

Propuesta de mejora de suelos arcillosos de alta plasticidad a nivel de subrasante mediante la adición de cemento Portland para disminuir el cambio volumétrico provocado por las condiciones climáticas en la Av. Padre salas, Villa Rica, Oxapampa, Pasco

Item Type	info:eu-repo/semantics/bachelorThesis
Authors	Castro Gonzales, Milagros Alessandra; Navarro Pereyra, Jesus David
Citation	http://doi.org/10.19083/tesis/652573
Publisher	Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC)
Rights	info:eu-repo/semantics/openAccess
Download date	28/11/2024 00:03:50
Item License	http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/
Link to Item	http://hdl.handle.net/10757/652573



UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ACADEMICO DE INGENIERÍA CIVIL

“Propuesta de mejora de suelos arcillosos de alta plasticidad a nivel de subrasante mediante la adición de cemento Portland para disminuir el cambio volumétrico provocado por las condiciones climáticas en la Av. Padre salas, Villa Rica, Oxapampa, Pasco”

TESIS

Para optar el título profesional de Ingeniero Civil

AUTORES

Castro Gonzales, Milagros Alessandra (0000-0003-3589-7682)

Navarro Pereyra, Jesus David (0000-0003-2360-6833)

ASESORES

Aybar Arriola, Gustavo Adolfo (0000-0001-8625-3989)

Lima, 08 de Agosto de 2020

DEDICATORIA

A mi madre, por su paciencia y apoyo incondicional.

Milagros

A mi familia.

David

RESUMEN

Esta investigación comprende la caracterización del suelo que conforma la subrasante de la Av. Padre Salas, Villa Rica, Pasco, el potencial de resistencia y la expansión que presenta el suelo en el sector indicado, la evaluación es realizada mediante ensayos CBR. Se utiliza la técnica de suelo cemento para mejorar las características físicas y mecánicas, este proceso consiste en mezclar al material con cemento Portland Tipo I formando suelo cemento 10%, 15% y 20%, los cuales presentan un incremento del CBR (máximo: 138.7% y mínimo: 91.9%) logrando un tipo de subrasante extraordinaria para resistir la estructura del pavimento y una reducción de 7.18% en la expansión de las muestras.

Palabras clave: **Mejoramiento de suelo; Suelo cemento; Arcilla; Expansión; CBR**

Proposal for high plasticity clay soil improvement at subgrade level through
Portland cement added to decrease volumetric change cause by weather conditions at Av.
Padre Salas, Villa Rica, Oxapampa, Pasco.

ABSTRACT

This study includes found the properties of the soil, which forms Av. Padre Salas, Villa Rica, Pasco subgrade, strength potential and expansion that soil presents at the indicated sector, the evaluation is executed through CBR tests. Soil cement technique is use in order to improve the physical and mechanical characteristics; this process is to combine the material with Ordinary Portland cement making soil cement 10%. 15% y 20%, which have a CBR increase (max: 138.7% and min: 91.9%) achieving an extraordinary subgrade type so as to bear up the pavement structure and an expansion reduction of 7.18% in specimens.

Keywords: Soil improvement; Soil cement; Clay; Expansion; CBR

TABLA DE CONTENIDOS

1	GENERALIDADES:	1
1.1	ANTECEDENTES	1
1.2	REALIDAD PROBLEMÁTICA	5
1.3	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	8
1.4	HIPÓTESIS	8
1.5	OBJETIVOS	8
2	MARCO TEÓRICO:	9
2.1	SUELO TROPICAL	9
2.1.1	Precipitaciones	9
2.1.2	Geografía y clima	10
2.2	PROPIEDADES DE LOS SUELOS	11
2.2.1	Distribución granulométrica	11
2.2.1.1	Ensayos	12
2.2.2	Características físicas de los suelos	12
2.2.2.1	Densidad	12
2.2.2.2	Absorción	12
2.2.2.3	Ensayos	13
2.2.3	Relaciones volumétricas	13
2.2.3.1	Ensayos	16
2.2.4	Densidad relativa	16
2.2.5	Límites de Atterberg:	16
2.2.5.1	Ensayos	17
2.2.6	Actividad	17

