



# UNIVERSIDAD DE CUENCA

Facultad de Ingeniería  
Carrera de Ingeniería Civil

## **“Probabilidad de mejora de las propiedades de materiales pétreos provenientes de 2 minas de la provincia del Azuay”**

Trabajo de titulación previo a la  
obtención del título de Ingeniero  
Civil

### **Autores:**

Luis Enrique Brito Vásconez

C.I: 0150040566

Correo Electrónico: [luisbrito626@gmail.com](mailto:luisbrito626@gmail.com)

María Soledad Gutiérrez López

C.I: 0106743792

Correo Electrónico: [soledadgutierrezlopez@hotmail.es](mailto:soledadgutierrezlopez@hotmail.es)

### **Directora:**

Ing. Karla Johanna Santacruz Reyes

C.I:0301731394

### **Co-Director:**

Ing. Daniel Salvador Vélez Parra

C.I: 0103797593

**Cuenca - Ecuador**

**8 – marzo- 2022**



## RESUMEN

En el presente trabajo de investigación se estudian alternativas para mejorar las propiedades geomecánicas de materiales pétreos provenientes de dos minas del Azuay. Los materiales seleccionados como objeto de estudio provienen de las minas “Higuera” y “Llatcon”; con ellos se planea cumplir con los requerimientos correspondientes a un material base y de mejoramiento respectivamente, ya que se prevé su uso en futuros proyectos viales dentro de la provincia del Azuay.

Para el desarrollo del proyecto, se inició con un proceso de recopilación de información referente a ensayos previos del material respecto a la clasificación física y mecánica, información que fue proporcionada por ASFALTAR EP. Se desarrollaron ensayos de caracterización de los materiales de estudio, los cuales, en concordancia con los ensayos previos proporcionados, evidencian que no cumplen con las especificaciones técnicas presentes en la norma ecuatoriana: “Especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes” (MOP, 2002); en cuanto a parámetros específicos como: gradación, índice de plasticidad, límite líquido y valor de soporte CBR, por lo cual se analizarán propuestas de mejoramiento.

Analizando las deficiencias de los materiales y en base a literatura referente, se propuso realizar un mejoramiento del material de la Higuera por medio de mezclas con suelo seleccionado y estabilización con cemento. Los materiales utilizados para realizar el mejoramiento con suelo seleccionado fueron: polvo de trituración, procedente de la misma cantera, y puzolana proveniente del cantón Guachapala. Para la estabilización del material granular con cemento se consideraron los valores referenciales establecidos en la normativa ACI 230.1R-09 respecto a porcentajes recomendados de cemento empleados en este tipo de estabilizaciones, los cuales están en función de la clasificación AASHTO del suelo. Se realizaron mezclas comprendidas en intervalos, de lo cual se obtuvo un porcentaje de cemento óptimo aplicable en obra, con lo cual se cumple con las especificaciones establecidas para bases granulares estabilizadas con cemento presentes en la normativa ecuatoriana (MOP, 2002).

Para el material de la mina Llatcon, se estableció un mejoramiento del material mediante la mezcla suelo-cemento. El diseño de la mezcla se realizó mediante un proceso similar al desarrollado con el material de la mina Higuera, de la misma forma se obtuvo un porcentaje de cemento óptimo aplicable en obra que cumple con las especificaciones establecidas para mezclas suelo-cemento, presentes en la normativa ecuatoriana (MOP, 2002).

Al realizar un análisis comparativo respecto a la normativa, se obtuvo resultados favorables mezclando el material de la mina de la Higuera con puzolana y cemento vial; ya que con estos procesos se logró elevar las propiedades geomecánicas del material de forma que se llegó a cumplir con los parámetros establecidos en la normativa respecto a bases granulares y bases granulares estabilizadas con cemento. De igual manera, la mezcla de suelo-cemento llevó al material de la mina Llatcon a cumplir con los parámetros necesarios para ser considerado su uso como suelo-cemento. Se realizó además un análisis de factibilidad, comparando las diferentes mezclas y la influencia que podrían llegar a tener en la viabilidad de una obra en particular, también se demostró mediante la teoría de capas equivalentes que la mejora del material se traduce en reducción de espesores; esto se demuestra de forma ejemplificada, analizando una capa de material de la mina Llatcon de 20 cm de espesor; la cual al ser estabilizada con suelo- cemento equivale a una capa de 9 cm.



Finalmente, se realizó un proceso de caracterización y comparación con la normativa para materiales provenientes de la mina “Santa Isabel” y se proponen mejoras teóricas basadas en las experiencias adquiridas durante el desarrollo de este proyecto.

**Palabras clave:** Agregados pétreos. Estabilización con cemento. Mejoramiento con suelo seleccionado. Polvo de trituración. Puzolana. Cemento vial.



## ABSTRACT

In the present research work, alternatives are studied to improve the geomechanical properties of stone materials from two mines in Azuay. The materials selected as the object of study come from the “Higuera” and “Llatcon” mines; With them, it is planned to meet the requirements corresponding to a base and improvement material, respectively, since their use is expected in future road projects within the province of Azuay.

For the development of the project, a process of collecting information regarding previous tests of the material regarding physical and mechanical classification began, information that was provided by ASFALTAR EP. Characterization tests of the study materials were developed, which, in accordance with the previous tests provided, show that they do not comply with the technical specifications present in the Ecuadorian standard: "General specifications for the construction of roads and bridges" (MOP, 2002); regarding specific parameters such as: gradation, plasticity index, liquid limit and CBR support value, for which improvement proposals will be analyzed.

Analyzing the deficiencies of the materials and based on the relevant literature, it was proposed to carry out an improvement of the Higuera material through mixtures with selected soil and stabilization with cement. The materials used to carry out the improvement with selected soil were: crushing powder, from the same quarry, and pozzolana from the Guachapala canton. For the stabilization of the granular material with cement, the reference values established in the ACI 230.1R-09 standard were considered regarding the recommended percentages of cement used in this type of stabilization, which are based on the AASHTO classification of the soil. Mixtures included in intervals were made, from which an optimal percentage of cement applicable on site was obtained, which complies with the specifications established for granular bases stabilized with cement present in the Ecuadorian regulations (MOP, 2002).

For the material from the Llatcon mine, an improvement of the material was established through the soil-cement mixture. The design of the mixture was carried out through a process similar to that developed with the material from the Higuera mine, in the same way an optimal percentage of cement applicable to the work was obtained that complies with the specifications established for soil-cement mixtures, present in the Ecuadorian regulations (MOP, 2002).

When performing a comparative analysis with respect to the regulations, favorable results were obtained by mixing the material from the Higuera mine with pozzolana and road cement; since with these processes it was possible to raise the geomechanical properties of the material in such a way that the parameters established in the regulations regarding granular bases and granular bases stabilized with cement were met. Similarly, the soil-cement mixture led the material from the Llatcon mine to meet the necessary parameters to be considered for use as soil-cement. A feasibility analysis was also carried out, comparing the different mixtures and the influence they could have on the viability of a particular work. It was also demonstrated through the theory of equivalent layers that the improvement of the material translates into a reduction in thickness; This is demonstrated by way of example, analyzing a 20 cm thick layer of material from the Llatcon mine; which, when stabilized with soil-cement, is equivalent to a layer of 9 cm.



Finally, a process of characterization and comparison with the regulations for materials from the "Santa Isabel" mine was carried out and theoretical improvements based on the experiences acquired during the development of this project are proposed.

**Keywords:** Stone aggregates. Cement stabilization. Improvement with selected soil. Grinding powder. Pozzolana. Road cement.



## CONTENIDO

CAPITULO 1 -	GENERALIDADES .....	19
1.1.	ANTECEDENTES .....	19
1.1.	INTRODUCCIÓN .....	19
1.2.	DESCRIPCION DEL PROBLEMA .....	19
1.3.	JUSTIFICACIÓN .....	20
1.4.	OBJETIVOS .....	20
1.5.	ALCANCE.....	21
CAPITULO 2 -	MARCO TEÓRICO.....	21
2.1.	FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	21
2.1.1.	Conceptos previos .....	21
2.1.2.	Estabilización de suelos .....	22
2.1.2.1	Estabilización de suelos mediante mezcla de agregados: .....	23
2.1.2.2	Estabilización de suelos mediante la mezcla de aditivos. ....	23
2.1.3.	Estudios previos de mejoramiento de suelos .....	24
2.1.4.	Teoría para análisis de capas de estructura de pavimento.....	25
2.2.	REVISIÓN DE NORMATIVA .....	26
2.2.1.	Especificaciones para las capas de una estructura de pavimento.....	27
2.2.1.1	Especificaciones para base granular.....	27
2.2.1.2	Especificaciones para sub-base granular.....	28
2.2.1.3	Especificaciones para material de mejoramiento.....	29
2.2.2.	Caracterización de materiales pétreos.....	29
2.2.3.	Mejoramiento de materiales pétreos .....	31
2.3.	RESULTADOS DE ENSAYOS PREVIOS .....	33
2.3.1.	Resultados de ensayos previos de material de la mina Higuera.....	33
2.3.2.	Resultados de ensayos previos de material de la mina Llatcon .....	34
CAPITULO 3 -	MATERIALES Y MÉTODOS .....	35
3.1.	MATERIALES .....	36
3.1.1.	Minas de materiales pétreos en el Azuay .....	36
3.1.2.	Selección de las minas a mejorar .....	37
3.1.3.	Procedencia geológica de los materiales.....	37
3.1.3.1	Procedencia del material de la Higuera.....	37
3.1.3.2	Procedencia del material de la mina Llatcon .....	38
3.1.3.3	Procedencia de la puzolana .....	39



3.1.3.4	Procedencia del polvo de la Higuera.....	40
3.2.	METODOS .....	41
3.2.1.	Metodología preliminar.....	41
3.2.2.	Metodología para la propuesta y evaluación de mecanismos de mejoramiento .....	42
CAPITULO 4 -	RESULTADOS Y ANALISIS.....	44
4.1.	RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO .....	44
4.1.1.	Resultados y análisis de caracterización física de los materiales pétreos .....	44
4.1.2.	Resultados de caracterización mecánica de los materiales pétreos.....	48
4.2.	RESULTADOS DE LAS MEZCLA PROPUESTAS DE MEJORAMIENTO DE LOS MATERIALES .....	49
4.2.1.	Resultados y análisis de mezclas de mejoramiento propuestas para el material de la mina Higuera.....	49
4.2.2.	Resultados y análisis de mezclas de mejoramiento propuestas para el material de la mina Llatcon .....	51
4.3.	ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD .....	53
4.3.1.	Análisis de factibilidad de uso del mejoramiento del material de la mina Higuera.....	53
4.3.2.	Análisis de factibilidad de uso del mejoramiento del material de la mina Llatcon.....	54
CAPITULO 5 -	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	55
5.1.	CONCLUSIONES .....	55
5.2.	RECOMENDACIONES.....	58
CAPITULO 6 -	BIBLIOGRAFÍA .....	59
CAPITULO 7 -	ANEXOS .....	62

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Valores típicos de Coeficientes de Poisson. Maher. A., Bennert, T. (2008).....	26
Tabla 2.	Recomendaciones para el uso de los diferentes tipos de material base (MOP 2002). .....	27
Tabla 3	Granulometrías para bases Tipo A y B (MOP, 2002).....	28
Tabla 4.	Granulometrías para las clases de sub-bases (MOP, 2002). .....	28
Tabla 5.	Resumen de ensayos de laboratorio.....	30
Tabla 6.	Requisitos granulométricos para mezcla de base granular estabilizada con cemento MOP (2012).....	31
Tabla 7.	Requisitos granulométricos para mezclas suelo-cemento y base de suelo-cemento MOP (2012).....	32
Tabla 8.	Requerimientos típicos de cemento para varios tipos de suelos ACI 230 (2009).....	32
Tabla 9.	Información de resultados previos del material de la mina Higuera.....	33
Tabla 10	Ensayos previos de material de la "Mina Higuera" .....	34
Tabla 11.	Información de resultados previos del material de la mina Llatcon .....	34
Tabla 12	Estudios previos de material de "Mina Llatcon".....	35



Tabla 13 Minas del Azuay, descripción y productos triturados que ofrecen. ....	36
Tabla 14. Ubicación geográfica del sitio de extracción del material de la mina Higuera. ....	37
Tabla 15. Ubicación geográfica del sitio de extracción del material de la mina Llatcon. ....	38
Tabla 17. Ubicación geográfica de la mina de extracción del material de puzolana. ....	39
Tabla 18. Ubicación geográfica de la mina de extracción del polvo de la Higuera. ....	40
Tabla 19. Resumen de resultados granulométricos de los materiales de estudio. ....	45
Tabla 20. Resumen de ensayos de caracterización física de los materiales de estudio. ....	47
Tabla 21. Resumen de ensayos de caracterización mecánica de los materiales de estudio. ....	48
Tabla 22. Resumen de resultados obtenidos del mejoramiento de material mina Higuera con suelo seleccionado. ....	50
Tabla 23. Resumen de resultados obtenidos del material de la mina Higuera estabilizada con cemento. ....	51
Tabla 24. Resumen de resultados obtenidos de la propuesta suelo – cemento del material Llatcon. ...	52
Tabla 25. Parámetros para análisis del espesor de capa equivalente del material de la mina Llatcon. ..	54

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Faja granulométrica del material de la mina Higuera .....	33
Ilustración 2. Curva granulométrica del material de la mina Llatcon .....	35
Ilustración 3. Zona de extracción del material de la Higuera. Fuente: Google Earth.Pro.....	38
Ilustración 4. Zona de extracción del material de Llatcon. Fuente: Google Earth.Pro. ....	39
Ilustración 5. Zona de extracción del material Puzolana. Fuente: Google Earth.Pro. ....	40
Ilustración 6. Zona de extracción del material de polvo de la Higuera. Fuente: Google Earth.Pro.....	41
Ilustración 7. Curvas granulométricas representativas de los materiales de estudio.....	46
Ilustración 8. Curvas granulométricas representativas para las mezclas realizadas con el material de la mina Higuera.....	49
Ilustración 9. Porcentaje de cemento vs Compresión simple y porcentaje de cemento vs CBR para la mezcla material de la mina Higuera con cemento. ....	51
Ilustración 10. Porcentaje de cemento vs Compresión simple y porcentaje de cemento vs CBR para la mezcla material de la mina Llatcon.con cemento. ....	52

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Sistema de clasificación AASHTO. Das (2001). ....	62
Anexo 2. Carta de plasticidad Das (2001). ....	62
Anexo 3. Masa mínima de la muestra in situ en función del tamaño del árido INEN 695 (2010). ....	63
Anexo 4. Carta geológica de Azogues. ....	63
Anexo 5. Solicitud de realización de ensayos de laboratorio de la mina de Santa Isabel. ....	64
Anexo 6. Solicitud de información a la institución ASFALTAR EP. ....	65





Anexo 7. Ensayo previo de análisis granulométrico material mina Higuera .....	66
Anexo 8. Ensayo previo de límites de Atterberg de la mina Higuera. ....	67
Anexo 9. Ensayo previo de análisis granulométrico material mina Llatcon.....	68
Anexo 10. Ensayo previo de límites de Atterberg material mina Llatcon .....	69
Anexo 11. Ensayo previo Proctor modificado material mina Llatcon.....	70
Anexo 12. Análisis granulométrico de mina de la Higuera .....	71
Anexo 13. Límites de Atterberg de la mina Higuera. ....	72
Anexo 14. Ensayo Proctor modificado de mina Higuera.....	72
Anexo 15. Ensayo de abrasión de mina Higuera. ....	72
Anexo 16. Lecturas y graficas de ensayo CBR de mina Higuera. ....	73
Anexo 17. Valores obtenidos de ensayo CBR de mina higuera. ....	74
Anexo 18. Análisis granulométrico de mina de la Higuera .....	75
Anexo 19. Límites de Atterberg de la mina Higuera. ....	76
Anexo 20. Ensayo Proctor modificado de mina Higuera.....	76
Anexo 21. Ensayo de abrasión de la mina Higuera .....	76
Anexo 22. Ensayo CBR de la mina Higuera.....	77
Anexo 23. Valores de ensayo CBR de mina Higuera. ....	78
Anexo 24. Análisis granulométrico del material polvo de trituración. ....	79
Anexo 25. Ensayo Proctor modificado de polvo de trituración de la Higuera.....	80
Anexo 26. Valores obtenidos de ensayo CBR de polvo de trituración.....	82
Anexo 27. Análisis granulométrico de puzolana. ....	82
Anexo 28. Ensayo Proctor modificado de puzolana .....	83
Anexo 29. Valores obtenidos de ensayo CBR de puzolana. ....	85
Anexo 30. Análisis granulométrico de material de la mina Llatcon.....	85
Anexo 31. Límites de Atterberg del material de la mina Llatcon. ....	86
Anexo 32. Ensayo Proctor modificado de material de mina Llatcon.....	86
Anexo 33. Ensayo de abrasión de material de mina Llatcon. ....	86
Anexo 34. Análisis granulométrico del material de la mina Llatcon.....	87
Anexo 35. Límites de Atterberg de material de mina Llatcon. ....	88
Anexo 36. Ensayo Proctor modificado de material de mina Llatcon.....	88
Anexo 37. Ensayo de abrasión de material de mina Llatcon. ....	88
Anexo 38. Valores de CBR obtenidos para material de la mina Llatcon.....	90
Anexo 39. Análisis granulométrico de mezcla 2-1 con polvo de la Higuera.....	90
Anexo 40. Ensayo Proctor modificado de mezcla 2-1 con polvo de la Higuera.....	91
Anexo 41. Ensayo de abrasión mezcla de mina Higuera 2-1 con polvo de trituración.....	91



Anexo 42. Valores obtenidos de ensayo CBR de mezcla de material de la mina Higuera 2-1 polvo de trituración.....	93
Anexo 43. Valores obtenidos de ensayo CBR de material de mina Higuera 2-1 polvo de trituración. .	93
Anexo 44. Análisis granulométrico de mezcla Higuera 2-1 puzolana.....	94
Anexo 45. Ensayo Proctor modificado de material de la mina Higuera 2-1 puzolana. ....	95
Anexo 46. Ensayo de abrasión de material de la mina Higuera 2-1 puzolana. ....	95
Anexo 47. Valores de CBR para mezcla de mina Higuera 2-1 puzolana. ....	97
Anexo 48. Valores de CBR para mezcla de mina Higuera 2-1 puzolana ....	97
Anexo 49. Análisis granulométrico para la sub-base de la mina Santa Isabel.....	98
Anexo 50. Límites de Atterberg para la sub-base de la mina Santa Isabel. ....	99
Anexo 51. Ensayo de abrasión para el material sub-base de la mina Santa Isabel. ....	99
Anexo 52. Ensayo Proctor modificado para la sub-base de la mina de Santa Isabel.....	100
Anexo 53. Ensayo CBR para la sub-base de la mina Santa Isabel ....	100
Anexo 54. Análisis granulométrico para el mejoramiento de Santa Isabel. ....	101
Anexo 55. Análisis de límites de Atterberg para el mejoramiento de la mina Sata Isabel. ....	102
Anexo 56. Ensayo de abrasión para el material de mejoramiento de la mina Santa Isabel. ....	102
Anexo 57. Ensayo Proctor modificado para el mejoramiento de la mina Santa Isabel. ....	102
Anexo 58. Ensayo CBR para el mejoramiento de la mina Santa Isabel. ....	103
Anexo 59. Análisis granulométrico para la sub-base de la mina Santa Isabel.....	104
Anexo 60. Límites de Atterberg para la sub-base de la mina Santa Isabel. ....	105
Anexo 61. Ensayo de abrasión para la sub-base de la mina Santa Isabel. ....	105
Anexo 62. Ensayo Proctor modificado para mejoramiento de la mina Santa Isabel. ....	105
Anexo 63. Análisis granulométrico para el material mejoramiento de la mina Santa Isabel.....	106
Anexo 64. Límites de Atterberg para mejoramiento de la mina Santa Isabel.....	107
Anexo 65. Ensayo de Abrasión para mejoramiento de la mina Santa Isabel.....	107
Anexo 66. Análisis granulométrico mezcla mejoramiento Llatcon 95% - cemento 5% ....	109
Anexo 67. Ensayo Proctor modificado para la mezcla mejoramiento Llatcon 95% - cemento 5% ...	109
Anexo 68. Ensayo de abrasión para la mezcla mejoramiento Llatcon 95% - cemento 5% ....	109
Anexo 69. Análisis granulométrico mezcla mejoramiento Llatcon 93% - cemento 7% ....	111
Anexo 70. Ensayo Proctor modificado para la mezcla mejoramiento Llatcon 93% - cemento 7% ...	111
Anexo 71. Ensayo de abrasión para la mezcla mejoramiento Llatcon 93% - cemento 7% ....	111
Anexo 72. Análisis granulométrico mezcla mejoramiento Llatcon 91% - cemento 9% ....	113
Anexo 73. Ensayo Proctor modificado para la mezcla mejoramiento Llatcon 91% - cemento 9% ...	113
Anexo 74. Ensayo de abrasión para la mezcla mejoramiento Llatcon 91% - cemento 9% ....	113
Anexo 75. Análisis granulométrico mezcla base Higuera 95% - cemento 5%.....	115



Anexo 76. Ensayo Proctor modificado para la mezcla base Higuera 95% - cemento 5% .....	115
Anexo 77. Ensayo de abrasión para la mezcla base Higuera 95% - cemento 5% .....	115
Anexo 78. Análisis granulométrico mezcla base Higuera 93% - cemento 7% .....	117
Anexo 79. Ensayo Proctor modificado para la mezcla base Higuera 93% - cemento 7% .....	117
Anexo 80. Ensayo de abrasión para la mezcla base Higuera 93% - cemento 7% .....	117
Anexo 81. Análisis granulométrico mezcla base Higuera 91% - cemento 9% .....	119
Anexo 82. Ensayo Proctor modificado para la mezcla base Higuera 91% - cemento 9% .....	119
Anexo 83. Ensayo de abrasión para la mezcla base Higuera 91% - cemento 9% .....	119
Anexo 84. Valores de CBR de mezclas de materiales con cemento.....	120
Anexo 85. Graficas de CBR de mezclas con cemento.....	121
Anexo 86. Minas de materiales pétreos de la Higuera y Llatcon.....	122
Anexo 87. Ensayos granulométricos.....	122
Anexo 88. Ensayos de limites de Atterberg.....	124
Anexo 89. Ensayo de abrasión.....	124
Anexo 90. Ensayo Proctor modificado. ....	125
Anexo 91. Ensayos CBR.....	126
Anexo 92. Probetas para ensayo de compresión simple. ....	127



## Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

---

María Soledad Gutierrez López en calidad de autora y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "Probabilidad de mejora de las propiedades de materiales pétreos provenientes de 2 minas de la provincia del Azuay", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 08 de marzo de 2022

María Soledad Gutiérrez López

C.I: 0106743792



## Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

---

Luis Enrique Brito Vásconez en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación “Probabilidad de mejora de las propiedades de materiales pétreos provenientes de 2 minas de la provincia del Azuay”, de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 08 de marzo de 2022

Luis Enrique Brito Vásconez

C.I: 0150040566



### Cláusula de Propiedad Intelectual

---

María Soledad Gutiérrez López, autora del trabajo de titulación "Probabilidad de mejora de las propiedades de materiales pétreos provenientes de 2 minas de la provincia del Azuay", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autora.

Cuenca, 08 de marzo de 2022

---

María Soledad Gutiérrez López

C.I: 0106743792



## Cláusula de Propiedad Intelectual

---

Luis Enrique Brito Vásquez, autor del trabajo de titulación "Probabilidad de mejora de las propiedades de materiales pétreos provenientes de 2 minas de la provincia del Azuay", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 08 de marzo de 2022

---

Luis Enrique Brito Vásquez

C.I: 0150040566



## **AGRADECIMIENTOS**

A nuestra directora, Ing. Karla Santacruz Reyes y a nuestro codirector, Ing. Daniel Vélez Parra; su apoyo, dedicación, experiencia y guía han sido vital para el desarrollo de este proyecto.

A nuestros docentes de la facultad de Ingeniería quienes nos han impartido sus conocimientos transmitiéndonos su inspiración y forjándonos como profesionales; de manera especial al Ing. Daniel Mogrovejo y al Ing. Jaime Bojorque, quienes nos han orientado durante el desarrollo de este proyecto.

A la empresa Asfaltar EP, por su colaboración para el desarrollo de este proyecto; de manera especial a los laboratoristas de la institución.

A nuestros familiares y amigos, por su constante apoyo y motivación.





## DEDICATORIA

A mi mamá Mónica, que desde el cielo me ve, todo este proyecto y el culminar mi carrera universitaria te los dedico a ti, en agradecimiento por todo el amor y apoyo que incondicionalmente me diste durante mi vida. Te llevo presente día a día como un modelo a seguir Monita, y siempre será así.

Gracias padrino Enrique, sé que desde el cielo junto a mi madre me ven con orgullo y siempre tendré presente todos tus consejos para día a día ser un mejor ser humano y profesional.

A mi papá Miguel, que me ha apoyado durante toda mi carrera impulsándome y motivándome a nunca rendirme ante nada. Gracias por ser el pilar que no se ha inmutado ante nada y que nos ha servido a mis hermanas y a mí para siempre seguir adelante.

A mis hermanas Ánghela, Doménica y María, quienes también fueron parte importante y un gran apoyo durante toda mi vida universitaria.

Gracias Oliver, Steffany, Patricia, Cristian, Luis, Fabian, Luis, Abigail, Andres, Camila, Mateo y Leonardo, ustedes fueron mi motor durante el desarrollo de mi trabajo de titulación, su ayuda y motivación fueron clave y estaré agradecido eternamente por ello.

Finalmente, gracias Soledad y Jonnathan, mis mejores amigos y compañeros durante toda mi carrera, agradezco haberlos encontrado y haber enfrentado la vida universitaria a su lado, llevaré siempre en mi corazón todas las enseñanzas que aprendí de ustedes.

Esto es para ustedes, quienes me miran desde el cielo junto a Dios y quienes que están junto a mí en este plano terrestre. Muchas gracias.

*Luis*



## DEDICATORIA

A Dios, la fortaleza y sabiduría que me ha sido otorgada proviene de él.

A la persona más importante en mi vida; mi hija Paula Felicidad, quien ha sido el motor de mi vida, mi fuente de inspiración y mi compañera infalible dentro de este proceso. Por ella y para ella todo mi esfuerzo y dedicación.

A mis padres, Milton y Edelina quienes me han orientado y apoyado incondicionalmente durante este largo proceso. Su amor infinito ha sido una base sólida dentro de mi desarrollo personal. Gracias por su amor, motivación y guía.

A mi hermano Esteban, sus consejos y cariño incondicional han sido esenciales.

A mi abuelita Ofelia, por ser mi ángel en la tierra y demás familiares.

A todas las personas quienes han formado parte de este proceso, motivándome e inspirándome a dar lo mejor, principalmente: Paul, Luis, Cami, Jonnathan, Jank, Rommel, Juan, Tebo, Ricardo, Joss y Tefis.

Cada uno de ustedes ha sido una pieza clave en mi vida, haciendo mucho más llevadera mi vida universitaria, de la cual me llevo gratos recuerdos.

*Soledad*



## **CAPITULO 1 - GENERALIDADES**

### **1.1. ANTECEDENTES**

El deterioro de los pavimentos es evidente, en diferentes zonas de la ciudad de Cuenca los daños son perceptibles por los usuarios, existe descontento de diferentes autoridades pertenecientes a GADs parroquiales. Según Castro y Delgado (2017), algunas minas del Azuay no cumplen con las especificaciones solicitadas, sin embargo, a falta de otras opciones, el material que se emplea resulta de mala calidad y los mantenimientos se deben hacer con mayor frecuencia; por lo cual para abordar este problema se prevé estabilizar los suelos de mala calidad.

Los procesos que llevan al deterioro del pavimento pueden deberse a una diversidad de factores, entre ellos una falta de control de calidad en los procesos constructivos, un mal diseño, materiales con desempeño ineficiente, etc., todo esto desencadena deterioros como grietas de esquina, grietas lineales, parcheos, bombeo, entre otros. En el presente trabajo de titulación, se prevé analizar la probabilidad de mejora de la calidad de los materiales pétreos en función de los parámetros establecidos en la normativa ecuatoriana vial MOP (2002), con el fin de evitar un desempeño ineficiente dentro de estructuras viales.

### **1.1. INTRODUCCIÓN**

Los pavimentos son estructuras formadas por distintas capas de materiales, generalmente: subrasante, mejoramiento, sub-base, base y capa de rodadura, las cuales permiten soportar las diferentes cargas a las que están sujetos durante su vida útil. Esta serie de capas está compuesta por materiales y agregados naturales, las cuales deben cumplir con especificaciones contempladas en las normativas ecuatorianas vigentes. En ocasiones, los mencionados áridos incumplen con las especificaciones, por lo cual es necesario mejorar sus características mediante procesos que eleven las propiedades geomecánicas de los materiales.

El constante crecimiento poblacional de la provincia del Azuay exige ampliar las carreteras, además de mantenerlas en buenas condiciones. Con una adecuada red vial se permite la comunicación y desarrollo de la población, por ello la creación de vías de calidad es indispensable; la mayoría de estas son construidas con material pétreo proveniente de minas cercanas. Las minas localizadas en la provincia del Azuay han servido por décadas como fuente de materiales pétreos para el sector constructivo, especialmente para la construcción y mantenimiento de sistemas viales, ya sea como base, sub-base o mejoramiento, debiendo estos materiales cumplir con las normativas ecuatorianas MOP (2002) y requerimientos locales, los cuales buscan la correcta estructuración de un sistema de pavimentos que garantice su desempeño durante la vida útil prevista; sin embargo, Becerra y Sánchez (2018) señalan que dentro del gobierno parroquial del Valle existe una preocupación respecto a calidad de las estructuras de pavimento y de los materiales provenientes de las minas locales, pudiendo estos últimos no garantizar una obra de calidad. Por ello es necesario realizar una caracterización de los mismos; con esta información se podrá tomar medidas correctivas que garanticen el cumplimiento de las normas para que los materiales puedan ser considerados óptimos para su uso en la construcción en proyectos viales.

### **1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA**

Actualmente existe disponibilidad limitada de material pétreo proveniente de minas en el Azuay, de las cuales se explota material de: base, sub-base o mejoramiento. Basado en la experiencia de ingenieros



que se desempeñan en el ámbito de infraestructuras viales; el factor más influyente por el cual el material es considerado limitado, se debe a la existencia de deficiencias en el comportamiento de los agregados pétreos de la mayoría de minas del Azuay, por lo cual, transportar material de buena calidad de minas localizadas a larga distancia se traduce en costos elevados de transporte que influyen en la viabilidad de una obra vial.

La institución ASFALTAR EP dispone de materiales de las minas Higuera y Llatcon, para ser empleados en futuros proyectos viales dentro del Azuay, como material base y mejoramiento respectivamente. Según ensayos previos proporcionados por la institución, estos materiales incumplen ciertos parámetros especificados en la norma ecuatoriana vial MOP (2002), dentro de la misma se puede encontrar los valores referenciales que deben cumplir cada uno de los materiales, sometidos a diferentes ensayos de laboratorio, para ser considerados aptos para su uso en estructuras de pavimentos. Por lo cual, existe la necesidad de proponer soluciones que mejoren sus propiedades geomecánicas para posibilitar su uso en obras viales dentro de la provincia.

### **1.3. JUSTIFICACIÓN**

El presente documento contribuye de manera significativa al estudio de agregados pétreos, provenientes de minas del Azuay, a través de una caracterización física y mecánica de los materiales, con un consecuente proceso de mejora, mediante diferentes métodos de estabilización para elevar sus propiedades.

La limitación de materiales pétreos de buena calidad en la provincia del Azuay, es un factor que ha generado que instituciones públicas y privadas tiendan a buscar materiales fuera de la provincia, o en su defecto ha generado que se empleen materiales de baja calidad en obras viales; influyendo directamente en costos elevados de transporte, o en un mantenimiento vial costoso generado por deficiencias en el desempeño de la estructura a lo largo de su vida útil, respectivamente. El costo elevado de obras y los daños presentes en estructuras generan malestar en los usuarios; a su vez son causa de desperfectos en los vehículos, siniestros de tránsito y deficiente flujo vehicular.

Debido al requerimiento de materiales pétreos provenientes de la provincia, para las obras viales que se ejecutan en el Azuay, es necesario analizar métodos de mejora para los materiales existentes, de manera que se garantice un correcto desempeño en la estructura de pavimento, lo cual a su vez respalda un correcto funcionamiento en el periodo de vida útil planteado en el diseño.

Los materiales pétreos a ser analizados y de los cuales se proponen propuestas de mejora, provienen de las minas Higuera y Llatcon, ya que se prevé su empleo en futuros proyectos viales por la empresa pública ASFALTAR EP en la provincia del Azuay.

### **1.4. OBJETIVOS**

#### **1.2.1. General**

- Analizar alternativas que permitan mejorar la calidad de materiales pétreos provenientes de 2 minas del Azuay.

#### **1.2.2. Específicos**



1. Analizar la procedencia y geología de los materiales pétreos.
2. Caracterizar los materiales pétreos provenientes de cada mina.
3. Establecer alternativas de mejoramiento.
4. Evaluar el desempeño de las diferentes alternativas.
5. Comparar propiedades/comportamiento de los materiales mejorados con los estándares establecidos en las especificaciones del MOP (2002).

### **1.5. ALCANCE**

Según estudios previos se conoce que existen falencias en el desempeño del material, por lo cual el presente trabajo se centra en emplear procesos que permiten mejorar los parámetros deficientes que presentan los agregados pétreos.

Para iniciar este proceso de mejora se realizan ensayos de caracterización física y mecánica, que permiten determinar la clasificación del suelo y los parámetros de resistencia de los materiales de las dos minas en estudio; analizando propuestas de mejora factibles para los materiales, basadas en ensayos que permiten conocer cómo se elevaron sus características respecto al materia inicial, consiguiendo que al menos una de las alternativas estudiadas cumpla con la normativa vigente. Logrando así que los materiales puedan ser empleados dentro de las estructuras viales y en base a los resultados obtenidos en este proyecto, se proponen mejoras teóricas para los materiales de otra mina empleada a futuro en proyectos viales en el Azuay.

## **CAPITULO 2 - MARCO TEÓRICO**

En este capítulo se presenta el fundamento teórico con la información a utilizarse para cumplir con los objetivos del proyecto, se inicia revisando la teoría referente a materiales pétreos, capas de una estructura de pavimento y análisis de sus espesores; posteriormente se revisan, métodos de mejoramiento de agregado, conjuntamente con la normativa ecuatoriana para los materiales que conforman la estructuras de pavimento y normativas para los ensayos de laboratorio de caracterización física y mecánica. Todos estos conceptos servirán como una base de información para entender el desarrollo de los procesos del presente trabajo.

### **2.1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS**

#### **2.1.1. Conceptos previos**

##### **Agregado pétreo**

Se considera material pétreo a aquel que proviene de la roca y que se utiliza sin siquiera sufrir transformaciones, usualmente se encuentran en forma de macizos rocosos o en depósitos no consolidados conteniendo fragmentos de distintos tamaños (arenas y gravas). Pueden ser naturales o procesados, son derivados de la roca y poseen una calidad similar a la misma, son usados principalmente en construcción (Olguin, 2016). A continuación, se presenta la división del agregado pétreo en función de su tamaño:

- Grava: Aquel material que pasa por la malla de 3” y se retiene en la malla No. 4.
- Arena: Aquel material que pasa por la malla No.4 y se retiene en la malla No.200
- Fino: Aquel material que pasa por la malla No. 200.



A continuación, se desarrollan definiciones referentes a tipos de materiales a emplearse en este estudio:

### **Puzolanas**

Snelling (2012), define a la puzolana como un material silíceo o alumino-silíceo de origen volcánico, por sí solo no es considerado cementante, pero dividido finamente en un medio húmedo y a una temperatura ambiente puede reaccionar con el hidróxido de calcio para obtener compuestos con propiedades cementantes.

La puzolana es el nombre que reciben las cenizas volcánicas que provienen de la población de Puzzuoli (Italia) en las faldas de Vesubio. Para la ASTM, la puzolana es un material silíceo que sin ser aglomerante por sí mismo posee elementos que, combinados con calcio, en presencia de agua, y a temperaturas normales, forma compuestos de escasa solubilidad que tienen propiedades aglomerantes (Suarez & Urgiles, 2010).

### **Material de mejoramiento**

Es una composición de piedra o fragmento de roca, que reemplaza a los suelos que no poseen características adecuadas (ACSAM, 2020). Es usado comúnmente en estructuras viales con el fin de reducir los espesores de las capas superiores del pavimento.

### **Material Base**

Según Lapa (2018), es aquella capa que se encuentra debajo de la superficie de rodadura de un pavimento asfáltico y sobre la sub-base. A causa de su localización cercana con la superficie, debe tener una buena resistencia a la deformación, que puede generarse debido a presiones ocasionadas por el tránsito vehicular. Se elabora a partir de materiales granulares ya sean procesados o estabilizados.

La capa base tiene como función principal sostener, transmitir y distribuir las cargas ocasionadas por el tránsito. Esta capa será de material granular drenante con un CBR que va de 80% al 100% o deberá estabilizarse. Su altura o espesor dependerá principalmente del diseño del pavimento, tráfico, tipo de carretera y valor de CBR (Lapa, 2018).

### **Material Sub-base**

Según Fuentes (2013), la sub-base es una capa estructural formada por material granular y se localiza entre la subrasante y la base de un pavimento, el material con el cual se conforma el estrato debe estar limpio y libre de materias orgánicas.

La sub-base deberá tener características de minimizar los daños por el efecto de heladas y en estos casos se debe especificar materiales con alto porcentaje de vacíos para así dar soporte a las capas estructurales siguientes y proveer una plataforma de trabajo para los equipos de construcción (Fuentes, 2013).

#### **2.1.2. Estabilización de suelos**

En la construcción de una obra de ingeniería se busca utilizar los materiales que tengan la mejor calidad, pero teniendo en cuenta el aspecto económico para llegar a un criterio de optimización. En muchos casos no es posible alcanzar una calidad ideal a costos razonables comparados con la utilidad de la obra y tiempos de construcción que estén acordes con cronogramas ya establecidos. En el caso de la



construcción de pavimentos para carreteras y calles en ciudades pueden existir situaciones donde, los materiales sean difíciles de conseguir cerca de la zona del proyecto, y que el costo de transporte y extracción de los mismos sean tales que resulten muy costosos. En estas situaciones, es deseable emplear materiales de características inferiores a las ideales, pero mejorándolos mediante procesos que den como resultado un material adecuado para los fines necesarios y a un costo relativamente bajo comparado con la de un material ideal. En base a estas consideraciones nació la necesidad de estabilizar o mejorar los suelos para la construcción de pavimentos u otras obras de ingeniería (Montejo, 2018).

Según Montejo (2018), estabilizar un suelo significa mejorar sus propiedades tales como resistencia, durabilidad, plasticidad, permeabilidad, densidad, etc., en el presente trabajo se utilizarán los métodos que se señalan a continuación:

- 1) Mezcla de agregados (estabilización mecánica).
- 2) Mezcla de aditivos (cemento y puzolana).

#### **2.1.2.1 Estabilización de suelos mediante mezcla de agregados:**

Según Montejo (2018), la estabilidad de un suelo que contenga material grueso y fino depende de la distribución de los tamaños y forma de sus partículas, su peso volumétrico, su fricción interna y su cohesión. Una de las características más importantes del suelo es su resistencia y la misma es muy susceptible a la distribución granulométrica de las partículas del suelo, no dejando de lado la forma y la textura de estas.

Al momento de realizar la mezcla de suelos con otros suelos, se debe tener en cuenta lo siguiente: un suelo que tiene los finos suficientes para llenar todos los vacíos, obtendrá su resistencia del contacto directo entre sus partículas, ocasionando que exista una mejor distribución de esfuerzos; y a su vez un peso volumétrico alto con baja permeabilidad; este material es idóneo respecto a estabilidad, ya que tiene una resistencia al esfuerzo cortante relativamente alta para material fino tanto confinado como sin confinar (Montejo, 2018).

Como conclusión, se debe tener en cuenta que la fracción gruesa de un suelo resiste más mientras menor es el volumen de vacíos, siendo estas las partículas que resisten el desgaste y el impacto. El material fino (arcillas o limos) se pueden admitir en muy bajos porcentajes; sin embargo, existe la posibilidad de que se pueda generar expansiones, lubricaciones o inclusive reducción en la resistencia, conforme el material se satura (Montejo, 2018).

#### **2.1.2.2 Estabilización de suelos mediante la mezcla de aditivos.**

Las estabilizaciones de este tipo, más usadas en el Azuay, se realizan mediante aditivos como cemento, cal y puzolana. En el presente trabajo se considera el uso de mezclas con cemento y puzolanas basados en revisión de literatura y recomendaciones de ingenieros con vasta experiencia en trabajos viales en el Azuay.

Según Montejo (2018), el suelo-cemento es una mezcla, entre suelo pulverizado, cemento Portland y agua. La mezcla al ser compactada a una humedad óptima, alcanza su densidad máxima y produce luego de la hidratación del cemento un material durable, resistente, de baja plasticidad y de bajo costo que tiene muchos usos dentro de la ingeniería.



La acción cementante en suelos granulares es similar a la del concreto, pero la pasta de cemento no termina de llenar todos los vacíos en el agregado. En las arenas, las partículas se cementan solamente en los puntos de contacto. Mientras más completa sea la gradación del suelo, más pequeños serán los vacíos, más grande el área de contacto y más fuerte la acción cementante. Dado que los suelos granulares con buena gradación tienen una baja expansión potencial, es posible estabilizarlos con menores cantidades de cemento que los requeridos para arenas uniformemente gradadas y suelos arcillosos con alta expansión potencial (Montejo, 2018).

En cualquier tipo de suelo, el proceso de cementación tiene la máxima capacidad para desarrollarse cuando la mezcla está correctamente compactada con un contenido de humedad óptimo que permita la hidratación del cemento, para lo cual debe realizarse un ensayo Proctor. Por otro lado, para que el proceso se desarrolle completamente, se necesita que la humedad no se pierda fácilmente, lo cual se consigue mediante un curado adecuado durante un tiempo prudencial (Montejo 2018).

Al incrementar cemento a suelos que tienen plasticidad, esta se reduce. Lo anterior es evidente por cómo se rompe a la compresión simple y por el incremento de las propiedades elásticas. Por lo general, el decremento de la plasticidad se expresa por la reducción en el índice plástico de la mezcla suelo-cemento. Usualmente, la adición de cemento cambia la plasticidad del suelo, ya que el límite plástico de la mezcla aumenta a medida que se incrementa el cemento. Simultáneamente, el límite líquido decrece, aunque a una velocidad menor. Por ende, el índice plástico también disminuye (Montejo 2018).

#### - **Resistencia a la compresión de un suelo granular con cemento.**

La resistencia a la compresión es la característica más relevante de la mezcla suelo-cemento. Sirve como un indicador de la eficacia de la reacción de la mezcla suelo-cemento-agua, como también del tiempo de fraguado y de la velocidad de endurecimiento. En suelos granulares que realizan su reacción normalmente, sirve como criterio para determinar la cantidad mínima de cemento requerida para construcción con mezclas suelo-cemento (Montejo, 2018).

La adición de cemento a cualquier tipo de suelo, exceptuando a los orgánicos, incrementa su resistencia por acción cementante, la cual es dada por la hidratación y algunas modificaciones de los minerales arcillosos. El efecto de la adición de cemento a un suelo se estima en laboratorio por medio de ensayos de compresión, de acuerdo al contenido óptimo obtenido mediante un rango de ensayos.

Para distintos tipos de suelos ensayados a compresión, la resistencia aumenta al incrementar la cantidad de cemento. El contenido de cemento que debe adicionarse a la mezcla para conseguir la resistencia adecuada es mayor para suelos más plásticos, es decir limosos y/o arcillosos (Montejo, 2018).

