – Suelo SP-SM	104
Tabla 48. Valores de índice de plasticidad ante la adición de zeolita – Suelo GM	105
Tabla 49. Valores de máxima densidad seca ante la adición de zeolita – Suelo GP-GM	106
Tabla 50. Valores de óptimo contenido de humedad ante la adición de zeolita – Suelo GP-GM	107
Tabla 51. Valores de máxima densidad seca ante la adición de zeolita – Suelo SP-SM	108
Tabla 52. Valores de óptimo contenido de humedad ante la adición de zeolita – Suelo SP-SM	109
Tabla 53. Valores de máxima densidad seca ante la adición de zeolita – Suelo GM	110
Tabla 54. Valores de óptimo contenido de humedad ante la adición de zeolita – Suelo GM	111
Tabla 55. Valores de soporte CBR (100%) – Suelo GP-GM	112
Tabla 56. Valores de soporte CBR (100%) – Suelo SP-SM	113
Tabla 57. Valores de soporte CBR (100%) – Suelo GM	114
Tabla 58. Índice de plasticidad por tipo de suelo no cohesivo ante adición de zeolita	115
Tabla 59. Máxima densidad seca por tipo de suelo no cohesivo ante adición de zeolita	117
Tabla 60. Óptimo contenido de humedad por tipo de suelo no cohesivo ante adición de zeolita	119
Tabla 61. CBR por tipo de suelo no cohesivo ante adición de zeolita	121

Tabla 62. Descriptivos - Índice de plasticidad (%)	123
Tabla 63. Prueba de normalidad - Índice de plasticidad (%).....	125
Tabla 64. Descriptivos de análisis de varianza - Índice de plasticidad (%)	126
Tabla 65. Análisis de varianza - Índice de plasticidad (%)	127
Tabla 66. Comparaciones múltiples de adición de zeolita - Índice de plasticidad (%)	127
Tabla 67. Descriptivos - Máxima densidad seca (gr/cm ³)	128
Tabla 68. Prueba de normalidad - Máxima densidad seca (gr/cm ³)	130
Tabla 69. Descriptivos de análisis de varianza - Máxima densidad seca (gr/cm ³)	131
Tabla 70. Análisis de varianza - Máxima densidad seca (gr/cm ³).....	132
Tabla 71. Comparaciones múltiples de adición de zeolita - Máxima densidad seca (gr/cm ³).....	133
Tabla 72. Descriptivos - Óptimo contenido de humedad (%).....	133
Tabla 73. Prueba de normalidad - Óptimo contenido de humedad (%)	135
Tabla 74. Descriptivos de análisis de varianza - Óptimo contenido de humedad (%)	136
Tabla 75. Análisis de varianza - Óptimo contenido de humedad (%)	137
Tabla 76. Comparaciones múltiples de adición de zeolita - Óptimo contenido de humedad (%)	138
Tabla 77. Descriptivos - CBR (%)	138
Tabla 78. Prueba de normalidad - CBR (%)	140
Tabla 79. Descriptivos de análisis de varianza - CBR (%).....	141
Tabla 80. Análisis de varianza - CBR (%).....	142
Tabla 81. Comparaciones múltiples de adición de zeolita - CBR (%).....	143

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Pavimento a nivel de afirmado con problemas de erosionado	21
Figura 2. Pavimento a nivel de afirmado expuesto a constantes lluvias.....	21
Figura 3. Molde de la muestra en el cilindro	48
Figura 4. Manera de armar el cilindro con su muestra para someterlo a la inmersión	48
Figura 5. Manera de penetrar el cilindro	50
Figura 6. Estructuras de algunas zeolitas.....	50
Figura 7. Flujograma del desarrollo de la investigación.....	58
Figura 8. Muestra representativa de la cantera de Matahuasi	59
Figura 9. Muestra representativa de la cantera de Orcotuna.....	60
Figura 10. Muestra representativa de la cantera de Pilcomayo	60
Figura 11. Materiales y equipos necesarios para el ensayo de granulometría	61
Figura 12. Materiales y equipos necesarios para el ensayo de límite líquido	63
Figura 13. Materiales y equipos necesarios para el ensayo de límite plástico	64
Figura 14. Materiales y equipos necesarios para el ensayo de Proctor modificado	65
Figura 15. Materiales y equipos necesarios para el ensayo de CBR.....	67
Figura 16. Ubicación de cantera de Matahuasi	68
Figura 17. Ubicación de cantera de Orcotuna	69
Figura 18. Ubicación de cantera de Pilcomayo	69
Figura 19. Muestras de suelo por cada cantera	70
Figura 20. Curva granulométrica – Zeolita.....	72
Figura 21. Curva granulométrica – Cantera de Matahuasi (C-01)	75