2.2.7	Óptimo contenido de humedad y Peso unitario seco máximo.....	17
2.2.7.1	Ensayos	18
2.2.8	CBR de los suelos.....	18
2.2.8.1	Ensayos	18
2.3	CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS	18
2.3.1	Clasificación AASHTO.....	18
2.3.2	Clasificación SUCS	20
2.4	CEMENTO PORTLAND	21
2.4.1	Hidratación	21
2.4.2	Tipos	22
2.4.3	Aditivos para el concreto.....	24
2.5	PAVIMENTOS	25
2.5.1	Pavimento flexible.....	25
2.5.1.1	Diseño	26
2.5.2	Pavimento rígido	27
2.5.3	Inventario de daños.....	28
2.5.3.1	Fisuras	28
2.5.3.2	Deformaciones	29
2.5.3.3	Pérdidas de las capas de la estructura	30
2.6	SUELO-CEMENTO	32
2.6.1	Suelos recomendados para mezcla suelo-cemento.....	33
2.6.1.1	Por granulometría	33
2.6.1.2	Por límites de Atterberg.....	33
2.6.1.3	Por su eficiencia en la mezcla.....	33
2.6.1.4	Suelo ideal.....	34

2.6.2	Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC).....	35
3	METODOLOGÍA.....	35
	ESTABILIZACIÓN CON CEMENTO	35
	SUELO	35
3.1	MEJORAMIENTO V. REEMPLAZO	36
3.2	CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DEL CEMENTO COMO AGENTE	
	ESTABILIZANTE.....	36
4	ENSAYOS.....	37
4.1	OBTENCIÓN DE MUESTRAS.....	37
4.2	ENSAYOS DE SUELO NATURAL	40
4.2.1	Límites de Atterberg	40
4.2.2	Actividad	41
4.2.3	Contenido de humedad	41
4.2.4	Clasificación	42
4.2.5	Ensayo de compactación utilizando energía modificada (Proctor	
	Modificado)	42
4.2.6	CBR	43
4.3	ENSAYO DE SUELO ESTABILIZADO	45
4.3.1	Proctor modificado – 10%	45
4.3.2	CBR – 10%	46
4.3.3	Proctor modificado – 15%	47
4.3.4	CBR – 15%	48
4.3.5	Proctor modificado – 20%	50
4.3.6	CBR – 20%	51

4.4	RESULTADOS	52
4.4.1	Caracterización	52
4.4.2	Proctor modificado	52
4.4.3	CBR	52
5	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	53
5.1	SUELO NATURAL.....	56
5.2	SUELO ESTABILIZADO	57
	CONCLUSIONES.....	58
	RECOMENDACIONES	59
	REFERENCIAS	60
	ANEXOS.....	63

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Rango de Actividad por tipo de mineral</i>	17
Tabla 2 <i>Clasificación de suelos según AASHTO</i>	19
Tabla 3 <i>Simbología para la clasificación SUCS</i>	20
Tabla 4 <i>Tipos y aplicaciones del cemento Portland estándar</i>	22
Tabla 5 <i>Requisitos químicos de ASTM para el cemento Portland (ASTM C150)</i> ...	23
Tabla 6 <i>Comparación de diseños</i>	27
Tabla 7 <i>Distribución granulométrica recomendada para utilizar suelo-cemento</i> ..	33
Tabla 8 <i>Rango de cemento requerido en estabilización suelo-cemento</i>	35
Tabla 9 <i>Resultado de ensayos para caracterización del suelo</i>	52
Tabla 10 <i>Resultado de ensayos de compactación</i>	52
Tabla 11 <i>Resultado de ensayos CBR</i>	52
Tabla 12 <i>Resultados de ensayos CBR en torno a expansión</i>	53
Tabla 13 <i>Variación CBR en relación con porcentaje de cemento añadido</i>	55