### **2.1.3. Estudios previos de mejoramiento de suelos**

Se realizó una revisión a la literatura existente en base a mejoramiento de materiales pétreos con los procesos revisados previamente. De la revisión realizada, los que se consideraron más relevantes son los que se presentan a continuación:





- Castro, I. M & Delgado, P. V (2017) realizaron un proceso de mejoramiento de materiales locales de la mina de la Virginia y Araña Huaycu mediante la adición de puzolanas. Para ello realizaron ensayos de caracterización de los diferentes materiales pétreos, identificando las falencias de los mismos respecto a las especificaciones técnicas establecidas por el Ministerio de Obras Públicas. Posteriormente realizaron mezclas con material puzolánico en proporciones de 90/10, 80/20 y 70/30 (material/puzolana), encontrando que la relación 70/30 permite elevar las propiedades geomecánicas del material, de manera que encajan dentro de los límites requeridos por la normativa; notando mejoras en parámetros como índice de plasticidad, granulometría, Proctor y CBR.
- Mamani, W (2018) en su estudio *“Análisis de estabilización de suelos con cemento en componentes estructurales para diseño equivalente de pavimentos rígidos, segmentados y flexibles en vías de bajo volumen de tránsito”*, concluyó que las estabilizaciones de suelo con cemento, a nivel de componentes estructurales del pavimento, es decir, base y sub-base granular, aumentan la resistencia a la penetración del suelo (CBR), llevando valores de CBR de 41,85% a un 86% con un porcentaje de cemento de 6,30%, con ello mejorando también otros parámetros como la plasticidad, llevando a los materiales ensayados a un comportamiento no plástico. Las mejoras en las propiedades se traducen en una reducción de espesores en las diferentes capas que puedan conformar el pavimento.
- Golfín, K (2019) en su estudio *“Mejoramiento del desempeño en la estabilización de suelos de subrasantes con cemento hidráulico en vías no pavimentadas”* concluyó que realizando mezclas suelo-cemento, se notaron importantes aumentos en los valores de soporte CBR realizadas a materiales de subrasante, los mismos que en el estado natural del material, estaban en el orden del 1%, empleando porcentajes de cemento del 7% se lograron alcanzar valores de hasta 20%, también se mejoraron otros parámetros del material como la plasticidad, llevando a la mezcla a tener un comportamiento no plástico.
- Con respecto a la estabilización de suelos mezclados con otros suelos Delgado & León (2019) en su investigación *“Mejoramiento de la subrasante mediante la mezcla de grava-arcilla para optimizar su capacidad portante en la calle Los Nogales, Piura-2019”*, buscaron la estabilización de una subrasante, clasificada según SUCS como un suelo arcilloso con alta plasticidad. Este proceso se realizó mediante la adición de agregados, en este caso grava, en una cierta proporción, concluyendo que: el material considerado inicialmente como un suelo fino con materiales limo-arcillosos, en una dosificación de 50% grava y 50% suelo de subrasante, llega a cumplir los parámetros establecidos para ser considerado una buena sub-base granular; resaltando principalmente que con la dosificación antes mencionada el valor de CBR aumentaba considerablemente de 4,7% a un 19,4%.

#### **2.1.4. Teoría para análisis de capas de estructura de pavimento.**

Uno de los fines de este trabajo, es mostrar la factibilidad que pueden llegar a tener los procesos de mejoramiento de un material que conforma una capa de una estructura de pavimento. Al mejorar sus características de resistencia, se necesitan espesores menores que los utilizados en su estado natural para soportar iguales condiciones de carga; esto es importante ya que se traduce en reducción de costos.



Según Bejar, J.G. y Pacheco, S.A. (2019), el método de los espesores equivalentes es un concepto que usualmente se usa como un método de aproximación en el análisis estructural de pavimentos ya que permite la conversión de un sistema multicapa a un sistema de una capa con un espesor equivalente.

La determinación del espesor equivalente viene dada por la siguiente ecuación:

$$ELT = a * h_i * \sum_1^{L-1} \left[ \frac{E_i * (1 - v_s^2)}{E_s * (1 - v_i^2)} \right]^{\frac{1}{3}} \quad [1]$$

Donde:

a: Coeficiente que depende del tipo de pavimento (0.9 para pavimentos flexibles)

$h_i$ : Espesor de la capa i.

$E_i$ : Módulo de elasticidad de la capa i.

$E_s$ : Módulo de elasticidad de la capa de equivalencia.

$v_i$ : Coeficiente de Poisson de la capa i.

$v_s$ : Coeficiente de Poisson de la capa i de equivalencia.

L: Número de capas.

Para la aplicación del método de los espesores equivalentes es necesario conocer el módulo de elasticidad de las diferentes capas, este valor se obtiene mediante ensayos o correlaciones; existen varias ecuaciones para obtener el módulo de elasticidad, la utilizada en el presente trabajo está dada por Gerónimo, M (2020), y es la ecuación empleada por la AASHTO 1993, y se presenta a continuación:

$$E = 1500 * CBR \quad [2]$$

Donde:

E: Módulo de elasticidad (Psi)

CBR: Valor de soporte CBR (%)

Al igual que el módulo de elasticidad, el valor del coeficiente de Poisson es necesario para desarrollar el método del espesor equivalente, en el presente trabajo se utilizan valores de coeficientes de Poisson coincidentes en tablas de diferentes literaturas, las cuales están en función del tipo de suelo.

Según Maher, A. & Bennert, T. (2008) los valores típicos de coeficientes de Poisson se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Valores típicos de Coeficientes de Poisson. Maher, A., Bennert, T. (2008).

Material	Rango de valores	Valor típico
Material granular sin tratamiento	0,30 – 0,40	0,35
Material granular tratado con cemento	0,10 – 0,20	0,15

## 2.2. REVISIÓN DE NORMATIVA

En esta sección se aborda la información utilizada de la normativa ecuatoriana vigente referente a las capas de la estructura del pavimento y los métodos de mejora de los agregados que conforman las



mismas. Así como, la normativa referente a los ensayos tanto físicos y mecánicos realizados en laboratorio, esto con el fin de entender los diferentes parámetros que se establecen para cada uno de los estratos y los métodos que se pueden utilizar para elevar las propiedades geomecánicas de los agregados utilizados para que así se puedan cumplir los valores de referencia establecidos.

### 2.2.1. Especificaciones para las capas de una estructura de pavimento

Es importante tener en cuenta que los materiales pétreos pueden ser utilizados para formar parte de las capas de una estructura de pavimento, actualmente en el Ecuador la normativa MOP “Especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes” es la que establece los parámetros que deben cumplir estas capas para que sean consideradas aptas para ser utilizadas en proyectos viales, así como las especificaciones para los materiales estabilizados.

La normativa ecuatoriana MOP presenta especificaciones respecto a las diferentes capas, las cuales se detallan en las siguientes secciones.

#### 2.2.1.1 Especificaciones para base granular

Según las especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes (2002): Las bases de agregado se dividen en clases acorde a lo especificado por el MOP, la clase y tipo de base a utilizarse en la obra se especifican en los documentos contractuales de cada proyecto en concordancia con el tipo de vía y su utilización. Las recomendaciones para el uso de los diferentes tipos de material de base presentadas en el MOP (2002), se muestran a continuación:

*Tabla 2. Recomendaciones para el uso de los diferentes tipos de material base (MOP 2002).*

<b>MATERIAL ESPECIFICADO</b>	<b>TIPO DE CARRETERA</b>	<b>No. CARRILES</b>	<b>TPDA</b>
<b>BASE CLASE 1</b>	Para uso principalmente en aeropuertos y carreteras con intenso nivel de tráfico.	8 a 12	> 50,000
<b>BASE CLASE 2</b>	Carreteras de 2 hasta 6 carriles con un ancho mínimo por carril de 3,65m. Se incluye franja central desde 2 a 4m.	2 a 6	8,000 - 50,000
<b>BASE CLASE 3</b>	Vías internas de urbanizaciones con bajo nivel de tráfico.	2 a 4	1,000-8,000
<b>BASE CLASE 4</b>	Caminos vecinales	2	> 1,000

El límite líquido de la fracción que pase el tamiz N° 40 deberá ser menor de 25 y el índice de plasticidad menor de 6. El porcentaje de desgaste por abrasión de los agregados será menor del 40% y el valor de soporte de CBR deberá ser igual o mayor al 80%. Los agregados serán elementos limpios, sólidos y resistentes, exentos de polvo, suciedad, arcilla u otras materias extrañas.

Para que un material sea considerado una base clase 1 o 2, deberá estar constituidas por agregados gruesos y finos, triturados en un 100% y graduados uniformemente dentro de los límites granulométricos indicados para los Tipos A y B presentados en la Tabla 3.



Tabla 3 Granulometrías para bases Tipo A y B (MOP, 2002).

TAMIZ	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada	
	Tipo A	Tipo B
2" (50.8 mm.)	100	--
1 1/2" (38,1 mm.)	70 - 100	100
1" (25.4 mm.)	55 - 85	70 - 100
3/4"(19.0 mm.)	50 - 80	60 - 90
3/8"(9.5 mm.)	35 - 60	45 - 75
Nº 4 (4.76 mm.)	25 - 50	30 - 60
Nº 10 (2.00 mm.)	20 - 40	20 - 50
Nº 40 (0.425 mm.)	10 - 25	10 - 25
Nº 200 (0.075 mm.)	2 - 12	2 - 12

### 2.2.1.2 Especificaciones para sub-base granular

Según las especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes (2002): Los agregados que se empleen deberán tener un coeficiente de desgaste máximo de 50%, y la porción que pase el tamiz #40 deberá tener un índice de plasticidad menor que 6 y un límite líquido máximo de 25. La capacidad de soporte deberá corresponder a un CBR igual o mayor del 30%

Las sub-bases pueden ser de tres clases, las cuales se muestran a continuación.

- **Clase 1:** Están construidas con agregados obtenidos por trituración de roca o grava, de acuerdo con la granulometría establecida en la Tabla 4.
- **Clase 2:** Están construidas con agregados obtenidos mediante trituración o cribado en yacimientos de piedras fragmentadas naturalmente o de gravas de acuerdo con la granulometría establecida en la Tabla 4.
- **Clase 3:** Están construidas con agregados naturales y procesados que cumplan con la granulometría establecida en la Tabla 4.

Tabla 4. Granulometrías para las clases de sub-bases (MOP, 2002).

TAMIZ	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada		
	CLASE 1	CLASE 2	CLASE 3
3" (76.2 mm.)	--	--	100
2" (50.4 mm.)	--	100	--
1 1/2 (38,1 mm.)	100	70 - 100	--
Nº 4 (4.75 mm.)	30 - 70	30 - 70	30 - 70
Nº 40 (0.425 mm.)	10 - 35	15 - 40	--
Nº 200 (0.075 mm.)	0 - 15	0 - 20	0 - 20

Para un material de sub-base clase 1 o 2 al menos el 30% de los agregados preparados deberán ser triturados.



### **2.2.1.3 Especificaciones para material de mejoramiento**

Acorde a las especificaciones normadas por el MOP (2002). El material de mejoramiento debe ser suelo granular, material rocoso o combinaciones de ambos, libre de material orgánico y escombros, y salvo que se especifique de otra manera, tendrá una granulometría tal que todas las partículas pasarán por un tamiz de cuatro pulgadas (100 mm) con abertura cuadrada y no más de 20 por ciento pasará el tamiz N° 200 (0,075 mm), de acuerdo al ensayo AASHO-T.11. La parte del material que pasa el tamiz N° 40 (0,425 mm) deberá tener un índice de plasticidad no mayor de nueve (9) y límite líquido hasta 35% siempre que el valor del CBR sea mayor al 20%, tal como se determina en el ensayo AASHO-T-91. Si se presenta material de tamaño mayor al máximo especificado, será retirado antes de que se incorpore al material en la obra.

### **2.2.2. Caracterización de materiales pétreos**

El proceso que se lleva a cabo para la caracterización de los materiales pétreos consta inicialmente de un muestreo, el cual se realiza siguiendo los pasos presentes en la normativa ecuatoriana INEN 695; donde se recomienda la cantidad de material de muestreo en función del tamaño máximo del árido; la tabla con los valores correspondientes se encuentra en el Anexo 3. La metodología presentada en la normativa, respecto al muestreo de material apilado indica que preferentemente se debe preparar una pequeña pila, compuesta de material extraído de distintos niveles y ubicaciones de una pila principal; con el fin de evitar errores por segregación del material.

Una vez obtenidas las muestras se transportan al laboratorio y se las somete a ensayos para obtener la caracterización física y mecánica de los materiales. La caracterización física busca identificar al material bajo un sistema unificado de clasificación de suelos conocido como SUCS y AASHTO, para ello es necesario realizar ensayos de granulometría y límites de Atterberg, en la Tabla 5 se presenta un resumen de los ensayos de laboratorio requeridos para este fin.

Los requerimientos de las normativas toman en cuenta principalmente al valor de soporte CBR como un indicador de la resistencia del material, para su obtención es necesario iniciar con una caracterización mecánica, donde se establecen parámetros como densidad seca máxima y humedad óptima de compactación, con los cuales se procede a realizar los ensayos de resistencia a la penetración (CBR). En la Tabla 5 se presenta un resumen de los ensayos de laboratorio empleados en este análisis.



Tabla 5. Resumen de ensayos de laboratorio.

Ensayo	Utilidad	Norma aplicada
<b>Humedad Natural</b>	Establece el método de ensayo para determinar el porcentaje de humedad evaporable por secado en una muestra de áridos.	ASTM D2216-71
<b>Análisis Granulométrico</b>	Determina la distribución del tamaño de partículas de agregados finos y gruesos por tamizado.	ASTM D422
<b>Límite Líquido</b>	Cuantifica el contenido de humedad expresado en porcentaje del suelo secado en el horno, cuando éste se halla en el límite entre el estado plástico y el estado líquido.	ASTM D4318
<b>Límite Plástico</b>	Consiste en determinar el contenido de agua de un suelo, en el límite entre su comportamiento plástico y sólido.	ASTM D4318
<b>Índice Plástico</b>	Expresa en porcentaje de peso seco de una muestra de suelo, e indica el tamaño del intervalo de variación del contenido de humedad con el cual el suelo se mantiene plástico.	ASTM D4318
<b>Proctor Modificado</b>	Determina la humedad óptima de compactación con su correspondiente densidad seca máxima.	ASTM D1557-91
<b>CBR</b>	Evalúa la capacidad portante de terrenos compactados	ASTM D 1883-94
<b>Ensayo de Abrasión</b>	Determinar el valor de degradación del árido grueso de tamaño inferior a 37.5 mm, a través de la pérdida de masa por desgaste e impacto utilizando la máquina de los Ángeles	ASTM C 131-06

Como se explicó anteriormente, la caracterización física busca clasificar bajo un sistema unificado los materiales que conforman el suelo, para ello se analizan diferentes propiedades obtenidas en laboratorio y se comparan con los parámetros establecidos en los métodos AASHTO y SUCS.

### Sistema de clasificación AASHTO

Este sistema clasifica el suelo en siete grupos que van del A-1 al A-7; los primeros tres grupos están conformados por material granular cuyo porcentaje que pasa el tamiz #200 es menor que el 35%; los siguientes cuatro grupos están conformados por material cuyo porcentaje que pasa el tamiz #200 es mayor al 35% y son considerados como limos y arcillas. En el Anexo 1 se muestra la tabla con el sistema de clasificación AASHTO (Das. 2001).

### Clasificación SUCS

El sistema de clasificación SUCS clasifica el suelo en función de la granulometría, estableciendo materiales tipo grava, arena o finos en función del porcentaje que pasa el tamiz #200, si menos del 50% del material pasa el tamiz, el suelo es considerado grueso; y puede ser grava o arena en función del porcentaje que pasa el tamiz #4. Si más del 50% del material pasa el tamiz #200 el suelo es considerado fino y puede ser limo o arcilla. Para el proceso se utiliza la carta de plasticidad presente en el Anexo 2 (Narsilio y Santamarina, 2016).



### 2.2.3. Mejoramiento de materiales pétreos

La normativa ecuatoriana establece especificaciones para métodos de mejoramiento de materiales pétreos; en la presente sección se presenta una tabla resumen con los métodos de mejoramiento de suelos mediante: mejoramiento con suelo seleccionado, base granular estabilizada con cemento hidráulico y base suelo cemento.

<p><b>Mejoramiento con suelo seleccionado</b></p>	<p>El material que se desea emplear deberá:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ser suelo granular, material rocoso o combinaciones de ambos, libre de material orgánico y escombros.</li> <li>• Tener una granulometría tal que todas las partículas pasarán por un tamiz de cuatro pulgadas (100 mm) con abertura cuadrada y no más de 20 por ciento pasará el tamiz N° 200 (0,075 mm).</li> <li>• La parte del material que pase el tamiz N° 40 (0,425 mm) deberá tener un índice de plasticidad no mayor de nueve (9) y límite líquido hasta 35% siempre que el valor del CBR sea mayor al 20%.</li> </ul>
<p><b>Base granular estabilizada con cemento hidráulico</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Los materiales que se empleen en esta mezcla deberán cumplir con los requisitos granulométricos para agregado grueso y fino establecidos en la Tabla 7.</li> <li>• Para comprobación de la efectividad de la mezcla se deberá efectuar ensayos de densidad máxima, humedad óptima y CBR una vez establecido el contenido de cemento en la mezcla usando el ensayo de compresión simple y comprobando que su resistencia no sea inferior a 2,45 MPa.</li> </ul>
<p><b>Base de suelo - cemento</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El material a emplearse debe provenir de fuentes aprobadas, y cumplirá los requisitos de graduación que se especifican en la Tabla 7.</li> <li>• Para la mezcla se fijarán los procesos constructivos, la energía de compactación a aplicarse y la resistencia mínima que se debe obtener es de 1,76 MPa usando al ensayo de compresión simple.</li> <li>• No se emplearán para bases de suelo-cemento en suelos que tengan humedades en banco mucho mayores que la óptima de compactación.</li> </ul>

Tabla 6. Requisitos granulométricos para mezcla de base granular estabilizada con cemento MOP (2012).

Las especificaciones granulométricas para una base granular estabilizada con cemento y de base suelo-cemento se presentan a continuación:



Base granular estabilizada con cemento hidráulico			Base de suelo cemento		
TAMIZ	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada		TAMIZ	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada	
	Mezcla en Sitio	Mezcla en planta		Mezcla en Sitio	Mezcla en planta
3" (76.2 mm.)	100	100	3" (76.2 mm.)	100	100
1 1/2" (38.1 mm.)	--	--	1 1/2" (38.1 mm.)	--	--
1" (25.4 mm.)	--	--	1" (25.4 mm.)	--	--
3/4" (19.0 mm.)	60 - 100	60 - 100	3/4" (19.0 mm.)	60 - 100	60 - 100
Nº 4 (4.75 mm.)	---	40 - 75	Nº 4 (4.75 mm.)	---	40 - 75
Nº 10 (2.00 mm.)	30 - 70	30 - 50	Nº 10 (2.00 mm.)	30 - 70	30 - 50
Nº 40 (0.425 mm.)	--	15 - 35	Nº 40 (0.425 mm.)	--	15 - 35
Nº 200 (0.075 mm.)	5 - 25	5 - 15	Nº 200 (0.075 mm.)	5 - 25	5 - 15

Tabla 7. Requisitos granulométricos para mezclas suelo-cemento y base de suelo-cemento MOP (2012).

### Diseño de la mezcla suelo-cemento

Según el reporte del ACI 230, la estabilización suelo-cemento es de gran aplicación en suelos granulares. Ya que se pulverizan y mezclan más fácilmente que los suelos de grano fino, dando lugar a un suelo-cemento más económico porque requieren menor cantidad de cemento.

La mezcla de suelo-cemento tiene un comportamiento similar al suelo natural, ya que alcanza su densidad máxima al ser compactada con un contenido óptimo de humedad, determinado con el ensayo Proctor modificado.

La Tabla 8 proporciona estimaciones iniciales para los procedimientos de dosificación de la mezcla.

Tabla 8. Requerimientos típicos de cemento para varios tipos de suelos ACI 230 (2009).

AASHTO soil classification	ASTM soil classification	Typical range of cement requirement, <sup>a</sup> percent by weight	Typical cement content for moisture-density test (ASTM D558), percent by weight	Typical cement contents for durability tests (ASTM D559 and D560), percent by weight
A-1-a	GW, GP, GM, SW, SP, SM	3 to 5	5	3-5-7
A-1-b	GM, GP, SM, SP	5 to 8	6	4-6-8
A-2	GM, GC, SM, SC	5 to 9	7	5-7-9
A-3	SP	7 to 11	9	7-9-11
A-4	CL, ML	7 to 12	10	8-10-12
A-5	ML, MH, CH	8 to 13	10	8-10-12
A-6	CL, CH	9 to 15	12	10-12-14
A-7	MH, CH	10 to 16	13	11-13-15

Con los valores presentes en la tabla anterior, es posible estimar los rangos en que debe escoger la cantidad de cemento en los ensayos de mezcla para determinar el contenido (en %) óptimo. Establecido el rango de los porcentajes de cemento, preparado y tamizado el suelo y conocido el porcentaje de humedad correspondiente al valor óptimo, se recomienda elaborar al menos 2 testigos o probetas por cada porcentaje de cemento en moldes para compresión simple de 30x15 cm, con la energía correspondiente a la de Proctor modificado.

Los testigos fabricados tienen que pasar un período de cuatro días, cubiertos los mismos con fundas de cemento humedecidas. Para lograr un buen curado es necesario que estas fundas se mantengan siempre húmedas, lo cual se logra regándole agua tres veces al día. Este proceso debe realizarse en un lugar





preferiblemente cubierto y de poca ventilación, en caso contrario, el mínimo de veces que se deben humedecer las fundas no será inferior a cinco.

Las probetas deben ensayarse a los 7 días desde su fabricación y su resistencia a la compresión simple debe alcanzar los valores mínimos establecidos en la Tabla 6. Requisitos granulométricos para mezcla de base granular estabilizada con cemento MOP (2012).

### 2.3. RESULTADOS DE ENSAYOS PREVIOS

En esta sección se adjuntan ensayos previos realizados a los agregados pétreos en estudio por la empresa ASFALTAR EP, esto servirá de base para entender e identificar las falencias de los materiales y para establecer estrategias de mejoramiento, también para corroborar los ensayos de caracterización que posteriormente se realizan en los materiales de las minas Higuera y Llatcon.

#### 2.3.1. Resultados de ensayos previos de material de la mina Higuera

Los ensayos de caracterización física y mecánica del material de la Higuera se presentan de manera resumida a continuación. La información detallada de los ensayos, con sus respectivas especificaciones para material de base clase 1B se encuentran desde el Anexo 7 al Anexo 8.

Tabla 9. Información de resultados previos del material de la mina Higuera.

Institución que proporciona la información:	ASFALTAR EP
No. de resultados proporcionados:	1 por cada ensayo
Fecha de emisión de informe de resultados:	16/8/2021

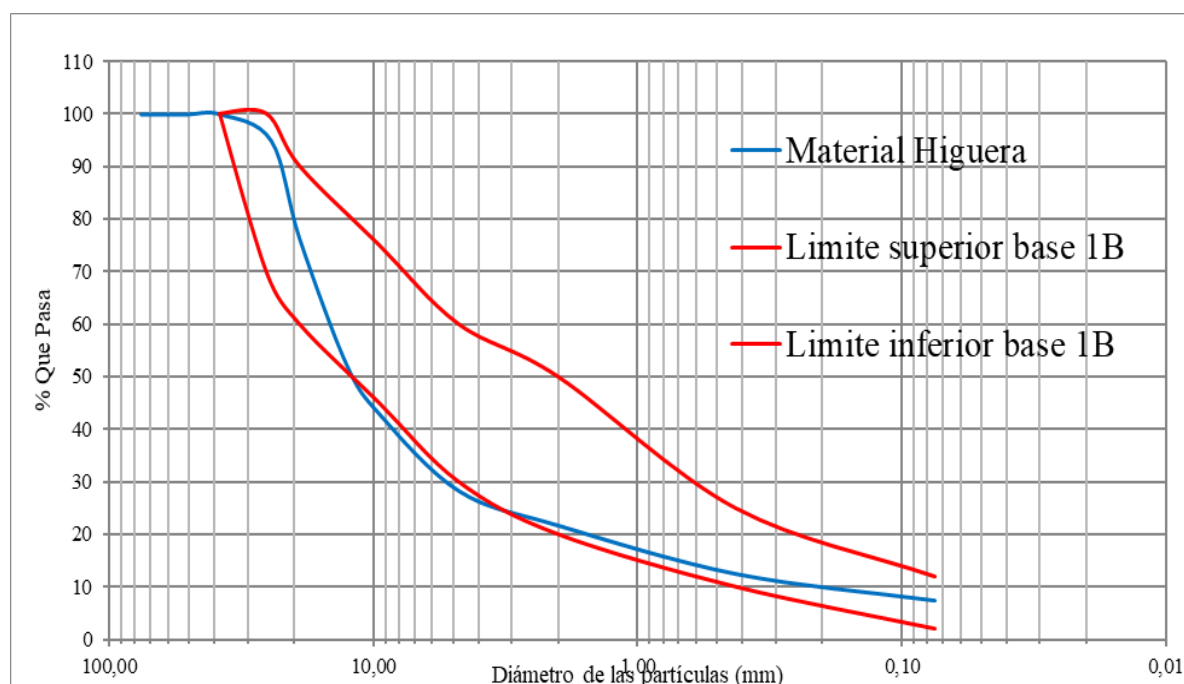


Ilustración 1. Faja granulométrica del material de la mina Higuera



Tabla 10 Ensayos previos de material de la "Mina Higuera"

PARÁMETRO	ENSAYO	VALOR	UNIDADES	NORMATIVA PARA MATERIAL BASE- MOP (2002)
LÍMITE LÍQUIDO	Límites de Atterberg	25,4	%	< 25%
LÍMITE PLÁSTICO		17,6	%	No especifica
ÍNDICE DE PLASTICIDAD		7,8	%	< 6%
HUMEDAD ÓPTIMA DE COMPACTACIÓN	Proctor Modificado	6,5	%	No especifica
DENSIDAD SECA MÁXIMA	Proctor Modificado	2,35	gr/cm <sup>3</sup>	No especifica
CBR	CBR Test	34,7	%	> = 80 %
PORCENTAJE DE DESGASTE DE ÁRIDOS	Ensayo de Abrasión	9,6	%	< 40%
CLASIFICACIÓN	AASHTO	A3		No especifica
	SUCS	GM		

El material se prevé utilizar en estructuras viales con intenso nivel de tráfico o plataformas de aeropuertos; por lo cual, según la Tabla 2, el material de la mina Higuera debe ser mejorado con el propósito de cumplir con los requerimientos establecidos para una base clase 1. La curva granulométrica se asemeja a la de una base tipo 1B, pero no encaja dentro de la faja granulométrica debido a una deficiencia de material pasante el tamiz #4, como se observa en Ilustración 1; los parámetros de plasticidad y el valor de soporte CBR, de igual manera no cumplen con lo establecido en 2.2.1.

### 2.3.2. Resultados de ensayos previos de material de la mina Llatcon

Los ensayos de caracterización física y mecánica del material de la mina Llatcon se presentan de manera resumida a continuación. La información detallada de los ensayos, con sus respectivas especificaciones para material de mejoramiento se encuentra desde el Anexo 9 al Anexo 11.

Tabla 11. Información de resultados previos del material de la mina Llatcon

Institución que proporciona la información:	ASFALTAR EP
No. de ensayos proporcionados:	1 por cada ensayo
Fechas de emisión de informes de resultados:	25/1/2021 26/01/2021 09/11/2021

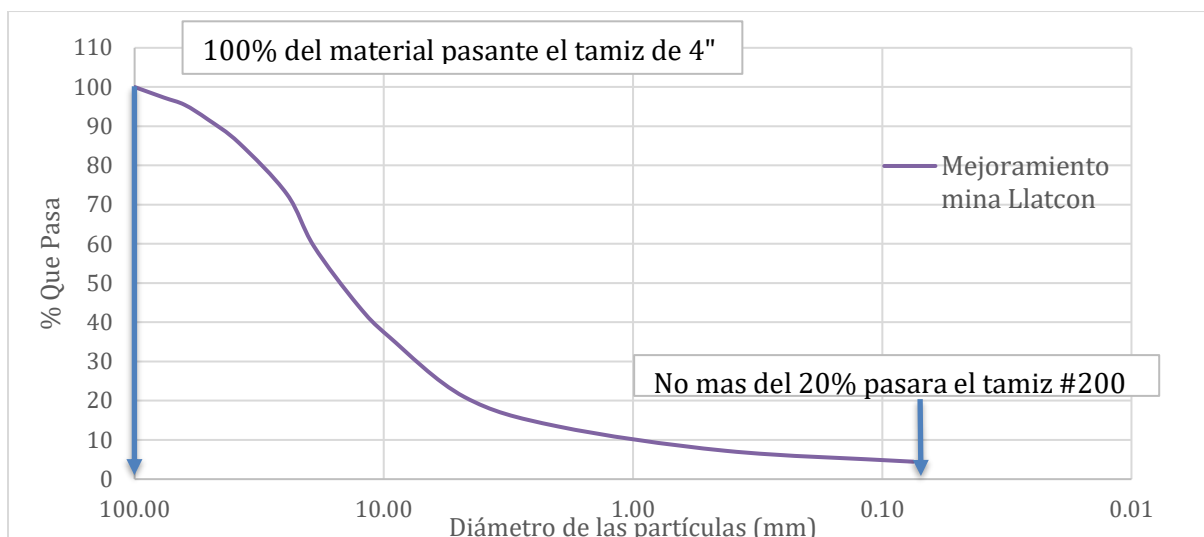


Ilustración 2. Curva granulométrica del material de la mina Llatcon

Tabla 12 Estudios previos de material de la "Mina Llatcon"

PARÁMETRO	ENSAYO	VALOR	UNIDADES	NORMATIVA PARA MATERIAL DE MEJORAMIENTO - MOP (2002)
LIMITE LIQUIDO	Límites de Atterberg	33,04	%	$\leq 35$
LÍMITE PLÁSTICO		18,5	%	
ÍNDICE DE PLASTICIDAD		14,46	%	$< 9$
HUMEDAD ÓPTIMA DE COMPACTACIÓN	Proctor Modificado	10,50	%	No especifica
DENSIDAD SECA MÁXIMA	Proctor Modificado	1,99	$gr/cm^3$	No especifica
CBR	CBR Test	31	%	$> 20$
CLASIFICACIÓN	AASHTO	A-2-6		No especifica
	SUCS	GW-GP		

Se prevé el uso del agregado de la mina Llatcon como material de mejoramiento. El mismo cumple con la gradación y valor de soporte CBR; pero existen deficiencias respecto al índice de plasticidad, incumpliendo con lo establecido en la sección 2.2.1.3.

### CAPITULO 3 - MATERIALES Y MÉTODOS

En el presente capítulo se detallan las principales minas de agregado pétreo ubicadas en la provincia del Azuay, y en base a criterios de relevancia se seleccionan dos de ellas; se analiza la procedencia



geológica de los materiales, y se explica la metodología empleada para llevar a cabo los objetivos planteados.

### 3.1. MATERIALES

#### 3.1.1. Minas de materiales pétreos en el Azuay

En el Azuay existen varias minas de materiales pétreos, con las cuales trabajan las instituciones públicas y privadas. Es importante conocer los diferentes agregados triturados que ofrecen cada una de ellas, y cuál es su aplicación; con el fin de elegir dos de ellas en base a criterios de importancia.

Las principales minas de agregados pétreos en el Azuay y los materiales que producen se presentan a continuación en la Tabla 13:

*Tabla 13 Minas del Azuay, descripción y productos triturados que ofrecen.*

<b>Mina</b>	<b>Localización</b>	<b>Descripción de la mina y los productos que ofrece</b>
CyM Cia. Ltda.	Cantón Paute	Está localizada en la zona oriental de la provincia del Azuay, realiza ventas en planta y de manera directa en obras. Produce material triturado 3/4, 3/8 y polvo de trituración. La materia prima se obtiene del sitio donde está localizada la planta de trituración.
SOMIGU S.A.	Cantón Gualaceo	Esta mina produce triturado 3/4, 3/8 y polvo de trituración, el cual se mezcla con arena para la venta. Tienen minas que les proveen con materia prima a largo plazo. Sus ventas se realizan en planta.
ROCKAZUL	Santa Isabel/ El Descanso	La producción de esta mina está destinada a la construcción (triturado 3/4, 3/8 y polvo de trituración) y obras viales (Base, Sub - base). Su volumen de producción es alto, y cuenta con materia prima de canteras propias y mediante compra en otras canteras.
VIPESA	El Descanso	Nivel de producción alto y produce triturado 3/4, polvo de trituración y base. La materia prima la obtienen de una cantera ubicada en el cantón Paute de terceras personas.
COMPAÑÍA TRELLES	El Descanso	Producción destinada a obras viales, produce base y sub-base, no tiene canteras propias.
MINERA GRAIMAN	El Descanso	Produce triturado 1, 1/4, 3/4, 3/8 y polvo de trituración. Se localiza donde se obtiene la materia prima, la mina está más destinada a la producción de material de mejoramiento tipo lastre.
TRITURADORA DE LA VIRGINIA (Mina Higuera)	Cantón Paute	Produce polvo de trituración, 5/8, 3/8, 3/4, 1/2 y agregados pétreos destinados para obras viales, actualmente produce base para obras de la empresa ASFALTAR y para la venta particular. Explotan material propiamente de la Virginia y también trituran material proveniente de minas cercanas, como el de la mina Higuera.
LLATCON	Jadán	Produce material de mejoramiento tipo lastre.



Mina Santa Isabel	Santa Isabel	Producen materiales destinados a las obras viales (Base, Sub-base y mejoramiento), el material proviene de Santa Isabel y se tritura en la planta.
-------------------	--------------	--

### 3.1.2. Selección de las minas a mejorar

El presente proyecto se enfoca en mejorar las propiedades de materiales pétreos para utilización en estructuras viales; por lo tanto, las minas que producen materiales de base, sub-base y mejoramiento podrían consideradas para el estudio.

En el Azuay existen varias instituciones públicas y privadas que se dedican a la construcción de obras viales, entre ellas se encuentra la empresa pública ASFALTAR EP. Se llevó a cabo un conversatorio con las autoridades de la empresa respecto a las minas de las que se extraen o se planea extraer en el futuro materiales pétreos para proyectos viales. La empresa tiene planeado utilizar material procedente de la mina Higuera, el cual es obtenido de lecho de río en una ubicación cercana a la trituradora de la Virginia, en la cual se planea triturar para utilizarlo como material de base; se han realizado ensayos sobre el material y se ha observado que existe deficiencias respecto a su comportamiento. La empresa planea trabajar también con el material de la mina de Llatcon para utilizarlo como material de mejoramiento, de la misma manera se han realizado ensayos para su caracterización, observando que existen deficiencias del material respecto a la normativa.

En base a la ubicación, accesibilidad, importancia que pudiesen llegar a tener los materiales a futuro e interés de la empresa pública, se considera que los materiales de las minas Higuera y Llatcon serían apropiados para el proceso de mejora mediante diferentes mezclas en el presente proyecto.

### 3.1.3. Procedencia geológica de los materiales

Generalmente, la mayoría de las características físicas y mecánicas de los agregados están en función de su naturaleza geológica. A continuación, se presenta la ubicación y procedencia geológica de los materiales empleados en este estudio, los cuales se encuentran en la carta geológica correspondiente a Azogues presente en el Anexo 4.

#### 3.1.3.1 Procedencia del material de la Higuera

Respecto a la litología del material de la mina Higuera, se puede decir que el agregado pétreo proviene de depósitos aluviales, correspondientes a la época del Holoceno, y descansan sobre roca meta – volcánica de San Francisco perteneciente a la serie Paute, acorde a la hoja geológica de Azogues.

El material es transportado hacia la planta trituradora de la Virginia donde se lo tritura en un 100%.

Tabla 14. Ubicación geográfica del sitio de extracción del material de la mina Higuera.

Coordenadas geográficas de la zona de extracción. (grados, minutos, segundos)	
Latitud	2° 49' 31,81" S
Longitud	78° 46' 15,06" O

La Ilustración 3 muestra la zona de muestreo respecto al cantón de Paute y una imagen referencial del material triturado de la mina Higuera.



Ilustración 3. Zona de extracción del material de la Higuera.

Fuente: Google Earth.Pro.

### 3.1.3.2 Procedencia del material de la mina Llatcon

Respecto a la litología del material de la mina Llatcon, corresponde a roca volcánica de Llaaco, por lo que se puede suponer que existe en esta zona lo que se conoce como tobas, y tobas andesitas, productos de actividad volcánica probablemente del Eoceno.

El agregado pétreo fue proporcionado por la institución ASFALTAR EP, aunque la mina encargada de su producción es una concesión privada. A continuación, se detalla la ubicación geográfica de la zona de extracción:

Tabla 15. Ubicación geográfica del sitio de extracción del material de la mina Llatcon.

Coordenadas geográficas de la zona de extracción. (grados, minutos, segundos)	
Latitud	2° 52' 45,54" S
Longitud	78° 53' 28,92" O

La Ilustración 4 muestra la zona de extracción del agregado respecto al cantón Cuenca y una imagen referencial del material proveniente de la mina Llatcon.

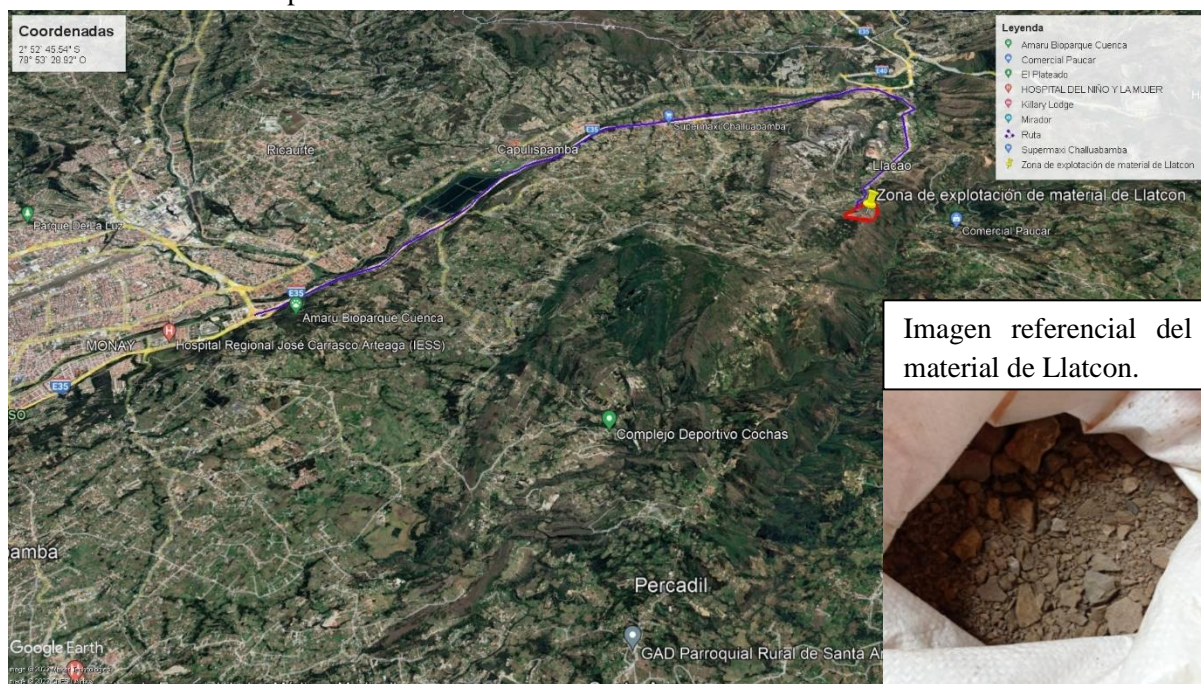


Ilustración 4. Zona de extracción del material de Llatcon.

Fuente: Google Earth.Pro.

### 3.1.3.3 Procedencia de la puzolana

Respecto a la litología de la puzolana empleada como alternativa de mejoramiento, se puede decir que pertenece a los volcánicos de Llatcon, perteneciente al cuaternario, lo cual es concordante a la carta geológica de Azogues (Anexo 4). En la Tabla 16 se detalla la ubicación geográfica del sitio de extracción del material.

Tabla 16. Ubicación geográfica de la mina de extracción del material de puzolana.

Coordenadas geográficas de la zona de extracción. (grados, minutos, segundos)	
Latitud	2° 46' 27,4" S
Longitud	78° 42' 41,68" O

La Ilustración 5 muestra la zona de muestreo respecto al cantón Guachapala y una imagen referencial del material proveniente de la mina.

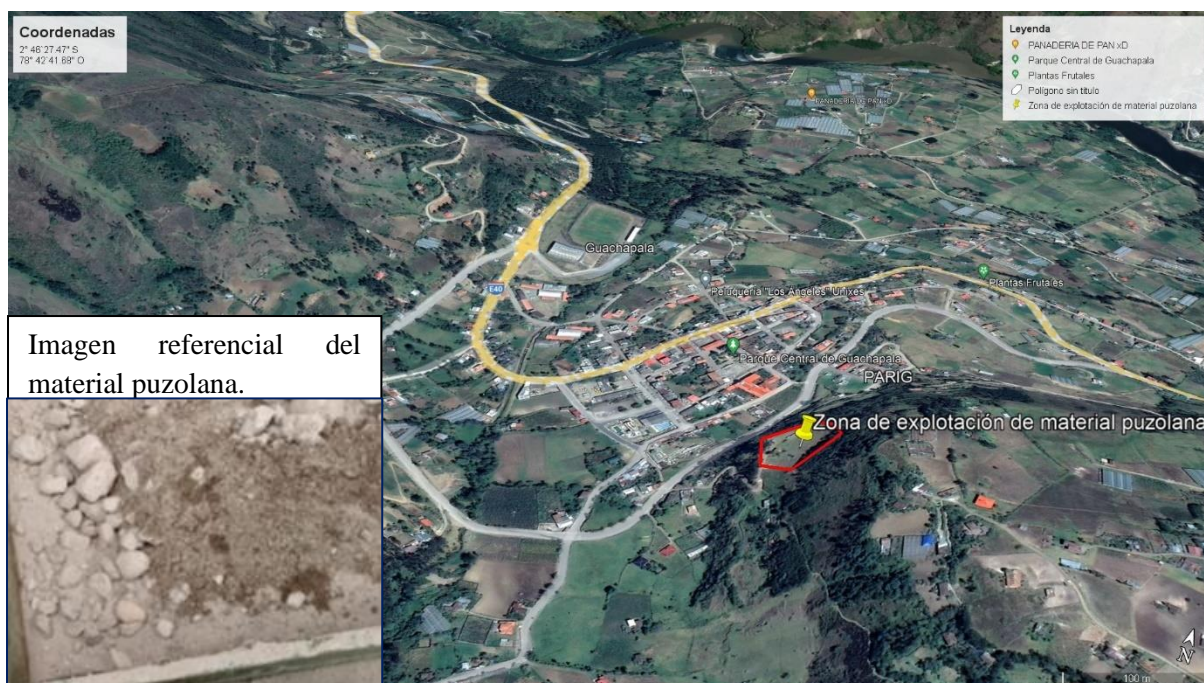


Ilustración 5. Zona de extracción del material Puzolana.

Fuente: Google Earth.Pro.

### 3.1.3.4 Procedencia del polvo de la Higuera

El material considerado "polvo de trituración" empleado como alternativa de mejoramiento proviene de la mina de la Higuera y comparte su misma naturaliza geológica, siendo depósitos aluviales, pertenecientes a la época del Holoceno, descansan sobre roca meta – volcánica de San Francisco perteneciente a la serie Paute. El material fue proporcionado por la entidad pública "ASFALTAR EP" y la ubicación de la zona de extracción se detalla a continuación:

Tabla 17. Ubicación geográfica de la mina de extracción del polvo de la Higuera.