Figura 22. Curva granulométrica – Cantera de Orcotuna (C-02)	77
Figura 23. Curva granulométrica – Cantera de Pilcomayo (C-03)	78
Figura 24. Contenido de humedad (%) a 25 golpes - Cantera de Matahuasi (C-01)	79
Figura 25. Contenido de humedad (%) a 25 golpes - Cantera de Orcotuna (C-02)	80
Figura 26. Contenido de humedad (%) a 25 golpes - Cantera de Pilcomayo (C-03)	81
Figura 27. Curva de proctor modificado - Cantera de Matahuasi (C-01)	87
Figura 28. Curva de proctor modificado - Cantera de Orcotuna (C-02)	89
Figura 29. Curva de proctor modificado - Cantera de Pilcomayo (C-03)	91
Figura 30. Densidad seca (gr/cm ³) vs. CBR (%) - Cantera de Matahuasi (C-01)	94
Figura 31. Carga (kg/cm ²) vs. Penetración (pulg.) – Cantera de Matahuasi (C-01)	95
Figura 32. Densidad seca (gr/cm ³) vs. CBR (%) - Cantera de Orcotuna (C-02)	97
Figura 33. Carga (kg/cm ²) vs. Penetración (pulg.) – Cantera de Orcotuna (C-02)	98
Figura 34. Densidad seca (gr/cm ³) vs. CBR (%) - Cantera de Pilcomayo (C-03)	101
Figura 35. Carga (kg/cm ²) vs. Penetración (pulg.) – Cantera de Pilcomayo (C-03)	102
Figura 36. Índice de plasticidad (%) ante adición de zeolita (%) – Suelo GP-GM	103
ESC01ZLT Figura 37. Índice de plasticidad (%) ante adición de zeolita (%) – Suelo SP-SM	104

Figura 38. Índice de plasticidad (%) ante adición de zeolita (%) – Suelo GM	105
Figura 39. Máxima densidad seca (gr/cm ³) ante adición de zeolita (%) – Suelo GP-GM	106
Figura 40. Óptimo contenido de humedad (%) ante adición de zeolita (%) – Suelo GP-GM	107
Figura 41. Máxima densidad seca (gr/cm ³) ante adición de zeolita (%) – Suelo SP-SM	108
Figura 42. Óptimo contenido de humedad (%) ante adición de zeolita (%) – Suelo SP-SM	109
Figura 43. Máxima densidad seca (gr/cm ³) ante adición de zeolita (%) – Suelo GM.....	110
Figura 44. Óptimo contenido de humedad (%) ante adición de zeolita (%) – Suelo GM.....	111
Figura 45. CBR (%) ante adición de zeolita (%) – Suelo GP-GM	112
Figura 46. CBR (%) ante adición de zeolita (%) – Suelo SP-SM	113
Figura 47. CBR (%) ante adición de zeolita (%) – Suelo GM	114
Figura 48. Índice de plasticidad por tipo de suelo no cohesivo ante adición de zeolita	116
Figura 49. Máxima densidad seca por tipo de suelo no cohesivo ante adición de zeolita	118
Figura 50. Óptimo contenido de humedad por tipo de suelo no cohesivo ante adición de zeolita	120
Figura 51. CBR por tipo de suelo no cohesivo ante adición de zeolita	122

RESUMEN

La construcción sobre suelos no cohesivos suele generar diversos problemas cuando tienden a presentar resistencias bajas sobre su valor de soporte California (CBR), siendo los ingenieros civiles los que se enfrentan a estas dificultades. Producto de diversos factores que generan una inestabilidad en el suelo, se plantea una investigación que plantea como objetivo principal determinar el efecto de la zeolita en la estabilización de suelos no cohesivos en la provincia de Huancayo, para aportar información útil sobre el mejoramiento de este tipo de suelos.

Para conseguir los objetivos planteados, se emplearon tres tipos de suelos no cohesivos con disímiles valores de resistencia, una grava pobemente gradada con limo (GP-GM), grava limosa con arena (GM) y arena pobemente gradada con limo (SP-SM) adicionando distintos porcentajes de zeolita para evaluar sus propiedades mediante el ensayo límites de Atterberg, de Proctor modificado y el ensayo de CBR. Con los resultados analizados bajo una dispersión de tres datos por punto se compararon gráficamente el comportamiento de los suelos a distintos porcentajes de zeolita.

Del análisis sobre el comportamiento que presentó la zeolita sobre los distintos tipos de suelo, se llegó a la conclusión de que existe una alteración producida por las propiedades características de la adición del 5% de zeolita en suelos, donde se presentan los mayores cambios en el suelo de arena pobemente gradada con limo, donde el índice de plasticidad desciende en 26.6%, el óptimo contenido de humedad varía en 12.2% y aumenta el valor de soporte de CBR en 58.6%.

PALABRAS CLAVE: Estabilización, suelos no cohesivos, zeolita, Proctor modificado, CBR

ABSTRACT

Construction on non-cohesive soils usually generates several problems when they tend to present low resistances over their California Bearing Value (CBR), being civil engineers the ones who face these difficulties. As a result of various factors that generate soil instability, the main objective of this research is to determine the effect of zeolite in the stabilization of non-cohesive soils in the province of Huancayo, in order to provide useful information on the improvement of this type of soils.

To achieve the proposed objectives, three types of non-cohesive soils with different strength values were used, a gravel poorly graded with silt (GP-GM), silty gravel with sand (GM) and sand poorly graded with silt (SP-SM), adding different percentages of zeolite to evaluate their properties using the Atterberg limit test, the modified Proctor test and the CBR test. With the results analyzed under a dispersion of three data points per point, the behavior of the soils with different percentages of zeolite was compared graphically.

From the analysis of the behavior of zeolite on the different types of soil, it was concluded that there is an alteration produced by the characteristic properties of the addition of 5% zeolite in soils, where the greatest changes occur in the poorly graded sandy soil with silt, where the plasticity index decreases by 26.6%, the optimum moisture content varies by 12.2% and the CBR support value increases by 58.6%.

KEY WORDS: Stabilization, non-cohesive soils, zeolite, modified Proctor, CBR