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Presupuesto 2017 para inversión en transporte.	5
Figura 2. Fotografía de vista longitudinal de la Av. Padre Salas.	7
Figura 3. Fotografía de la vista longitudinal de la Av. Padre Salas.	7
Figura 4. Fenómeno de precipitación en la selva por efectos de la cordillera.....	10
Figura 5. Simbología para las fases de una muestra de suelo.....	13
Figura 6. Plasticidad SUCS.	20
Figura 7. Perfil típico de la estructura de un pavimento flexible.	26
Figura 8. Perfil típico de la estructura de un pavimento rígido.	28
Figura 9. Estructura de arcilla natural y arcilla con cemento.	32
Figura 10. Mapa de calicatas	37
Figura 11. Extracción de muestra C-01.	38
Figura 12. Moldeado de muestra.	38
Figura 13. Empaquetado de muestra.	39
Figura 14. Transporte de muestras.	39
Figura 15. Muestra en laboratorio.	40
Figura 16. Ejecución de ensayo de Límites de Atterberg.....	40
Figura 17. Ejecución de ensayo de contenido de humedad.....	41
Figura 18. Ejecución de ensayo Proctor modificado.....	42
Figura 19. Curva Contenido de humedad v. Densidad seca.....	43
Figura 20. Ejecución ensayo CBR.....	44
Figura 21. Gráfico CBR v. Densidad seca.	44
Figura 22. Ejecución ensayo CBR a suelo-cemento de 10%, 15% y 20%.....	45
Figura 23. Curva Contenido de humedad v. Densidad seca – 10%.....	45
Figura 24. Ejecución ensayos proctor modificado y CBR – 10%.....	46

Figura 25. Gráfico CBR v. Densidad seca – 10% .	47
Figura 26. Ejecución ensayos proctor modificado y CBR – 15% .	47
Figura 27. Curva Contenido de humedad v. Densidad seca – 15% .	48
Figura 28. Gráfico CBR v. Densidad seca – 15% .	49
Figura 29. Ejecución ensayos proctor modificado y CBR – 20% .	50
Figura 30. Curva Contenido de humedad v. Densidad seca – 20% .	50
Figura 31. Gráfico CBR v. Densidad seca – 20% .	51
Figura 32. Gráfico Porcentaje de cemento Portland v. Óptimo contenido de humedad.	53
Figura 33. Gráfico Porcentaje de cemento Portland v. CBR.	54
Figura 34. Gráfico Porcentaje de cemento Portland v. Expansión.	56

1 GENERALIDADES:

1.1 Antecedentes

Se ha realizado un estudio donde se expone como principal problema la baja capacidad portante de los suelos arcillosos de alta plasticidad, la cual afecta a las infraestructuras, las cimentaciones, las carreteras y las pistas aéreas. Estos daños generan pérdidas monetarias de £150 millones (UK) y \$1,000 millones (USA), es por ello por lo que emerge la necesidad de mejorar las características de este tipo de suelo. Este estudio propone al cemento superfino a base de escoria como material estabilizante, se realizó ensayos a muestras de suelo obtenidas en Turquía llegando a la conclusión de que su aplicación modifica 5 características del suelo. En primer lugar, los límites de Atterberg, a medida que el porcentaje de material estabilizante aumenta el límite líquido disminuye y el límite plástico aumenta. Por otro lado, el peso unitario seco y la resistencia a la compresión no confinada del material incrementaron. Además, el potencial de hinchamiento del suelo se redujo. Finalmente, la permeabilidad del material estabilizado disminuyó y dicho coeficiente se mantuvo estable a partir del día 100 (Mollamahmutoglu & Avcı, 2018).

Con la información antes descrita se verifica que mediante el mejoramiento con cemento es posible mejorar algunas características en suelos arcillosos de alta plasticidad, entre ellas, el potencial de hinchamiento, el cual es variable de la presente tesis.

Por otro lado, una investigación en China plantea como problema el tiempo que demanda la construcción de vías terrestres conformadas sobre arcilla blanda, incluyendo el mejoramiento de las características mecánicas del material, lo que a su vez provoca mayor congestión durante el tiempo de ejecución de obras civiles. Como consecuencia se requiere una mezcla de estabilizantes que mejoren las características en cuestión en un corto periodo de tiempo. El estudio realizó ensayos de resistencia a la compresión no confinada (UCS) a

muestras de suelo, este tipo de ensayo es uno de los más utilizados en torno a pavimentos y estabilización de suelos. Como resultado a las diferentes pruebas se obtuvo una mezcla óptima, la cual tenía la siguiente proporción: 5% cemento, 2% carburo de calcio, 3% yeso y 0.75% de TEA, refiriéndose a estas como parte de la mezcla en seco (Shen, Cao, & Fang, 2017).