Coordenadas geográficas de la zona de extracción. (grados, minutos, segundos)	
Latitud	2° 49' 31,04" S
Longitud	78° 46' 15,49" O

La Ilustración 6 muestra la zona de extracción respecto al cantón Paute y una imagen referencial del material proveniente de la mina.





Ilustración 6. Zona de extracción del material de polvo de la Higuera.

Fuente: Google Earth.Pro.

### 3.2. METODOS

La metodología general ejecutada dentro del presente trabajo incluye tres áreas fundamentales:

- La revisión preliminar, que implica la revisión de bibliografía, trabajos previos referentes al tema y análisis de la información general referente a las minas existentes en la provincia y sus características.
- La segunda parte constituye una definición de los materiales a trabajar, especificados en el literal 3.1. Una vez especificados los materiales se procede con la caracterización física y mecánica para obtener las propiedades básicas de los materiales, a través de la cual se podrán conocer sus ventajas y desventajas. Detalles de esta sección se presentan en el literal 3.2.1
- Finalmente, la metodología se enfoca en la revisión de diferentes mecanismos de mejoramiento que se podrían establecer para suplir las deficiencias determinadas para los materiales, la sección 3.2.2 detalla la “Metodología para la propuesta y evaluación de mecanismos de mejoramiento”. Con esto se concluiría el trabajo planteando las conclusiones y recomendaciones.

#### 3.2.1. Metodología preliminar

Una vez definidos los materiales con los cuales se va a trabajar, el proceso inicia con la recopilación de información relacionada con la procedencia geológica de los materiales; para ello se realiza una visita a las minas para conocer la ubicación y los procesos de trituración del material. Se ubica además a las minas según su procedencia geológica, analizando su litología y demás parámetros de interés.

Una vez conocido el material y su procedencia, se avanza con el muestreo. El mismo se realiza en base a la normativa INEN 695 (2010), con ello se obtienen muestras representativas de cada material para su análisis posterior. Se toman muestras de los materiales pétreos provenientes la mina Higuera y



Llatcon localizadas en la provincia del Azuay; se procede a realizar la caracterización de los materiales mediante ensayos, los cuales se realizan en el laboratorio de geotecnia ubicado en el campus central de la Universidad de Cuenca, con el fin de efectuar un análisis comparativo con resultados de ensayos previos proporcionados por la empresa ASFALTAR EP.

En laboratorio se procede a obtener la humedad natural de los áridos (INEN, 1982) tomando varias muestras de cada material, seguido a esto se realizan 3 análisis granulométricos (INEN, 2011) de los diferentes materiales mediante la serie fina y gruesa de tamices con el uso del tamizador mecánico; posteriormente, se realizarán 3 ensayos de límite líquido (INEN, 1982) y 3 de límite plástico (INEN, 1982). Con estos ensayos se completaría el proceso para generar una clasificación de los materiales. El número de ensayos ejecutado posibilita la revisión de la validez de los mismos. Con tres ensayos, que otorguen resultados similares, es posible validar representatividad.

El siguiente paso dentro del proceso de caracterización de los materiales es la obtención de parámetros mecánicos y caracterización del comportamiento del material a través de la determinación de algunas propiedades físicas. Para ello se ejecutan:

- Dos ensayos Proctor Modificado (ASTM, s.f), llegando a obtener resultados de peso específico seco máximo y humedad óptima para cada material en análisis. Además, esta información es útil para llevar a cabo el ensayo CBR.
- Ensayos de abrasión (INEN, 2011) para conocer el índice de desgaste de los materiales, para lo cual se emplea la máquina de los Ángeles
- Finalmente se procede a realizar ensayos CBR (AASHTO, 2013), para el cual se elaborarán 5 muestras, las tres primeras con energía de compactación de 2698 KN-m/m<sup>3</sup> correspondiente a 56 golpes por capa, la cuarta con 25 golpes por capa y la quinta con 13 golpes por capa. Esto con el fin de obtener un promedio del valor de CBR de las tres primeras probetas, y a su vez obtener la gráfica densidad vs resistencia a la penetración de los materiales (CBR).

Al finalizar el proceso de caracterización física y mecánica, se comparan los resultados obtenidos con los resultados previos obtenidos de trabajos anteriores. Esta comparación permite analizar la validez de los resultados obtenidos, en caso de que no exista concordancia, se realiza una mayor cantidad de ensayos para tener una base confiable de información.

Una vez obtenida la caracterización representativa de los materiales, se procede a realizar una comparación con las “Especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes” emitido por el Ministerio de Obras Públicas; en ella se encuentran los intervalos de aceptabilidad para los diferentes materiales que conforman la estructura de un pavimento. De esta manera se especifican los problemas o deficiencias que presentan los materiales de las minas en estudio. Conociendo sus debilidades se puede buscar alternativas de mejoramiento. El siguiente paso correspondería precisamente a la propuesta de mecanismos de mejoramiento de los materiales, los mismos que se evalúan mediante ensayos de laboratorio para controlar los cambios generados.

### **3.2.2. Metodología para la propuesta y evaluación de mecanismos de mejoramiento**

Para la elección de las mezclas se procede a revisar el estado del arte referente al uso de mezclas con materiales y con cemento, que permiten mejorar las propiedades geomecánicas de los agregados; entre los aspectos que se consideran convenientes para el uso de estas mezclas se encuentran:



- Consulta a geotécnicos con vastos conocimientos en el tema.
- Empleo de materiales provenientes de ubicaciones cercanas a la trituradora, que sean accesibles y asequibles para la empresa ASFALTAR EP.
- Uso de materiales con los que la empresa ha trabajado anteriormente y que no han presentado inconvenientes (cemento y puzolana).

Según la caracterización obtenida para los materiales de las minas Higuera y Llatcon, se propone realizar tres tipos de mejoramiento para el material de la Higuera y uno para el material de Llatcon, buscando así que los materiales cumplan los requisitos para ser considerados como material base y mejoramiento respectivamente.

Con respecto a la mina Higuera, se realizan mezclas con materiales pétreos y con cemento; los materiales usados en el primer tipo de mezcla son polvo de trituración de la Higuera y puzolanas. Esto se considera adecuado ya que el polvo de trituración se obtiene del material de la Higuera en la planta de trituración de la Virginia, perteneciente a la empresa ASFALTAR EP, y la puzolana se obtiene de una cantera localizada en el cantón Guachapala, perteneciente a una concesión privada.

Con respecto a la mina Llatcon, el proceso de mejoramiento considerado más adecuado es de una estabilización con cemento vial.

En base a las recomendaciones establecidas en literatura especializada y profesionales del área, se considera analizar las siguientes mezclas:

En relación de volumen total de sólidos, tomando en consideración el peso específico de cada material:

- Material mina Higuera 2 - Puzolana 1
- Material mina Higuera 2 - Polvo mina Higuera 1

En relación peso total de sólido:

- Material mina Higuera (95-93-91) % - Cemento Vial (5-7-9) %
- Material mina Llatcon (95-93-91) %-Cemento Vial (5-7-9) %

Con las mezclas ya establecidas se realizan los ensayos de caracterización física y mecánica, realizando un proceso similar al detallado en la metodología preliminar (sección 3.2.1); buscando una base confiable de información, basada en varios ensayos, para considerar representativo el resultado. Es importante señalar que para la estabilización de una base granular con cemento y base suelo-cemento, se realizan ensayos de compresión simple con diferentes porcentajes de cemento para analizar su resistencia a compresión.

Una vez obtenidos resultados fiables de caracterización de los materiales y de las mezclas propuestas se comparan con la normativa MOP (2012), analizando si existe una respuesta favorable respecto a los parámetros establecidos como deficientes. Con los resultados obtenidos de las mezclas con cemento se obtiene una relación lineal de % de cemento vs resistencia a compresión, mediante la cual se ingresa con el valor mínimo establecido por la normativa de resistencia a la compresión y se extrae el % de cemento correspondiente, obteniendo así, un porcentaje óptimo de cemento aplicable en obra. Finalmente se establece un análisis de factibilidad de uso de las mezclas propuestas.



## **CAPITULO 4 - RESULTADOS Y ANALISIS**

### **4.1. RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO**

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de la caracterización física y mecánica de los materiales de estudio, se organiza la información de manera que se presenta inicialmente los ensayos referentes a la clasificación de suelos (granulometría, límites de Atterberg, humedad natural) y luego los ensayos de resistencia del suelo (Proctor modificado, abrasión, CBR), esto con el fin de realizar un análisis de los resultados obtenidos.

#### **4.1.1. Resultados y análisis de caracterización física de los materiales pétreos**

Los análisis granulométricos realizados mediante la metodología explicada en la sección 2.2.2, muestran resultados de porcentajes de suelo que pasan en función del tamaño de un tamiz. Los valores presentados corresponden a un promedio de los ensayos granulométricos realizados para cada material. Los resultados individuales y los detalles de cada ensayo se pueden encontrar desde el Anexo 7 al Anexo 34.

Como se puede observar la Tabla 18 muestra los porcentajes de agregado que pasan para cada abertura del tamiz; se presentan resultados de seis materiales. Los cuatro iniciales corresponden a los materiales a ser mejorados y los dos últimos son materiales que se incorporarían dentro del proceso de mejora. Los valores presentados en la Tabla 18 son el promedio de 3 ensayos de granulometría realizados con cada material, los mismos se comparan con los valores entregados por la empresa ASFALTAR EP para analizar cómo varían los datos obtenidos con los recibidos. A continuación, se presenta una tabla resumen de los resultados obtenidos, los mismos se compararon con los resultados de ensayos previos, sin evidenciar una diferencia significativa.



Tabla 18. Resumen de resultados granulométricos de los materiales de estudio.

<b>MATERIAL</b>	<b>MATERIAL MINA HIGUERA</b>	<b>SUB-BASE SANTA ISABEL</b>	<b>MATERIAL MINA LLATCON</b>	<b>MEJORAMIENTO SANTA ISABEL</b>	<b>POLVO DE TRITURACION DE MINA HIGUERA</b>	<b>PUZOLANA</b>
<b>Abertura del tamiz (mm)</b>	<b>% Que Pasa</b>					
76,2	100	100	94	100	100	100
63	100	100	85	100	100	100
50,8	100	98,4	80,4	100	100	100
38,1	100	93,5	72,9	98,1	100	100
24,5	94,9	80,5	63,6	90,7	100	100
19,1	76,2	71,6	53,8	81,5	100	100
12,7	52,4	63,6	41,6	71,6	100	100
9,52	42,9	58,9	33,2	65,3	100	100
4,75	28,3	50,8	20,2	52,1	100	100
2,36	23,1	43,5	13,4	46,4	94,2	89,7
2	21,8	41,8	12,4	44,8	78,4	86,7
1,18	18,3	36,5	9,4	39,5	72,4	76,4
0,85	16,2	33,6	8,1	36,1	68,6	67,9
0,6	14,4	30,4	7,2	32,3	63,6	58,2
0,425	12,7	26,9	6,3	28,6	55,8	46,6
0,3	11,3	23,9	5,7	25,3	48,4	37,6
0,15	8,9	17,3	4,7	19,3	30,6	17
0,075	7,6	13,2	3,9	16,1	19,1	1

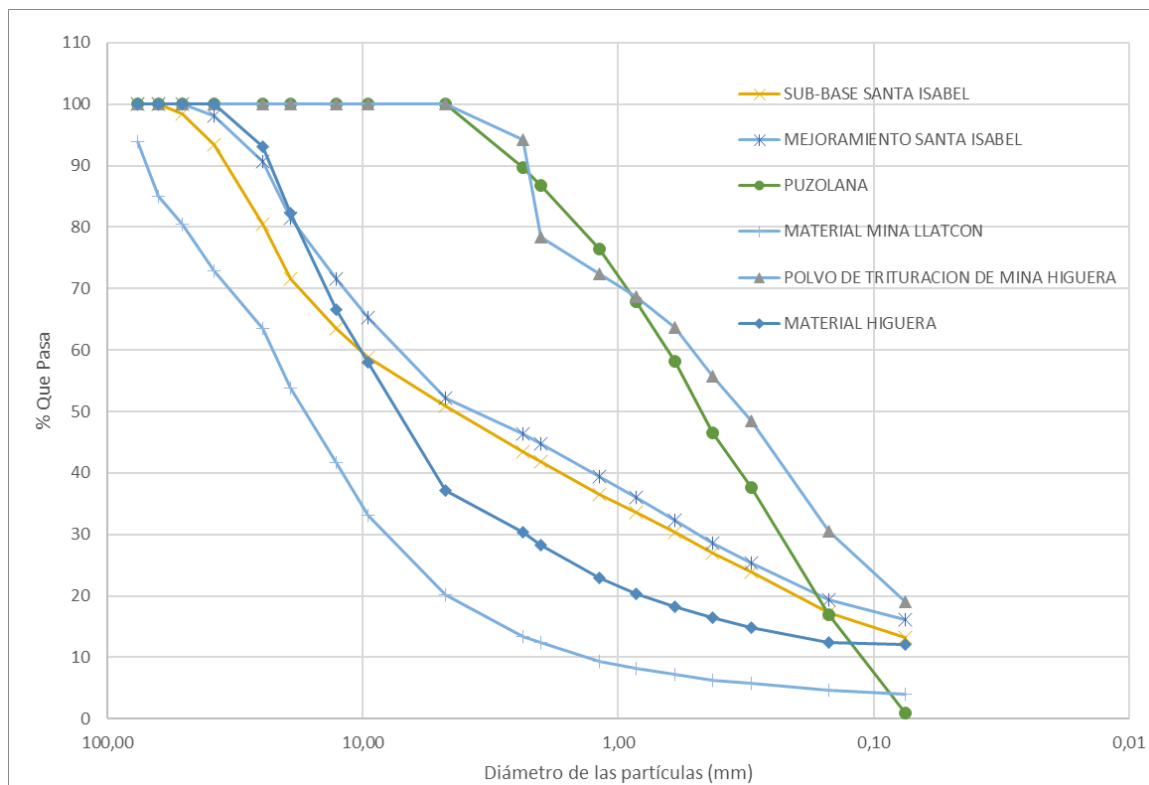


Ilustración 7. Curvas granulométricas representativas de los materiales de estudio.

Comparando las granulometrías obtenidas, con los respectivos requerimientos granulométricos establecidos en la normativa MOP (2012), y detallados en la sección 2.2.1, se puede llegar observar lo siguiente:

- El material de la mina Higuera no cumple con los requisitos de gradación en varios tamices, tanto para una base clase 1A como clase 1B, debido a que existe una deficiencia de finos como se presente en la sección 2.2.1.1.
- El material de sub-base de la mina de Santa Isabel cumple lo establecido por la normativa referente a la gradación de sub-bases presente en la sección 2.2.1.2 y puede ser considerada como una sub-base clase 2.
- El material de la mina Llatcon y el material de mejoramiento de la mina Santa Isabel cumplen con los parámetros establecidos por la normativa respecto a la granulometría de material de mejoramiento presente en la sección 2.2.1.3.
- Los materiales de polvo de trituración de mina Higuera y puzolana cumplen con los parámetros granulométricos establecidos por la normativa ecuatoriana para ser considerados como aptos para ser utilizados en mezclas de mejoramiento con suelo seleccionado presente en la sección 2.2.3.

En definitiva, los materiales de las minas de Llatcon, Santa Isabel, polvo de trituración y puzolana cumplen con los criterios de gradación; pero el material con finalidad de base de la mina Higuera presentan deficiencias por un bajo contenido de finos.

Los resultados de los límites de Atterberg y clasificación de suelos, se obtuvieron en base a 3 ensayos



de límite líquido y límite plástico realizados a los materiales de estudio, llevando a cabo la metodología explicada en la sección 2.2.2, presente en la Tabla 19. Los resultados obtenidos se comparan con los resultados entregados por parte de la empresa ASFALTAR EP, la variación existente no es significativa.

Tabla 19. Resumen de ensayos de caracterización física de los materiales de estudio.

MATERIAL			MATERIAL MINA HIGUERA	MATERIAL MINA LLATCON	POLVO DE TRITURACION DE MINA HIGUERA	PUZOLANA	SUB-BASE SANTA ISABEL	MEJORAMIENTO SANTA ISABEL
PARÁMETRO	ENSAYO	UNIDADES						
HUMEDAD NATURAL	Humedad Natural	%	2,2-5,3	1,09-6,11	2,9-8,2	0,8-4,2	6,54-7,96	9,34-10,81
LÍMITE LÍQUIDO	Límites de Atterberg	%	23,9	31,92	NP	NP	26,6	30,4
LÍMITE PLÁSTICO		%	17,7	18,73	NP	NP	23,46	24,44
ÍNDICE DE PLASTICIDAD		%	7,25	13,19	NP	NP	3,14	5,96
CLASIFICACIÓN	AASHTO	-	A-2-4	A-2-6	A-2-4	A-3	A-1-A	A-1-B
	SUCS	-	GC-GP	GW	SM	SP	GW	GM

Comparando los resultados de límites de Atterberg obtenidos, con los respectivos requerimientos establecidos en la normativa MOP (2012), y detallados en la sección 2.2.1, se puede llegar a las siguientes conclusiones:

- El material de la mina Higuera no cumple con el índice de plasticidad establecido para bases, tiene un valor promedio de 7,25%, y se necesita un valor menor al 6% para ser considerado como material base.
- El material de la mina Llatcon no cumple con el índice de plasticidad para mejoramiento, tiene un valor promedio de 13,19% y se estipula que el valor del índice de plasticidad deberá ser menor a 9% para ser considerado como material de mejoramiento.
- El polvo de trituración de la Higuera y la puzolana cumplen con lo establecido respecto al límite líquido e índice de plasticidad de materiales a ser utilizados para mezclas de mejoramiento con suelo seleccionado.
- El material destinado a sub-base de la mina Santa Isabel no cumple con el criterio de plasticidad ya que posee un límite líquido promedio de 26,6% y el máximo permitido para un material de sub-base es de 25%.

En definitiva, los materiales de las minas Higuera, Llatcon y Santa Isabel (sub-base) no cumplen con los parámetros establecidos en la normativa para el índice de plasticidad. Los valores de índice de plasticidad de las minas Higuera y Santa Isabel se encuentran muy cercanos a los requeridos, mientras que el valor de índice de plasticidad para la mina Llatcon es considerablemente lejano al necesario para ser considerado como material de mejoramiento.

Los ensayos completos correspondientes a la caracterización física de los materiales se detallan desde el Anexo 7 al Anexo 65.



#### 4.1.2. Resultados de caracterización mecánica de los materiales pétreos

Los resultados de los ensayos Proctor, abrasión y CBR, se obtuvieron en base a 3 ensayos realizados sobre los materiales de estudio se llevando a cabo la metodología explicada en la sección 2.2.2, presentándose de manera resumida en la Tabla 20. Los resultados obtenidos se comparan con los resultados entregados por parte de la empresa ASFALTAR EP, la variación existente no es significativa.

MATERIAL		MATERIAL MINA HIGUERA	MATERIAL MINA LLATCON	POLVO DE TRITURACION DE MINA HIGUERA	PUZOLANA	SUB-BASE SANTA ISABEL	MEJORAMIENTO SANTA ISABEL
ENSAYO	UNIDADES						
Humedad de compactación	%	6,01	9,72	10,67	13,72	11,65	11,46
Proctor Modificado	gr/cm <sup>3</sup>	2,29	1,98	1,84	1,79	2,04	2,05
CBR Test	%	36,47	36,15	23,37	37,36	28,16	16,5
Ensayo de Abrasión	%	9,97	29,42	-	-	25,35	27,87
Expansividad (CBR Test)	%	No expansivo	No expansivo	No expansivo	No expansivo	No expansivo	No expansivo

Tabla 20. Resumen de ensayos de caracterización mecánica de los materiales de estudio.

Comparando los resultados de CBR obtenidos, con los respectivos requerimientos establecidos en la normativa MOP (2012), y detallados en la sección 2.2.1, se puede llegar a las siguientes conclusiones:

- El material de la mina Higuera no cumple el valor de soporte CBR requerido para material base, se establece que el mismo deberá ser mayor al 80% y se tiene un valor de 36,47%.
- El material de la mina Llatcon cumple con los parámetros establecidos por la normativa respecto al valor de soporte CBR, la cual estipula un valor de soporte mínimo para material de mejoramiento de 20%.
- El polvo de trituración de la Higuera y puzolana cumplen con lo establecido respecto al valor de soporte CBR para materiales a ser utilizados en mezclas de mejoramiento con suelo seleccionado, para lo cual se establece un valor de soporte CBR mayor a 20%.
- Los materiales de la mina Santa Isabel destinados a sub-base y mejoramiento tienen valores de soporte CBR de 28,16% y 16,5% y no cumplen con los valores de soporte CBR mínimos requeridos por la normativa de 30% y 20%, respectivamente.

En definitiva, los materiales de las minas Higuera y Santa Isabel no cumplen con los valores establecidos por la normativa respecto al valor de soporte CBR. El material de la mina Higuera presenta el valor de CBR más alejado respecto a lo requerido, mientras que los valores de CBR de los materiales de la mina Santa Isabel no cumplen con los requisitos de resistencia establecidos en la normativa, a pesar de que se encuentran cercanos a los límites mínimos.

Respecto a los otros parámetros presentes en la tabla, ninguno de los materiales presenta expansión, el material que resulta ser más abrasivo es el material de la mina Llatcon, pero se encuentra dentro del rango permisible; no se realiza el ensayo de abrasión para los materiales de puzolana y polvo de trituración por que la normativa no especifica valores de resistencia a la abrasión para los materiales que se consideran para mezcla con suelo seleccionado.





Los ensayos completos correspondientes a la caracterización mecánica de los materiales, realizados por parte de los autores se detallan desde el Anexo 7 al Anexo 65.

## 4.2. RESULTADOS DE LAS MEZCLA PROPUESTAS DE MEJORAMIENTO DE LOS MATERIALES

Una vez caracterizados los materiales de estudio se procede a realizar las diferentes mezclas propuestas, el material de la mina Higuera es sometido a procesos de mejoramiento con suelo seleccionado (puzolana y polvo de trituración), y un proceso estabilización de base granular con cemento; mientras que el material de la mina Llatcon se mejora mediante un proceso de estabilización suelo-cemento.

Una vez realizadas las mezclas se las somete a ensayos de laboratorio para obtener una caracterización física, y mecánica de las mismas y posterior a esto se compara los valores obtenidos con la normativa MOP (2012).

### 4.2.1. Resultados y análisis de mezclas de mejoramiento propuestas para el material de la mina Higuera

Respecto al mejoramiento del material de la mina Higuera con suelo seleccionado, se presenta de manera gráfica los resultados de los ensayos granulométricos, los cuales se presentan a continuación:

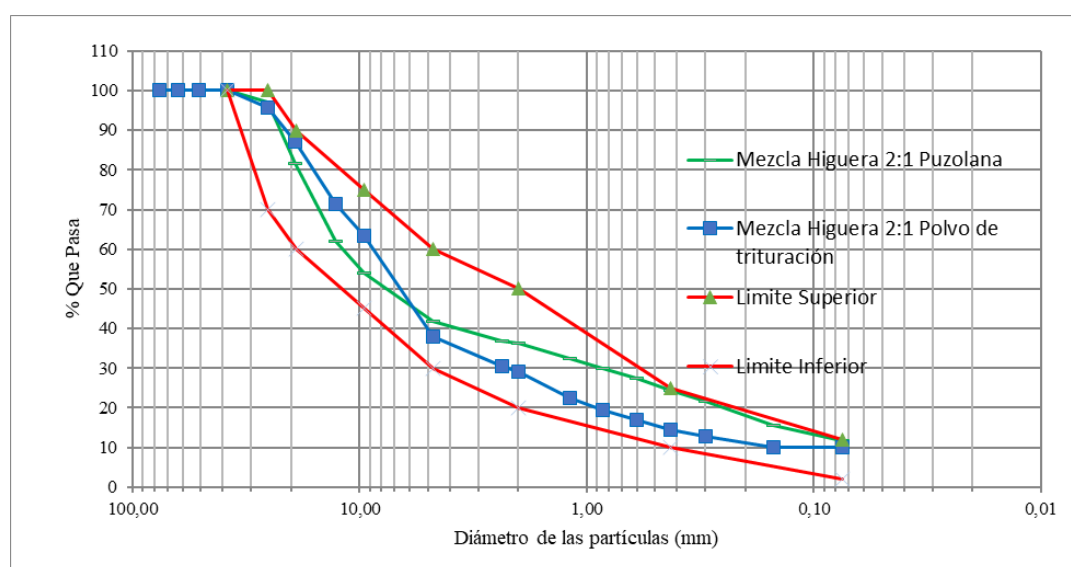


Ilustración 8. Curvas granulométricas representativas para las mezclas realizadas con el material de la mina Higuera

En la Ilustración 8, se puede observar las curvas granulométricas de las mezclas correspondientes a mejoramiento con suelo seleccionado, visualizando que las mezclas cumplen con los límites granulométricos propuestos por la normativa ecuatoriana MOP (2002) para que el material pueda ser considerado como una base tipo 1B.

A continuación, se presenta un compendio de los resultados y análisis de la caracterización física y mecánica de las mezclas con suelo seleccionado (puzolana y polvo de trituración), comparados con los parámetros establecidos por la normativa.



Tabla 21. Resumen de resultados obtenidos del mejoramiento de material mina Higuera con suelo seleccionado.

<b>MATERIALES</b>	<b>Base mina Higuera</b>	<b>Material mina Higuera 2 - Puzolana 1</b>	<b>Material mina Higuera 2 - Polvo mina Higuera 1</b>	<b>Normativa para material base (MOP 2002)</b>
<b>PARAMETROS</b>				
LIMITE LIQUIDO	17,70%	NP	NP	< 25%
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	7,25%	NP	NP	< 6%
CBR	36,47%	81,07%	38,17%	> = 80 %
PORCENTAJE DE DESGASTE DE ARIDOS	9,97%	9,90%	10,09 %	< 40%

Como se puede observar en la Tabla 21, las mezclas de mejoramiento del material de la mina Higuera con material de polvo de trituración y puzolana en relación 2:1 respectivamente muestran una mejora respecto a la plasticidad del material, llevando el índice de plasticidad de 7,25% a ser un material “No Plástico” cumpliendo así los parámetros establecidos por la normativa MOP (2002), referente al índice plástico de bases, respecto al valor de soporte CBR se nota un mejoramiento con los dos materiales, sin embargo, con el polvo de trituración no se llega a cumplir con el valor mínimo establecido por la normativa del 80%, pero con la puzolana se llega a cumplir con la resistencia requerida. Respecto a la abrasión, inicialmente el material sí cumple lo establecido en las normativas y se mantiene este comportamiento.

El segundo proceso de mejoramiento propuesto para el material de la mina Higuera es el mejoramiento de una base granular estabilizada con cemento, para lo cual se emplearon los porcentajes de cemento máximo, mínimo e intermedio recomendados por el ACI en la Tabla 8. A partir de estos datos se realizaron ensayos de caracterización física y mecánica para las mezclas con los diferentes porcentajes de cemento. Los cuales se presentan en la siguiente tabla:



Tabla 22. Resumen de resultados obtenidos del material de la mina Higuera estabilizada con cemento.

MATERIALES PARAMETROS	Material mina Higuera	Material mina Higuera 95% - Cemento Vial 5%	Material mina Higuera 93% - Cemento Vial 7%	Material mina Higuera 91% - Cemento Vial 9%	Normativa para base granular estabilizada con cemento (MOP 2002)
LIMITE LIQUIDO	17,70%	NP	NP	NP	No especifica
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	7,25%	NP	NP	NP	No especifica
CBR	36,47%	393,80%	951,25%	1103,06%	No especifica
PORCENTAJE DE DESGASTE DE ARIDOS	9,97%	9,78%	10,04%	9,11%	No especifica
RESISTENCIA A LA COMPRESION	-	1,51 MPa	2,47 MPa	4,97 MPa	>2,45 MPa

La normativa para una base granular estabilizada con cemento se enfoca en el ensayo de compresión simple, estableciendo un valor mínimo de 2,45 MPa. Como se observa en la Tabla 22, las mezclas del material de la mina de la Higuera con cemento vial en un 7% y 9% cumplen con la normativa.

En la Ilustración 9, se presenta de forma gráfica los resultados obtenidos de resistencia a la compresión simple vs el porcentaje de cemento y valor de soporte (CBR) vs porcentaje de cemento.

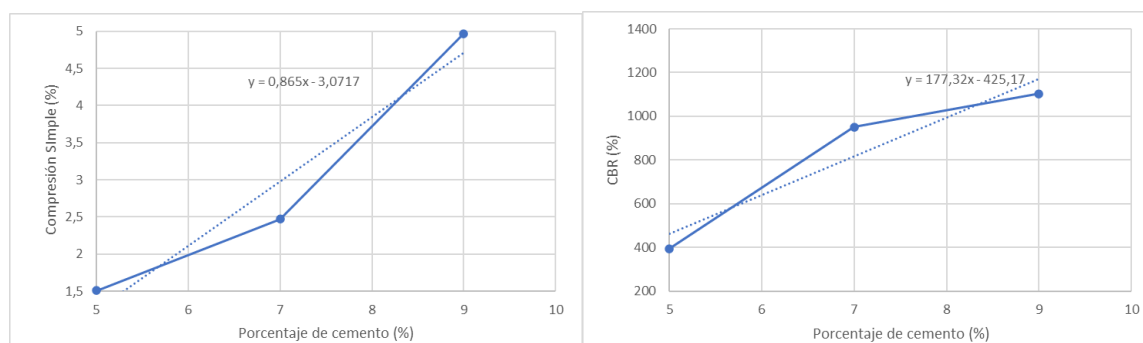


Ilustración 9. Porcentaje de cemento vs Compresión simple y porcentaje de cemento vs CBR para la mezcla material de la mina Higuera con cemento.

De la gráfica porcentaje de cemento vs resistencia a compresión simple se obtiene una relación lineal ( $y=0,865x-3,0717$ ), mediante la cual se ingresa con el valor mínimo de resistencia a compresión establecido para una base granular estabilizada con cemento de 2,45 MPa, a lo cual le corresponde un porcentaje de cemento de 6,38%. Siendo entonces el porcentaje óptimo de cemento aplicable para la mezcla de 6,5%, estimando una resistencia a la compresión simple de 2,55 MPa aproximadamente.

#### 4.2.2. Resultados y análisis de mezclas de mejoramiento propuestas para el material de la mina Llatcon

Con el material de la mina Llatcon se procedió a realizar un proceso de estabilización de base suelo-cemento, para lo cual se emplearon los porcentajes de cemento máximo, mínimo e intermedio



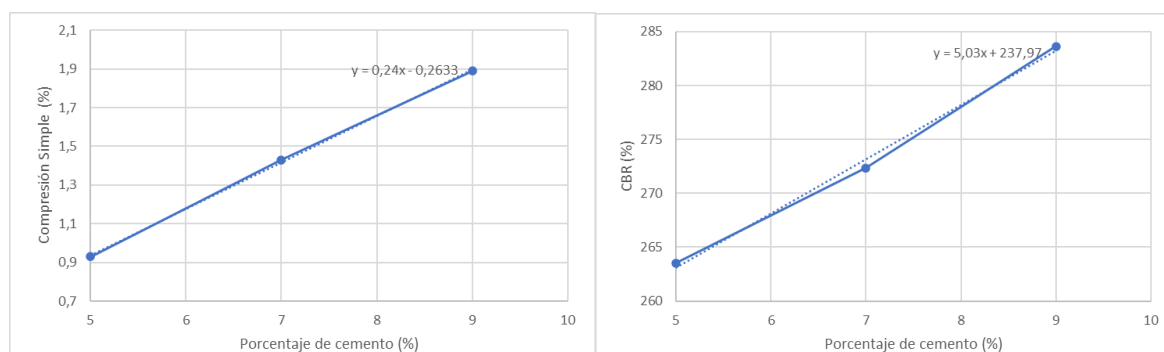
recomendados por el ACI en la Tabla 8. Los resultados de caracterización física y mecánica obtenidos, en comparación a la normativa se presentan a continuación:

Tabla 23. Resumen de resultados obtenidos de la propuesta suelo – cemento del material Llatcon.

MATERIALES PARAMETROS	Material mina Llatcon	Material mina Llatcon 95%- Cemento Vial 5%	Material mina Llatcon 93%- Cemento Vial 7%	Material mina Llatcon 91%- Cemento Vial 9%	NORMATIVA PARA ESTABILIZACION SUELO- CEMENTO (MOP 2002)
LIMITE LIQUIDO	18,73%	NP	NP	NP	No especifica
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	13,19%	NP	NP	NP	No especifica
CBR	36,15%	263,52%	272,37%	283,64%	No especifica
PORCENTAJE DE DESGASTE DE ARIDOS	29,42%	29,86%	28,64%	30,04%	No especifica
RESISTENCIA A LA COMPRESION	No aplica	0,93 MPa	1,43 MPa	1,89 MPa	>1,77 MPa

La normativa para una estabilización de suelo-cemento se enfoca en el ensayo de compresión simple, estableciendo un valor mínimo de 1,77 MPa. Como se observa en la Tabla , la mezcla del material de la mina de la Llatcon con cemento vial en un 9% cumple con la normativa.

En la Ilustración 10, se presenta la forma de la gráfica de los resultados obtenidos de resistencia a la compresión simple vs el porcentaje de cemento y valor de soporte (CBR) vs porcentaje de cemento para el material de la mina Llatcon.



De igual manera, con el material de la mina Llatcon se obtiene una gráfica de porcentaje de cemento vs resistencia a compresión simple, reflejando una relación lineal ( $y=0,24x-0,2633$ ), mediante la cual se ingresa con el valor mínimo de resistencia a compresión establecido para una base suelo-cemento de 1,77 MPa, a lo cual le corresponde un porcentaje de cemento de 8,47%. Siendo entonces el porcentaje óptimo de cemento aplicable para la mezcla de 8,5%, estimando una resistencia a la compresión simple de 1,78 MPa aproximadamente.



### 4.3. ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD

#### 4.3.1. Análisis de factibilidad de uso del mejoramiento del material de la mina Higuera

Como se puede ver en la sección 4.2, las diferentes mezclas realizadas sobre el material mejoraron diferentes parámetros del material inicial, pero no todas las mezclas llegaron a cumplir con la normativa respecto a un material base, como es el caso del material mezclado con polvo de trituración de la Higuera. Las mezclas que cumplen con la normativa y llevan al material a ser considerado una base y una base granular estabilizada con cemento son las realizadas con puzolana y cemento vial respectivamente, pero entre ellas existen diferencias muy marcadas respecto a la factibilidad de su uso. Algunos aspectos se analizan a continuación:

- La mezcla de material con puzolana es una opción a ser considerada viable cuando el proyecto a desarrollarse se encuentra cercano a las canteras de extracción del material, debido a los costos de transporte que genera el traslado del material a obra. Por el contrario, resulta conveniente emplear la mezcla del material con cemento vial en proyectos alejados al lugar de ubicación de las canteras, ya que a pesar de que el costo del cemento es alto, se requiere menores cantidades respecto a la puzolana, disminuyendo considerablemente los costos de traslado.
- Entre otros aspectos a considerar respecto a la factibilidad, se encuentra el nivel de mejora que se obtuvo en cada uno de los procesos, ambos materiales llevaron a que los agregados pétreos de la mina Higuera lleguen a tener un comportamiento no plástico, y a cumplir con el valor mínimo de CBR de 80% requerido en la normativa. El valor de CBR de la mezcla con cemento es alto comparado con la mezcla con puzolana, a primera instancia esto parece ser favorable pero no lo es en obra ya que esto se traduce a capas con una rigidez muy alta que bajo considerables presiones pueden resultar en agrietamientos que conduzcan a fallos en la estructura de pavimento, por lo cual se deberá obtener un porcentaje de cemento óptimo para emplearlo en diseños, teniendo en cuenta el nivel de rigidez que alcance la capa.
- Aplicar un proceso de mejora en obra requiere de herramientas, maquinaria y procesos específicos; es más sencillo el uso de las puzolanas ya que el proceso de mezcla es sencillo, consta en llevar dos volquetas de material de la mina Higuera y una volqueta de puzolana, regar todo el material en obra y proceder a su mezcla; no existirá una mezcla completamente homogénea, pero es un proceso simple; respecto a mezclas con cemento, se requiere una mayor control de condiciones en campo, pues es necesario tener un adecuado control de humedad de la mezcla, además hay que tener especial cuidado con las mezclas realizadas en planta, ya que por falta de una buena coordinación puede existir un fraguado prematuro del concreto.

La elección del material a utilizarse en una obra en particular depende de la envergadura del proyecto, maquinaria disponible y localización de la obra respecto a las canteras de material; por lo general proyectos más exigentes requieren mejores materiales que garanticen un correcto desempeño, inclinándose hacia el uso de cemento. En definitiva, se debe buscar un equilibrio entre los aspectos mencionados, garantizando que los procesos realizados conlleven a un correcto desempeño de los materiales.



#### 4.3.2. Análisis de factibilidad de uso del mejoramiento del material de la mina Llatcon

El método de los espesores equivalentes permitirá ejemplificar la factibilidad que tiene la mezcla del material de la mina Llatcon con cemento vial, para ello una vez calculado el valor del porcentaje óptimo de cemento aplicado, se procede a obtener el valor aproximado de CBR correspondiente al mismo, mediante la relación lineal presente en la Ilustración 10, el valor obtenido es de 280,7%; con el cual se realiza un análisis comparativo de una capa con características iniciales del material frente una capa de material estabilizado con cemento.

Para el desarrollo del análisis se hace uso de la ecuación [1], la misma depende de los valores de módulo de elasticidad y coeficiente de Poisson; los valores de módulo de elasticidad se obtienen mediante la correlación empleada por la AASHTO mostrada en la ecuación [2]; y para el coeficiente de Poisson se utilizó la Tabla 1 considerando que el material de la mina Llatcon es "granular sin tratamiento" y el material estabilizado con cemento es "material granular estabilizado con cemento". En la Tabla , se presenta de forma resumida los parámetros a considerarse dentro del análisis del método de espesores equivalentes.

Tabla 24. Parámetros para análisis del espesor de capa equivalente del material de la mina Llatcon.

Descripción	Valor	Unidades
<b>CBR mejoramiento inicial</b>	36,15	%
<b>CBR óptimo mejoramiento final</b>	280,7	%
<b>Módulo del mejoramiento inicial</b>	54225	Psi
<b>Módulo del mejoramiento final</b>	421080	Psi
<b>Coefficiente de Poisson mejoramiento inicial</b>	0,35	-
<b>Coefficiente de Poisson mejoramiento final</b>	0,15	-
<b>Espesor inicial</b>	0,2	m

Utilizando los valores establecidos en la tabla anterior se procede a calcular el espesor de capa equivalente, correspondiente a una capa de material de la mina Llatcon estabilizado con cemento respecto a un material con sus condiciones naturales.

$$h_e = 0,9 * 0,2 \text{ m} * \sqrt[3]{\left(\frac{54225 \text{ [Psi]} * (1 - 0,35^2)}{421080 \text{ [Psi]} * (1 - 0,15^2)}\right)} = 0,09 \text{ m} \quad [3]$$

Como se puede observar en la ecuación [3] el espesor inicial de 20 cm tuvo una notable reducción respecto al espesor de capa equivalente de 9 cm, esto es porque el cemento aumenta considerablemente la resistencia del material, viéndose reflejado en el valor de soporte CBR, el mismo que influye en el módulo de elasticidad del material.

La factibilidad de la aplicación de la mezcla suelo cemento con el material de la mina Llatcon, se evidencia observando que existe una reducción considerable de los espesores de capa, que a su vez se encuentra directamente relacionada con los costos.



## CAPITULO 5 - CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. CONCLUSIONES

- Con respecto a la procedencia geológica de los materiales de estudio se puede concluir que:
  - El material de la mina Higuera y polvo de trituración, provienen de depósitos aluviales, pertenecientes a la época del Holoceno y descansan sobre roca meta - volcánica de San Francisco, perteneciente a la serie Paute.
  - El material de la mina Llatcon y puzolana, son materiales que corresponden a volcánicos Llaqueo, probablemente del Eoceno. A pesar de que los materiales tienen la misma litología, evidencian una notable diferencia en cuanto a características como color, olor y textura, debido a que los materiales son producto de diferentes eventos volcánicos, uno por flujos y otro por explosiones.
- Acorde a un proceso de caracterización física y mecánica de los materiales, se concluye que:
  - El material de la mina Higuera corresponde según SUCS a una grava arcillosa mal graduada, con un índice de plasticidad entre (6,2% - 8,3%), un porcentaje de abrasión de 10%, alcanzado una densidad seca máxima de  $2,29 \text{ gr/cm}^3$  con una humedad de compactación de 6% y con ello obteniendo un valor de soporte (CBR) aproximado de 36,5%, correspondiente a una energía de compactación del 100%.
  - Los ensayos realizados con material de la mina Llatcon lo clasifican según SUCS como una grava bien graduada, con un índice de plasticidad entre (13,19%-14,46%), un porcentaje de abrasión de 29,4%, alcanzando una densidad seca máxima de  $1,98 \text{ gr/cm}^3$  con una humedad de compactación de 9,7% y con ello obteniendo un valor de soporte (CBR) aproximado de 36,15% correspondiente a una energía de compactación del 100%.

Los valores obtenidos de la caracterización de los materiales de las minas Higuera y Llatcon están acorde a la información de ensayos previos proporcionada por la institución ASFALTAR EP en la sección 2.3.

- Respecto a las deficiencias y procesos de mejoramiento de los materiales en base a las especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes (MOP 2002). Se puede concluir que:
  - El material de la mina Higuera no cumple con la granulometría establecida por la normativa para ser considerado una base clase tipo 1A, ni una clase tipo 1B, debido a que está conformado por un 71,7% de grava, 20,7% de arena y 7,6% de finos; evidenciando un déficit de material pasante el tamiz de abertura de 4,75 mm. El índice de plasticidad, se encuentra en un rango entre (6,2%-8,3%), siendo superior al máximo establecido para un material base, el cual es de 6%. El valor de soporte (CBR) de 36,5%



está por debajo del valor mínimo establecido en la normativa de 80% para una base granular.

En base a las deficiencias del material, se realizaron mezclas en relación volumen: material de la Higuera 2 – 1 polvo de trituración y material de la Higuera 2 – 1 puzolana; además se propuso una estabilización del material granular en relación peso de un 91%, 93% y 95% con un correspondiente 9%, 7% y 5% de cemento vial.

Los materiales de polvo de trituración y puzolana empleados cumplen con la normativa establecida, siendo considerados aptos para su uso en mejoramiento con suelo seleccionado, como se presenta en la sección 2.2.3. Los porcentajes de cemento se establecieron según las recomendaciones presentadas por el ACI 230.1R-09 presente en la Tabla 8.

- En el caso del material de la mina Llatcon el índice de plasticidad se encuentra en un rango entre (13,19%-14,46%) lo cual es mayor al valor máximo establecido en la normativa de 9%; razón por la que se propone realizar una estabilización como base de suelo cemento; estableciendo una mezcla de material en un 91%, 93% y 95% con un correspondiente 9%, 7% y 5% de cemento vial.
- Del análisis de los resultados obtenidos mediante los procesos de mejoramiento se observa:
  - La mezcla de material de la Higuera 2 - 1 polvo de trituración permitió mejorar:
    - La gradación del material, encajando dentro del rango granulométrico de una base 1B.
    - Las características de plasticidad, siendo esta mezcla correspondiente a un material no plástico.
    - El valor de soporte (CBR), el cual se elevó de 36,5% a 38,2%.

A pesar de existir mejoras en el material no se cumple con el valor mínimo requerido de valor de soporte (CBR) para un material base.

- De los resultados obtenidos con la mezcla de material de la Higuera 2 – 1 puzolana, se obtuvo:
  - La granulometría de la mezcla encaja dentro del rango granulométrico establecido por la normativa para una base clase 1B,
  - El material llega a tener un comportamiento no plástico.
  - Se elevó el valor de soporte (CBR) de 36,5% a 81,07%,

Estos parámetros encajan dentro del rango permitido por la normativa para que el material sea considerado como una base.