En relación con la mejora en la resistencia de la arcilla, el estudio mencionado previamente comprueba que es posible mejorar una arcilla blanda con un conjunto de elementos. También, se menciona la importancia de la velocidad de ejecución de obra y se plantea que dicho conjunto de elementos reduce el tiempo de construcción de infraestructura relacionada con suelos arcillosos.

Asimismo, en Rusia se investigó la mezcla entre suelo arcilloso y cemento, conocida como suelo-concreto. Esta combinación mejora la uniformidad y la resistencia mecánica de la capa base en aeródromos, carreteras y vías férreas, así como también el terreno de fundación en edificaciones. Los principales resultados de este estudio fueron: en primer lugar, para mejorar la resistencia a la compresión del suelo-concreto es necesario realizar un adecuado proceso de curado de la mezcla tomando en cuenta la temperatura y condiciones de humedad de la zona de aplicación. Asimismo, se mejora el proceso de hidratación del cemento al añadir piedra caliza a la mezcla, que a su vez mejora la resistencia a la compresión. Además, al utilizar aditivos superplastificantes en algunas muestras de suelo-cemento se mejora la densidad de este y la resistencia a la compresión (Makhmud & Svintsov, 2017).

En Shanghái, un nuevo método para reciclar las bolsas textiles de polímero de desecho fue aplicarlas en proyectos de mejora de suelos blandos, como bases de pavimento. Se llevaron a cabo una serie de investigaciones de laboratorio sobre arcilla blanda de Shanghái mejorada con cemento reforzado con fibra. Se emplearon dos tipos de fibras de

polímero; el primero es fibra de polipropileno monofilamento y el otro son haces de fibras divididos de bolsas textiles poliméricas. Las pruebas se realizaron utilizando la prueba de resistencia a la compresión no confinada (UCS) después de que la muestra de la mezcla fibra-suelo-cemento se haya curado durante algún tiempo. Los resultados obtenidos mostraron que el aditivo de fibra puede mejorar significativamente la resistencia y la ductilidad de la arcilla Shanghai tratada con cemento (Chen, y otros, 2015).

Se describe un mejoramiento con fibras recicladas, este antecedente responde a una preocupación creciente por las condiciones medio ambientales y la reducción del impacto en la misma.

Además, en Arabia Saudita se realizó una investigación en un suelo reforzado con fibra de polipropileno tratado con aditivos químicos para estudiar el grado de mejora en su comportamiento de tracción. La mejora por la inclusión de fibras de polipropileno en el comportamiento de tracción se evaluó mediante la realización de una serie de pruebas de resistencia a la tracción. En base a las pruebas realizadas se concluyó que la adición de fibras de polipropileno solo a la arcilla altamente plástica no será suficiente para los requisitos de resistencia a la tracción. Las fibras de polipropileno cuando se añaden con una cal del 6% pueden mejorar la resistencia a la tracción en un 13 a 28% más, dependiendo de la dosis o el contenido de fibra (Dafalla, Moghal, & Al-Obaid, 2017).

Por otro lado, en Colombia, el municipio de Rionegro, a través de su Empresa de Desarrollo Sostenible del Oriente, realizó la recuperación de las vías rurales mediante la tecnología de suelo-cemento, buscando mejorar la movilidad y la calidad de vida de los habitantes construyendo cerca de 100 kilómetros de carretera (Antioquía, 2017).

En nuestro país, existen diversas investigaciones sobre el mejoramiento de suelo para mejorar la capacidad portante del suelo. La más resaltante es el estudio realizado en la construcción del Corredor Vial Interoceánico del Sur Perú-Brasil en el cual se emplea la

estabilización con cal y suelo cemento para mejorar las propiedades del suelo en la zona de la selva sur oriental debido a la carencia de materiales granulares, los cuales son necesarios para la construcción de carreteras (Fernandez Condeña, 2009).

Es importante mencionar que a nivel nacional ya se ha aplicado la técnica de suelo cemento con resultados favorables, por ello es que se recomienda la aplicación de técnicas de mejoramiento siempre y cuando se requiera.