- Los resultados con la mezcla de base granular estabilizada con cemento aplicada al material de la Higuera, muestra que:





- El material llega a tener un comportamiento no plástico en todas las mezclas.
- El valor de soporte (CBR) se eleva de gran manera llegando a valores de 393,80%, 951,25% y 1103,06% para los porcentajes de cemento de 5%, 7% y 9% respectivamente.
- Los resultados de resistencia a la compresión simple obtenidos son de 1,51 MPa, 3,04 MPa y 4,97 MPa, para los porcentajes de cemento de 5%, 7% y 9% respectivamente.
- El porcentaje óptimo aplicable de cemento para la mezcla es de 6,5% correspondiente a un valor de compresión simple de 2,55 MPa. Lo cual es acorde a la normativa MOP, que establece una resistencia mínima a la compresión simple de 2,45 MPa para un material granular estabilizado con cemento.

Estos parámetros encajan dentro del rango permitido por la normativa para que el material sea considerado como una base granular estabilizada con cemento.

- Respecto a las mezclas de suelo-cemento realizadas con el material de la mina Llatcon, se observa que:

- El material llega a tener un comportamiento no plástico en todas las mezclas.
- El valor de soporte (CBR) se eleva llegando a valores de 263,52%, 272,37% y 283,64% para los porcentajes de cemento de 5%, 7% y 9% respectivamente.
- Los resultados de resistencia a la compresión simple obtenidos son de 0,93 MPa, 1,47 MPa y 1,89 MPa para los porcentajes de cemento de 5%, 7% y 9% respectivamente.
- El porcentaje óptimo aplicable de cemento para la mezcla es de 8,5%, correspondiente a un valor de compresión simple de 1,79 MPa. Lo cual está acorde a la normativa que establece una resistencia a la compresión mínima de 1,77 MPa para una estabilización suelo-cemento.

Estos parámetros encajan dentro del rango permitido por la normativa para que el material sea considerado como una mezcla suelo - cemento.

Con el valor de porcentaje óptimo de cemento se realizó el análisis de espesor de capa equivalente, con lo cual se evidencia que para el material de la mina Llatcon, una capa de 20 cm con material en su estado natural puede ser reducida a 9 cm realizando una estabilización suelo – cemento.

- Para la elección del mejoramiento a utilizarse en una obra en particular se debe tener en cuenta la importancia del proyecto, maquinaria disponible y localización de la obra respecto a las canteras de los materiales que se prevé usar, teniendo en cuenta que debe realizarse la mejor aplicación ingenieril.
- Con respecto a los materiales de sub-base y mejoramiento de la mina Santa Isabel, se puede concluir que los parámetros deficientes son el índice de plasticidad y el valor de soporte CBR; los mismos se encuentran bastante cercanos a los valores necesarios; por lo que una mezcla con



polvo de trituración, puzolana o cemento vial podrían incrementar el valor de soporte CBR y reducir la plasticidad del material, mejorando sus propiedades geomecánicas. Esta hipótesis debe ser respaldada mediante ensayos de laboratorio sobre las mezclas planteadas.

## 5.2. RECOMENDACIONES

- Para la aplicación de las mezclas con el uso de cemento vial, se recomienda realizar un adecuado control de humedad en obra; ya que rangos menores al óptimo puede generar deficiencias en la hidratación del cemento vial y, por otro lado; valores muy por encima de la humedad óptima generan que la resistencia a la compresión baje significativamente, lo cual implicaría deficiencias en el desempeño de la estructura de pavimento a lo largo de su vida útil.
- Para un análisis cuantitativo respecto a la factibilidad de uso de los mejoramientos propuestos, se recomienda realizar un análisis de precios unitarios para cada una de las opciones analizadas, de esa manera es posible compararlas entre sí, para definir la propuesta óptima de mejoramiento en términos económicos.
- Se recomienda que, al momento de realizar las mezclas con cemento vial se tenga en cuenta la rigidez que este material podría darle al agregado pétreo, esto se debe validar con ensayos.
- Con respecto al mejoramiento de material granular con uso de suelo seleccionado, se recomienda el análisis de desempeño de: mezclas del material de la Higuera con arenas 100% trituradas, procedentes de canteras cercanas al desarrollo de los proyectos viales a emplearse, en proporciones similares a las presentadas en este documento; con el fin de evaluar la factibilidad de uso y aplicación.
- Extender el análisis de caracterización de los materiales para otras minas provenientes de la provincia del Azuay. Para poder generar una base de datos accesible, con información de cada mina detallando cuáles son sus ventajas y desventajas. Conociendo esta caracterización se puede trabajar en planes de mejora o en una aplicabilidad adecuada para los agregados pétreos.
- Realizar un análisis de la influencia del incumplimiento de los rangos de índice plástico presentados por la normativa MOP (2002), cuando el comportamiento mecánico del material es adecuado.



## CAPITULO 6 - BIBLIOGRAFÍA

- ACSAM Consultores. (2020). *Estudios de Evaluación, Factibilidad y Diseños Definitivos del Sistema Regional de Agua Potable Esmeraldas*. <https://docplayer.es/10483168-3-1-material-de-mejoramiento.html>
- Alfonso Montejo Fonseca, *Estabilización de suelos*: Ediciones de la U, 2018. Consultado en línea en la Biblioteca Digital de Bogotá (<https://www.bibliotecadigitaldebogota.gov.co/resources/3070751/>), el día 2021-12-13.
- ASTM C 131-06. *Standard Test Method for resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Machine*. American Society for Testing and Materials. Philadelphia, 2006.
- ASTM C 136-06. *Standard Test Method for Sieve Analysis of fine and Coarse Aggregates*. American Society for Testing and Materials. Philadelphia, 2006.
- ASTM D 423-66 (Reapproved 1972). *Standard Test Method for liquid limit of soils American National Standard Institute/American Society for Testing and Materials*. Philadelphia, 1979.
- ASTM D1557-91. *Standard Test Methods to determine the moisture-density relationship of soils and soil-aggregate mixtures*. Philadelphia, 1978.
- ASTM D2487-17. *Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes*. Philadelphia, 2020.
- ASTM D-1883, AASHTO T-193, J. E. Bowles (Experimento N° 19), MTC E 132-2000
- ASTM D 424-59 (Reapproved 1971). *Standard Test method for plastic limit and plasticity index of soils*. Philadelphia, 2020.
- Bejar, J.P. & Pacheco, S.A. (2019). *Aplicación del método analítico de Odemark para la estructura de afirmado de la carretera de bajo volumen – Ruta Hu -775, Lima – 2019 (Tesis Pregrado- Ingeniero Civil)*. Universidad Ricardo Palma.



- Castro, I.M. & Delgado, P.V. (2017). Determinación del material de mejoramiento con la adición de puzolana para vías rurales con material local de la mina la Virginia y Araña Huaycu. (Tesis Maestría). Universidad de Cuenca
- Das, B.M. (2001). Fundamentos de ingeniería geotécnica. Sacramento: Thopsom.
- Delgado Ríos, J. B., & León Coronel, A. C. (2019). *Mejoramiento de la subrasante mediante la mezcla de grava - arcilla para optimizar su capacidad portante en la calle Los Nogales, Piura - 2019* (Ingeniero Civil). Universidad Cesar Vallejo.
- Fuentes Olivares, J. P. (2003). *Estudio para el mejoramiento de construcción de pavimentos de hormigón* (Ingeniero Civil). Universidad Austral de Chile.
- Geronimo Correa, M. A. (2020). *Determinación del módulo elástico a partir del ensayo de Relación de Soporte de California (CBR) y la ecuación de la teoría de la elasticidad del ensayo de Placa de Carga para suelos finos de subrasante de los pavimentos flexibles* (Ingeniero Civil). Universidad Peruana Unión.
- Golfín Ballesteros, K. A. (2019). *Mejoramiento del desempeño en la estabilización de suelos de subrasantes con cemento hidráulico en vías no pavimentadas*. (Título de pregrado-Ingeniero Civil) Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Head, K., & Epps, R. (2014). Manual of Soil Laboratory Testing: Volume III: Effective Stress Tests, Third Edition. Whittles Publishing.
- INEN. (2010). Áridos. Muestreo. (NTE INEN 695). [https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte\\_inen\\_695-1.pdf](https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_695-1.pdf)
- Lapa, C. (2018). *Estabilización de bases granulares con fibra de caucho reciclado tallado* (Ingeniero Civil). Universidad Continental.
- Maher, A. & Bennert, T. (2008). Evaluation of Poisson's Ratio for use in the Mechanistic Empirical Pavement Design Guide. (FHWA-NJ-2008-004).
- Mamani, W. (2018). *Análisis de estabilización de suelos con cemento, en componentes estructurales para diseño equivalente de pavimentos rígidos, segmentados y flexibles en vías de bajo volumen de tránsito* (Ingeniero Civil). Universidad Peruana Unión.



- Ministerio de Obras Públicas. (2002). *Especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes*. Recuperado 13 de noviembre de 2021, de [https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/01/MPR\\_Chimborazo\\_Cumanda\\_Especificaciones-Tecnicas-MOP-001-F-2002.pdf](https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/01/MPR_Chimborazo_Cumanda_Especificaciones-Tecnicas-MOP-001-F-2002.pdf).
- Narsilio, G. & Santamarina, C. (2016). Clasificación de suelos: Fundamento físico, prácticas actuales y recomendaciones. Atlanta, USA: Georgia Institute of Technology
- Olguín de la Mora, D. F. (2016). *Proceso de Producción de Agregados Pétreos y su Control de Calidad*. UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO.
- Roberts, F.L., et al. (1996) Hot Mix Asphalt Materials, Mixture Design and Construction. 2nd Edition, NAPA Education Foundation, Lanham. *The structural desing of bituminous roads*.
- Snelling, R.; Mertens G.; Elsen J. (2012). «Supplementary cementitious materials». *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*.
- Suarez, A.E, & Urgiles, M. P. (2010). Caracterización de la ceniza volcánica del Tungurahua para la fabricación de un aglomerante Cal-puzolana. Tesis de Licenciatura, Universidad de Cuenca. Cuenca, Ecuador.
- Universidad Mayor de San Simón. (2004). Componentes de un pavimento. En *Pavimentos* (1.<sup>a</sup> ed., Vol. 1, pp. 3–4). [https://www.academia.edu/16406141/Libro\\_de\\_Pavimentos](https://www.academia.edu/16406141/Libro_de_Pavimentos).
- Vásquez Castro, M. J., & Vera Arízaga, T. V. (2015). “Análisis de la factibilidad para la implementación de una planta de trituración de materiales pétreos en la provincia del Azuay” (Maestría). Universidad Politécnica Salesiana.

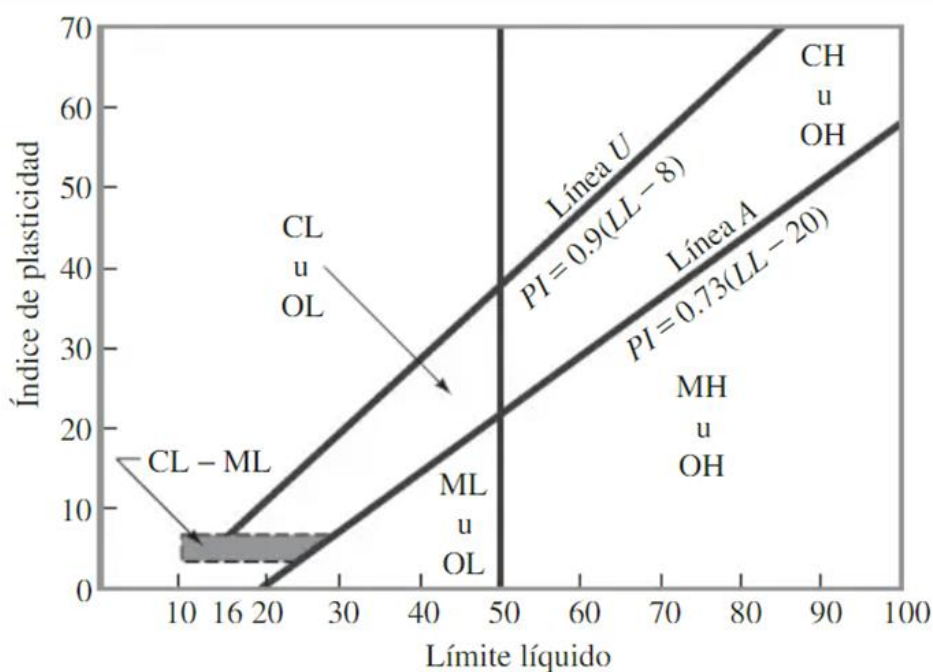


**CAPITULO 7 - ANEXOS**

**TABLAS Y FIGURAS**

SISTEMA DE CLASIFICACIÓN AASHTO											
Clasif. General	Suelos Granulares (≤ 35 % pasa 0.08 mm)						Suelos Finos (> 35 % bajo 0.08 mm)				
Grupo	A - 1		A-3	A-2			A - 4	A - 5	A - 6	A - 7	
Sub-Grupo	A-1a	A-1b		A-2-4	A-2-5	A-2-6*	A-2-7*			A-7-5** A-7-6**	
Nº 10	≤ 50										
Nº 40	≤ 30	≤ 50	≥ 51								
Nº 200	≤ 15	≤ 25	≤ 10	≤ 35			≥ 36				
LI				≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41
IP	≤ 6		NP	≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11	≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11
Descripción	Gravas y Arenas		Arena fina	Gravas y Arenas Limosas y Arcillosas			Suelos Limosos		Suelos Arcillosos		
	** A - 7 - 5 : IP ≤ (LI - 30)						A - 7 - 6 : IP > (LI - 30)				
	$IG = 0,2 * a + 0,005 * a * c + 0,01 * b * d$ ; $IG = (F-35)(0,2+0,005*(LI-40))+0,01(F-15)*(IP-10)$ * Para A - 2 - 6 y A - 2 - 7: $IG = (F - 15) (IP - 10) * 0,01$ Si el suelo es NP → IG = 0, Si IG < 0 → IG = 0										

Anexo 1. Sistema de clasificación AASHTO. Das (2001).



Anexo 2. Carta de plasticidad Das (2001).



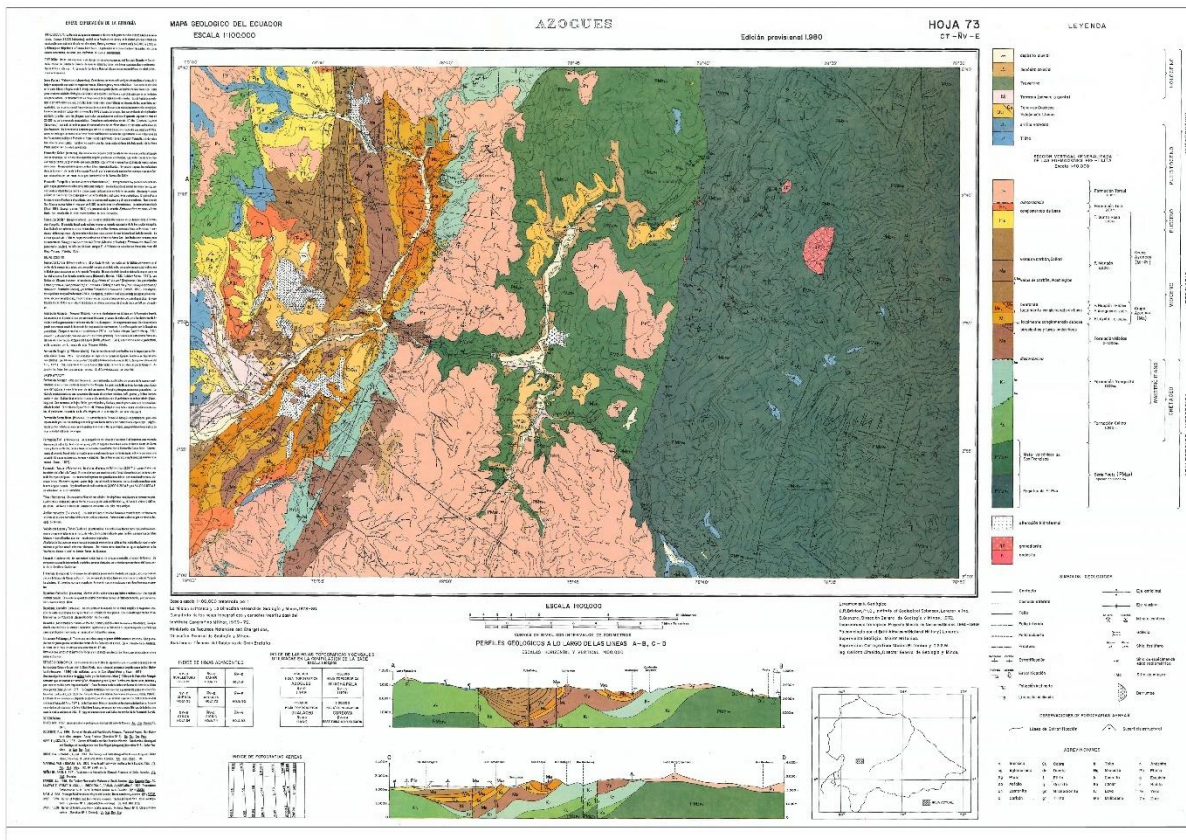
Tamaño del árido <sup>A</sup> mm	Masa mínima de la muestra in situ <sup>B</sup> kg	Volumen mínimo de la muestra in situ, litros
<b>Áridos finos</b>		
2,36	10	8
4,75	10	8
<b>Áridos gruesos</b>		
9,5	10	8
12,5	15	12
19,0	25	20
25,0	50	40
37,5	75	60
50	100	80
63	125	100
75	150	120
90	175	140

<sup>A</sup> Para los áridos procesados, utilizar el tamaño máximo nominal que se indica en la norma respectiva o en la descripción. Si la norma o descripción no indican un tamaño máximo nominal (por ejemplo, una abertura de tamiz que contemple un pasante del 90% al 100%), utilizar el tamaño máximo (la abertura de tamiz que pase el 100%).

<sup>B</sup> Para áridos gruesos y finos combinados (por ejemplo, áridos para bases o subbases) la masa mínima debe ser la masa mínima del árido grueso más 10 kg

Anexo 3. Masa mínima de la muestra in situ en función del tamaño del árido INEN 695 (2010).

### DOCUMENTACIÓN



Anexo 4. Carta geológica de Azogues. Fuente: Instituto geográfico militar.

Cuenca, 14 de septiembre del 2020

Ing. Cesar Iván Vázquez Urgiles


GERENTE DE LA MINA VAZQUEZ

Presente

Reciba un cordial saludo por parte de: Ing. Alfredo Vásquez e Ing. Daniel Vélez, director y co-director del proyecto de titulación de los estudiantes Luis Enrique Brito Vásquez CI: 0150040566 y María Soledad Gutiérrez López CI: 0106743792, que cursan actualmente noveno ciclo de la carrera de ingeniería civil en la Universidad de Cuenca.

El motivo del presente tiene como finalidad el notificar que los estudiantes mencionados anteriormente se encuentran realizando su proyecto de titulación sobre "Caracterización de material proveniente de las minas de la provincia del Azuay", y solicitamos de la manera más comedida, se permita realizar ensayos del material proveniente de la mina VAZQUEZ.

Agradecemos por la atención prestada a la presente petición, deseándole un buen día.



Ing. Cesar Iván Vázquez Urgiles

Ing. Alfredo Vásquez



Ing. Daniel Vélez.

Anexo 5. Solicitud de realización de ensayos de laboratorio de la mina de Santa Isabel.





Cuenca, 02 de Octubre de 2020

Ingeniero:  
Giovany Genovez.  
GERENTE DE ASFALTAR EP.  
Presente.

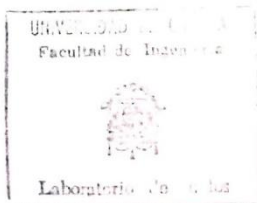
Reciba un cordial saludo por parte del Ing. Daniel Vélez Parra, co-tutor del proyecto de titulación de los estudiantes: Luis Enrique Brito Vásconez CI: 0150040566 y María Soledad Gutiérrez López CI: 0106743792, que cursan actualmente noveno ciclo de la Carrera de Ingeniería Civil en la Universidad de Cuenca.

El motivo de la presente, es para solicitarle respetuosamente a usted información de las principales minas de materiales pétreos del Azuay usados por la Empresa Asfaltar EP., como: base, sub-base y mejoramiento en proyectos viales. Solicitamos esta información con la finalidad de realizar estudios a dichos materiales para evaluar la calidad de los mismos en el marco de nuestro trabajo de Titulación.

Agradecemos por la atención prestada a la presente, deseándole un buen día.



Ing. Daniel Vélez Parra



Recibido por:  
Pablo Orellana  
Fecha:  
21/10/2020  
16:11

Anexo 6. Solicitud de información a la institución ASFALTAR EP.



## ENSAYOS PREVIOS

L.E.M ASFALTAR EP									
LABORATORIO ENSAYOS DE MATERIALES									
<b>PROYECTO:</b>	DISEÑO DE BASE PARA CLASE 1B				<b>FECHA:</b>	Lunes, 16 de agosto de 2021			
<b>SOLICITA:</b>	ING PEDRO ALVEAR			<b>FIZCALIZADOR:</b>	CONTROL INTERNO				
<b>PROVINCIA:</b>	PROVINCIA DEL AZUA	<b>CANTON:</b>	PAUTE		<b>SECTOR:</b> LA HIGUERA				
<b>USO:</b>	BASE CLASE 1B	<b>NUMERO DE MUESTRAS:</b>	2 MEDIO SACOS		<b>CODIGO DE LA MUESTRA:</b>	BS HIG 1B 15-08-21			
<b>CALICATA:</b>	-	<b>ABSISA:</b>	-	<b>COTA:</b>	-	<b>NUMERO DE CAPA:</b> -			
<b>PROCEDENCIA MATERIAL:</b>	MATERIAL TOMADO EN PLANTA DE TRITURACION "MATERIAL HIGUERA" PRODUCCION			<b>PLANTA DE PRODUCCION:</b>	ASFALTAR E.P		<b>TIPO DE MUESTREO:</b>	STOCK PLANTA TRITURACION ASFALTAR	
<b>LABORATORISTA:</b>	EDISON MAXI			<b>ENTREGADO POR:</b>	PERSONAL DE LABORATORIO HACE MUESTREO				
GRANULOMETRÍA(ASTM D422)									
TAMIZ	APERTURA DE TAMIZ ESTÁNDAR (mm)	PESO RETENIDO PARCIAL	PESO RETENIDO PARCIAL CORREGIDO	PESO RETENIDO ACUMULADO	% RETENIDO	% QUE PASA	ESPECIFICACION		
							MOP 404-1.1 A		
4"	100mm	0	0	0	0	100,00	100,0	-	100
3"	75 mm	0	0	0	0	100,00	100,0	-	100
2 ¼"	63 mm	0	0	0	0	100,00	100,0	-	100
2"	50,0mm	0	0	0	0	100,00	100,0	-	100
1½"	38,1 mm	0	0	0	0	100,00	70,0	-	100
1"	25,0mm	1.160	1.149	1.149	5	94,97	55,0	-	85
¾"	19,0mm	4.322	4.281	5.430	24	76,22	50,0	-	80
½"	12,5mm	5.510	5.458	10.888	48	52,32	52,0	-	82
⅜"	9,5mm	2.176	2.155	13.043	57	42,88	35,0	-	60
N°4	4,75mm	3.385	3.353	16.396	72	28,20	25,0	-	50
PASA N°4		6.523	6.440						
N°10	2,00mm	458,02	458,02	458,02	78,34	21,66	20,0	-	40
N°40	425 µm	645,31	1.103,33	1.103,33	87,56	12,44	10,0	-	25
N°200	75 µm	355,10	1.458,43	92,63	92,63	7,37	2,0	-	12
PASA N°200	----	0,35	0,35	516,19	7,37				
DATOS DE MATERIAL PARA GARNULOMETRIA									
PESO MATERIAL GRUESO CON % DE HUNEDAD		16.553 gr.							
PESO MATERIAL FINO CON % DE HUNEDAD		6.523 gr.							
PESO GRUESO CORREGIDO POR HUMEDAD		16.396							
PESO FINO CORREGIDO POR HUMEDAD		6.440							
PESEO TOLA SECO		22.836							
ANTES DEL LAVADO SIN CORRECCION DE HUMEDd		2.000 gr.							
DESPUES LAVADO:		1.474 gr.							
PESO REAL SECO MATERIAL FINO		1.975							
% DISTRIBUCION:									
GRAVA	72 %	ARENA	21 %	FINOS	7 %				
HUMEDAD NATURAL(ASTM D2216)									
N°	TIPO	PESO TARRO	PESO MATERIAL HUMEDO	PESO SECO	PESO TARRO	% DE HUMEDAD	%		
9	GRUESO	126	125	32	1,1%				
94	GRUESO	120	119	30	0,8%	0,9%			
97	FINO	82	81	30	1,2%				
105	FINO	96	95	30	1,3%	1,3%			
CLASIFICACION DE SUELOS METODO AASTHO - SUCS									
SUCS	GM	AASTHO	A-3						
FAJA GRANULOMETRICA DE ACUERDO A LA TABLA DEL MPO 403-1.1									
LAB. EDISON MAXI LABORATORISTA ASFALTAR E.P									

Anexo 7. Ensayo previo de análisis granulométrico material mina Higuera



LABORATORIO DE

SURILOS ASFALTADOS Y

HORMIGONES

L.E.M ASFALTAR EP						
LABORATORIO ENSAYOS DE MATERIALES						
PROYECTO: DISEÑO DE BASE PARA CLASE 1B			FECHA: lunes, 16 de agosto de 2021			
SOLICITA: ING PEDRO ALVEAR		FISCALIZADOR: CONTROL INTERNO				
PROVINCIA: PROVINCIA DEL AZUAY	CANTON: PAUTE		SECTOR: LA HIGUERA			
USO: BASE CLASE 1B	NUMERO DE MUESTRAS: 2 MEDIO SACOS		CODIGO DE LA MUESTRA: BS HIG 1B 15-08-21			
SE REALIZA EL MUESTREO: TRITURACION "MATERIAL HIGUERA" PRODUCCION	PLANTA DE PRODUCCION: ASFALTAR E.P		TIPO DE MUESTREO: STOCK PLANTA TRITURACION ASFALTAR			
LIMITE LIQUIDO(ASTM D4318)						
N° TARRO	NUMERO DE GOLPES	PESO HUMEDO	PESO SECO	PESO TARRO	% DE HUMEDAD	% PROMEDIO
1	32	51,92	49,67	40,61	24,83	
2	28	22,45	20,75	13,97	25,07	
3	24	98,97	96,96	89,09	25,54	
4	20	50,14	48,15	40,45	25,84	<b>25,37</b>
5	16	15,69	14,26	8,83	26,34	
6	12	15,62	14,05	8,17	26,70	
7	14	20,17	17,98	9,93	27,20	
25.97						
HUMEDAD vs # DE GOLPES.						
LIMITE PLASTICO(ASTM D4318)						
N° TARRO	PESO HUMEDO	PESO SECO	PESO TARRO	% DE HUMEDAD	% PROMEDIO	
1	11,01	10,95	10,59	16,7	<b>17,59</b>	
2	6,37	6,26	5,58	16,2		
3	11,55	11,47	11,02	17,8		
4	9,08	9,00	8,56	18,2		
5	11,60	11,54	11,23	19,4		
6	11,20	11,12	10,66	17,4		
7	31,76	31,51	30,16	18,5		
DETERMINACION DE LIMITES DE ATTERBERG						
LIMITE . PLASTICO			17,6 %			
LIMITE . LIQUIDO:			25,4 %			
INDICE PLASTICO:			7,78 %			
LAB. MAURO ESPINOZA LABORATORISTA GPA						

Anexo 8. Ensayo previo de límites de Atterberg de la mina Higuera.



TAMIZ		APERTURA DE TAMIZ ESTÁNDAR (mm)	PESO RETENIDO PARCIAL	PESO RETENIDO PARCIAL CORREGIDO	PESO RETENIDO ACUMULADO	% RETENIDO	% QUE PASA	ESPECIFICACION	
								MEJORAMIENTO	
4"		100mm	0	0,00	0,00	0,00	100,00		
3"		75 mm	1.877	1.829	1.876,88	2,70	97,30		
2 ½"		63 mm	1.281	1.249	3.158,35	4,54	95,46		
2"		50,0mm	2.596	2.530	5.754,41	8,27	91,73		
1½"		38,1 mm	4.170	4.170	9.924,28	14,26	85,74		
1"		25,0mm	9.062	9.062	18.986,14	27,29	72,71		
¾"		19,0mm	9.230	9.230	28.216,58	40,56	59,44		
½"		12,5mm	10.518	10.518	38.734,33	55,67	44,33		
⅜"		9,5mm	5.595	5.595	44.328,92	63,71	36,29		
N°4		4,75mm	10.664	10.664	54.992,85	79,04	20,96		
PASA N°4			13.143	13.143					
N°10		2,00mm	240,91	171,84	171,84	86,56	13,44		
N°40		425 µm	195,78	367,62	367,62	92,77	7,23		
N°200		75 µm	87,63	455,25	455,25	95,55	4,45		
PASA N°200		----	2,45	2,45	140,43	4,45			

DATOS DE MATERIAL PARA GARNULOMETRIA	
PESO MATERIAL GRUESO CON % DE HUNEDAD	56.432 gr.
PESO MATERIAL FINO CON % DE HUNEDAD	13.238 gr.
PESO GRUESO CORREGIDO POR HUNEDAD	56.432
PESO FINO CORREGIDO POR HUNEDAD	13.143
PESEO TOLA SECO	69.575
ANTES DEL LAVADO SIN CORRECCION DE HUMED.	600 gr.
DESPUES LAVADO:	458 gr.
PESO REAL SECO MATERIAL FINO	596
% DISTRIBUCION:	
GRAVA	81 %
ARENA	14 %
FINOS	4 %

HUMEDAD NATURAL (ASTM D2216)						
N°	TIPO	PESO TARRO	PESO MATERIAL HUMEDO	PESO SECO	% DE HUMEDAD	% PROMEDIO
9	GRUESO	132,61	130,29	44,65	2,7%	
75	GRUESO	121,65	119,81	42,87	2,4%	2,6%
1	FINO	75,15	74,90	31,89	0,6%	
18	FINO	92,21	91,69	31,13	0,9%	0,7%

CLASIFICACION DE SUELOS METODO AASTHO - SUCS			
SUCS	GW o GP	AASTHO	A-2-6
INDICE DE GRUPO	0,0	HUM PROMEDIO	1,6%

**GRAFICA DE MATERIAL GRANULOMETRICO DE MEJOTAMIENTO. MATERIAL MENOR A DIAMETRO DE 4 PULGADAS**

EDISON MAXI LABORATORIATA ASFALTA E.P	ING XAVIER TEPAN GERENCIA TÉCNICA ASFALTAR E.P
--	---

Anexo 9. Ensayo previo de análisis granulométrico material mina Llatcon



N° TARRO		NUMERO DE GOLPES	PESO HUMEDO	PESO SECO	PESO TARRO	% DE HUMEDAD	% PROMEDIO
58		32	56,57	53,77	44,99	31,89	
59		29	53,00	50,72	43,65	32,25	
44		26	52,68	50,71	44,77	33,16	
41		23	54,10	51,44	43,47	33,38	<b>32,98</b>
60		20	53,07	50,77	43,90	33,48	
52		17	53,56	50,92	43,29	34,60	
48		14	59,54	55,32	43,34	35,23	

**HUMEDAD vs # DE GOLPES.**

N° TARRO	PESO HUMEDO	PESO SECO	PESO TARRO	% DE HUMEDAD	% PROMEDIO
22	32,38	32,26	31,60	18,2	<b>18,52</b>
3	31,94	31,86	31,40	17,4	
104	31,31	31,21	30,70	19,6	
31	32,14	32,04	31,51	18,9	
18	31,67	31,59	31,15	18,2	
13	32,39	32,29	31,76	18,9	
98	30,67	30,56	29,99	19,3	

DETERMINACION DE LIMITES DE ATTERBERG	
LIMITE . PLASTICO	18,5 %
LIMITE . LIQUIDO:	33,0 %
INDICE PLASTICO:	14,46 %

EDISON MAXI LABORATORIA ASFALTA E.P	ING XAVIER TEPAN GERENCIA TECNICA ASFALTAR E.P
--	---

Anexo 10. Ensayo previo de límites de Atterberg material mina Llatcon



## LABORATORIO DE SUELOS Y ASFALTOS

MANTENIMIENTO VIAL DE LA VIA SAN JUAN- SAN BARTOLOME TRAMO1 - TRAMO 2

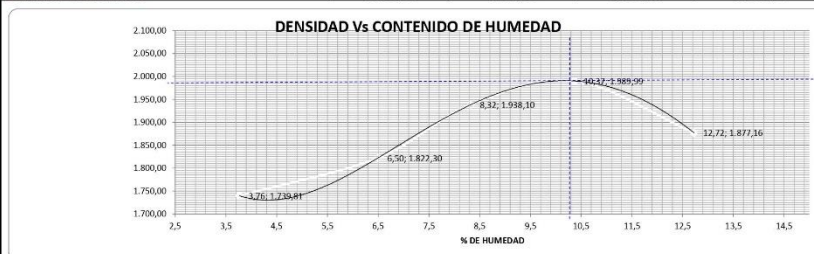
PROYECTO: SUPER INTENDENTE ING PEDRO ALVEAR - ING FISCALISADOR G.PA ING , ABRAHAM MOLINA FECHA martes, 09 de noviembre de 2021

SOLICITA AZUAY CANTON CUENCA SECTOR LLACTON

USO MEJORAMIENTO N° DE MUESTRAS 2--1/2 SACOS CODIGO DE LA MUESTRA LLCT -MN CPV

## Datos del Molde

No. de Molde	(a) Peso (Gr.)	Altura (Cm)	Diámetro 1	Diámetro 2	Area	(V) Volumen (cm <sup>3</sup> )
2	6478	11,60	15,20	15,20	181,46	2104,92
Ensayo N°						
DESCRIPCION	Punto. 1	Punto. 2	Punto. 3	Punto. 4	Punto. 5	
Peso de material (kg)	5500	5500	5500	5500	5500	
Cantidad de agua añadida (Cm3)	0	100	200	300	400	
Cantidad de agua añadida en porcentaje	0%	2%	4%	5%	7%	
Peso de material + Adición de agua	5500	5597	5686	5782	5885	
Peso de material por capa (Kg)	1100	1119,4	1137	1156,4	1177	
Peso del molde + Muest. Compact. (Gr.)	10278	10563	10897	11101	10932	
Peso neto muest. compact. (Gr.)	3.800	4.085	4.419	4.623	4.454	
Recipiente N°	75	105	17	63	100	18
Peso del recipiente (Gr.)	29,76	29,87	31,21	30,45	29,94	31,16
Peso húmedo + recipiente (Gr.)	156,12	118,93	129,63	122,89	117,82	119,43
Peso seco + recipiente (Gr.)	152,21	115,23	123,98	116,92	110,88	112,84
Peso del agua (Gr.)	3,91	3,70	5,65	5,97	6,94	6,59
Peso neto seco (Gr.)	122,45	85,36	92,77	86,47	80,94	81,68
% Humedad al horno	3,19	4,33	6,09	6,90	8,57	8,07
% Humedad al horno promedio	3,76		6,50		8,32	
% Humedad Speedy						
Densidad Húmeda (Kg/m <sup>3</sup> )	1.805,30		1.940,69		2.099,37	
Densidad seca al horno	1.739,81		1.822,30		1.938,10	



Observaciones:

Densidad Seca Máxima	95% Máxima Densidad Seca	Óptima Humedad
1990,000	1.890,500	10,50%
Tipo de Ensayo ..... Modificado (D) Energía compact.		
Peso del Mart. (lbs) ..... 10,0 56.508 ft.x lb./ft.3		
Altura de caída (in) ..... 18,0 Vol. cm <sup>3</sup> : 2104,92		
No. de golpes ..... 56 Vol. ft <sup>3</sup> : 0.07432618		
Mat. tamizado por ..... 3/4 Fa : 0.00047508		
No. de capas ..... 5		

EDISON MAXI  
LABORATORIA ASFALTA E.PMAURO ESPINOZA  
LABORATORISTA GOBIERNO PROVINCIAL DEL AZUAY

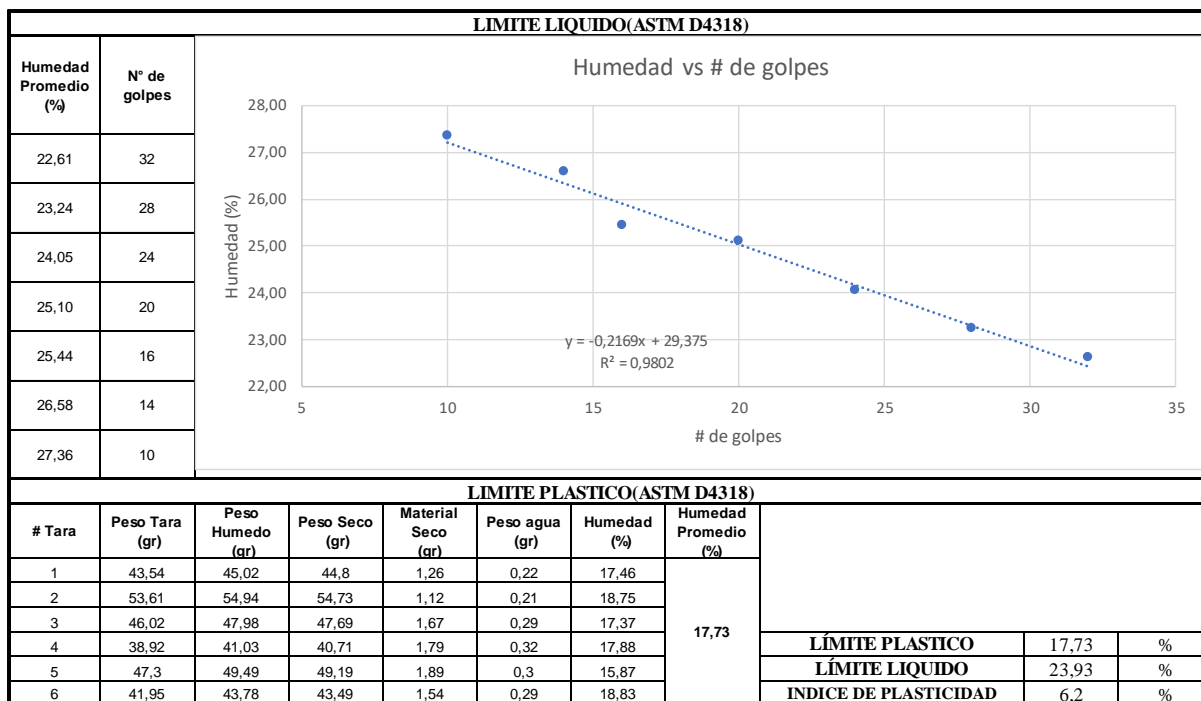
Anexo 11. Ensayo previo Proctor modificado material mina Llatcon



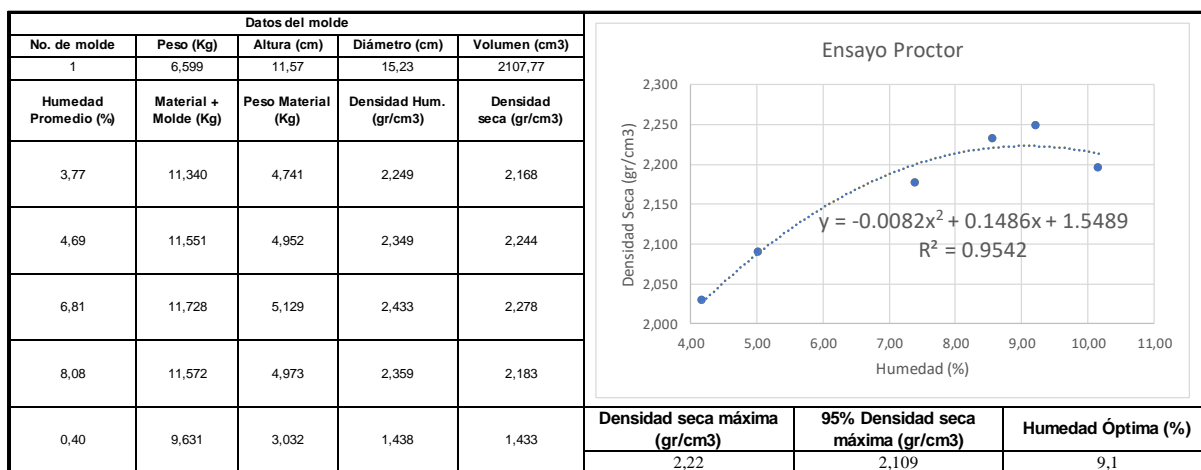
### ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO							
Masa inicial de suelo (m) =		23,063		kg			
Tamiz #	Abertura del tamiz (mm)	Masa Retenida Parcial (kg)	Masa Retenida Acumulada (kg)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa	
3"	76,2	0,000	0,000	0,00	0,00	100,00	
2 1/2"	63,0	0,000	0,000	0,00	0,00	100,00	
2"	50,8	0,000	0,000	0,00	0,00	100,00	
1 1/2"	38,1	0,000	0,000	0,00	0,00	100,00	
1"	25,4	1,160	1,160	5,03	5,03	94,97	
3/4"	19,1	4,322	5,482	18,73	23,76	76,24	
1/2"	12,7	5,510	10,992	23,88	47,63	52,37	
3/8"	9,5	2,176	13,168	9,43	57,06	42,94	
# 4	4,75	3,385	16,553	14,67	71,73	28,27	
Fondo	---	6,523	23,076	28,27	100	0,00	
Masa inicial de suelo (m) =		2000		gr			
Tamiz #	Abertura del tamiz (mm)	Masa Retenida Parcial (gr)	Masa Retenida Acumulada (gr)	% Retenido (sin hacer la Ligadura)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
4	4,75	0,5	0,5	0,02	0,01	71,74	28,26
8	2,36	368,70	369,18	18,44	5,21	76,95	23,05
10	2,00	89,82	459	4,49	1,27	78,22	21,78
16	1,18	244,98	703,98	12,25	3,46	81,68	18,32
20	0,85	147,19	851,17	7,36	2,08	83,76	16,24
30	0,60	128,8	980,01	6,44	1,82	85,58	14,42
40	0,425	124,34	1104,4	6,22	1,76	87,34	12,66
50	0,30	93,3	1197,7	4,67	1,32	88,66	11,34
100	0,15	168,15	1365,82	8,41	2,38	91,04	8,96
200	0,075	93,65	1459,47	4,68	1,32	92,36	7,64
Fondo	---	15,84	1475,31	0,79	0,22	93	---
ERROR FRACCIÓN GRUESA				GRAFICO			
Wo =		23,063	kg	Abertura del tamiz (mm)	% Que Pasa		
W (MATERIAL RETENIDO EN EL FONDO)=		6,523	kg	76,200	100,000		
W1 (MATERIAL RETENIDO EN TODOS LOS TAM)		16,553	kg	63,000	100,000		
W + W1 =		23,076	kg	50,800	100,000		
ERROR = Wo - (W + W1) =		-0,013	kg	38,100	100,000		
<b>ERROR (%) =</b>		<b>0,06</b>	<b>%</b>	25,400	94,973		
<b>suelo luego de lavar sobre el tamiz 200)</b>				19,100	76,244		
Masa inicial m =		2000	gr	12,700	52,366		
Masa (luego de lavar sobre el tamiz 200) m1 =		1473,66	gr	9,520	42,936		
Masa de finos: m2 = m - m1 =		526,34	gr	4,750	28,267		
ERROR FRACCIÓN FINA				2,360	23,050		
Wo =		2000	gr	2,000	21,780		
W (finos perdidos en el lavado + finos de tamiz:		542,18	gr	1,180	18,318		
W1 (masa retenida tamiz 4 al 200) =		1459,47	gr	0,850	16,237		
W + W1 =		2001,65	gr	0,600	14,416		
ERROR = Wo - (W + W1) =		-1,65	gr	0,425	12,659		
<b>ERROR (%) =</b>		<b>0,0825</b>	<b>%</b>	0,300	11,340		
				0,150	8,963		
				0,075	7,640		

Anexo 12. Análisis granulométrico de mina de la Higuera



Anexo 13. Límites de Atterberg de la mina Higuera.



Anexo 14. Ensayo Proctor modificado de mina Higuera.

<b>ABRASIÓN (NTE INEN 860)</b>		
<b>METODO A</b>		
<b>PASA (1 1/2) Y RETIENE (1)</b>	2504	gr
<b>PASA (1) Y RETIENE (3/4)</b>	2502	gr
<b>PASA (3/4) Y RETIENE (1/2)</b>	2502	gr
<b>PASA (1/2) Y RETIENE (3/8)</b>	2495	gr
<b>MATERIAL INICIAL</b>	10003	gr
<b>MATERIAL SOBRE TAMIZ 12</b>	9006	gr
<b>ABRASIÓN (%)</b>	9,97	%

Anexo 15. Ensayo de abrasión de mina Higuera.





LECTURAS DE CBR					PARAMETROS ESTANDAR	Penetracion	Carga Estandar	
mm	in	M1	M2	M3		2,5	13,2	
0	0,000	0	0	0		5	20	
0,25	0,010	0,18	0,095	0,23	Muestra	X	Y	
0,5	0,020	0,33	0,17	0,44	muestra 1	0,75	0,48	
0,75	0,030	0,48	0,275	0,62		4,75	3,97	
1	0,039	0,65	0,425	0,81	muestra 2	2,5	1,85	
1,25	0,049	0,84	0,58	1,02		4,75	5,1	
1,5	0,059	1,05	0,88	1,22	muestra 3	3,25	3,04	
1,75	0,069	1,25	1	1,46		9,5	11,82	
2	0,079	1,46	1,26	1,67	<b>CBR CORREGIDO</b>			
2,25	0,089	1,68	1,525	1,92	MOLDE	PENETRACION	CBR	CBR PROMEDIO
2,5	0,098	1,9	1,85	2,17	1	2,7	15,68	21,70
2,75	0,108	2,12	2,175	2,45		5,2	21,7	
3	0,118	2,34	2,52	2,74	2	3,72	27,31	34,58
3,25	0,128	2,58	2,89	3,04		6,22	34,575	
3,5	0,138	2,8	3,25	3,35	3	3,59	26,29	34,60
3,75	0,148	3,04	3,605	3,65		6,09	34,60	
4	0,157	3,28	4,005	3,99				
4,25	0,167	3,51	4,36	4,33				
4,5	0,177	3,74	4,715	4,66				
4,75	0,187	3,97	5,1	5				
5	0,197	4,16	5,425	5,37				
5,25	0,207	4,38	5,775	5,73				
5,5	0,217	4,6	5,98	6,07				
5,75	0,226	4,82	6,31	6,43				
6	0,236	5,02	6,625	6,81				
6,25	0,246	5,22	6,915	7,13				
6,5	0,256	5,41	7,22	7,49				
6,75	0,266	5,61	7,38	7,87				
7	0,276	5,82	7,755	8,27				
7,25	0,285	6	8,04	8,64				
7,5	0,295	6,18	8,205	8,99				
7,75	0,305	6,34	8,49	9,32				
8	0,315	6,54	8,725	9,66				
8,25	0,325	6,69	8,97	10,03				
8,5	0,335	6,9	9,225	10,37				
8,75	0,344	7,1	9,4	10,71				
9	0,354	7,28	9,61	11,06				
9,25	0,364	7,45	9,805	11,44				
9,5	0,374	7,67	9,965	11,82				
9,75	0,384	7,86	10,19	12,18				
10	0,394	8,08	10,36	12,53				
10,25	0,404	8,31	10,57	12,92				
10,5	0,413	8,5	10,72	13,25				
10,75	0,423	8,7	10,91	13,6				
11	0,433	8,89	11,07	13,94				

Anexo 16. Lecturas y graficas de ensayo CBR de mina Higuera.



DENSIDADES												
Molde	Molde (kg)	Base (kg)	Altura (cm)	Diametro (cm)	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Peso de molde + base + suelo	Sobrecarga (kg)	Bastago (kg)	Peso suelo humedo (kg)	Humedad (%)	Peso Seco (kg)	Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )
1	4,955	3,137	12,73	15,40	2370,7	13,539	4,513	1,02	5,447	5,87	5,14	2,17
2	4,941	3,02	12,72	15,21	2309,6	13,502	4,78	1,192	5,241	5,74	4,96	2,15
3	4,227	3,041	12,74	15,40	2372,0	13,098	4,791	1,095	5,49	5,98	5,18	2,18
DEFORMACION												
Dia	Hora	Molde 1	Molde 2	Molde 3								
1ro	16:00	0	0	0								
	16:01	0	0	0								
	16:02	0	0	0								
	16:05	0	0	0								
2do	16:15	0	0	0								
	9:18	0,5	1,1	1								
	11:05	0,5	1,1	1								
3ro	13:20	0,5	1,1	1								
	8:35	0,5	1,1	1								
	11:30	0,5	1,1	1								
	4:25	0,5	1,1	1								

HUMEDAD DE SATURACION		
Muestra	Humedad	Humedad
1	7,28	7,26
	7,24	
2	7,16	7,17
	7,18	
3	7,20	7,22
	7,24	

Anexo 17. Valores obtenidos de ensayo CBR de mina higuera.

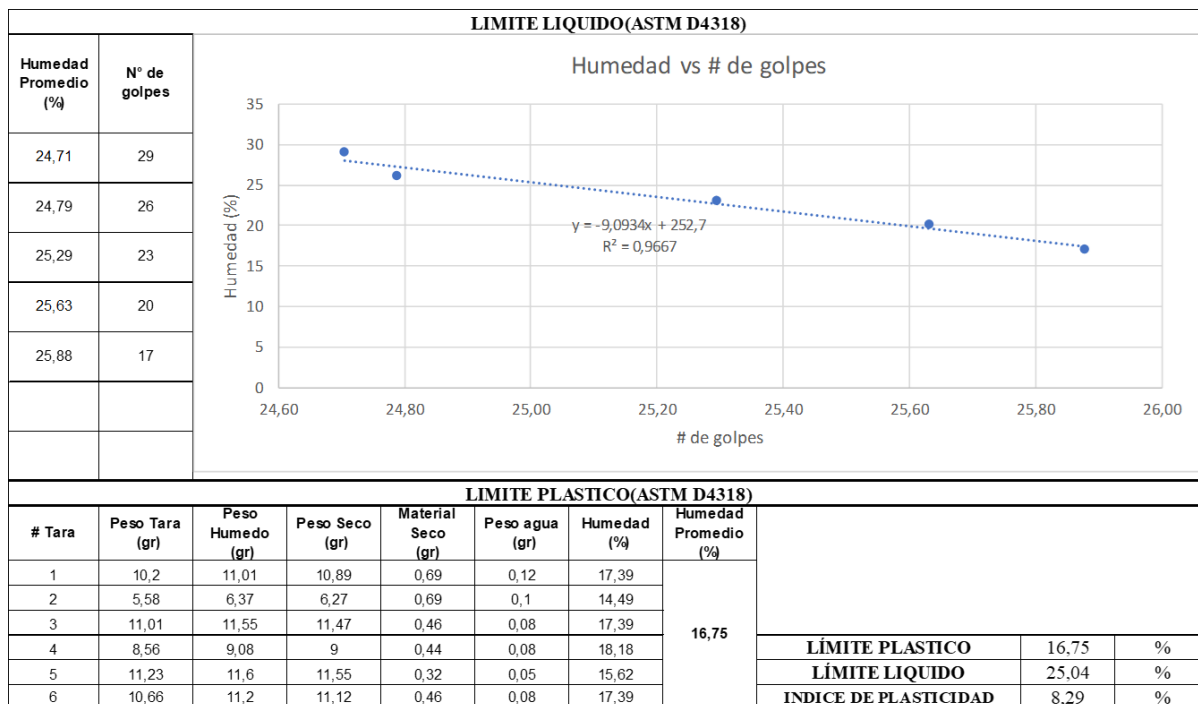


ANALISIS GRANULOMETRICO							
Masa inicial de suelo (m) = 39,365 kg							
Tamiz #	Abertura del tamiz (mm)	Masa Retenida Parcial (kg)	Masa Retenida Acumulada (kg)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa	
3"	76,2	0,000	0,000	0,00	0,00	100,00	
2 1/2"	63,0	0,000	0,000	0,00	0,00	100,00	
2"	50,8	0,000	0,000	0,00	0,00	100,00	
1 1/2"	38,1	0,000	0,000	0,00	0,00	100,00	
1"	24,5	2,719	2,719	6,91	6,91	93,09	
3/4"	19,1	4,258	6,977	10,82	17,72	82,28	
1/2"	12,7	6,169	13,146	15,67	33,40	66,60	
3/8"	9,5	3,367	16,513	8,55	41,95	58,05	
# 4	4,75	8,205	24,718	20,84	62,79	37,21	
Fondo	---	14,641	39,359	37,19	100	0,02	
Masa inicial de suelo (m) = 800 gr							
Tamiz #	Abertura del tamiz (mm)	Masa Retenida Parcial (gr)	Masa Retenida Acumulada (gr)	% Retenido (sin hacer la Ligadura)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
4	4,75	2,1	2,1	0,26	0,10	62,89	37,11
8	2,36	146,65	148,75	18,33	6,82	69,71	30,29
10	2,00	45,4	194,15	5,68	2,11	71,82	28,18
16	1,18	113,60	307,75	14,20	5,28	77,11	22,89
20	0,85	54,14	361,89	6,77	2,52	79,62	20,38
30	0,60	46,1	407,95	5,76	2,14	81,77	18,23
40	0,425	38,85	446,8	4,86	1,81	83,57	16,43
50	0,30	33,1	479,9	4,14	1,54	85,11	14,89
100	0,15	53,93	533,83	6,74	2,51	87,62	12,38
200	0,075	7,53	541,36	0,94	0,35	87,97	12,03
Fondo	---	45,92	587,28	5,74	2,14	90	---

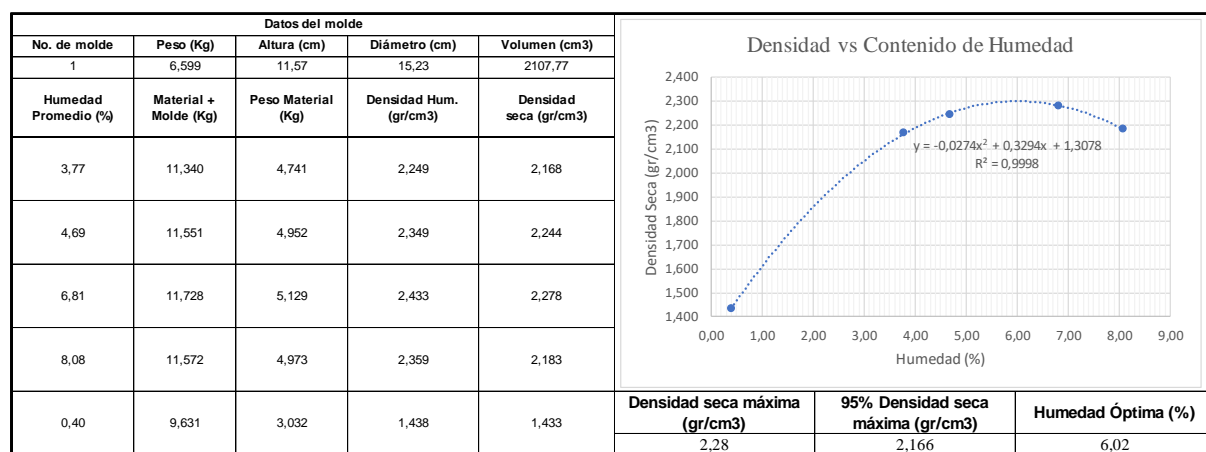
  

ERROR FRACCION GRUESA			GRAFICO	
Wo =	39,365	kg	Abertura del tamiz (mm)	% Que Pasa
W (MATERIAL RETENIDO EN EL FONDO)=	14,641	kg	76,200	100,000
W1 (MATERIAL RETENIDO EN TODOS LOS TAM)	24,718	kg	63,000	100,000
W + W1 =	39,359	kg	50,800	100,000
ERROR = Wo - (W + W1) =	0,006	kg	38,100	100,000
<b>ERROR (%) =</b>	<b>0,02</b>	<b>%</b>	24,500	93,093
<b>FRACCION FINA (Masa de suelo luego de lavar sobre el tamiz 200)</b>			19,100	82,276
Masa inicial m =	800	gr	12,700	66,605
Masa (luego de lavar sobre el tamiz 200) m1 =	587,34	gr	9,520	58,052
Masa de finos: m2 = m - m1 =	212,66	gr	4,750	37,208
<b>ERROR FRACCION FINA</b>			2,360	30,290
Wo =	800	gr	2,000	28,178
W (finos perdidos en el lavado + finos de tamiz:	258,58	gr	1,180	22,895
W1 (masa retenida tamiz 4 al 200) =	541,36	gr	0,850	20,377
W + W1 =	799,94	gr	0,600	18,234
ERROR = Wo - (W + W1) =	0,06	gr	0,425	16,427
<b>ERROR (%) =</b>	<b>0,0075</b>	<b>%</b>	0,300	14,888
			0,150	12,380
			0,075	12,029

Anexo 18. Análisis granulométrico de mina de la Higuera



Anexo 19. Límites de Atterberg de la mina Higuera.



Anexo 20. Ensayo Proctor modificado de mina Higuera.

<b>ABRASIÓN (NTE INEN 860)</b>		
<b>METODO A</b>		
<b>PASA (1 1/2) Y RETIENE (1)</b>	2502	gr
<b>PASA (1) Y RETIENE (3/4)</b>	2500	gr
<b>PASA (3/4) Y RETIENE (1/2)</b>	2500	gr
<b>PASA (1/2) Y RETIENE (3/8)</b>	2498	gr
<b>MATERIAL INICIAL</b>	10000	gr
<b>MATERIAL SOBRE TAMIZ 12</b>	9020	gr
<b>ABRASIÓN (%)</b>	9,80	%

Anexo 21. Ensayo de abrasión de la mina Higuera



LECTURAS DE CBR						PARAMETROS ESTANDAR		Penetracion	Carga Estandar
mm	in	M1	M2	M3	M4			2,5	13,2
0	0	0,00	0	0	0			5	20
0,25	0,00984	0,40	0,74	1,1	1,11			Y	desfase
0,5	0,01969	0,58	0,99	1,51	1,41	Muestra	X		
0,75	0,02953	0,87	1,26	1,92	1,72	muestra 1	2	2,76	0,2
1	0,03937	1,17	1,56	2,29	1,96		4,25	6,86	
1,25	0,04921	1,53	1,87	2,58	2,25	muestra 2	1,75	2,53	1,22
1,5	0,05906	1,92	2,18	2,85	2,52		3,75	5,27	
1,75	0,06890	2,35	2,53	3,19	2,81	muestra 3	No aplica corrección		
2	0,07874	2,76	2,82	3,49	3,03				
2,25	0,08858	3,18	3,18	3,78	3,27	muestra 4	No aplica corrección		
2,5	0,09843	3,65	3,48	4,07	3,49				
2,75	0,10827	4,09	3,85	4,36	3,72	CBR CORREGIDO			
3	0,11811	4,55	4,19	4,64	3,91	MOLDE	PENETRACION	CBR	CBR PROMEDIO
3,25	0,12795	5,03	4,54	4,85	4,13	1	2,6	28,92	41,04
3,5	0,13780	5,48	4,92	5,09	4,38		5,1	41,04	
3,75	0,14764	5,94	5,27	5,41	4,52	2	2,6	24,64	36,47
4	0,15748	6,40	5,63	5,72	4,72		5,1	36,47	
4,25	0,16732	6,86	6,02	5,93	4,92	3	2,5	30,83	33,55
4,5	0,17717	7,30	6,39	6,19	5,09		5,0	33,55	
4,75	0,18701	7,69	6,77	6,47	5,27	4	2,5	26,44	27,25
5	0,19685	8,09	7,15	6,71	5,45		5,0	27,25	
5,25	0,20669	8,47	7,52	6,92	5,62				
5,5	0,21654	8,90	7,93	7,16	5,8				
5,75	0,22638	9,25	8,32	7,4	5,98				
6	0,23622	9,65	8,75	7,66	6,13				
6,25	0,24606	10,04	9,14	7,9	6,25				
6,5	0,25591	10,40	9,51	8,05	6,4				
6,75	0,26575	10,73	9,9	8,27	6,59				
7	0,27559	11,08	10,29	8,53	6,76				
7,25	0,28543	11,41	10,66	8,77	6,91				
7,5	0,29528	11,78	11,04	8,98	7,07				
7,75	0,30512	12,10	11,44	9,22	7,18				
8	0,31496	12,43	11,82	9,4	7,32				
8,25	0,32480	12,79	12,18	9,65	7,46				
8,5	0,33465	13,11	12,56	9,82	7,58				
8,75	0,34449	13,42	12,91	10,08	7,72				
9	0,35433	13,73	13,28	10,35	7,83				
9,25	0,36417	14,02	13,68	10,56	7,99				
9,5	0,37402	14,30	14,07	10,77	8,02				
9,75	0,38386	14,59	14,42	10,97	8,14				
10	0,39370	14,90	14,78	11,15	8,27				
10,25	0,40354	15,17	15,15	11,35	8,4				
10,5	0,41339	15,45	15,48	11,58	8,6				
10,75	0,42323	15,62	15,82	11,79	8,78				
11	0,43307	15,91	16,19	11,97	8,89				
11,25	0,44291	16,21	16,49	12,15	9,03				
11,5	0,45276	16,48	16,8	12,36	9,14				
11,75	0,46260	16,75	17,16	12,57	9,26				
12	0,47244	17,00	17,56	12,77	9,41				
12,25	0,48228	17,27	17,93	12,95	9,6				
12,5	0,49213	17,52	18,36	13,11	9,78				
12,75	0,50197	17,69	18,77	13,29	9,97				
13	0,51181	17,98	19,19	13,53	10,02				
13,25	0,52165	18,17	19,54	13,73	10,15				
13,5	0,53150	18,41	19,89	13,98	10,3				
13,75	0,54134	18,67	20,26	14,24	10,49				
14	0,55118	18,94	20,64	14,42	10,6				
14,25	0,56102	19,18	21,07	14,52	10,73				
14,5	0,57087	19,46	21,43	14,77	10,88				
14,75	0,58071	19,64	21,78	14,91	11				
15	0,59055	19,91	22,06	15,11	11,13				

Anexo 22. Ensayo CBR de la mina Higuera



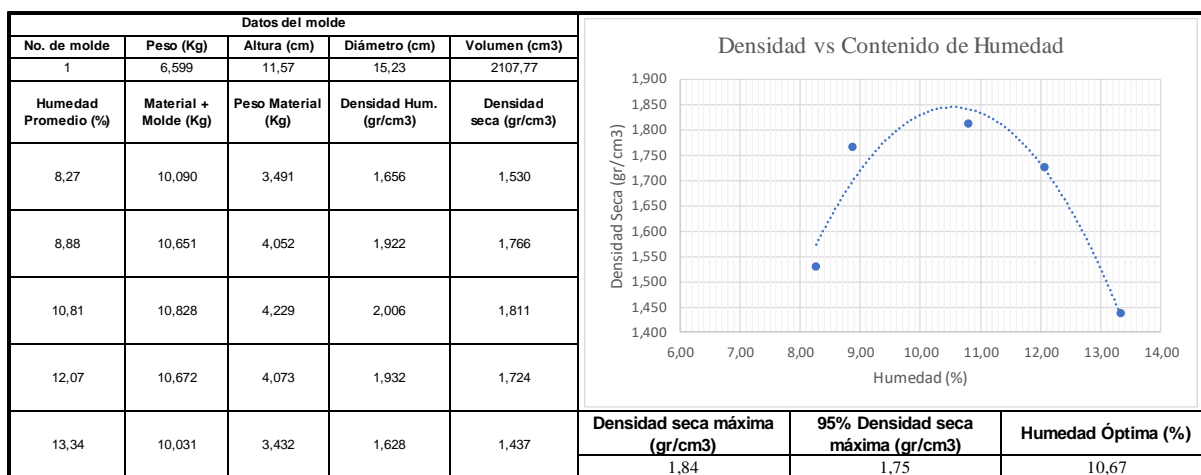
DENSIDADES										
Molde	Molde+Base (kg)	Altura (cm)	Diametro (cm)	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Peso de molde + base + suelo	Sobrecarga (kg)	Peso suelo humedo (kg)	Humedad (%)	Peso Seco (kg)	Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )
1	7,278	17,52	15,28	2286,7	12,486	4515	5,208	5,87	4,92	2,15
2	7,188	17,77	15,55	2415,7	12,816	4811	5,628	6,12	5,30	2,20
3	7,104	17,67	15,26	2308,1	12,294	4523	5,19	6,34	4,88	2,11
4	7,175	17,68	15,23	2300,9	12,48	4510	5,305	6,13	5,00	2,17
DEFORMACION										
Dia	Hora	Molde 1	Molde 2	Molde 3	Molde 4	HUMEDAD DE SATURACION				
1ro	14:43	0	0	0	0	Muestra	Humedad	Humedad		
	14:48	0	0	0	0	1	7,58	7,31		
	15:00	0	0	0	0		7,05			
	15:08	0	0	0	0	2	7,06	7,55		
	15:58	0	0	0	0		8,04			
2do	9:18	0,50	0,3	0,9	0,4	3	7,06	6,81		
	11:05	0,60	0,3	0,9	0,4		6,55			
	13:06	0,6	0,3	1	0,5	3	8,09	8,71		
5to	9:20	1,1	0,3	1	0,5		9,33			

Anexo 23. Valores de ensayo CBR de mina Higuera.



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO							
Masa inicial de suelo (m) = 0,8 kg							
Tamiz #	Abertura del tamiz (mm)	Masa Retenida Parcial (kg)	Masa Retenida Acumulada (kg)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa	
3"	76,2	0,000	0,000	0,00	0,00	100,00	
2 1/2"	63,0	0,000	0,000	0,00	0,00	100,00	
2"	50,8	0,000	0,000	0,00	0,00	100,00	
1 1/2"	38,1	0,000	0,000	0,00	0,00	100,00	
1"	24,5	0,000	0,000	0,00	0,00	100,00	
3/4"	19,1	0,000	0,000	0,00	0,00	100,00	
1/2"	12,7	0,000	0,000	0,00	0,00	100,00	
3/8"	9,5	0,000	0,000	0,00	0,00	100,00	
# 4	4,75	0,000	0,000	0,00	0,00	100,00	
Fondo	---	0,800	0,800	100,00	100	0,00	
Masa inicial de suelo (m) = 800 gr							
Tamiz #	Abertura del tamiz (mm)	Masa Retenida Parcial (gr)	Masa Retenida Acumulada (gr)	% Retenido (sin hacer la Ligadura)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
4	4,75	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	100,00
8	2,36	46,32	46,32	5,79	5,79	5,79	94,21
10	2,00	126,24	172,56	15,78	15,78	21,57	78,43
16	1,18	47,96	220,52	6,00	6,00	27,57	72,44
20	0,85	30,46	250,98	3,81	3,81	31,37	68,63
30	0,60	39,9	290,85	4,98	4,98	36,36	63,64
40	0,425	63,05	353,9	7,88	7,88	44,24	55,76
50	0,30	58,9	412,8	7,36	7,36	51,60	48,40
100	0,15	142,5	555,27	17,81	17,81	69,41	30,59
200	0,075	91,94	647,21	11,49	11,49	80,90	19,10
Fondo	---	152,78	799,99	19,10	19,10	100	---
<b>ERROR FRACCIÓN GRUESA</b>						<b>GRAFICO</b>	
Wo =		0,8	kg			Abertura del tamiz (mm)	% Que Pasa
W (MATERIAL RETENIDO EN EL FONDO)=		0,800	kg			76,200	100,000
W1 (MATERIAL RETENIDO EN TODOS LOS TAM)		0,000	kg			63,000	100,000
W + W1 =		0,800	kg			50,800	100,000
ERROR = Wo - (W + W1) =		<b>0,000</b>	<b>kg</b>			38,100	100,000
<b>ERROR (%) =</b>		<b>0,00</b>	<b>%</b>			24,500	100,000
<b>FRACCIÓN FINA (Masa de suelo luego de lavar sobre el tamiz 200)</b>							
Masa inicial m =		800	gr			19,100	100,000
Masa (luego de lavar sobre el tamiz 200) m1 =		800,05	gr			12,700	100,000
Masa de finos: m2 = m - m1 =		-0,05	gr			9,520	100,000
<b>ERROR FRACCIÓN FINA</b>							
Wo =		800	gr			4,750	100,000
W (finos perdidos en el lavado + finos de tamiz:		152,73	gr			2,360	94,210
W1 (masa retenida tamiz 4 al 200) =		647,21	gr			2,000	78,430
W + W1 =		799,94	gr			1,180	72,435
ERROR = Wo - (W + W1) =		0,06	gr			0,850	68,628
<b>ERROR (%) =</b>		<b>0,01</b>	<b>%</b>			0,600	63,644
						0,425	55,763
						0,300	48,404
						0,150	30,591
						0,075	19,099

Anexo 24. Análisis granulométrico del material polvo de trituración.

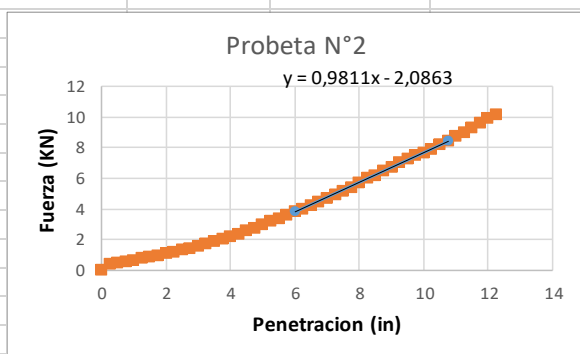
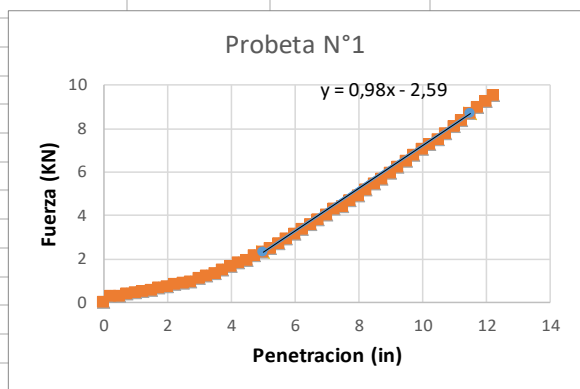


Anexo 25. Ensayo Proctor modificado de polvo de trituración de la Higuera.





LECTURAS CBR							
mm	in	M1	M2	PARAMETROS ESTANDAR		Penetracion	Carga Estandar
0	0	0	0			2,5	13,2
0,25	0,00984	0,25	0,4			5	20
0,5	0,01969	0,3	0,43	Muestra	X	Y	desfase
0,75	0,02953	0,36	0,51	muestra 1	5	2,31	2,7
1	0,03937	0,43	0,62		11,5	8,68	
1,25	0,04921	0,49	0,74	muestra 2	6	3,8	2,01
1,5	0,05906	0,57	0,82		10,75	8,46	
1,75	0,06890	0,65	0,94	CBR CORREGIDO			
2	0,07874	0,74	1,06	MOLDE	PENETRACION	CBR	CBR PROMEDIO
2,25	0,08858	0,84	1,18	1	5,2	18,63	23,23
2,5	0,09843	0,86	1,31		7,7	23,23	
2,75	0,10827	0,94	1,44	2	4,5	19,38	23,50
3	0,11811	1,08	1,58		7,0	23,5	
3,25	0,12795	1,21	1,73				
3,5	0,13780	1,34	1,87				
3,75	0,14764	1,49	2,03				
4	0,15748	1,64	2,19				
4,25	0,16732	1,8	2,37				
4,5	0,17717	1,95	2,55				
4,75	0,18701	2,13	2,74				
5	0,19685	2,31	2,94				
5,25	0,20669	2,48	3,17				
5,5	0,21654	2,67	3,36				
5,75	0,22638	2,89	3,57				
6	0,23622	3,12	3,8				
6,25	0,24606	3,34	4,01				
6,5	0,25591	3,59	4,22				
6,75	0,26575	3,79	4,44				
7	0,27559	4,04	4,69				
7,25	0,28543	4,29	4,95				
7,5	0,29528	4,39	5,17				
7,75	0,30512	4,68	5,4				
8	0,31496	4,92	5,72				
8,25	0,32480	5,19	6,01				
8,5	0,33465	5,42	6,2				
8,75	0,34449	5,69	6,49				
9	0,35433	5,96	6,73				
9,25	0,36417	6,2	6,99				
9,5	0,37402	6,48	7,25				
9,75	0,38386	6,76	7,48				
10	0,39370	7,02	7,63				
10,25	0,40354	7,25	7,91				
10,5	0,41339	7,49	8,19				
10,75	0,42323	7,77	8,46				
11	0,43307	8,08	8,72				
11,25	0,44291	8,37	8,94				
11,5	0,45276	8,68	9,31				
11,75	0,46260	8,98	9,58				
12	0,47244	9,26	9,87				
12,25	0,48228	9,51	10,11				
12,5	0,49213	9,89	10,42				
12,75	0,50197	10,14	10,69				
13	0,51181	10,44	11				
13,25	0,52165	10,69	11,31				
13,5	0,53150	10,95	11,64				
13,75	0,54134	11,24	11,78				
14	0,55118	11,53	12,11				
14,25	0,56102	11,87	12,4				
14,5	0,57087	12,16	12,71				
14,75	0,58071	12,38	12,89				
15	0,59055	12,6	13,18				





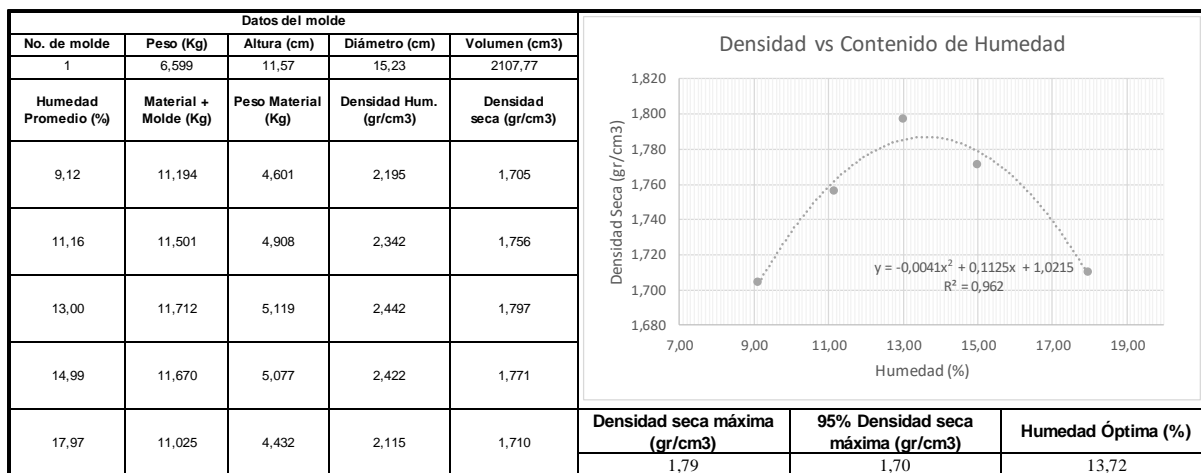
Anexo 26. Valores obtenidos de ensayo CBR de polvo de trituración

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO							
Masa inicial de suelo (m) = 37,198 kg							
Tamiz #	Abertura del tamiz (mm)	Masa Retenida Parcial (kg)	Masa Retenida Acumulada (kg)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa	
3"	76,2	0,000	0,000	0,00	0,00	100,00	
2 1/2"	63,0	0,000	0,000	0,00	0,00	100,00	
2"	50,8	0,000	0,000	0,00	0,00	100,00	
1 1/2"	38,1	0,000	0,000	0,00	0,00	100,00	
1"	24,5	0,000	0,000	0,00	0,00	100,00	
3/4"	19,1	0,000	0,000	0,00	0,00	100,00	
1/2"	12,7	0,000	0,000	0,00	0,00	100,00	
3/8"	9,5	0,000	0,000	0,00	0,00	100,00	
# 4	4,75	0,000	0,000	0,00	0,00	100,00	
Fondo	---	37,198	37,198	100,00	100	0,00	
Masa inicial de suelo (m) = 371,98 gr							
Tamiz #	Abertura del tamiz (mm)	Masa Retenida Parcial (gr)	Masa Retenida Acumulada (gr)	% Retenido (sin hacer la Ligadura)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
4	4,75	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00	100,00
8	2,36	38,34	38,34	10,31	10,31	10,31	89,69
10	2,00	11,04	49,38	2,97	2,97	13,27	86,73
16	1,18	38,43	87,81	10,33	10,33	23,61	76,39
20	0,85	31,72	119,53	8,53	8,53	32,13	67,87
30	0,60	36,1	155,58	9,69	9,69	41,82	58,18
40	0,425	43,16	198,7	11,60	11,60	53,43	46,57
50	0,30	33,5	232,2	9,01	9,01	62,43	37,57
100	0,15	76,6	308,84	20,59	20,59	83,03	16,97
200	0,075	59,39	368,23	15,97	15,97	98,99	1,01
Fondo	---	3,5	371,73	0,94	0,94	100	---

ERROR FRACCION GRUESA			GRAFICO	
Wo =	37,198	kg	Abertura del tamiz (mm)	% Que Pasa
W (MATERIAL RETENIDO EN EL FONDO)=	37,198	kg	76,200	100,000
W1 (MATERIAL RETENIDO EN TODOS LOS TAM)	0,000	kg	63,000	100,000
W + W1 =	37,198	kg	50,800	100,000
ERROR = Wo - (W + W1) =	<b>0,000</b>	<b>kg</b>	38,100	100,000
<b>ERROR (%) =</b>	<b>0,00</b>	<b>%</b>	24,500	100,000
<b>FRACCION FINA (Masa de suelo luego de lavar sobre el tamiz 200)</b>			19,100	100,000
Masa inicial m =	371,98	gr	12,700	100,000
Masa (luego de lavar sobre el tamiz 200) m1 =	372,12	gr	9,520	100,000
Masa de finos: m2 = m - m1 =	-0,14	gr	4,750	100,000
<b>ERROR FRACCION FINA</b>			2,360	89,693
Wo =	371,98	gr	2,000	86,725
W (finos perdidos en el lavado + finos de tamiz:	3,36	gr	1,180	76,394
W1 (masa retenida tamiz 4 al 200) =	368,23	gr	0,850	67,867
W + W1 =	371,59	gr	0,600	58,175
ERROR = Wo - (W + W1) =	0,39	gr	0,425	46,572
<b>ERROR (%) =</b>	<b>0,10</b>	<b>%</b>	0,300	37,567
			0,150	16,974
			0,075	1,008

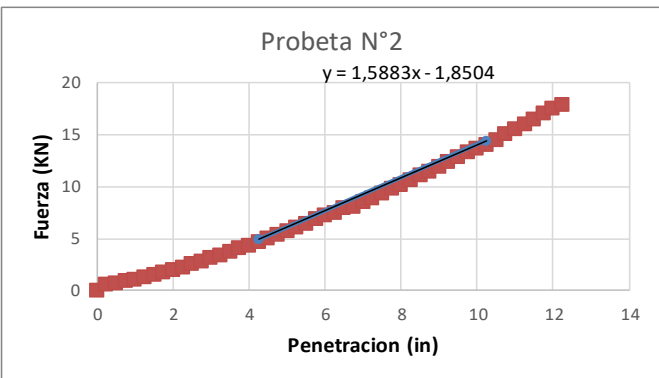
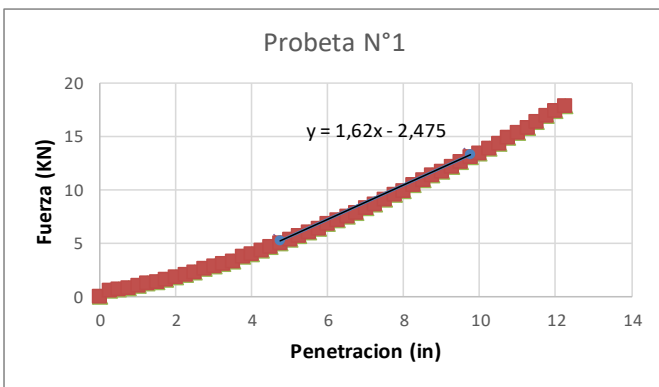
Anexo 27. Análisis granulométrico de puzolana.



Anexo 28. Ensayo Proctor modificado de puzolana



mm	in	M1	M2	PARAMETROS ESTANDAR		Penetracion	Carga Estandar
0	0	0	0			2,5	13,2
0,25	0,00984	0,62	0,61			5	20
0,5	0,01969	0,73	0,78	Muestra	X	Y	desfase
0,75	0,02953	0,88	0,95	muestra 1	4,75	5,22	1,5
1	0,03937	1,05	1,14		9,75	13,32	
1,25	0,04921	1,25	1,35	muestra 2	4,25	4,9	1,16
1,5	0,05906	1,44	1,57		10,25	14,43	
1,75	0,06890	1,66	1,8	<b>CBR CORREGIDO</b>			
2	0,07874	1,86	2,03	MOLDE	PENETRACION	CBR	CBR PROMEDIO
2,25	0,08858	2,1	2,28	1	4,0	30,61	37,55
2,5	0,09843	2,37	2,58		6,5	37,55	
2,75	0,10827	2,64	2,85	2	3,7	30,21	37,16
3	0,11811	2,92	3,17		6,2	37,16	
3,25	0,12795	3,16	3,48				
3,5	0,13780	3,4	3,77				
3,75	0,14764	3,75	4,11				
4	0,15748	4,04	4,42				
4,25	0,16732	4,37	4,72				
4,5	0,17717	4,74	5,12				
4,75	0,18701	5,09	5,47				
5	0,19685	5,39	5,79				
5,25	0,20669	5,7	6,13				
5,5	0,21654	6,07	6,5				
5,75	0,22638	6,45	6,89				
6	0,23622	6,82	7,22				
6,25	0,24606	7,21	7,56				
6,5	0,25591	7,5	7,93				
6,75	0,26575	7,92	8,15				
7	0,27559	8,3	8,51				
7,25	0,28543	8,71	8,93				
7,5	0,29528	9,13	9,36				
7,75	0,30512	9,55	9,81				
8	0,31496	9,97	10,21				
8,25	0,32480	10,5	10,69				
8,5	0,33465	10,9	11,07				
8,75	0,34449	11,41	11,5				
9	0,35433	11,8	11,95				
9,25	0,36417	12,22	12,39				
9,5	0,37402	12,63	12,83				
9,75	0,38386	13,1	13,3				
10	0,39370	13,48	13,7				
10,25	0,40354	13,96	14,05				
10,5	0,41339	14,41	14,54				
10,75	0,42323	14,91	15,1				
11	0,43307	15,36	15,53				
11,25	0,44291	15,82	16,02				
11,5	0,45276	16,43	16,49				
11,75	0,46260	17	17,02				
12	0,47244	17,46	17,49				
12,25	0,48228	17,89	17,92				
12,5	0,49213	18,41	18,33				
12,75	0,50197	18,91	18,73				
13	0,51181	19,42	19,11				
13,25	0,52165	19,89	19,56				
13,5	0,53150	20,42	20,04				
13,75	0,54134	20,89	20,59				
14	0,55118	21,35	21,06				
14,25	0,56102	21,82	21,51				
14,5	0,57087	22,32	21,94				
14,75	0,58071	22,72	22,37				
15	0,59055	23,3	22,93				





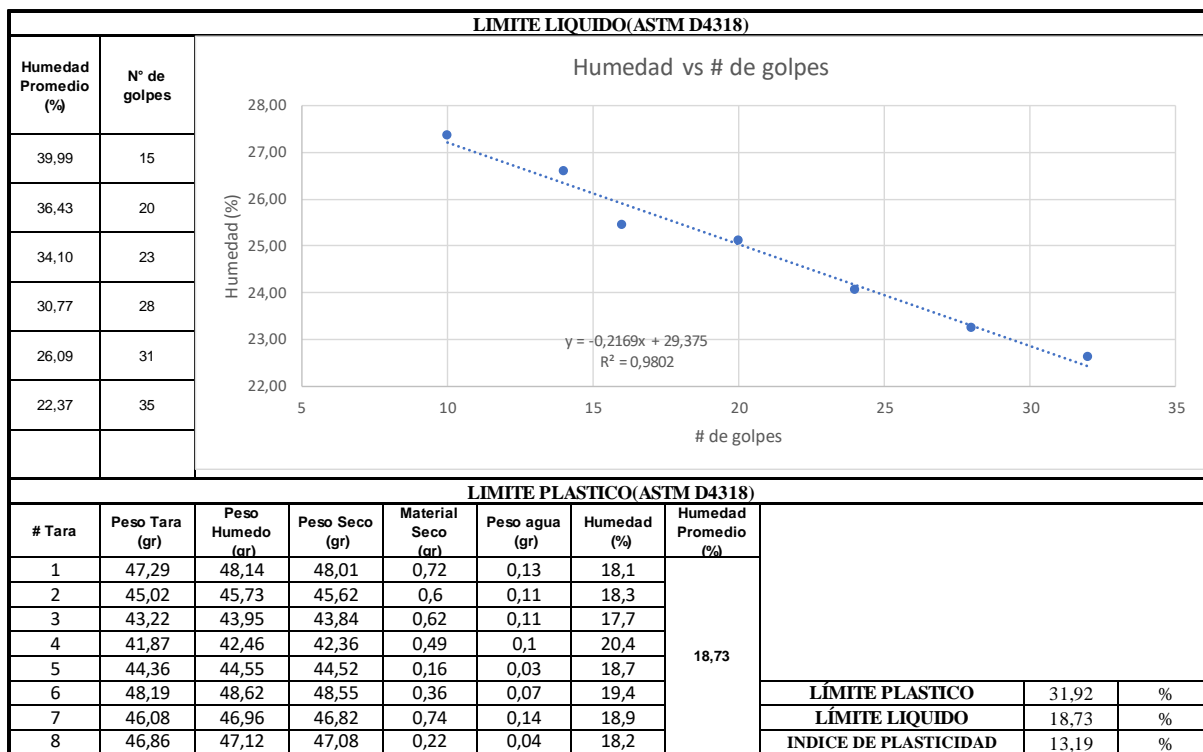
Anexo 29. Valores obtenidos de ensayo CBR de puzolana.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO							
Masa inicial de suelo (m) = 26,687 kg							
Tamiz #	Abertura del tamiz (mm)	Masa Retenida Parcial (kg)	Masa Retenida Acumulada (kg)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa	
3"	76,2	1,612	1,612	6,04	6,04	93,96	
2 1/2"	63,0	2,406	4,018	9,02	15,06	84,94	
2"	50,8	1,205	5,223	4,52	19,57	80,43	
1 1/2"	38,1	2,005	7,228	7,51	27,08	72,92	
1"	24,5	2,502	9,730	9,36	36,45	63,55	
3/4"	19,1	2,600	12,330	9,73	46,18	53,82	
1/2"	12,7	3,262	15,592	12,21	58,38	41,62	
3/8"	9,5	2,262	17,854	8,46	66,85	33,15	
# 4	4,75	3,453	21,307	12,92	79,77	20,23	
Fondo	5,4	5,417	26,724	20,27	100	-0,04	
Masa inicial de suelo (m) = 800 gr							
Tamiz #	Abertura del tamiz (mm)	Masa Retenida Parcial (gr)	Masa Retenida Acumulada (gr)	% Retenido (sin hacer la Ligadura)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
4	4,75	15,3	15,3	1,92	0,39	80,16	19,84
8	2,36	252,98	268,31	31,62	6,40	86,55	13,45
10	2,00	42,23	310,54	5,28	1,07	87,62	12,38
16	1,18	117,58	428,12	14,70	2,97	90,59	9,41
20	0,85	50,38	478,5	6,30	1,27	91,87	8,13
30	0,60	38,1	516,59	4,76	0,96	92,83	7,17
40	0,425	33,33	549,9	4,17	0,84	93,68	6,32
50	0,30	22,3	572,2	2,79	0,56	94,24	5,76
100	0,15	41,6	613,84	5,20	1,05	95,29	4,71
200	0,075	30,96	644,8	3,87	0,78	96,07	3,93
Fondo	---	5,65	650,45	0,71	0,14	96	---

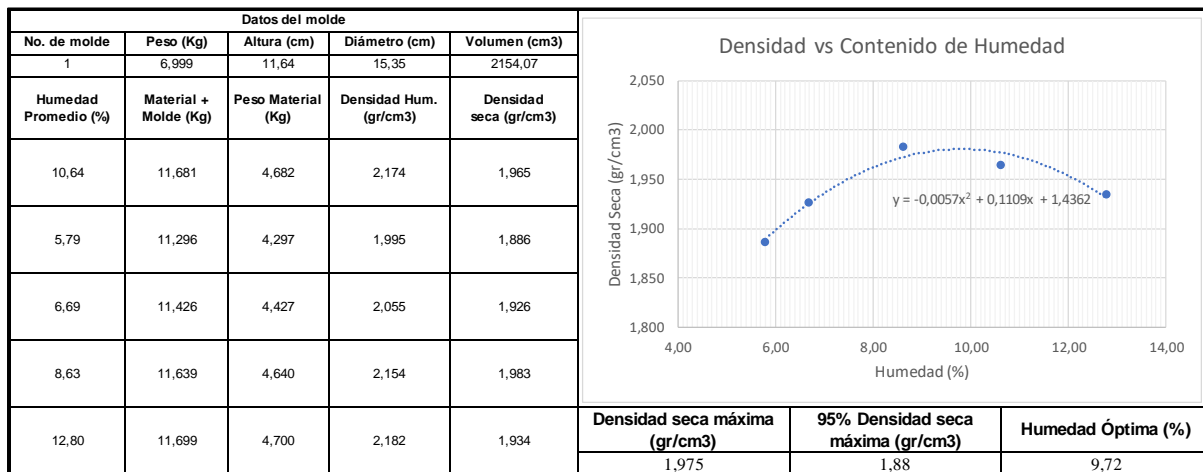
  

ERROR FRACCION GRUESA			GRAFICO	
Wo =	26,687	kg	Abertura del tamiz (mm)	% Que Pasa
W (MATERIAL RETENIDO EN EL FONDO)=	5,417	kg	76,200	93,960
W1 (MATERIAL RETENIDO EN TODOS LO:	21,307	kg	63,000	84,944
W + W1 =	26,724	kg	50,800	80,429
ERROR = Wo - (W + W1) =	-0,037	kg	38,100	72,916
<b>ERROR (%) =</b>	<b>0,14</b>	<b>%</b>	24,500	63,553
<b>FRACCION FINA (Masa de suelo luego de lavar sobre el tamiz 200)</b>			19,100	53,824
Masa inicial m =	800	gr	12,700	41,618
Masa (luego de lavar sobre el tamiz 200)	648,21	gr	9,520	33,154
Masa de finos: m2 = m - m1 =	151,79	gr	4,750	20,233
<b>ERROR FRACCION FINA</b>			2,360	13,447
Wo =	800	gr	2,000	12,379
W (finos perdidos en el lavado + finos de	157,44	gr	1,180	9,405
W1 (masa retenida tamiz 4 al 200) =	644,80	gr	0,850	8,131
W + W1 =	802,24	gr	0,600	7,168
ERROR = Wo - (W + W1) =	-2,24	gr	0,425	6,325
<b>ERROR (%) =</b>	<b>0,28</b>	<b>%</b>	0,300	5,760
			0,150	4,708
			0,075	3,925

Anexo 30. Análisis granulométrico de material de la mina Llatcon



Anexo 31. Límites de Atterberg del material de la mina Llatcon.