Además, otra investigación nacional, menciona la importancia de entender el cambio volumétrico de los suelos arcillosos compactados pues si su contenido de humedad se ve afectado pueden producirse fallas sobre la estructura que soporta. Como resultado se obtuvieron modelos matemáticos que establecen las relaciones causa efecto entre la humedad de compactación y expansión, los mayores valores de expansión se obtuvieron cuando las muestras se compactaron a humedades menores que la humedad óptima para los suelos arcillosos de alta plasticidad CH y de baja plasticidad CL (Llique Mondragón, 2015).

Por otro lado, una investigación realizada en Talara, realizada hace muchos años, evalúa el estado de las arcillas expansivas que componen la zona y su efecto sobre las estructuras que se construyen sobre ella, debido a que en determinadas estaciones del año de mantienen secas debido al clima cálido por su cercanía a la línea Ecuatorial. Sin embargo, en los primeros meses del año se manifiesta el fenómeno del Niño estas se saturan completamente por las intensas precipitaciones que ocurren, generando el hinchamiento de dichas arcillas (Castro Cuba Valencia, 1992).

Asimismo, otro estudio en un distrito de la provincia de Huancayo concluye que el comportamiento volumétrico de un suelo arcilloso sea en términos expansivos o contracción, depende de su compactación, la presión a la que está sometida y la microestructura que posee. La variación de los factores indicados determina si en el suelo, al ser saturado, se produce hinchamiento o hundimiento (Romero Quispe, 2016).

1.2 Realidad problemática

En la actualidad, en el Perú, las carreteras son el medio de comunicación y transporte más importantes del país, por ello se busca que estas se encuentren en buenas condiciones durante su ciclo de vida. Estas vías son vitales porque a través de ellas se busca que todas las regiones y ciudades estén interconectadas para lograr un desarrollo económico y social en el país.

Sin embargo, se puede apreciar que la vida útil de este tipo de estructura es muy corta. La durabilidad de estas estructuras es menor respecto a la durabilidad para la que fue diseñada. El deterioro de las carreteras se puede producir por deficiencias en el diseño, incrementos en el tráfico vehicular, proceso constructivo de baja calidad, factores ambientales desfavorables y agotamiento del periodo de diseño. Su poca durabilidad genera un alto costo de mantenimiento. Según el estudio de PROVIAS NACIONAL, se ha destinado en el presupuesto del 2017 del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), el 16% para el mantenimiento vial.

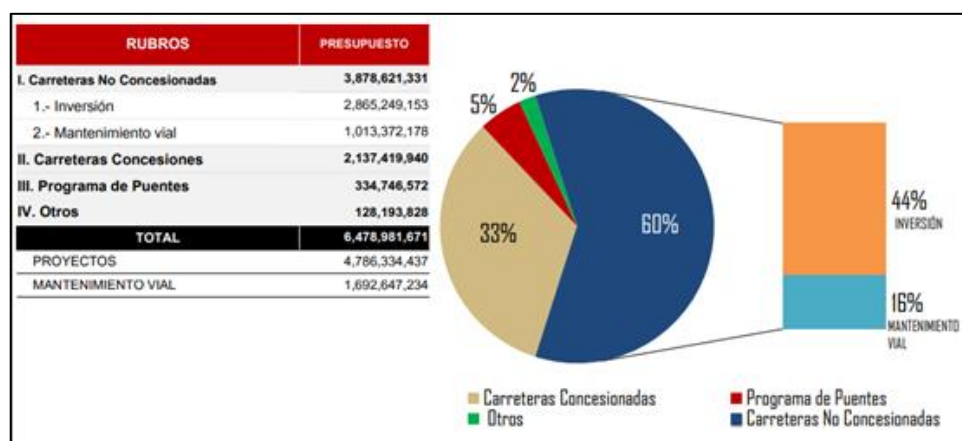


Figura 1. Presupuesto 2017 para inversión en transporte.

Fuente: PROVIAS.

La capacidad portante del terreno es uno de los factores principales a tener en cuenta para el diseño de carreteras. La selva central de nuestro país está conformada por suelos arcillosos de alta plasticidad los cuales son de baja capacidad portante debido a que la morfología del terreno natural está compuesta principalmente por material altamente cohesivos. Además, estos se encuentran sometidos a cambios volumétricos constantes pues la principal característica de esta zona es su condición climática donde predominan lluvias de alta intensidad y temperaturas elevadas. Las constantes lluvias mantienen el suelo en condiciones saturadas, a ello se le suma el drenaje defectuoso que presenta este tipo de suelo lo cual provoca que se mantenga saturado por un prolongado tiempo. Asimismo, la temperatura característica de la zona se considera elevada respecto a muchos departamentos del Perú. Estas dos principales condiciones climáticas generan que el contenido de humedad de la arcilla varíe constantemente, con las lluvias aumenta y con la temperatura disminuye, por lo que también la relación de vacíos se va incrementando.