Anexo 32. Ensayo Proctor modificado de material de mina Llatcon.

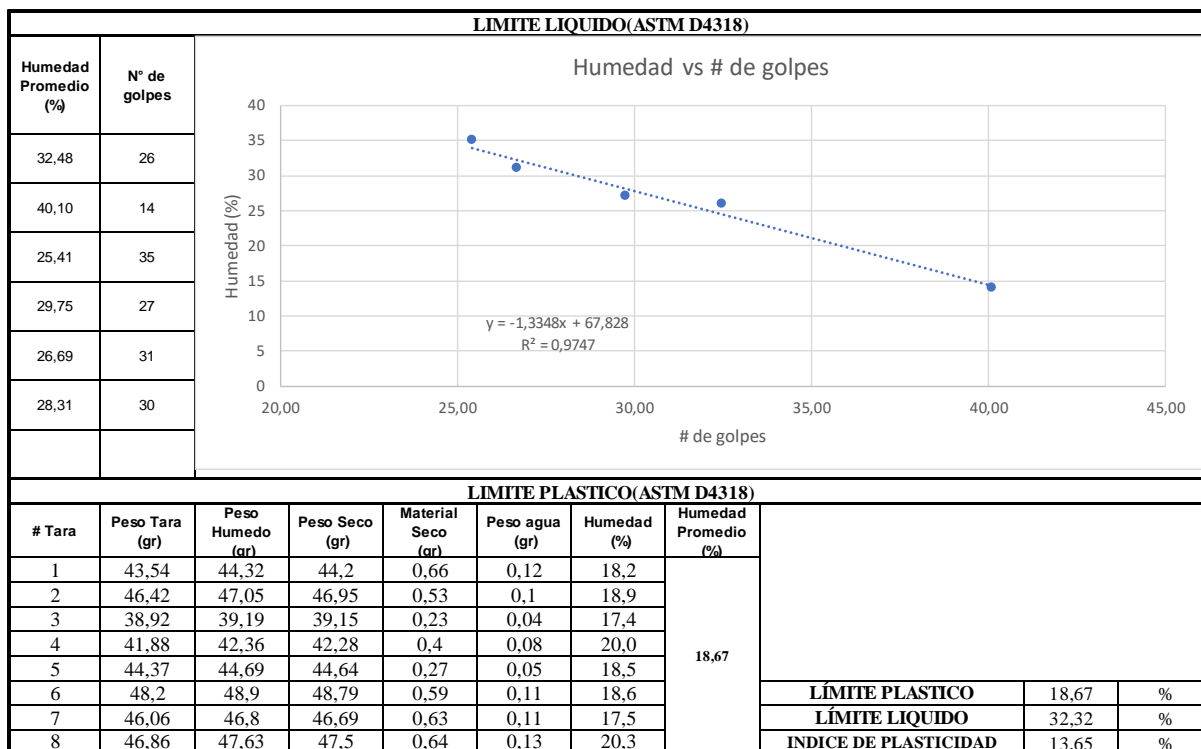
<b>ABRASIÓN (NTE INEN 860)</b>		
<b>METODO B</b>		
<b>PASA (1 1/2) Y RETIENE (1)</b>	1246	gr
<b>PASA (1) Y RETIENE (3/4)</b>	1250	gr
<b>PASA (3/4) Y RETIENE (1/2)</b>	1250	gr
<b>PASA (1/2) Y RETIENE (3/8)</b>	1250	gr
<b>MATERIAL INICIAL</b>	4996	gr
<b>MATERIAL SOBRE TAMIZ 12</b>	3526	gr
<b>ABRASIÓN (%)</b>	29,42	%

Anexo 33. Ensayo de abrasión de material de mina Llatcon.

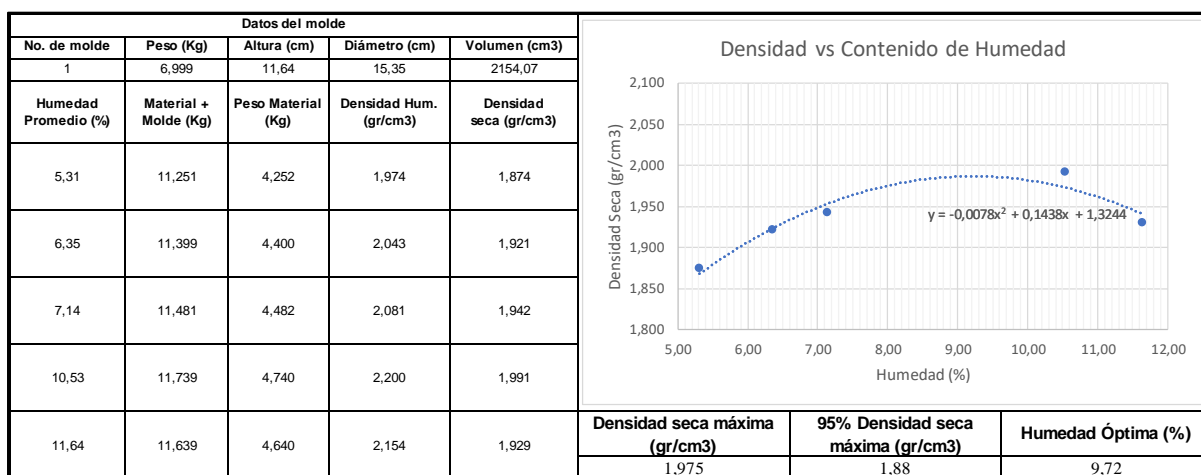


ANALISIS GRANULOMETRICO							
Masa inicial de suelo (m) =		30,36		kg			
Tamiz #	Abertura del tamiz (mm)	Masa Retenida Parcial (kg)	Masa Retenida Acumulada (kg)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa	
3"	76,2	1,468	1,468		4,84	4,84	95,16
2 1/2"	63,0	2,298	3,766		7,57	12,40	87,60
2"	50,8	1,656	5,422		5,45	17,86	82,14
1 1/2"	38,1	1,875	7,297		6,18	24,03	75,97
1"	24,5	2,403	9,700		7,92	31,95	68,05
3/4"	19,1	2,708	12,408		8,92	40,87	59,13
1/2"	12,7	3,420	15,828		11,27	52,14	47,86
3/8"	9,5	3,344	19,172		11,02	63,15	36,85
# 4	4,75	3,626	22,798		11,94	75,10	24,90
Fondo	5,4	7,560	30,358		24,90	100	0,00
Masa inicial de suelo (m) =		800		gr			
Tamiz #	Abertura del tamiz (mm)	Masa Retenida Parcial (gr)	Masa Retenida Acumulada (gr)	% Retenido (sin hacer la Ligadura)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
4	4,75	16,1	16,1	2,01	0,50	75,60	24,40
8	2,36	251,62	267,72	31,45	7,83	83,43	16,57
10	2,00	43,01	310,73	5,38	1,34	84,77	15,23
16	1,18	116,52	427,25	14,57	3,63	88,40	11,60
20	0,85	48,97	476,22	6,12	1,52	89,92	10,08
30	0,60	38,0	514,2	4,75	1,18	91,10	8,90
40	0,425	33,45	547,7	4,18	1,04	92,14	7,86
50	0,30	22,4	570,1	2,80	0,70	92,84	7,16
100	0,15	41,53	611,6	5,19	1,29	94,14	5,86
200	0,075	31,2	642,8	3,90	0,97	95,11	4,89
Fondo	---	5,73	648,53	0,72	0,18	95	---
<b>ERROR FRACCION GRUESA</b>						<b>GRAFICO</b>	
Wo =		30,36	kg			Abertura del tamiz (mm)	% Que Pasa
W (MATERIAL RETENIDO EN EL FONDO)=		7,560	kg			76,200	95,165
W1 (MATERIAL RETENIDO EN TODOS LOS TAM		22,798	kg			63,000	87,596
W + W1 =		30,358	kg			50,800	82,141
ERROR = Wo - (W + W1) =		<b>0,002</b>	<b>kg</b>			38,100	75,965
<b>ERROR (%) =</b>		<b>0,01</b>	<b>%</b>			24,500	68,050
<b>FRACCION FINA (Masa de suelo luego de lavar sobre el tamiz 200)</b>							
Masa inicial m =		800	gr			19,100	59,129
Masa (luego de lavar sobre el tamiz 200) m1 =		648,74	gr			12,700	47,864
Masa de finos: m2 = m - m1 =		151,26	gr			9,520	36,849
<b>ERROR FRACCION FINA</b>							
Wo =		800	gr			4,750	24,904
W (finos perdidos en el lavado + finos de tamiz:		156,99	gr			2,360	16,570
W1 (masa retenida tamiz 4 al 200) =		642,80	gr			2,000	15,231
W + W1 =		799,79	gr			1,180	11,604
ERROR = Wo - (W + W1) =		0,21	gr			0,850	10,079
<b>ERROR (%) =</b>		<b>0,03</b>	<b>%</b>			0,600	8,897
						0,425	7,856
						0,300	7,158
						0,150	5,865
						0,075	4,894

Anexo 34. Análisis granulométrico del material de la mina Llatcon.



Anexo 35. Límites de Atterberg de material de mina Llatcon.



Anexo 36. Ensayo Proctor modificado de material de mina Llatcon.

<b>ABRASIÓN (NTE INEN 860)</b>		
<b>METODO B</b>		
<b>PASA (1 1/2) Y RETIENE (1)</b>	1251	gr
<b>PASA (1) Y RETIENE (3/4)</b>	1253	gr
<b>PASA (3/4) Y RETIENE (1/2)</b>	1248	gr
<b>PASA (1/2) Y RETIENE (3/8)</b>	1250	gr
<b>MATERIAL INICIAL</b>	5002	gr
<b>MATERIAL SOBRE TAMIZ 12</b>	3542	gr
<b>ABRASIÓN (%)</b>	29,19	%

Anexo 37. Ensayo de abrasión de material de mina Llatcon.





mm	in	M1	M2	M3	M4	M5	PARAMETROS ESTANDAR	Penetración		Carga Estandar
								2,5	5	13,2
0	0	0	0	0	0	0				
0,25	0,00984	1,35	0,99	0,59	0,97	1,23				
0,5	0,01969	1,62	1,32	0,82	1,3	1,55				
0,75	0,02953	1,94	1,68	1,04	1,62	1,9				
1	0,03937	2,29	2,01	1,27	1,99	2,26				
1,25	0,04921	2,65	2,3	1,49	2,34	2,6				
1,5	0,05906	2,88	2,66	1,71	2,65	2,91				
1,75	0,06890	3,23	2,94	1,92	3,01	3,24				
2	0,07874	3,58	3,21	2,12	3,35	3,57				
2,25	0,08858	3,92	3,54	2,31	3,68	3,91				
2,5	0,09843	4,22	3,84	2,51	4	4,24				
2,75	0,10827	4,57	4,14	2,7	4,31	4,57				
3	0,11811	4,82	4,46	2,9	4,63	4,87				
3,25	0,12795	5,18	4,72	3,04	4,96	5,2				
3,5	0,13780	5,45	4,97	3,25	5,27	5,47				
3,75	0,14764	5,74	5,27	3,4	5,52	5,78				
4	0,15748	6,1	5,52	3,56	5,84	6,1				
4,25	0,16732	6,39	5,75	3,69	6,1	6,37				
4,5	0,17717	6,68	6	3,85	6,4	6,66				
4,75	0,18701	6,94	6,2	3,96	6,69	6,9				
5	0,19685	7,23	6,45	4,08	6,95	7,19				
5,25	0,20669	7,56	6,7	4,23	7,2	7,48				
5,5	0,21654	7,83	6,95	4,37	7,45	7,76				
5,75	0,22638	8,12	7,17	4,52	7,71	8,03				
6	0,23622	8,4	7,38	4,63	7,96	8,29				
6,25	0,24606	8,6	7,59	4,77	8,16	8,5				
6,5	0,25591	8,87	7,85	4,89	8,41	8,78				
6,75	0,26575	9,13	8,06	4,97	8,68	9,03				
7	0,27559	9,37	8,29	5,1	8,94	9,27				
7,25	0,28543	9,6	8,47	5,27	9,12	9,49				
7,5	0,29528	9,86	8,69	5,36	9,35	9,74				
7,75	0,30512	10,12	8,88	5,5	9,57	9,98				
8	0,31496	10,23	9,14	5,63	9,8	10,17				
8,25	0,32480	10,43	9,33	5,73	10,04	10,38				
8,5	0,33465	10,7	9,53	5,9	10,25	10,62				
8,75	0,34449	10,99	9,71	5,99	10,51	10,87				
9	0,35433	11,27	9,95	6,12	10,72	11,14				
9,25	0,36417	11,52	10,13	6,22	10,93	11,37				
9,5	0,37402	11,74	10,31	6,34	11,16	11,58				
9,75	0,38386	12	10,5	6,47	11,37	11,81				
10	0,39370	12,24	10,68	6,53	11,59	12,03				
10,25	0,40354	12,45	10,88	6,64	11,78	12,25				
10,5	0,41339	12,69	11,19	6,73	12,03	12,53				
10,75	0,42323	12,88	10,85	6,88	12,2	12,45				
11	0,43307	13,12	11,2	6,98	12,42	12,59				
11,25	0,44291	13,36	11,62	7,07	12,6	13,11				
11,5	0,45276	13,55	11,83	7,14	12,83	13,32				
11,75	0,46260	13,83	12,01	7,23	12,98	13,56				
12	0,47244	14,07	12,21	7,34	13,19	13,8				
12,25	0,48228	14,28	12,38	7,42	13,38	14				
12,5	0,49213	14,5	12,59	7,52	13,53	14,22				
12,75	0,50197	14,69	12,74	7,63	13,7	14,4				
13	0,51181	14,9	12,87	7,73	13,64	14,58				
13,25	0,52165	15,12	13,1	7,86	14,11	14,82				
13,5	0,53150	15,36	13,24	7,93	14,28	15,02				
13,75	0,54134	15,63	13,43	8,01	14,47	15,26				
14	0,55118	15,77	13,61	8,1	14,65	15,42				
14,25	0,56102	15,98	13,82	8,23	14,78	15,64				
14,5	0,57087	16,21	13,92	8,33	14,99	15,82				
14,75	0,58071	16,45	14,13	8,46	15,15	16,05				
15	0,59055	16,54	14,29	8,51	15,31	16,19				

MOLDE	PENETRACION	CBR	CBR PROMEDIO
1	2,5	31,97	36,15
	5,0	36,15	
2	2,50	29,09	32,25
	5,00	32,25	
3	2,50	19,02	20,40
	5,00	20,40	
4	2,50	30,30	34,75
	5,00	34,75	
5	2,50	32,12	35,95
	5,00	35,95	

Probeta N°1- 56 golpes

Probeta N°2- 25 golpes

Probeta N°3-12 golpes

Probeta N°4-56 golpes

Probeta N°5 -56 golpes

Densidad vs CBR



Anexo 38. Valores de CBR obtenidos para material de la mina Llatcon.

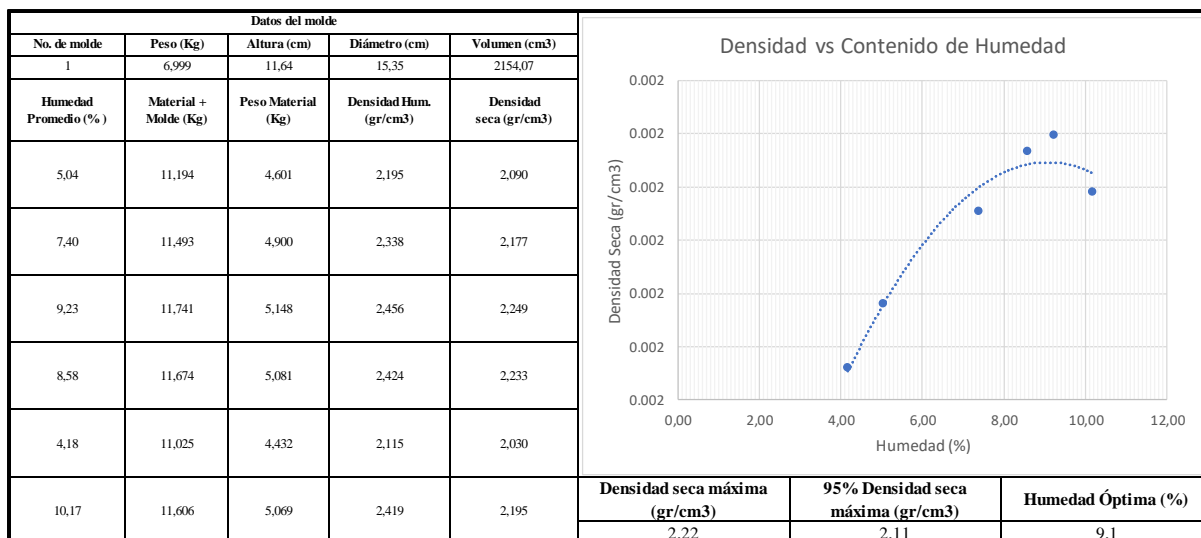
**ENSAYOS DE MEJORAMIENTO**

<b>ANALISIS GRANULOMETRICO</b>							
Masa inicial de suelo (m) = 42,555 kg							
Tamiz #	Abertura del tamiz (mm)	Masa Retenida Parcial (kg)	Masa Retenida Acumulada (kg)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa	
3"	76,2	0,000	0,000	0,00	0,00	100,00	
2 1/2"	63,0	0,000	0,000	0,00	0,00	100,00	
2"	50,8	0,000	0,000	0,00	0,00	100,00	
1 1/2"	38,1	0,000	0,000	0,00	0,00	100,00	
1"	24,5	1,839	1,839	4,32	4,32	95,68	
3/4"	19,1	3,687	5,526	8,66	12,99	87,01	
1/2"	12,7	6,620	12,146	15,56	28,54	71,46	
3/8"	9,5	3,417	15,563	8,03	36,57	63,43	
# 4	4,75	10,851	26,414	25,50	62,07	37,93	
Fondo	---	16,139	42,553	37,93	100	0,00	
Masa inicial de suelo (m) = 800 gr							
Tamiz #	Abertura del tamiz (mm)	Masa Retenida Parcial (gr)	Masa Retenida Acumulada (gr)	% Retenido (sin hacer la Ligadura)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
4	4,75	1,1	1,1	0,14	0,05	62,12	37,88
8	2,36	153,08	154,18	19,14	7,26	69,38	30,62
10	2,00	33,81	187,99	4,23	1,60	70,98	29,02
16	1,18	135,64	323,63	16,96	6,43	77,41	22,59
20	0,85	67,63	391,26	8,45	3,21	80,62	19,38
30	0,60	54,3	445,58	6,79	2,58	83,20	16,80
40	0,425	50,5	496,1	6,31	2,39	85,59	14,41
50	0,30	34,1	530,2	4,26	1,62	87,21	12,79
100	0,15	55,6	585,79	6,95	2,64	89,84	10,16
200	0,075	0,42	586,21	0,05	0,02	89,86	10,14
Fondo	---	37,26	623,47	4,66	1,77	92	---

<b>ERROR FRACCION GRUESA</b>			<b>GRAFICO</b>	
			Abertura del tamiz (mm)	% Que Pasa
Wo =	42,555	kg	76,200	100,000
W (MATERIAL RETENIDO EN EL FONDO)=	16,139	kg	63,000	100,000
W1 (MATERIAL RETENIDO EN TODOS LOS TAM	26,414	kg	50,800	100,000
W + W1 =	42,553	kg	38,100	100,000
ERROR = Wo - (W + W1) =	<b>0,002</b>	<b>kg</b>	24,500	95,679
<b>ERROR (%) =</b>	<b>0,00</b>	<b>%</b>	19,100	87,014
<b>FRACCION FINA (Masa de suelo luego de lavar sobre el tamiz 200)</b>			12,700	71,458
Masa inicial m =	800	gr	9,520	63,429
Masa (luego de lavar sobre el tamiz 200) m1 =	623,52	gr	4,750	37,930
Masa de finos: m2 = m - m1 =	176,48	gr	2,360	30,620
<b>ERROR FRACCION FINA</b>			2,000	29,017
Wo =	800	gr	1,180	22,586
W (finos perdidos en el lavado + finos de tamiz:	213,74	gr	0,850	19,379
W1 (masa retenida tamiz 4 al 200) =	586,21	gr	0,600	16,804
W + W1 =	799,95	gr	0,425	14,410
ERROR = Wo - (W + W1) =	0,05	gr	0,300	12,792
<b>ERROR (%) =</b>	<b>0,01</b>	<b>%</b>	0,150	10,156
			0,075	10,136

Anexo 39. Análisis granulométrico de mezcla 2-1 con polvo de la Higuera.



Anexo 40. Ensayo Proctor modificado de mezcla 2-1 con polvo de la Higuera.

<b>ABRASIÓN (NTE INEN 860)</b>		
<b>METODO B</b>		
<b>PASA (1 1/2) Y RETIENE (1)</b>	2501	gr
<b>PASA (1) Y RETIENE (3/4)</b>	2504	gr
<b>PASA (3/4) Y RETIENE (1/2)</b>	2502	gr
<b>PASA (1/2) Y RETIENE (3/8)</b>	2498	gr
<b>MATERIAL INICIAL</b>	10005	gr
<b>MATERIAL SOBRE TAMIZ 12</b>	9014,5	gr
<b>ABRASIÓN (%)</b>	9,90	%

Anexo 41. Ensayo de abrasión mezcla de mina Higuera 2-1 con polvo de trituración



mm	in	M1	M2	M3	M4	PARAMETROS ESTANDAR		Penetracion	Carga Estandar
0	0	0	0	0	0			2,5	13,2
0,25	0,00984	0,4	0,65	0,47	0,55			5	20
0,5	0,01969	0,49	0,702	0,58	0,72	Muestra	X	Y	desfase
0,75	0,02953	0,59	0,832	0,71	0,88	muestra 1	6	5,06	2,7
1	0,03937	0,69	1,001	0,85	1,05		9,25	10,07	
1,25	0,04921	0,8	1,196	1	1,25	muestra 2	5,5	5,46	2,01
1,5	0,05906	0,92	1,339	1,17	1,45		9	10,93	
1,75	0,06890	1,06	1,521	1,36	1,65	muestra 3	6,5	6,25	1,86
2	0,07874	1,2	1,716	1,53	1,86		9,5	10,29	
2,25	0,08858	1,36	1,911	1,73	2,09	muestra 4	5,25	5,57	1,26
2,5	0,09843	1,4	2,132	1,97	2,36		10	12,2	
2,75	0,10827	1,53	2,34	2,21	2,59	<b>CBR CORREGIDO</b>			
3	0,11811	1,75	2,561	2,46	2,87	MOLDE	PENETRACION	CBR	CBR PROMEDIO
3,25	0,12795	1,96	2,808	2,65	3,18	1	5,2	30,21	37,67
3,5	0,13780	2,18	3,042	2,84	3,46		7,7	37,67	
3,75	0,14764	2,42	3,302	3,16	3,75	2	4,5	31,41	38,17
4	0,15748	2,66	3,562	3,4	4,03		7,0	38,17	
4,25	0,16732	2,92	3,848	3,68	4,28	3	4,4	28,98	33,32
4,5	0,17717	3,17	4,134	4,01	4,62		6,9	33,32	
4,75	0,18701	3,46	4,446	4,3	4,93	4	3,8	28,49	34,07
5	0,19685	3,75	4,771	4,52	5,24		6,3	34,07	
5,25	0,20669	4,02	5,148	4,73	5,57	<div style="text-align: center;"> <p>Probeta N°1</p> <p>Fuerza (KN)</p> <p>Penetracion (in)</p> <p><math>y = 1,5415x - 4,1892</math></p> </div>			
5,5	0,21654	4,34	5,46	5,05	5,89				
5,75	0,22638	4,69	5,798	5,36	6,24				
6	0,23622	5,06	6,175	5,65	6,53				
6,25	0,24606	5,42	6,513	5,98	6,8				
6,5	0,25591	5,83	6,851	6,25	7,14				
6,75	0,26575	6,15	7,202	6,54	7,28				
7	0,27559	6,56	7,618	6,82	7,61				
7,25	0,28543	6,97	8,034	7,14	7,99				
7,5	0,29528	7,13	8,398	7,5	8,37				
7,75	0,30512	7,59	8,762	7,85	8,77				
8	0,31496	7,99	9,282	8,12	9,16				
8,25	0,32480	8,42	9,763	8,56	9,56				
8,5	0,33465	8,8	10,062	8,93	9,86				
8,75	0,34449	9,24	10,543	9,34	10,21				
9	0,35433	9,67	10,933	9,64	10,65				
9,25	0,36417	10,07	11,349	9,98	11,05				
9,5	0,37402	10,52	11,765	10,29	11,46				
9,75	0,38386	10,98	12,142	10,71	11,86				
10	0,39370	11,4	12,389	11,07	12,2				
10,25	0,40354	11,77	12,844	11,46	12,46				
10,5	0,41339	12,16	13,299	11,81	12,91				
10,75	0,42323	12,62	13,728	12,23	13,43				
11	0,43307	13,12	14,157	12,6	13,8				
11,25	0,44291	13,59	14,508	13,01	14,23				
11,5	0,45276	14,09	15,106	13,49	14,6				
11,75	0,46260	14,58	15,548	14	15,02				
12	0,47244	15,04	16,029	14,35	15,46				
12,25	0,48228	15,44	16,419	14,7	15,84				
12,5	0,49213	16,06	16,913	15,12	16,16				
12,75	0,50197	16,46	17,355	15,54	16,46				
13	0,51181	16,95	17,862	15,94	16,76				
13,25	0,52165	17,35	18,356	16,29	17,16				
13,5	0,53150	17,78	18,889	16,71	17,57				
13,75	0,54134	18,24	19,123	17,2	18,04				
14	0,55118	18,71	19,656	17,51	18,49				
14,25	0,56102	19,27	20,137	17,88	18,89				
14,5	0,57087	19,74	20,631	18,27	19,25				
14,75	0,58071	20,09	20,93	18,63	19,63				
15	0,59055	20,45	21,398	19,15	20,09				
<b>CRB PROMEDIO</b>		<b>38,17</b>	<b>%</b>						
				<div style="text-align: center;"> <p>Probeta N°4</p> <p>Fuerza (KN)</p> <p>Penetracion (in)</p> <p><math>y = 1,3958x - 1,7579</math></p> </div>					



## Anexo 42. Valores obtenidos de ensayo CBR de mezcla de material de la mina Higuera 2-1 polvo de trituración

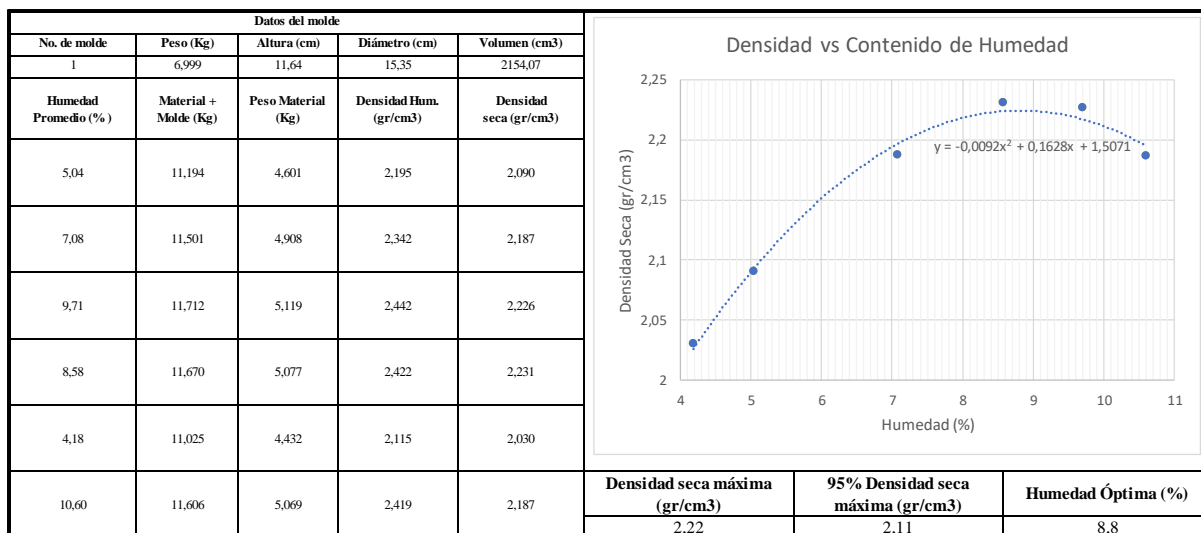
Molde	Molde +Base (kg)	Altura (cm)	Diametro (cm)	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Peso de molde + base + suelo	Sobrecarga (kg)	Peso suelo humedo (kg)	Humedad (%)	Peso Seco (kg)	Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )	N° golpes/capa																						
1	7,104	17,67	15,26	2299,0	12,602	4,514	5,50	8,65	5,06	2,20	56																						
2	7,175	17,68	15,23	2291,8	12,612	4,799	5,44	8,47	5,01	2,19	56																						
3	7,188	17,77	15,55	2406,2	12,854	4,53	5,67	9,30	5,18	2,15	12																						
4	7,188	17,77	15,55	2406,2	12,839	5,513	5,65	9,71	5,15	2,14	25																						
DEFORMACION (*0,01mm)																																	
Dia	Hora	Molde 1	Molde 2	Molde 3	Molde 4	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">HUMEDAD DE SATURACION</th> </tr> <tr> <th>Muestra</th> <th>Humedad</th> <th>Humedad</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">1</td> <td>9,01</td> <td rowspan="2">9,13</td> </tr> <tr> <td>9,24</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">2</td> <td>9,17</td> <td rowspan="2">9,11</td> </tr> <tr> <td>9,04</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">3</td> <td>10,12</td> <td rowspan="2">10,09</td> </tr> <tr> <td>10,06</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">4</td> <td>9,75</td> <td rowspan="2">9,71</td> </tr> <tr> <td>9,67</td> </tr> </tbody> </table>						HUMEDAD DE SATURACION			Muestra	Humedad	Humedad	1	9,01	9,13	9,24	2	9,17	9,11	9,04	3	10,12	10,09	10,06	4	9,75	9,71	9,67
HUMEDAD DE SATURACION																																	
Muestra	Humedad	Humedad																															
1	9,01	9,13																															
	9,24																																
2	9,17	9,11																															
	9,04																																
3	10,12	10,09																															
	10,06																																
4	9,75	9,71																															
	9,67																																
1ro	9:00	0	0	0	0																												
	9:15	0	0	0	0																												
	9:33	0	0	0	0																												
	10:00	0	0	0	0																												
2do	1:00	0	0	0	0																												
	8:34	0,50	0,8	0,5	0,2																												
	12:26	0,50	0,8	0,5	0,3																												
	3:30	0,5	0,8	0,5	0,3																												
3ro	8.:30	0,6	0,8	0,5	0,3																												
4to	10:40	0,6	0,8	0,5	0,3																												

## Anexo 43. Valores obtenidos de ensayo CBR de material de mina Higuera 2-1 polvo de trituración.



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO							
Masa inicial de suelo (m) = 22,337 kg							
Tamiz #	Abertura del tamiz (mm)	Masa Retenida Parcial (kg)	Masa Retenida Acumulada (kg)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa	
3"	76,2	0,000	0,000	0,00	0,00	100,00	
2 1/2"	63,0	0,000	0,000	0,00	0,00	100,00	
2"	50,8	0,000	0,000	0,00	0,00	100,00	
1 1/2"	38,1	0,000	0,000	0,00	0,00	100,00	
1"	24,5	0,678	0,678	3,04	3,04	96,96	
3/4"	19,1	3,418	4,096	15,31	18,35	81,65	
1/2"	12,7	4,384	8,480	19,64	37,99	62,01	
3/8"	9,5	1,767	10,247	7,92	45,90	54,10	
# 4	4,75	2,740	12,987	12,27	58,18	41,82	
Fondo	---	9,337	22,324	41,82	100	0,00	
Masa inicial de suelo (m) = 800 gr							
Tamiz #	Abertura del tamiz (mm)	Masa Retenida Parcial (gr)	Masa Retenida Acumulada (gr)	% Retenido (sin hacer la Ligadura)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
4	4,75	0,0	0,0	0,00	0,00	58,18	41,82
8	2,36	94,36	94,36	11,80	4,93	63,11	36,89
10	2,00	14,18	108,54	1,77	0,74	63,85	36,15
16	1,18	73,09	181,63	9,14	3,82	67,67	32,33
20	0,85	44,91	226,54	5,61	2,35	70,02	29,98
30	0,60	47,3	273,86	5,92	2,47	72,49	27,51
40	0,425	60,51	334,4	7,56	3,16	75,66	24,34
50	0,30	52,4	386,7	6,55	2,74	78,39	21,61
100	0,15	116,45	503,19	14,56	6,09	84,48	15,52
200	0,075	72,46	575,65	9,06	3,79	88,27	11,73
Fondo	---	28,19	603,84	3,52	1,47	90	---
<b>ERROR FRACCIÓN GRUESA</b>						<b>GRAFICO</b>	
Wo =		22,337	kg			Abertura del tamiz (mm)	% Que Pasa
W (MATERIAL RETENIDO EN EL FONDO)=		9,337	kg			76,200	100,000
W1 (MATERIAL RETENIDO EN TODOS LOS TAM)		12,987	kg			63,000	100,000
W + W1 =		22,324	kg			50,800	100,000
ERROR = Wo - (W + W1) =		<b>0,013</b>	<b>kg</b>			38,100	100,000
<b>ERROR (%) =</b>		<b>0,06</b>	<b>%</b>			24,500	96,963
<b>FRACCIÓN FINA (Masa de suelo luego de lavar sobre el tamiz 200)</b>							
Masa inicial m =		800	gr			19,100	81,652
Masa (luego de lavar sobre el tamiz 200) m1 =		605,02	gr			12,700	62,014
Masa de finos: m2 = m - m1 =		194,98	gr			9,520	54,099
<b>ERROR FRACCIÓN FINA</b>							
Wo =		800	gr			4,750	41,825
W (finos perdidos en el lavado + finos de tamiz:		223,17	gr			2,360	36,892
W1 (masa retenida tamiz 4 al 200) =		575,65	gr			2,000	36,150
W + W1 =		798,82	gr			1,180	32,329
ERROR = Wo - (W + W1) =		1,18	gr			0,850	29,981
<b>ERROR (%) =</b>		<b>0,1475</b>	<b>%</b>			0,600	27,507
						0,425	24,344
						0,300	21,606
						0,150	15,518
						0,075	11,729

Anexo 44. Análisis granulométrico de mezcla Higuera 2-1 puzolana.



Anexo 45. Ensayo Proctor modificado de material de la mina Higuera 2-1 puzolana.

MATERIAL HIGUERA MÁS POLVO 2/1		
<b>PASA (1 1/2) Y RETIENE (1)</b>	2508	gr
<b>PASA (1) Y RETIENE (3/4)</b>	2500	gr
<b>PASA (3/4) Y RETIENE (1/2)</b>	2498	gr
<b>PASA (1/2) Y RETIENE (3/8)</b>	2501	gr
<b>MATERIAL INICIAL</b>	10007	gr
<b>MATERIAL SOBRE TAMIZ 12</b>	8997	gr
<b>ABRASIÓN (%)</b>	10,09	%

Anexo 46. Ensayo de abrasión de material de la mina Higuera 2-1 puzolana.



mm	in	M1	M2	M3	M4	PARAMETROS ESTANDAR		Penetracion	Carga Estandar
0	0	0	0	0	0,000			2,5	13,2
0,25	0,00984	0,143	0,168	0,24	1,372			5	20
0,5	0,01969	0,286	0,336	0,42	1,652	Muestra	X	Y	desfase
0,75	0,02953	0,429	0,528	0,636	2,044	muestra 1	4	5,99	2,1
1	0,03937	0,611	0,744	0,9	2,394		7,75	18,01	
1,25	0,04921	0,858	1,032	1,212	2,814	muestra 2	3,25	4,94	1,71
1,5	0,05906	1,157	1,332	1,572	3,164		5,75	12,97	
1,75	0,06890	1,495	1,704	1,992	3,738	muestra 3	3,75	6,37	1,80
2	0,07874	1,976	2,1	2,448	4,284		6,75	16,20	
2,25	0,08858	2,379	2,568	2,988	4,858	muestra 4	5	12,60	1,26
2,5	0,09843	2,821	3,084	3,576	5,376		8,5	24,39	
2,75	0,10827	3,276	3,672	4,164	6,006	<b>CBR CORREGIDO</b>			
3	0,11811	3,809	4,296	4,836	6,720	MOLDE	ENETRACION	CBR	CBR PROMEDIO
3,25	0,12795	4,381	4,944	5,58	7,364	1	4,6	61,55	79,47
3,5	0,13780	4,966	5,64	6,324	8,106		7,1	79,47	
3,75	0,14764	5,59	6,372	7,08	8,764	2	4,21	59,33	80,36
4	0,15748	6,266	7,176	7,968	9,548		6,71	80,36	
4,25	0,16732	7,085	7,956	8,892	10,276	3	4,30	61,35	81,76
4,5	0,17717	7,787	8,664	9,852	11,004		6,80	81,76	
4,75	0,18701	8,437	9,48	10,776	11,886	4	3,76	66,63	82,71
5	0,19685	9,152	10,38	11,736	12,600		6,26	82,71	
5,25	0,20669	9,867	11,256	12,876	13,300				
5,5	0,21654	10,556	12,132	13,74	14,112				
5,75	0,22638	11,375	12,972	14,904	14,924				
6	0,23622	12,207	13,788	15,936	15,596				
6,25	0,24606	13	14,52	17,112	16,506				
6,5	0,25591	13,962	15,396	18,12	17,360				
6,75	0,26575	14,677	16,2	19,188	18,270				
7	0,27559	15,496	16,956	20,208	19,124				
7,25	0,28543	16,263	17,652	20,904	20,048				
7,5	0,29528	17,121	18,408	21,9	20,958				
7,75	0,30512	18,005	19,26	22,884	21,784				
8	0,31496	18,889	19,956	23,892	22,610				
8,25	0,32480	19,734	20,688	24,816	23,548				
8,5	0,33465	20,436	21,3	25,74	24,388				
8,75	0,34449	21,242	22,02	26,604	25,312				
9	0,35433	22,113	22,776	27,432	26,208				
9,25	0,36417	23,075	23,448	28,38	27,090				
9,5	0,37402	23,439	24,06	29,268	27,958				
9,75	0,38386	24,414	24,636	30,132	28,910				
10	0,39370	25,168	25,284	31,02	29,806				
10,25	0,40354	25,948	25,932	31,8	30,716				
10,5	-	-	26,58	32,652	31,584				
10,75	-	-	27,216	33,552	32,382				
11	-	-	27,792	34,512	33,250				
11,25	-	-	28,368	35,316	33,964				
11,5	-	-	28,968	36,096	34,790				
11,75	-	-	29,52	36,912	35,630				
12	-	-	30,144	37,632	36,470				
12,25	-	-	30,72	38,256	37,282				
12,5	-	-	31,32	39	38,080				
12,75	-	-	31,92	39,744	38,864				
13	-	-	32,532	40,44	39,760				
13,25	-	-	32,88	41,052	41,006				
13,5	-	-	-	41,784	41,370				
13,75	-	-	-	42,48	42,196				
14	-	-	-	43,2	43,022				
14,25	-	-	-	43,92	43,778				
14,5	-	-	-	44,7	44,576				
14,75	-	-	-	45,432	45,388				
15	-	-	-	46,236	45,584				

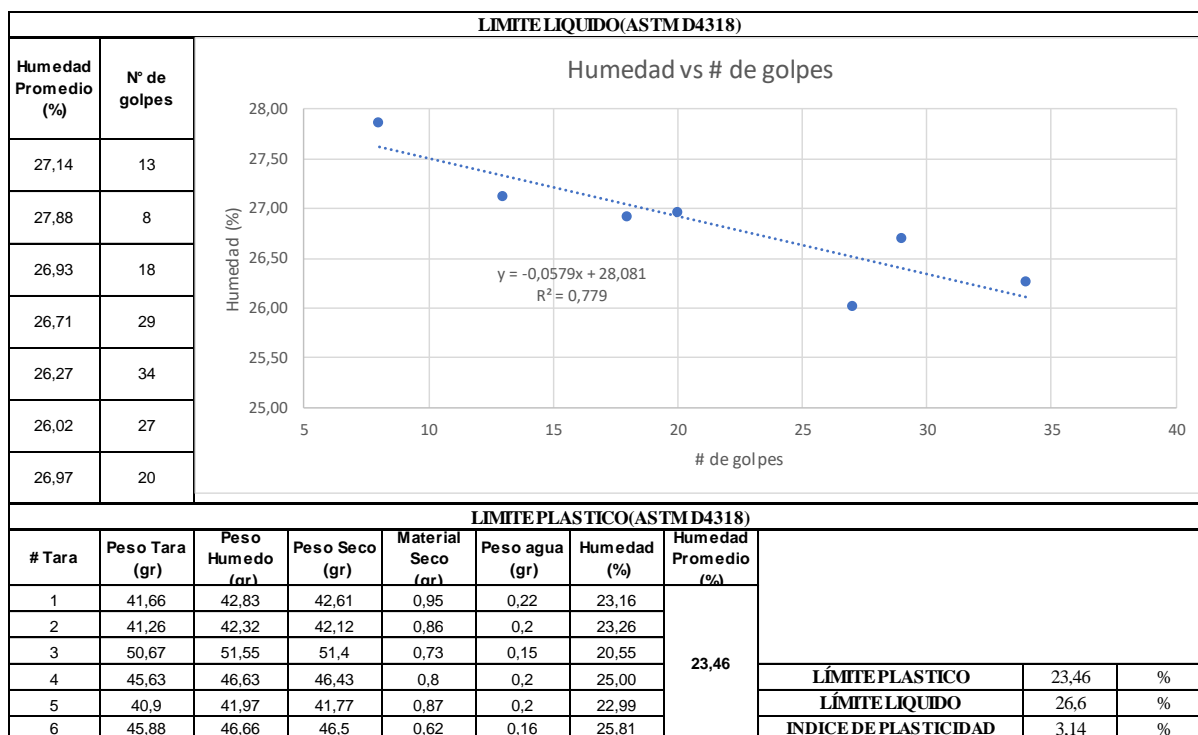






ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO							
Masa inicial de suelo (m) = 23,791 kg							
Tamiz #	Abertura del tamiz (mm)	Masa Retenida Parcial (kg)	Masa Retenida Acumulada (kg)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa	
3"	76,2	0,000	0,000	0,00	0,00	100,00	
2 1/2"	63,0	0,000	0,000	0,00	0,00	100,00	
2"	50,8	0,369	0,369	1,55	1,55	98,45	
1 1/2"	38,1	1,185	1,554	4,98	6,53	93,47	
1"	25,4	3,092	4,646	13,00	19,53	80,47	
3/4"	19,1	2,120	6,766	8,91	28,44	71,56	
1/2"	12,7	1,900	8,666	7,99	36,43	63,57	
3/8"	9,5	1,119	9,785	4,70	41,13	58,87	
# 4	4,75	1,914	11,699	8,05	49,17	50,83	
Fondo	---	11,635	23,334	48,91	98	1,92	
Masa inicial de suelo (m) = 2000 gr							
Tamiz #	Abertura del tamiz (mm)	Masa Retenida Parcial (gr)	Masa Retenida Acumulada (gr)	% Retenido (sin hacer la Ligadura)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
4	4,75	26,6	26,6	1,33	0,68	49,85	50,15
8	2,36	261,34	287,94	13,07	6,64	56,49	43,51
10	2,00	68,35	356,29	3,42	1,74	58,23	41,77
16	1,18	207,96	564,25	10,40	5,28	63,51	36,49
20	0,85	115,35	679,6	5,77	2,93	66,44	33,56
30	0,60	123,6	803,2	6,18	3,14	69,59	30,41
40	0,425	138,77	942,0	6,94	3,53	73,11	26,89
50	0,30	118,1	1060,1	5,91	3,00	76,11	23,89
100	0,15	259,6	1319,67	12,98	6,60	82,71	17,29
200	0,075	159,17	1478,84	7,96	4,04	86,76	13,24
Fondo	---	30,24	1509,08	1,51	0,77	88	---
ERROR FRACCION GRUESA				GRAFICO			
Wo =		23,791	kg	Abertura del tamiz (mm)	% Que Pasa		
W (MATERIAL RETENIDO EN EL FONDO)=		11,635	kg	76,200	100,000		
W1 (MATERIAL RETENIDO EN TODOS LOS TA		11,699	kg	63,000	100,000		
W + W1 =		23,334	kg	50,800	98,45		
ERROR = Wo - (W + W1) =		0,457	kg	38,100	93,47		
<b>ERROR (%) =</b>		<b>1,92</b>	<b>%</b>	25,400	80,47		
<b>suelo luego de lavar sobre el tamiz 200)</b>				19,100	71,56		
Masa inicial m =		2000	gr	12,700	63,57		
Masa (luego de lavar sobre el tamiz 200) m1		1511,19	gr	9,520	58,87		
Masa de finos: m2 = m - m1 =		488,81	gr	4,750	50,83		
<b>ERROR FRACCION FINA</b>				2,360	43,51		
Wo =		2000	gr	2,000	41,77		
W (finos perdidos en el lavado + finos de ta		519,05	gr	1,180	36,49		
W1 (masa retenida tamiz 4 al 200) =		1478,84	gr	0,850	33,56		
W + W1 =		1997,89	gr	0,600	30,41		
ERROR = Wo - (W + W1) =		2,11	gr	0,425	26,89		
<b>ERROR (%) =</b>		<b>0,1055</b>	<b>%</b>	0,300	23,89		
				0,150	17,29		
				0,075	13,24		

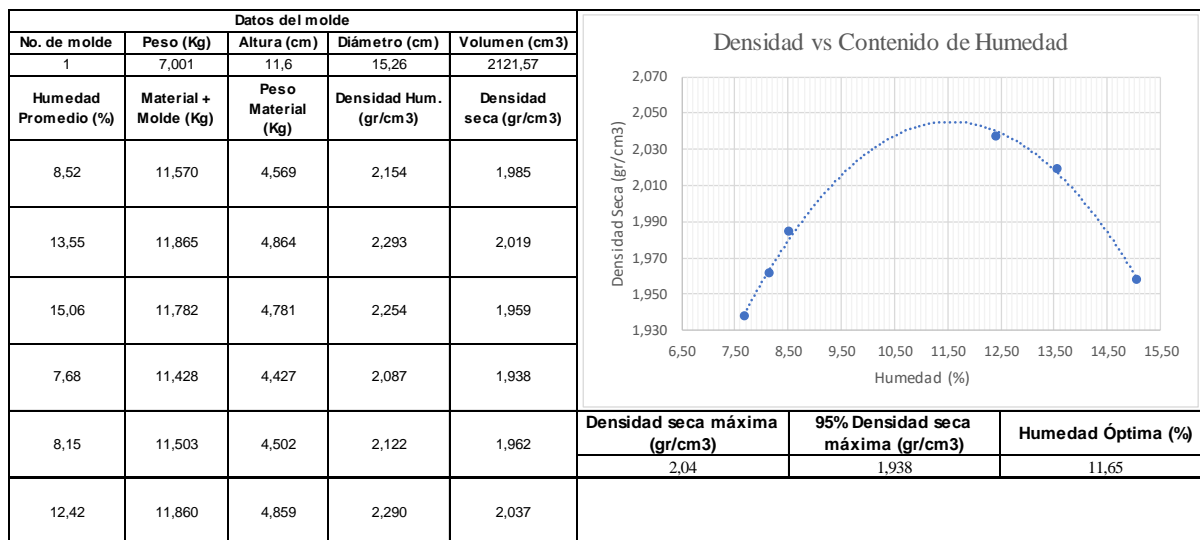
Anexo 49. Análisis granulométrico para la sub-base de la mina Santa Isabel.



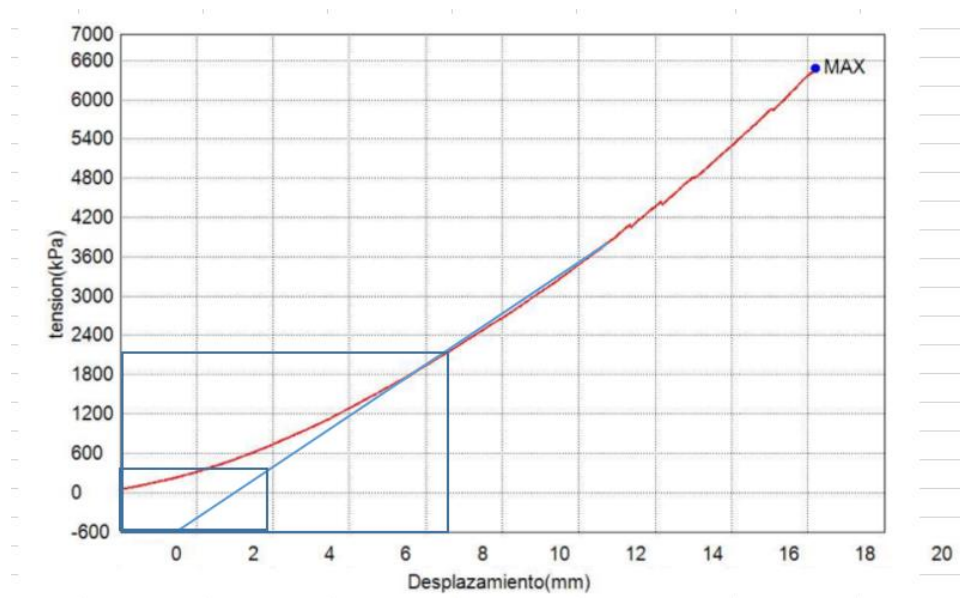
Anexo 50. Límites de Atterberg para la sub-base de la mina Santa Isabel.

ABRASIÓN (NTE INEN 860)		
MÉTODO C		
PASA (1 1/2) Y RETIENE (1)	-	gr
PASA (1) Y RETIENE (3/4)	-	gr
PASA (3/4) Y RETIENE (1/2)	2499	gr
PASA (1/2) Y RETIENE (3/8)	2500	gr
MATERIAL INICIAL	4999	gr
MATERIAL SOBRE TAMIZ 12	3731,82	gr
ABRASIÓN (%)	25,35	%

Anexo 51. Ensayo de abrasión para el material sub-base de la mina Santa Isabel.



Anexo 52. Ensayo Proctor modificado para la sub-base de la mina de Santa Isabel.

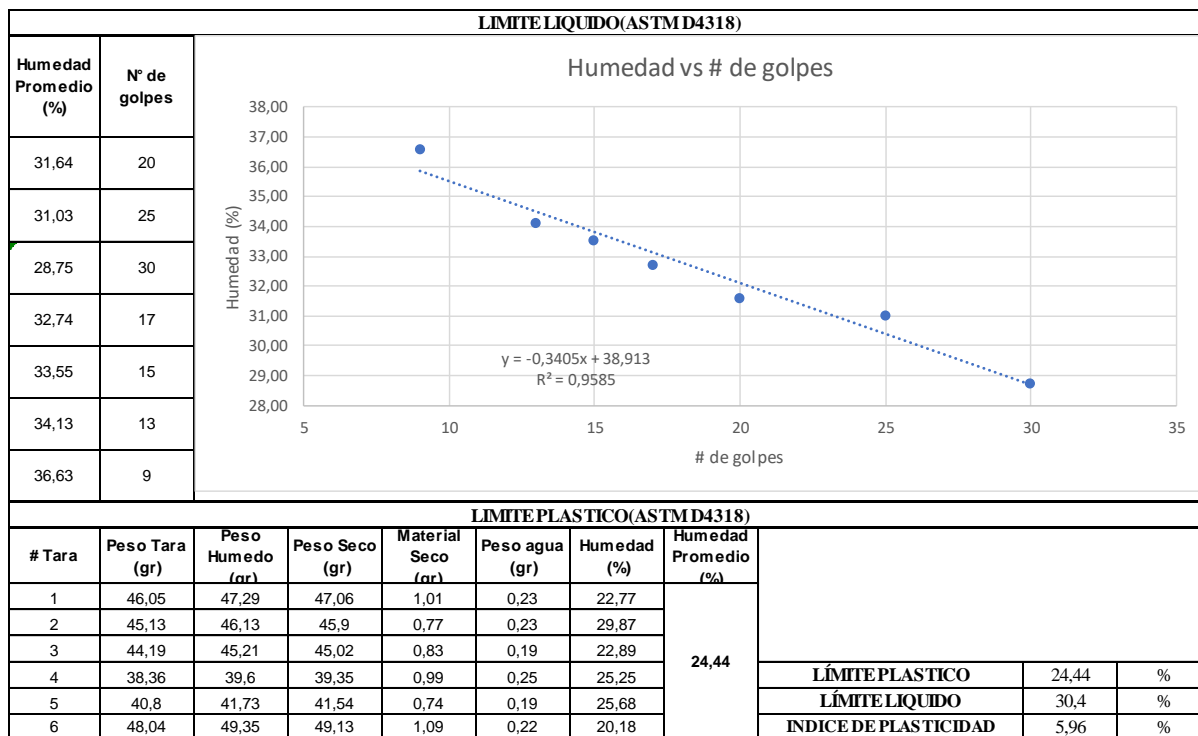


Anexo 53. Ensayo CBR para la sub-base de la mina Santa Isabel



ANALISIS GRANULOMETRICO							
Masa inicial de suelo (m) =		22,921		kg			
Tamiz #	Abertura del tamiz (mm)	Masa Retenida Parcial (kg)	Masa Retenida Acumulada (kg)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa	
3"	76,2	0,000	0,000	0,00	0,00	100,00	
2 1/2"	63,0	0,000	0,000	0,00	0,00	100,00	
2"	50,8	0,000	0,000	0,00	0,00	100,00	
1 1/2"	38,1	0,438	0,438	1,91	1,91	98,09	
1"	25,4	1,684	2,122	7,35	9,26	90,74	
3/4"	19,1	2,113	4,235	9,22	18,48	81,52	
1/2"	12,7	2,271	6,506	9,91	28,38	71,62	
3/8"	9,5	1,454	7,960	6,34	34,73	65,27	
# 4	4,75	3,016	10,976	13,16	47,89	52,11	
Fondo	---	11,485	22,461	50,11	98	2,01	
Masa inicial de suelo (m) =		2000		gr			
Tamiz #	Abertura del tamiz (mm)	Masa Retenida Parcial (gr)	Masa Retenida Acumulada (gr)	% Retenido (sin hacer la Ligadura)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
4	4,75	10,5	10,5	0,53	0,27	48,16	51,84
8	2,36	210,13	220,63	10,51	5,48	53,64	46,36
10	2,00	60,49	281,12	3,02	1,58	55,21	44,79
16	1,18	204,85	485,97	10,24	5,34	60,55	39,45
20	0,85	130,6	616,57	6,53	3,40	63,95	36,05
30	0,60	142,5	759,07	7,13	3,71	67,67	32,33
40	0,425	143,23	902,3	7,16	3,73	71,40	28,60
50	0,30	126,1	1028,4	6,31	3,29	74,68	25,32
100	0,15	230,36	1258,76	11,52	6,00	80,69	19,31
200	0,075	122,65	1381,41	6,13	3,20	83,88	16,12
Fondo	---	30,24	1411,65	1,51	0,79	85	---
ERROR FRACCION GRUESA				GRAFICO			
Wo =		22,921	kg	Abertura del tamiz (mm)	% Que Pasa		
W (MATERIAL RETENIDO EN EL FONDO)=		11,485	kg	76,200	100,000		
W1 (MATERIAL RETENIDO EN TODOS LOS TA		10,976	kg	63,000	100,000		
W + W1 =		22,461	kg	50,800	100,00		
ERROR = Wo - (W + W1) =		0,460	kg	38,100	98,09		
<b>ERROR (%) =</b>		<b>2,01</b>	<b>%</b>	25,400	90,74		
<b>suelo luego de lavar sobre el tamiz 200)</b>				19,100	81,52		
Masa inicial m =		2000	gr	12,700	71,62		
Masa (luego de lavar sobre el tamiz 200) m1		1411,79	gr	9,520	65,27		
Masa de finos: m2 = m - m1 =		588,21	gr	4,750	52,11		
ERROR FRACCION FINA				2,360	46,36		
Wo =		2000	gr	2,000	44,79		
W (finos perdidos en el lavado + finos de ta		618,45	gr	1,180	39,45		
W1 (masa retenida tamiz 4 al 200) =		1381,41	gr	0,850	36,05		
W + W1 =		1999,86	gr	0,600	32,33		
ERROR = Wo - (W + W1) =		0,14	gr	0,425	28,60		
<b>ERROR (%) =</b>		<b>0,01</b>	<b>%</b>	0,300	25,32		
				0,150	19,31		
				0,075	16,12		

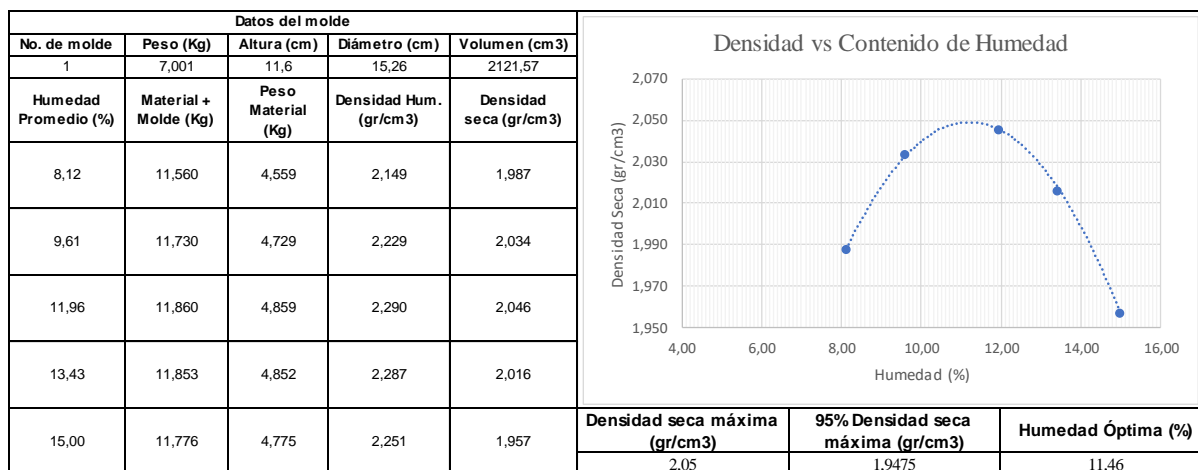
Anexo 54. Análisis granulométrico para el mejoramiento de Santa Isabel.



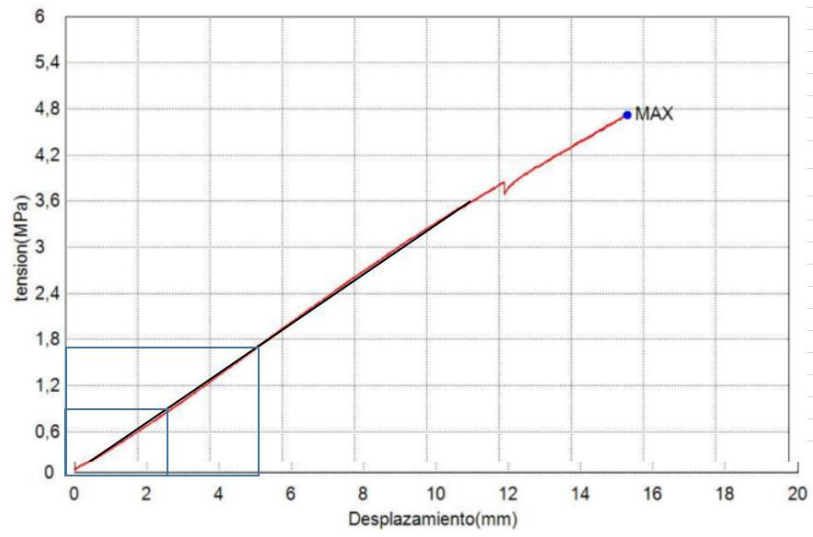
Anexo 55. Análisis de límites de Atterberg para el mejoramiento de la mina Sata Isabel.

<b>ABRASIÓN (NTE INEN 860)</b>		
<b>METODO C</b>		
<b>PASA (1 1/2) Y RETIENE (1)</b>	-	gr
<b>PASA (1) Y RETIENE (3/4)</b>	-	gr
<b>PASA (3/4) Y RETIENE (1/2)</b>	2500	gr
<b>PASA (1/2) Y RETIENE (3/8)</b>	2495	gr
<b>MATERIAL INICIAL</b>	4995	gr
<b>MATERIAL SOBRE TAMIZ 12</b>	3603,03	gr
<b>ABRASIÓN (%)</b>	27,87	%

Anexo 56. Ensayo de abrasión para el material de mejoramiento de la mina Santa Isabel.



Anexo 57. Ensayo Proctor modificado para el mejoramiento de la mina Santa Isabel.



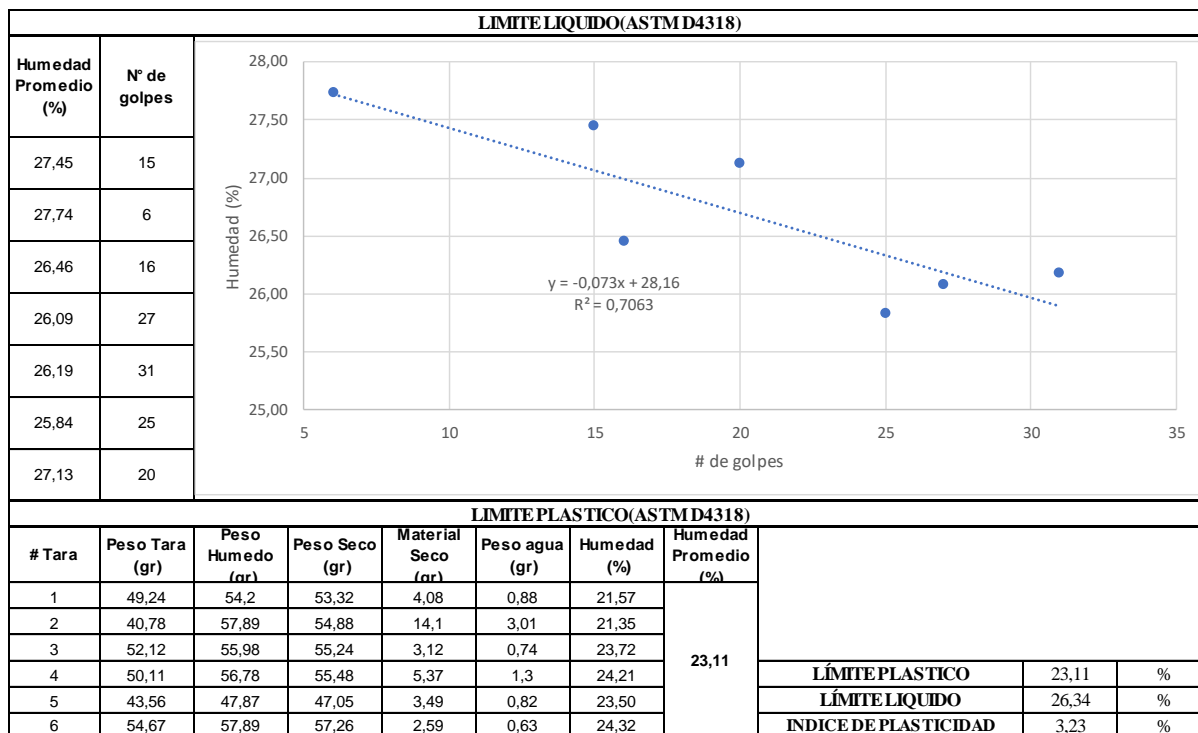
Anexo 58. Ensayo CBR para el mejoramiento de la mina Santa Isabel.



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO							
Masa inicial de suelo (m) = 20,704 kg							
Tamiz #	Abertura del tamiz (mm)	Masa Retenida Parcial (kg)	Masa Retenida Acumulada (kg)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa	
3"	76,2	0,000	0,000	0,00	0,00	100,00	
2 1/2"	63,0	0,000	0,000	0,00	0,00	100,00	
2"	50,8	0,333	0,333	1,61	1,61	98,39	
1 1/2"	38,1	1,050	1,383	5,07	6,68	93,32	
1"	25,4	2,721	4,104	13,14	19,82	80,18	
3/4"	19,1	1,896	6,000	9,16	28,98	71,02	
1/2"	12,7	1,692	7,692	8,17	37,15	62,85	
3/8"	9,5	0,980	8,672	4,73	41,89	58,11	
# 4	4,75	1,675	10,347	8,09	49,98	50,02	
Fondo	---	10,293	20,640	49,72	100	0,31	
Masa inicial de suelo (m) = 2000 gr							
Tamiz #	Abertura del tamiz (mm)	Masa Retenida Parcial (gr)	Masa Retenida Acumulada (gr)	% Retenido (sin hacer la Ligadura)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
4	4,75	25,9	25,9	1,30	0,65	50,62	49,38
8	2,36	260,98	286,88	13,05	6,53	57,15	42,85
10	2,00	69,12	356	3,46	1,73	58,88	41,12
16	1,18	208,05	564,05	10,40	5,20	64,08	35,92
20	0,85	115,12	679,17	5,76	2,88	66,96	33,04
30	0,60	123,5	802,68	6,18	3,09	70,05	29,95
40	0,425	138,24	940,9	6,91	3,46	73,51	26,49
50	0,30	118,4	1059,3	5,92	2,96	76,47	23,53
100	0,15	259,12	1318,46	12,96	6,48	82,95	17,05
200	0,075	159,11	1477,57	7,96	3,98	86,93	13,07
Fondo	---	30,22	1507,79	1,51	0,76	88	---
ERROR FRACCION GRUESA				GRAFICO			
Wo =		20,704	kg	Abertura del tamiz (mm)	% Que Pasa		
W (MATERIAL RETENIDO EN EL FONDO)=		10,293	kg	76,200	100,000		
W1 (MATERIAL RETENIDO EN TODOS LOS TA		10,347	kg	63,000	100,000		
W + W1 =		20,640	kg	50,800	98,39		
ERROR = Wo - (W + W1) =		0,064	kg	38,100	93,32		
<b>ERROR (%) =</b>		<b>0,31</b>	<b>%</b>	25,400	80,18		
<b>suelo luego de lavar sobre el tamiz 200)</b>				19,100	71,02		
Masa inicial m =		2000	gr	12,700	62,85		
Masa (luego de lavar sobre el tamiz 200) m1		1509,1	gr	9,520	58,11		
Masa de finos: m2 = m - m1 =		490,9	gr	4,750	50,02		
<b>ERROR FRACCION FINA</b>				2,360	42,85		
Wo =		2000	gr	2,000	41,12		
W (finos perdidos en el lavado + finos de ta		521,12	gr	1,180	35,92		
W1 (masa retenida tamiz 4 al 200) =		1477,57	gr	0,850	33,04		
W + W1 =		1998,69	gr	0,600	29,95		
ERROR = Wo - (W + W1) =		1,31	gr	0,425	26,49		
<b>ERROR (%) =</b>		<b>0,07</b>	<b>%</b>	0,300	23,53		
				0,150	17,05		
				0,075	13,25		

Anexo 59. Análisis granulométrico para la sub-base de la mina Santa Isabel

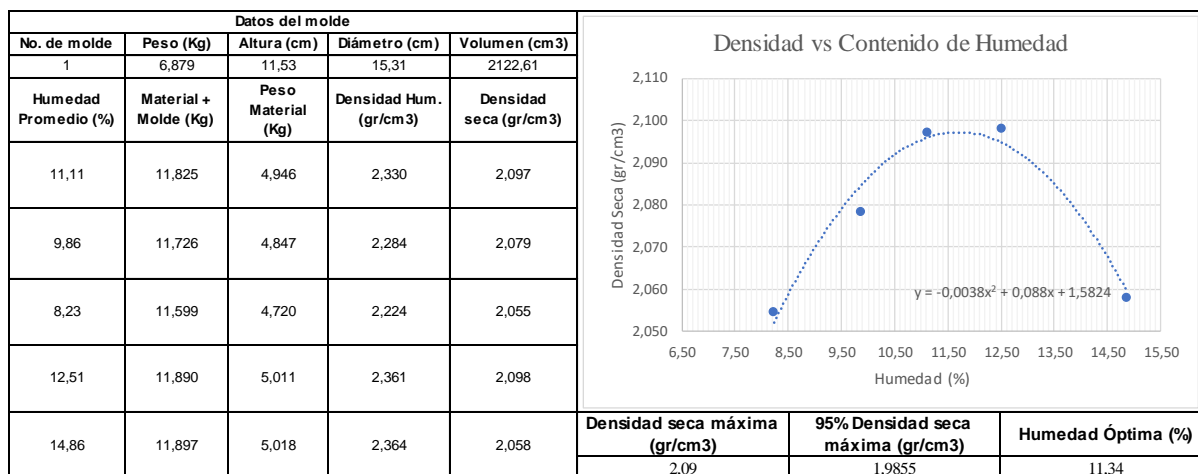




Anexo 60. Límites de Atterberg para la sub-base de la mina Santa Isabel.

<b>ABRASIÓN (NTE INEN 860)</b>		
<b>METODO C</b>		
<b>PASA (1 1/2) Y RETIENE (1)</b>	-	gr
<b>PASA (1) Y RETIENE (3/4)</b>	-	gr
<b>PASA (3/4) Y RETIENE (1/2)</b>	2497	gr
<b>PASA (1/2) Y RETIENE (3/8)</b>	2498	gr
<b>MATERIAL INICIAL</b>	4995	gr
<b>MATERIAL SOBRE TAMIZ 12</b>	3721,23	gr
<b>ABRASIÓN (%)</b>	25,50	%

Anexo 61. Ensayo de abrasión para la sub-base de la mina Santa Isabel.



Anexo 62. Ensayo Proctor modificado para mejoramiento de la mina Santa Isabel.

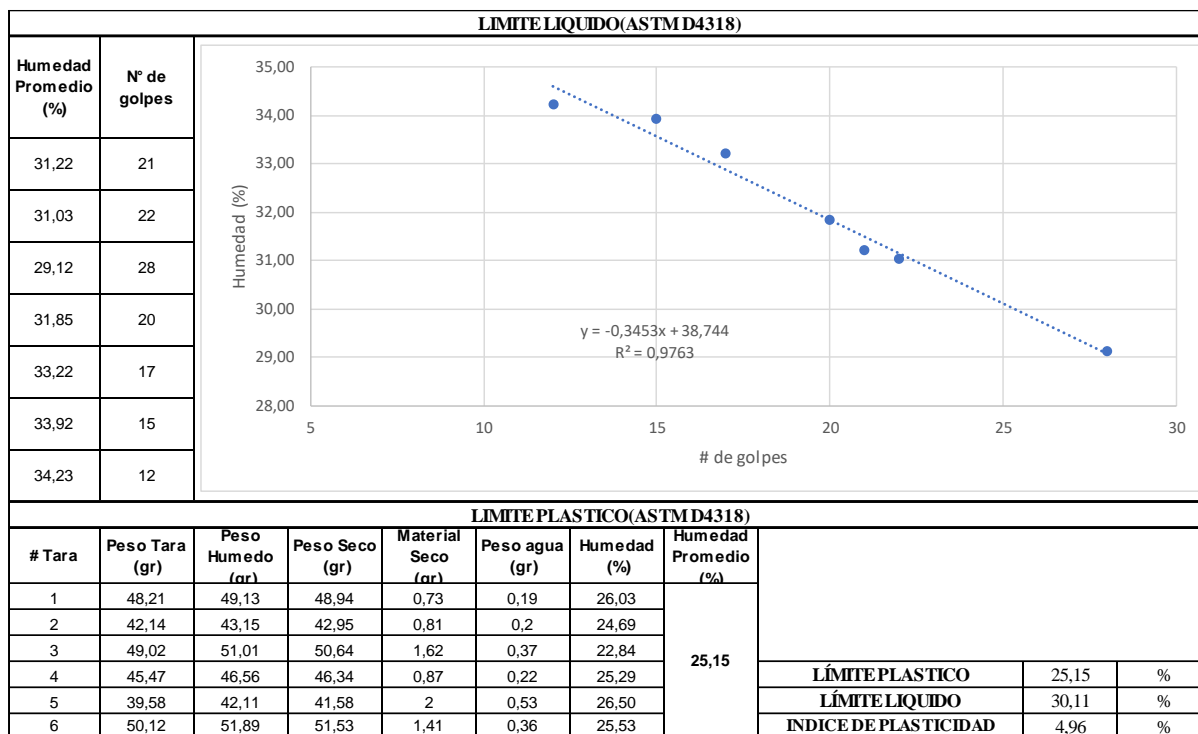


ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO							
Masa inicial de suelo (m) = 21,12 kg							
Tamiz #	Abertura del tamiz (mm)	Masa Retenida Parcial (kg)	Masa Retenida Acumulada (kg)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa	
3"	76,2	0,000	0,000	0,00	0,00	100,00	
2 1/2"	63,0	0,000	0,000	0,00	0,00	100,00	
2"	50,8	0,000	0,000	0,00	0,00	100,00	
1 1/2"	38,1	0,415	0,415	1,96	1,96	98,04	
1"	25,4	1,583	1,998	7,50	9,46	90,54	
3/4"	19,1	1,982	3,980	9,38	18,84	81,16	
1/2"	12,7	2,129	6,109	10,08	28,93	71,07	
3/8"	9,5	1,364	7,473	6,46	35,38	64,62	
# 4	4,75	2,839	10,312	13,44	48,83	51,17	
Fondo	---	10,780	21,092	51,04	100	0,13	
Masa inicial de suelo (m) = 2000 gr							
Tamiz #	Abertura del tamiz (mm)	Masa Retenida Parcial (gr)	Masa Retenida Acumulada (gr)	% Retenido (sin hacer la Ligadura)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
4	4,75	10,5	10,5	0,52	0,27	49,09	50,91
8	2,36	213,41	223,87	10,67	5,46	54,55	45,45
10	2,00	61,23	285,1	3,06	1,57	56,12	43,88
16	1,18	204,19	489,29	10,21	5,22	61,35	38,65
20	0,85	131,09	620,38	6,55	3,35	64,70	35,30
30	0,60	142,8	763,14	7,14	3,65	68,35	31,65
40	0,425	143,67	906,8	7,18	3,68	72,03	27,97
50	0,30	127,2	1034,0	6,36	3,26	75,28	24,72
100	0,15	230,14	1264,17	11,51	5,89	81,17	18,83
200	0,075	122,94	1387,11	6,15	3,15	84,32	15,68
Fondo	---	10,52	1397,63	0,53	0,27	85	---

ERROR FRACCION GRUESA				GRAFICO	
Wo =	21,12	kg		Abertura del tamiz (mm)	% Que Pasa
W (MATERIAL RETENIDO EN EL FONDO)=	10,780	kg		76,200	100,000
W1 (MATERIAL RETENIDO EN TODOS LOS TA	10,312	kg		63,000	100,000
W + W1 =	21,092	kg		50,800	100,00
ERROR = Wo - (W + W1) =	0,028	kg		38,100	98,04
<b>ERROR (%) =</b>	<b>0,13</b>	<b>%</b>		25,400	90,54
<b>suelo luego de lavar sobre el tamiz 200)</b>				19,100	81,16
Masa inicial m =	2000	gr		12,700	71,07
Masa (luego de lavar sobre el tamiz 200) m1	1400,1	gr		9,520	64,62
Masa de finos: m2 = m - m1 =	599,9	gr		4,750	51,17
<b>ERROR FRACCION FINA</b>				2,360	45,45
Wo =	2000	gr		2,000	43,88
W (finos perdidos en el lavado + finos de ta	610,42	gr		1,180	38,65
W1 (masa retenida tamiz 4 al 200) =	1387,11	gr		0,850	35,30
W + W1 =	1997,53	gr		0,600	31,65
ERROR = Wo - (W + W1) =	2,47	gr		0,425	27,97
<b>ERROR (%) =</b>	<b>0,12</b>	<b>%</b>		0,300	24,72
				0,150	18,83
				0,075	15,68

Anexo 63. Análisis granulométrico para el material mejoramiento de la mina Santa Isabel



Anexo 64. Límites de Atterberg para mejoramiento de la mina Santa Isabel

<b>ABRASIÓN (NTE INEN 860)</b>		
<b>METODO C</b>		
<b>PASA (1 1/2) Y RETIENE (1)</b>	-	gr
<b>PASA (1) Y RETIENE (3/4)</b>	-	gr
<b>PASA (3/4) Y RETIENE (1/2)</b>	2497	gr
<b>PASA (1/2) Y RETIENE (3/8)</b>	2500	gr
<b>MATERIAL INICIAL</b>	4997	gr
<b>MATERIAL SOBRE TAMIZ 12</b>	3700,01	gr
<b>ABRASIÓN (%)</b>	25,96	%

Anexo 65. Ensayo de Abrasión para mejoramiento de la mina Santa Isabel.



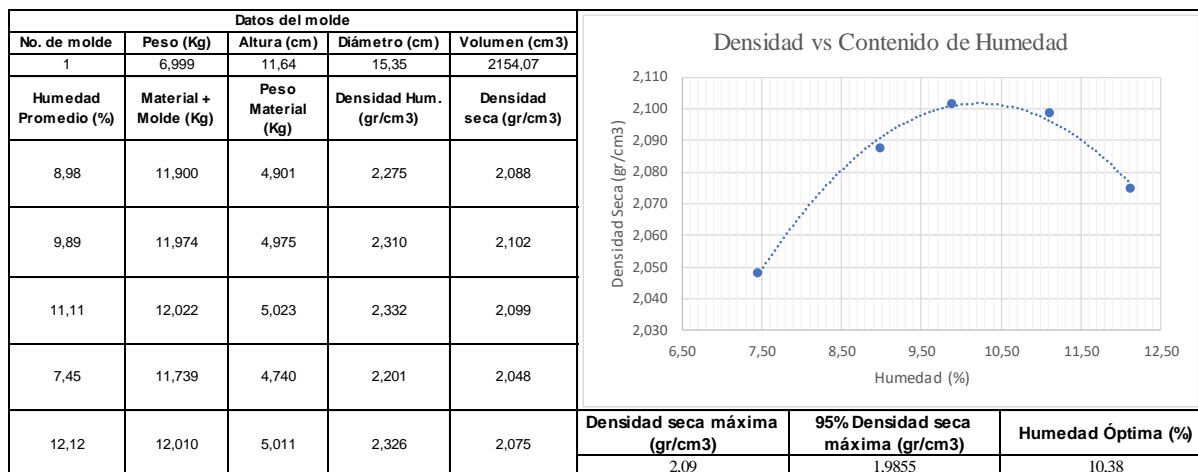
ANALISIS GRANULOMETRICO							
Masa inicial de suelo (m) =		28,523	kg				
Tamiz #	Abertura del tamiz (mm)	Masa Retenida Parcial (kg)	Masa Retenida Acumulada (kg)		% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
3"	76,2	1,576	1,576		5,53	5,53	94,47
2 1/2"	63,0	2,379	3,955		8,34	13,87	86,13
2"	50,8	1,318	5,273		4,62	18,49	81,51
1 1/2"	38,1	1,973	7,246		6,92	25,40	74,60
1"	24,5	2,478	9,724		8,69	34,10	65,90
3/4"	19,1	2,627	12,351		9,22	43,31	56,69
1/2"	12,7	3,302	15,653		11,58	54,90	45,10
3/8"	9,5	2,533	18,186		8,89	63,78	36,22
# 4	4,75	3,497	21,683		12,27	76,05	23,95
Fondo	5,4	6,823	28,506		23,94	100	0,02

Masa inicial de suelo (m) =		1011,38	gr				
Tamiz #	Abertura del tamiz (mm)	Masa Retenida Parcial (gr)	Masa Retenida Acumulada (gr)	% Retenido (sin hacer la Ligadura)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
4	4,75	15,7	15,7	1,55	0,37	76,42	23,58
8	2,36	252,30	268,02	24,95	5,97	82,40	17,60
10	2,00	42,62	310,64	4,21	1,01	83,41	16,59
16	1,18	117,05	427,69	11,57	2,77	86,18	13,82
20	0,85	49,68	477,37	4,91	1,18	87,35	12,65
30	0,60	38,0	515,41	3,76	0,90	88,25	11,75
40	0,425	33,39	548,8	3,30	0,79	89,05	10,95
50	0,30	22,4	571,2	2,21	0,53	89,58	10,42
100	0,15	41,57	612,74	4,11	0,98	90,56	9,44
200	0,075	31,08	643,82	3,07	0,74	91,30	8,70
Fondo	---	5,69	649,51	0,56	0,13	91	---

ERROR FRACCION GRUESA			GRAFICO	
Wo =	28,523	kg	Abertura del tamiz (mm)	% Que Pasa
W (MATERIAL RETENIDO EN EL FONDO)=	6,823	kg	76,200	94,475
W1 (MATERIAL RETENIDO EN TODOS LOS TA	21,683	kg	63,000	86,134
W + W1 =	28,506	kg	50,800	81,513
ERROR = Wo - (W + W1) =	0,017	kg	38,100	74,596
ERROR (%) =	0,06	%	24,500	65,903
			19,100	56,687
			12,700	45,104
FRACCION FINA (Masa de suelo luego de lavar sobre el tamiz 200)				
Masa inicial m =	1011,38	gr	9,520	36,218
Masa (luego de lavar sobre el tamiz 200) m1	649,39	gr	4,750	23,950
Masa de finos: m2 = m - m1 =	361,99	gr	2,360	17,603
			2,000	16,594
			1,180	13,822
ERROR FRACCION FINA				
Wo =	1011,38	gr	0,850	12,646
W (finos perdidos en el lavado + finos de ta	367,68	gr	0,600	11,745
W1 (masa retenida tamiz 4 al 200) =	643,82	gr	0,425	10,954
W + W1 =	1011,50	gr	0,300	10,425
ERROR = Wo - (W + W1) =	-0,12	gr	0,150	9,440
ERROR (%) =	0,01	%	0,075	8,704



## Anexo 66. Análisis granulométrico mezcla mejoramiento Llatcon 95% - cemento 5%



Anexo 67. Ensayo Proctor modificado para la mezcla mejoramiento Llatcon 95% - cemento 5%

ABRASIÓN (NTE INEN 860)		
METODO B		
PASA (1 1/2) Y RETIENE (1)	1250	gr
PASA (1) Y RETIENE (3/4)	1250	gr
PASA (3/4) Y RETIENE (1/2)	1250	gr
PASA (1/2) Y RETIENE (3/8)	1250	gr
MATERIAL INICIAL	5000	gr
MATERIAL SOBRE TAMIZ 12	3507,01	gr
ABRASIÓN (%)	29,86	%

Anexo 68. Ensayo de abrasión para la mezcla mejoramiento Llatcon 95% - cemento 5%



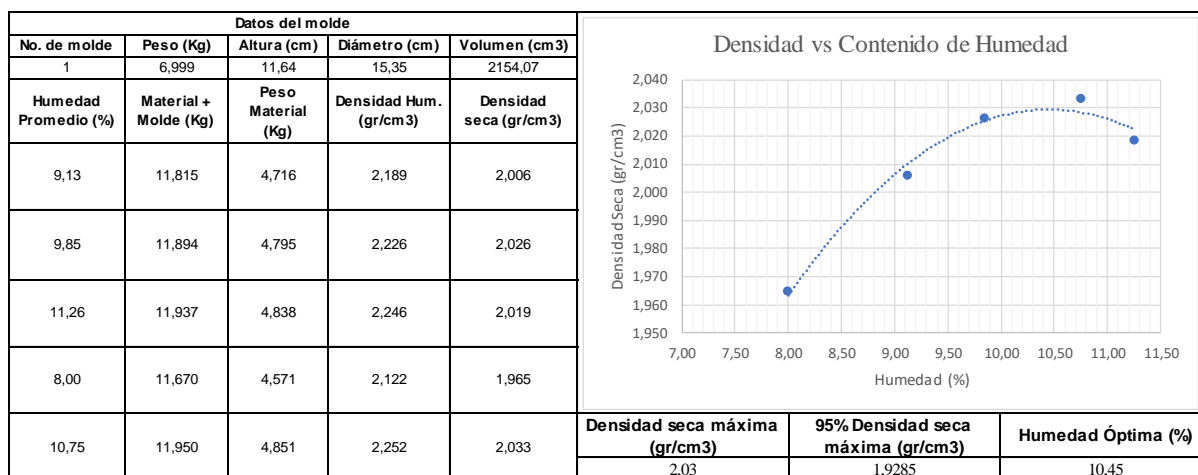
ANALISIS GRANULOMETRICO							
Masa inicial de suelo (m) =		29,094	kg				
Tamiz #	Abertura del tamiz (mm)	Masa Retenida Parcial (kg)	Masa Retenida Acumulada (kg)		% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
3"	76,2	1,576	1,576		5,42	5,42	94,58
2 1/2"	63,0	2,379	3,955		8,18	13,59	86,41
2"	50,8	1,318	5,273		4,53	18,12	81,88
1 1/2"	38,1	1,973	7,246		6,78	24,91	75,09
1"	24,5	2,478	9,724		8,52	33,43	66,57
3/4"	19,1	2,627	12,351		9,03	42,46	57,54
1/2"	12,7	3,302	15,653		11,36	53,82	46,18
3/8"	9,5	2,533	18,186		8,71	62,53	37,47
# 4	4,75	3,497	21,683		12,03	74,56	25,44
Fondo	5,4	7,394	29,077		25,43	100	0,01

Masa inicial de suelo (m) =		1225,694	gr				
Tamiz #	Abertura del tamiz (mm)	Masa Retenida Parcial (gr)	Masa Retenida Acumulada (gr)	% Retenido (sin hacer la Ligadura)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
4	4,75	14,9	14,9	1,21	0,31	74,87	25,13
8	2,36	251,43	266,32	20,51	5,22	80,08	19,92
10	2,00	43,1	309,42	3,52	0,89	80,98	19,02
16	1,18	116,97	426,39	9,54	2,43	83,41	16,59
20	0,85	49,6	475,99	4,05	1,03	84,44	15,56
30	0,60	38,1	514,09	3,11	0,79	85,23	14,77
40	0,425	33,42	547,5	2,73	0,69	85,92	14,08
50	0,30	22,3	569,8	1,82	0,46	86,38	13,62
100	0,15	41,52	611,31	3,39	0,86	87,25	12,75
200	0,075	31,12	642,43	2,54	0,65	87,89	12,11
Fondo	---	3,11	645,54	0,25	0,06	88	---

ERROR FRACCION GRUESA			GRAFICO	
Wo =	29,094	kg	Abertura del tamiz (mm)	% Que Pasa
W (MATERIAL RETENIDO EN EL FONDO)=	7,394	kg	76,200	94,583
W1 (MATERIAL RETENIDO EN TODOS LOS TA	21,683	kg	63,000	86,406
W + W1 =	29,077	kg	50,800	81,876
ERROR = Wo - (W + W1) =	0,017	kg	38,100	75,095
ERROR (%) =	0,06	%	24,500	66,572
			19,100	57,538
<b>FRACCION FINA (Masa de suelo luego de lavar sobre el tamiz 200)</b>			12,700	46,182
Masa inicial m =	1225,694	gr	9,520	37,470
Masa (luego de lavar sobre el tamiz 200) m1	646,09	gr	4,750	25,444
Masa de finos: m2 = m - m1 =	579,604	gr	2,360	19,915
			2,000	19,020
<b>ERROR FRACCION FINA</b>			1,180	16,592
Wo =	1225,694	gr	0,850	15,563
W (finos perdidos en el lavado + finos de ta	582,71	gr	0,600	14,772
W1 (masa retenida tamiz 4 al 200) =	642,43	gr	0,425	14,078
W + W1 =	1225,14	gr	0,300	13,616
ERROR = Wo - (W + W1) =	0,55	gr	0,150	12,754
ERROR (%) =	0,04	%	0,075	12,108



Anexo 69. Análisis granulométrico mezcla mejoramiento Llatcon 93% - cemento 7%



Anexo 70. Ensayo Proctor modificado para la mezcla mejoramiento Llatcon 93% - cemento 7%

ABRASIÓN (NTE INEN 860)		
METODO B		
PASA (1 1/2) Y RETIENE (1)	1250	gr
PASA (1) Y RETIENE (3/4)	1250	gr
PASA (3/4) Y RETIENE (1/2)	1250	gr
PASA (1/2) Y RETIENE (3/8)	1250	gr
MATERIAL INICIAL	5000	gr
MATERIAL SOBRE TAMIZ 12	3565,76	gr
ABRASIÓN (%)	28,68	%

Anexo 71. Ensayo de abrasión para la mezcla mejoramiento Llatcon 93% - cemento 7%



ANALISIS GRANULOMETRICO							
Masa inicial de suelo (m) =		29,664		kg			
Tamiz #	Abertura del tamiz (mm)	Masa Retenida Parcial (kg)	Masa Retenida Acumulada (kg)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa	
3"	76,2	1,576	1,576	5,31	5,31	94,69	
2 1/2"	63,0	2,379	3,955	8,02	13,33	86,67	
2"	50,8	1,318	5,273	4,44	17,78	82,22	
1 1/2"	38,1	1,973	7,246	6,65	24,43	75,57	
1"	24,5	2,478	9,724	8,36	32,78	67,22	
3/4"	19,1	2,627	12,351	8,86	41,65	58,35	
1/2"	12,7	3,302	15,653	11,14	52,78	47,22	
3/8"	9,5	2,533	18,186	8,54	61,33	38,67	
# 4	4,75	3,497	21,683	11,80	73,12	26,88	
Fondo	5,4	7,965	29,648	26,87	100	0,01	

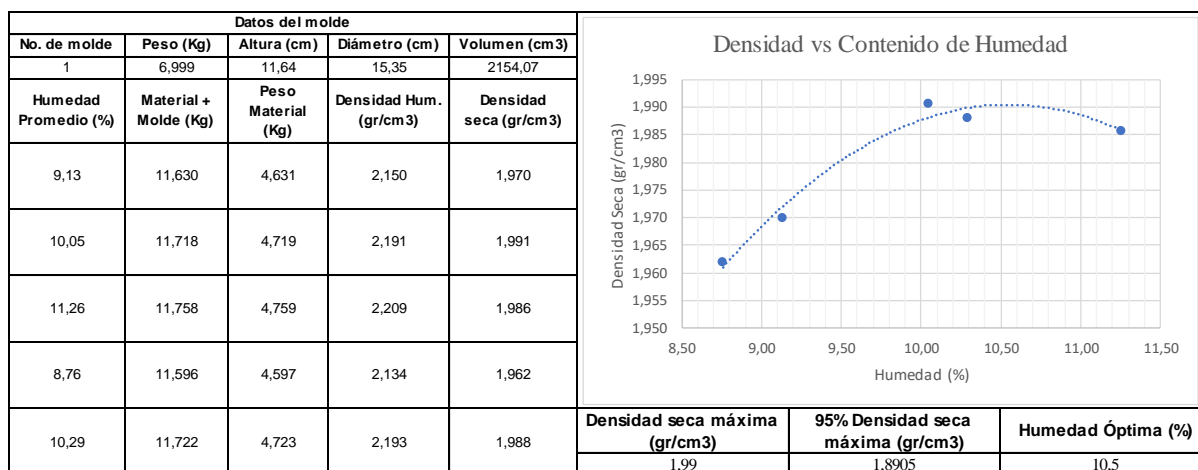
Masa inicial de suelo (m) =		1497,205		gr			
Tamiz #	Abertura del tamiz (mm)	Masa Retenida Parcial (gr)	Masa Retenida Acumulada (gr)	% Retenido (sin hacer la Ligadura)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
4	4,75	15,8	15,8	1,06	0,28	73,41	26,59
8	2,36	254,35	270,15	16,99	4,57	77,97	22,03
10	2,00	42,41	312,56	2,83	0,76	78,73	21,27
16	1,18	117,08	429,64	7,82	2,10	80,83	19,17
20	0,85	48,62	478,26	3,25	0,87	81,71	18,29
30	0,60	38,1	516,38	2,55	0,68	82,39	17,61
40	0,425	33,42	549,8	2,23	0,60	82,99	17,01
50	0,30	22,5	572,3	1,50	0,40	83,40	16,60
100	0,15	41,6	613,9	2,78	0,75	84,14	15,86
200	0,075	31,1	645	2,08	0,56	84,70	15,30
Fondo	---	2,14	647,14	0,14	0,04	85	---

ERROR FRACCION GRUESA			GRAFICO	
Wo =	29,664	kg	Abertura del tamiz (mm)	% Que Pasa
W (MATERIAL RETENIDO EN EL FONDO)=	7,965	kg	76,200	94,687
W1 (MATERIAL RETENIDO EN TODOS LOS TA	21,683	kg	63,000	86,667
W + W1 =	29,648	kg	50,800	82,224
ERROR = Wo - (W + W1) =	<b>0,016</b>	<b>kg</b>	38,100	75,573
<b>ERROR (%) =</b>	<b>0,05</b>	<b>%</b>	24,500	67,215
			19,100	58,354
<b>FRACCION FINA (Masa de suelo luego de lavar sobre el tamiz 200)</b>			12,700	47,217
Masa inicial m =	1497,205	gr	9,520	38,673
Masa (luego de lavar sobre el tamiz 200) m1	647,39	gr	4,750	26,878
Masa de finos: m2 = m - m1 =	849,815	gr	2,360	22,029
			2,000	21,267
<b>ERROR FRACCION FINA</b>			1,180	19,165
Wo =	1497,205	gr	0,850	18,292
W (finos perdidos en el lavado + finos de ta	851,96	gr	0,600	17,608
W1 (masa retenida tamiz 4 al 200) =	645,00	gr	0,425	17,008
W + W1 =	1496,96	gr	0,300	16,604
ERROR = Wo - (W + W1) =	0,25	gr	0,150	15,857
<b>ERROR (%) =</b>	<b>0,02</b>	<b>%</b>	0,075	15,299





## Anexo 72. Análisis granulométrico mezcla mejoramiento Llatcon 91% - cemento 9%



Anexo 73. Ensayo Proctor modificado para la mezcla mejoramiento Llatcon 91% - cemento 9%

ABRASIÓN (NTE INEN 860)		
METODO B		
PASA (1 1/2) Y RETIENE (1)	1250	gr
PASA (1) Y RETIENE (3/4)	1250	gr
PASA (3/4) Y RETIENE (1/2)	1250	gr
PASA (1/2) Y RETIENE (3/8)	1250	gr
MATERIAL INICIAL	5000	gr
MATERIAL SOBRE TAMIZ 12	3498,2	gr
ABRASIÓN (%)	30,04	%

Anexo 74. Ensayo de abrasión para la mezcla mejoramiento Llatcon 91% - cemento 9%



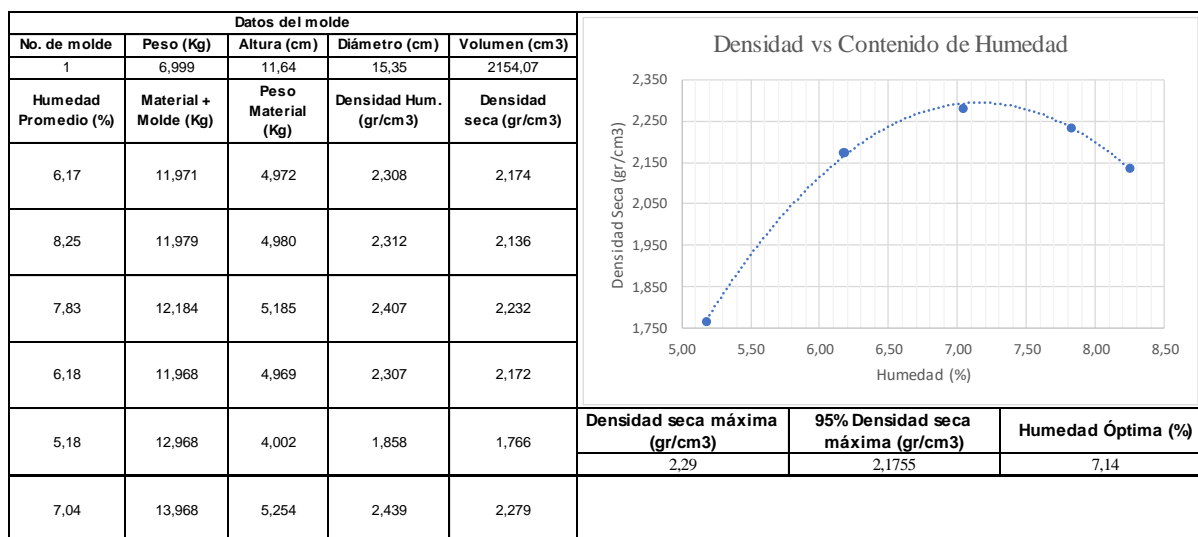
ANALISIS GRANULOMETRICO							
Masa inicial de suelo (m) =		31,141	kg				
Tamiz #	Abertura del tamiz (mm)	Masa Retenida Parcial (kg)	Masa Retenida Acumulada (kg)		% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
3"	76,2	0,000	0,000		0,00	0,00	100,00
2 1/2"	63,0	0,000	0,000		0,00	0,00	100,00
2"	50,8	0,000	0,000		0,00	0,00	100,00
1 1/2"	38,1	0,000	0,000		0,00	0,00	100,00
1"	25,4	1,784	1,784		5,73	5,73	94,27
3/4"	19,1	4,296	6,080		13,79	19,52	80,48
1/2"	12,7	5,774	11,854		18,54	38,06	61,94
3/8"	9,5	2,652	14,506		8,51	46,57	53,43
# 4	4,75	5,313	19,819		17,06	63,63	36,37
Fondo	---	11,327	31,146		36,37	100	0,00

Masa inicial de suelo (m) =		1762,235	gr				
Tamiz #	Abertura del tamiz (mm)	Masa Retenida Parcial (gr)	Masa Retenida Acumulada (gr)	% Retenido (sin hacer la Ligadura)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
4	4,75	1,1	1,1	0,06	0,02	63,66	36,34
8	2,36	279,88	281,01	15,88	5,78	69,43	30,57
10	2,00	72,05	353,06	4,09	1,49	70,92	29,08
16	1,18	192,43	545,49	10,92	3,97	74,89	25,11
20	0,85	109,97	655,46	6,24	2,27	77,16	22,84
30	0,60	95,7	751,19	5,43	1,98	79,13	20,87
40	0,425	90,14	841,3	5,12	1,86	81,00	19,00
50	0,30	69,2	910,6	3,93	1,43	82,42	17,58
100	0,15	122,46	1033,02	6,95	2,53	84,95	15,05
200	0,075	59,2	1092,22	3,36	1,22	86,17	13,83
Fondo	---	27,87	1120,09	1,58	0,58	87	---

ERROR FRACCION GRUESA			GRAFICO	
Wo =	31,141	kg	Abertura del tamiz (mm)	% Que Pasa
W (MATERIAL RETENIDO EN EL FONDO)=	11,327	kg	76,200	100,000
W1 (MATERIAL RETENIDO EN TODOS LOS TA	19,819	kg	63,000	100,000
W + W1 =	31,146	kg	50,800	100,000
ERROR = Wo - (W + W1) =	-0,005	kg	38,100	100,000
ERROR (%) =	0,02	%	25,400	94,272
			19,100	80,479
FRACCION FINA (Masa de suelo luego de lavar sobre el tamiz 200)			12,700	61,941
Masa inicial m =	1762,235	gr	9,520	53,426
Masa (luego de lavar sobre el tamiz 200) m1	1120,18	gr	4,750	36,367
Masa de finos: m2 = m - m1 =	642,055	gr	2,360	30,568
			2,000	29,081
ERROR FRACCION FINA			1,180	25,110
Wo =	1762,235	gr	0,850	22,841
W (finos perdidos en el lavado + finos de ta	669,93	gr	0,600	20,865
W1 (masa retenida tamiz 4 al 200) =	1092,22	gr	0,425	19,005
W + W1 =	1762,15	gr	0,300	17,576
ERROR = Wo - (W + W1) =	0,09	gr	0,150	15,049
ERROR (%) =	0,01	%	0,075	13,827



Anexo 75. Análisis granulométrico mezcla base Higuera 95% - cemento 5%.



Anexo 76. Ensayo Proctor modificado para la mezcla base Higuera 95% - cemento 5%

<b>ABRASIÓN (NTE INEN 860)</b>		
<b>METODO A</b>		
<b>PASA (1 1/2) Y RETIENE (1)</b>	2500	gr
<b>PASA (1) Y RETIENE (3/4)</b>	2500	gr
<b>PASA (3/4) Y RETIENE (1/2)</b>	2500	gr
<b>PASA (1/2) Y RETIENE (3/8)</b>	2500	gr
<b>MATERIAL INICIAL</b>	10000	gr
<b>MATERIAL SOBRE TAMIZ 12</b>	9022,23	gr
<b>ABRASIÓN (%)</b>	9,78	%

Anexo 77. Ensayo de abrasión para la mezcla base Higuera 95% - cemento 5%



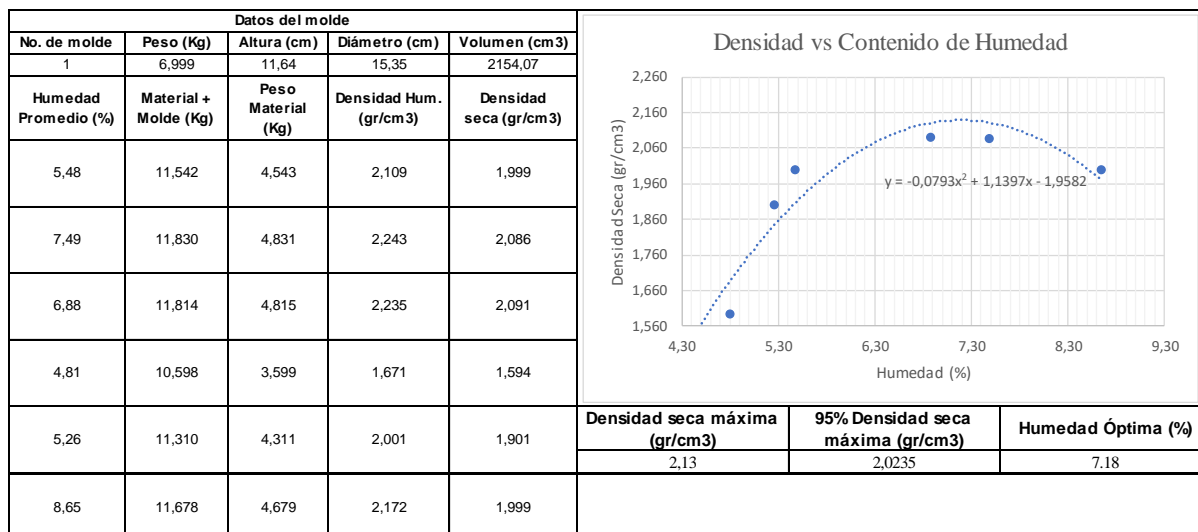
ANALISIS GRANULOMETRICO							
Masa inicial de suelo (m) =		31,763	kg				
Tamiz #	Abertura del tamiz (mm)	Masa Retenida Parcial (kg)	Masa Retenida Acumulada (kg)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa	
3"	76,2	0,000	0,000	0,00	0,00	100,00	
2 1/2"	63,0	0,000	0,000	0,00	0,00	100,00	
2"	50,8	0,000	0,000	0,00	0,00	100,00	
1 1/2"	38,1	0,000	0,000	0,00	0,00	100,00	
1"	25,4	1,784	1,784	5,62	5,62	94,38	
3/4"	19,1	4,296	6,080	13,53	19,14	80,86	
1/2"	12,7	5,774	11,854	18,18	37,32	62,68	
3/8"	9,5	2,652	14,506	8,35	45,68	54,32	
# 4	4,75	5,313	19,819	16,73	62,40	37,60	
Fondo	---	11,940	31,759	37,60	100	0,00	

Masa inicial de suelo (m) =		1859,48	gr				
Tamiz #	Abertura del tamiz (mm)	Masa Retenida Parcial (gr)	Masa Retenida Acumulada (gr)	% Retenido (sin hacer la Ligadura)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
4	4,75	1,1	1,1	0,06	0,02	62,43	37,57
8	2,36	279,55	280,69	15,03	5,65	68,08	31,92
10	2,00	72,09	352,78	3,88	1,46	69,54	30,46
16	1,18	193,02	545,8	10,38	3,90	73,44	26,56
20	0,85	110,2	656	5,93	2,23	75,67	24,33
30	0,60	95,7	751,65	5,14	1,93	77,60	22,40
40	0,425	90,1	841,8	4,85	1,82	79,42	20,58
50	0,30	68,9	910,6	3,70	1,39	80,82	19,18
100	0,15	122,5	1033,12	6,59	2,48	83,29	16,71
200	0,075	59,25	1092,37	3,19	1,20	84,49	15,51
Fondo	---	8,51	1100,88	0,46	0,17	85	---

ERROR FRACCION GRUESA			GRAFICO	
			Abertura del tamiz (mm)	% Que Pasa
Wo =	31,763	kg		
W (MATERIAL RETENIDO EN EL FONDO)=	11,940	kg	76,200	100,000
W1 (MATERIAL RETENIDO EN TODOS LOS TA	19,819	kg	63,000	100,000
W + W1 =	31,759	kg	50,800	100,000
ERROR = Wo - (W + W1) =	0,004	kg	38,100	100,000
ERROR (%) =	0,01	%	25,400	94,383
			19,100	80,856
<b>FRACCION FINA (Masa de suelo luego de lavar sobre el tamiz 200)</b>			12,700	62,675
Masa inicial m =	1859,48	gr	9,520	54,325
Masa (luego de lavar sobre el tamiz 200) m1	1093	gr	4,750	37,596
Masa de finos: m2 = m - m1 =	766,48	gr	2,360	31,921
			2,000	30,463
<b>ERROR FRACCION FINA</b>			1,180	26,560
Wo =	1859,48	gr	0,850	24,332
W (finos perdidos en el lavado + finos de ta	774,99	gr	0,600	22,399
W1 (masa retenida tamiz 4 al 200) =	1092,37	gr	0,425	20,577
W + W1 =	1867,36	gr	0,300	19,184
ERROR = Wo - (W + W1) =	-7,88	gr	0,150	16,708
ERROR (%) =	0,42	%	0,075	15,510



## Anexo 78. Análisis granulométrico mezcla base Higuera 93% - cemento 7%



## Anexo 79. Ensayo Proctor modificado para la mezcla base Higuera 93% - cemento 7%

ABRASIÓN (NTE INEN 860)		
METODO A		
PASA (1 1/2) Y RETIENE (1)	2500	gr
PASA (1) Y RETIENE (3/4)	2501	gr
PASA (3/4) Y RETIENE (1/2)	2500	gr
PASA (1/2) Y RETIENE (3/8)	2500	gr
MATERIAL INICIAL	10001	gr
MATERIAL SOBRE TAMIZ 12	8997,01	gr
ABRASIÓN (%)	10,04	%

## Anexo 80. Ensayo de abrasión para la mezcla base Higuera 93% - cemento 7%



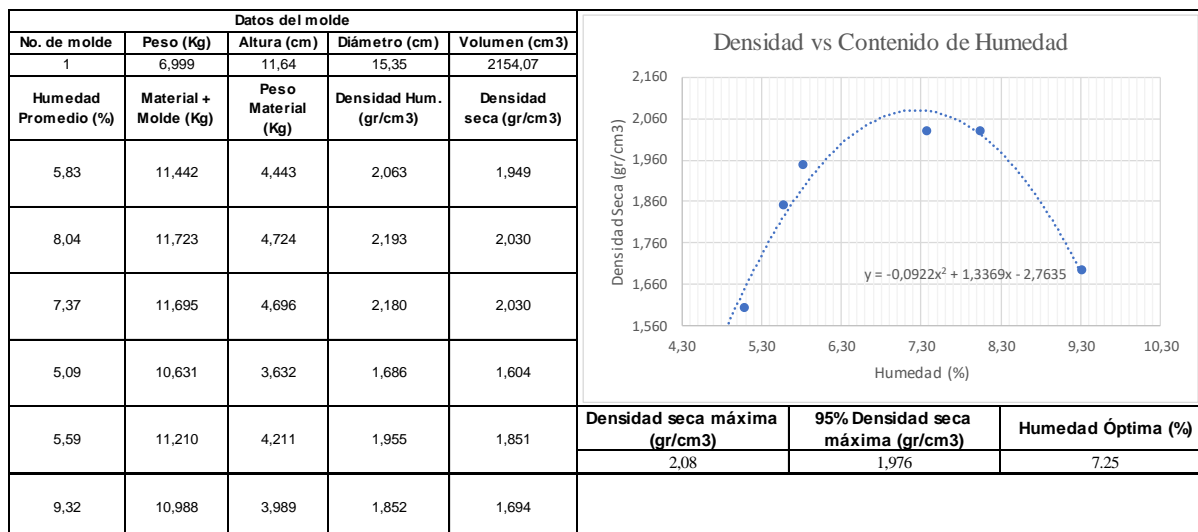
ANALISIS GRANULOMETRICO							
Masa inicial de suelo (m) =		32,386	kg				
Tamiz #	Abertura del tamiz (mm)	Masa Retenida Parcial (kg)	Masa Retenida Acumulada (kg)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa	
3''	76,2	0,000	0,000	0,00	0,00	100,00	
2 1/2''	63,0	0,000	0,000	0,00	0,00	100,00	
2''	50,8	0,000	0,000	0,00	0,00	100,00	
1 1/2''	38,1	0,000	0,000	0,00	0,00	100,00	
1''	25,4	1,784	1,784	5,51	5,51	94,49	
3/4''	19,1	4,296	6,080	13,27	18,78	81,22	
1/2''	12,7	5,774	11,854	17,83	36,61	63,39	
3/8''	9,5	2,652	14,506	8,19	44,80	55,20	
# 4	4,75	5,313	19,819	16,41	61,21	38,79	
Fondo	---	12,560	32,379	38,79	100	0,00	

Masa inicial de suelo (m) =		1956,6	gr				
Tamiz #	Abertura del tamiz (mm)	Masa Retenida Parcial (gr)	Masa Retenida Acumulada (gr)	% Retenido (sin hacer la Ligadura)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
4	4,75	1,2	1,2	0,06	0,02	61,23	38,77
8	2,36	284,30	285,48	14,53	5,64	66,87	33,13
10	2,00	71,84	357,32	3,67	1,42	68,29	31,71
16	1,18	191,67	548,99	9,80	3,80	72,09	27,91
20	0,85	111	659,99	5,67	2,20	74,29	25,71
30	0,60	94,9	754,88	4,85	1,88	76,18	23,82
40	0,425	90,56	845,4	4,63	1,80	77,97	22,03
50	0,30	69,3	914,8	3,54	1,37	79,35	20,65
100	0,15	123,05	1037,83	6,29	2,44	81,78	18,22
200	0,075	58,94	1096,77	3,01	1,17	82,95	17,05
Fondo	---	12,16	1108,93	0,62	0,24	83	---

ERROR FRACCION GRUESA			GRAFICO	
Wo =	32,386	kg	Abertura del tamiz (mm)	% Que Pasa
W (MATERIAL RETENIDO EN EL FONDO)=	12,560	kg	76,200	100,000
W1 (MATERIAL RETENIDO EN TODOS LOS TA	19,819	kg	63,000	100,000
W + W1 =	32,379	kg	50,800	100,000
ERROR = Wo - (W + W1) =	<b>0,007</b>	<b>kg</b>	38,100	100,000
<b>ERROR (%) =</b>	<b>0,02</b>	<b>%</b>	25,400	94,490
			19,100	81,222
			12,700	63,390
FRACCION FINA (Masa de suelo luego de lavar sobre el tamiz 200)				
Masa inicial m =	1956,6	gr	9,520	55,199
Masa (luego de lavar sobre el tamiz 200) m1	1097	gr	4,750	38,791
Masa de finos: m2 = m - m1 =	859,6	gr	2,360	33,131
			2,000	31,707
			1,180	27,907
ERROR FRACCION FINA				
Wo =	1956,6	gr	0,850	25,706
W (finos perdidos en el lavado + finos de ta	871,76	gr	0,600	23,825
W1 (masa retenida tamiz 4 al 200) =	1096,77	gr	0,425	22,029
W + W1 =	1968,53	gr	0,300	20,655
ERROR = Wo - (W + W1) =	-11,93	gr	0,150	18,215
<b>ERROR (%) =</b>	<b>0,61</b>	<b>%</b>	0,075	17,047



Anexo 81. Análisis granulométrico mezcla base Higuera 91% - cemento 9%



Anexo 82. Ensayo Proctor modificado para la mezcla base Higuera 91% - cemento 9%

ABRASIÓN (NTE INEN 860)		
METODO A		
PASA (1 1/2) Y RETIENE (1)	2500	gr
PASA (1) Y RETIENE (3/4)	2500	gr
PASA (3/4) Y RETIENE (1/2)	2500	gr
PASA (1/2) Y RETIENE (3/8)	2500	gr
MATERIAL INICIAL	10000	gr
MATERIAL SOBRE TAMIZ 12	9089,34	gr
ABRASIÓN (%)	9,11	%

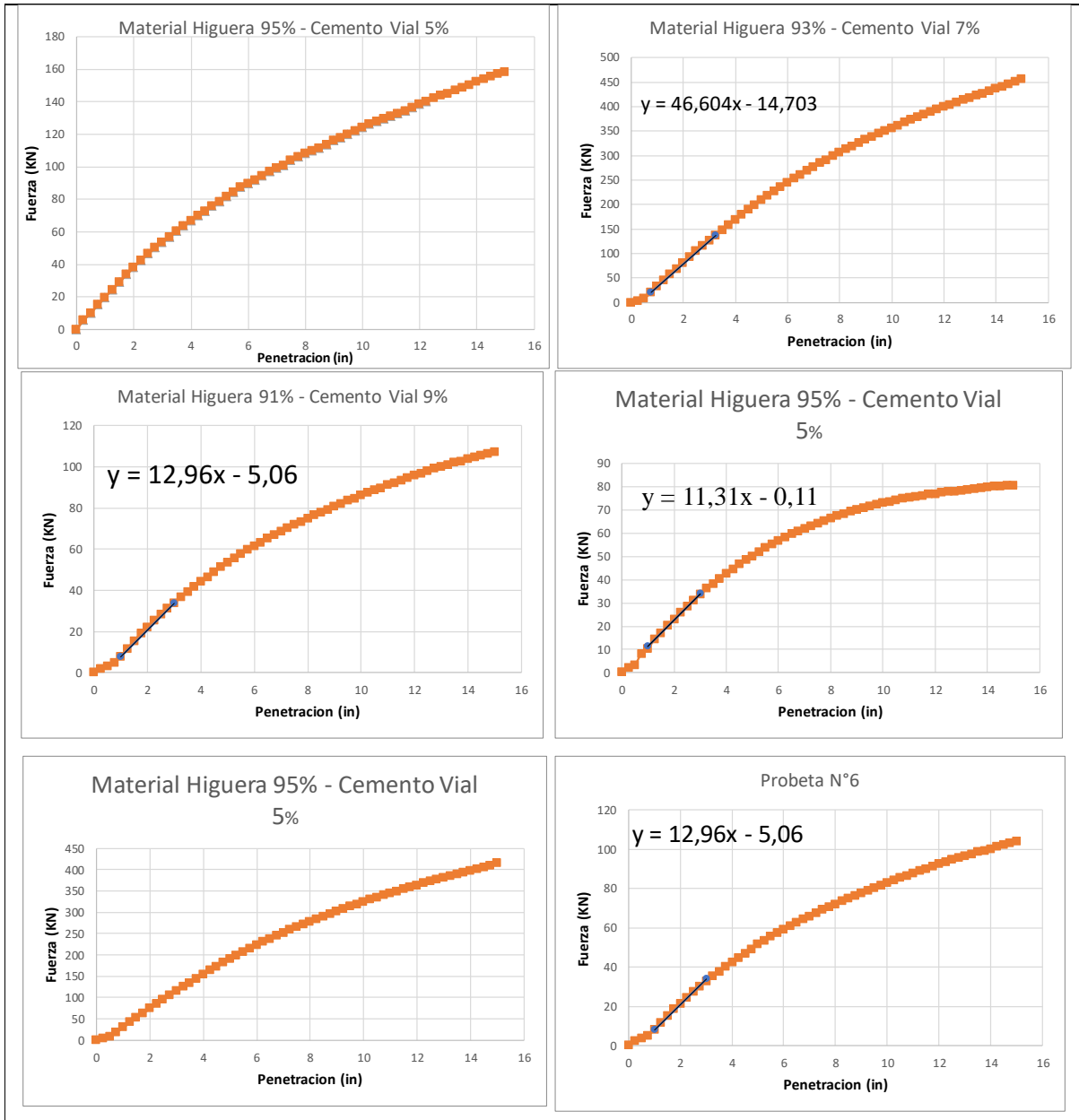
Anexo 83. Ensayo de abrasión para la mezcla base Higuera 91% - cemento 9%



mm	in	Molde 1	Molde 2	Molde 3	Molde 4	Molde 5	Molde 6	PARAMETROS ESTANDAR	Penetracion	Carga Estandar	
0	0	0	0	0	0	0	0		2,5	13,2	
0,25	0,00984	5,75	3,86	1,99	1,98	3,77	2,29		5	20	
0,5	0,01969	10,19	8,75	3,25	3,12	8,27	3,59	Muestra	X	Y	
0,75	0,02953	15,1	20,25	4,89	8,11	18,73	5,24	recta1			
1	0,03937	19,86	32,56	7,9	10,2	29,91	8,12				0,0
1,25	0,04921	24,63	45,13	11,56	14,11	41,31	11,55	recta2	0,75	20,25	
1,5	0,05906	29,16	57,19	15,28	17,04	52,27	15,08		3,25	136,76	0,32
1,75	0,06890	33,76	69,16	18,86	20,2	63,13	18,44	recta3	1	7,9	
2	0,07874	38,08	81	22,02	22,8	73,86	21,42		3	33,82	0,39
2,25	0,08858	42,59	92,56	25,17	25,6	84,37	24,42	recta4	1	11,2	
2,5	0,09843	46,44	104,68	28,12	28,28	95,36	27,23		3	33,82	0,390
2,75	0,10827	50,24	115,24	31,05	30,86	104,96	30,02	recta5			
3	0,11811	53,65	126,2	33,82	33,45	114,92	32,67				0
3,25	0,12795	56,99	136,76	36,5	35,97	124,5	35,21	recta6	1	7,9	
3,5	0,13780	60,51	147,16	39,11	38,12	133,94	37,68		3	33,82	0,39
3,75	0,14764	63,74	158	41,6	40,28	143,78	40,08	<b>CBR CORREGIDO</b>			
4	0,15748	66,68	168,98	44,12	42,46	153,74	42,47	MOLDE	PENETRACION	CBR	CBR PROMEDIO
4,25	0,16732	69,8	179,1	46,46	44,4	162,92	44,69	1	2,5	351,8	393,80
4,5	0,17717	72,88	189,24	48,8	46,41	172,12	46,92		5	393,8	
4,75	0,18701	76	199,36	51,12	48,28	181,28	49,11	2	2,8	896,3	1103,06
5	0,19685	78,76	209,24	53,45	50	190,25	51,33		5,3	1103,1	
5,25	0,20669	81,6	218,12	55,58	51,82	198,32	53,37	3	2,9	247,0	283,64
5,5	0,21654	84,44	227,02	57,63	53,4	206,4	55,34		5,4	283,6	
5,75	0,22638	87,6	235,8	59,64	55,01	214,37	57,26	4	2,9	244,8	263,52
6	0,23622	89,88	244,4	61,59	56,46	222,17	59,12		5,4	263,5	
6,25	0,24606	92,04	253,02	63,1	57,9	230	60,59	5	2,5	722,4	951,25
6,5	0,25591	94,4	260,88	65,12	59,33	237,15	62,53		5,0	951,3	
6,75	0,26575	97,12	269	66,8	60,61	244,52	64,15	6	2,9	238,7	272,37
7	0,27559	99,28	277	68,32	61,75	251,79	65,63		5,4	272,4	
7,25	0,28543	101,08	284,68	70,04	62,92	258,75	67,27				
7,5	0,29528	104,14	291,52	71,72	64	264,98	68,89				
7,75	0,30512	106,16	298,72	73,24	65,12	271,51	70,36				
8	0,31496	108,2	305,78	74,72	66,08	277,94	71,82				
8,25	0,32480	110,04	312,76	76,32	67,16	284,28	73,35				
8,5	0,33465	111,68	319,24	77,68	68,08	290,18	74,68				
8,75	0,34449	113,68	325,84	79,16	69	296,17	76,1				
9	0,35433	116,12	332,2	80,6	69,88	301,97	77,52				
9,25	0,36417	118,08	338,4	82	70,64	307,6	78,87				
9,5	0,37402	120	344,76	83,44	71,4	313,38	80,25				
9,75	0,38386	122,3	350,68	84,64	72,15	318,76	81,43				
10	0,39370	124,44	356,24	85,95	72,76	323,82	82,7				
10,25	0,40354	126,2	362	87,2	73,4	329,06	83,92				
10,5	0,41339	128,1	367,6	88,48	73,96	334,2	85,23				
10,75	0,42323	129,5	373,2	89,68	74,56	339,14	86,14				
11	0,43307	131,08	378,8	90,96	75,08	344,28	87,46				
11,25	0,44291	133	384	92,12	75,52	349,09	88,72				
11,5	0,45276	134,6	389,6	93,32	75,96	354,19	89,9				
11,75	0,46260	136,5	394,86	94,6	76,4	358,98	91,15				
12	0,47244	138,54	399,6	95,68	76,72	363,3	92,22				
12,25	0,48228	140,2	404,2	96,8	77,2	367,49	93,31				
12,5	0,49213	142,04	408,6	97,96	77,52	371,52	94,46				
12,75	0,50197	143,68	413,4	98,96	77,8	375,88	95,43				
13	0,51181	145,2	418,2	99,96	78,12	380,24	96,4				
13,25	0,52165	147,28	423	100,88	78,56	384,63	97,34				
13,5	0,53150	148,8	427,1	101,84	78,88	388,36	98,28				
13,75	0,54134	150,44	431,6	102,6	79,28	392,47	99,06				
14	0,55118	152,6	436,4	103,56	79,64	396,84	100,01				
14,25	0,56102	154,1	441,2	104,48	79,76	401,23	100,94				
14,5	0,57087	155,68	446	105,48	80	405,58	101,89				
14,75	0,58071	157,4	450,8	106,28	80,2	409,96	102,72				
15	0,59055	158,46	455,61	107,12	80,4	414,34	103,55				

Anexo 84. Valores de CBR de mezclas de materiales con cemento.





Anexo 85. Graficas de CBR de mezclas con cemento.

### ANEXO FOTOGRAFICO



Anexo 86. Minas de materiales pétreos de la Higuera y Llatcon.



Anexo 87. Ensayos granulométricos.

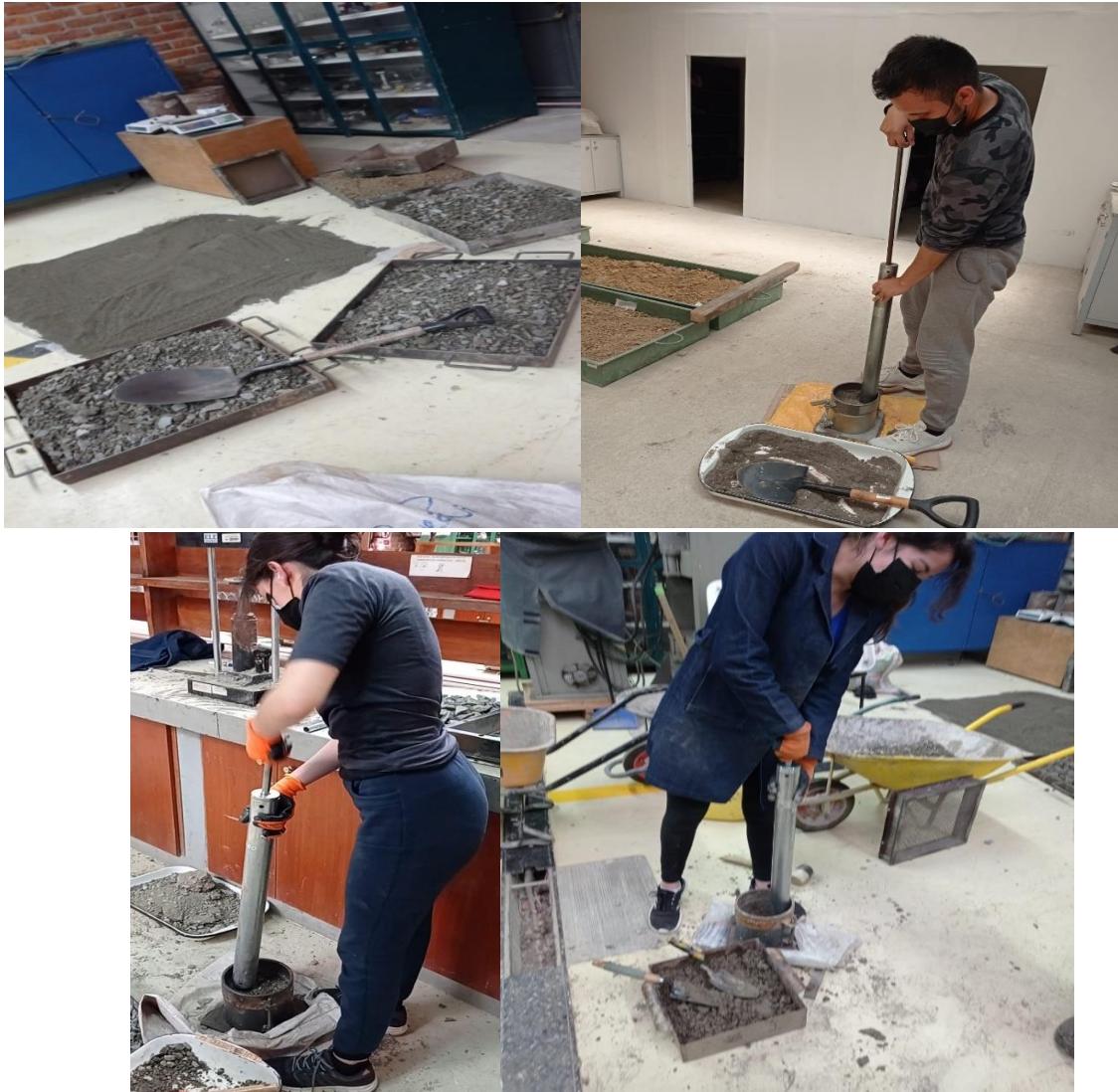




Anexo 88. Ensayos de limites de Atterberg.



Anexo 89. Ensayo de abrasión.



Anexo 90. Ensayo Proctor modificado.



Anexo 91. Ensayos CBR.



Anexo 92. Probetas para ensayo de compresión simple.