Al construir una estructura de pavimento sobre una subrasante con las características de terreno descritas en el párrafo anterior generarían que su durabilidad sea limitada porque la presión de cargas del tráfico provocaría que las partículas del suelo se reacomoden, formando fisuras sobre el pavimento. En consecuencia, los costos de mantenimiento se elevarían y se adelantarían a los previstos en el diseño. También, la presencia de estas fallas causa malestar e incomodidad en los transportistas, haciendo que su tiempo de viaje sea más largo lo cual significa un costo más alto por el transporte de los productos.



Figura 2. Fotografía de vista longitudinal de la Av. Padre Salas.

Fuente: Captura propia.



Figura 3. Fotografía de la vista longitudinal de la Av. Padre Salas.

Fuente: Captura propia.

En la Figura 2 y Figura 3 se puede observar el estado de la Av. Padre Salas en el distrito de Villa Rica, zona determinada para el estudio de la presente investigación. La primera presenta la vía luego de una precipitación. Se observa que la arcilla ha reaccionado por efectos del agua provocando el deterioro de la subrasante, por consecuencia se pierde la serviciabilidad de la carretera y ocasiona incomodidad en los usuarios. La segunda imagen muestra la vía luego de estar expuesta a altas temperaturas durante el día. Se hace énfasis en las grietas descritas a lo largo de dicha avenida producto de la contracción por pérdida de humedad. Este defecto del camino provocaría el deterioro del pavimento sobre la subrasante, la cual ya ha sido deteriorada anteriormente y se pierde progresivamente.

1.3 Formulación del problema

¿Es posible disminuir los cambios volumétricos generados por condiciones climáticas mediante el mejoramiento de suelo arcilloso de alta plasticidad con cemento Portland en la Av. Padre Salas?

1.4 Hipótesis

Aplicando el cemento como agente estabilizante se reducen los cambios volumétricos del suelo arcilloso de alta plasticidad que conforma la subrasante de la Av. Padre Salas.

1.5 Objetivos

Objetivo General:

Reducir el cambio volumétrico del suelo arcilloso de alta plasticidad que conforma la subrasante mediante la estabilización con cemento Portland en la Av. Padre Salas.

Objetivos Específicos:

- Caracterizar el suelo a nivel de subrasante de la Av. Padre Salas.
- Evaluar el comportamiento volumétrico de la arcilla, principal componente del suelo de la Av. Padre Salas.
- Evaluar los cambios volumétricos del suelo natural y estabilizado.
- Comparar los valores recomendados en el manual del MTC.

2 MARCO TEÓRICO:

2.1 Suelo tropical

Los suelos tropicales son aquellos que están ubicados entre los 23.5 norte y sur de la línea ecuatorial. Además, su clima se caracteriza por sus elevadas temperaturas y constantes lluvias.

El clima tropical de la selva peruana es el principal agente para la formación de los suelos tropicales en esas zonas, principalmente la acción lluvias y temperatura sobre estos suelos. De acuerdo con Carrillo, la lluvia determina la humedad del suelo, la aireación y el grado de lavaje el perfil; mientras que la temperatura tiene acción directa sobre la formación del suelo e influye en la velocidad de las reacciones químicas.

2.1.1 Precipitaciones

La precipitación pluvial es la cantidad de agua, en estado líquido o sólido que cae sobre la superficie terrestre proveniente de la atmósfera.

Según Sánchez (1981) las estaciones en los trópicos se definen como lluviosas o secas a diferencia de otras zonas que se emplean cuatro estaciones: verano, otoño, primavera e invierno.

Las precipitaciones en la selva alta de nuestro país se originan principalmente a la topografía de la Cordillera de los Andes pues el vapor de agua llevado por los vientos provenientes del océano Atlántico impacta contra la cordillera y como resultado están precipitaciones en gran volumen.

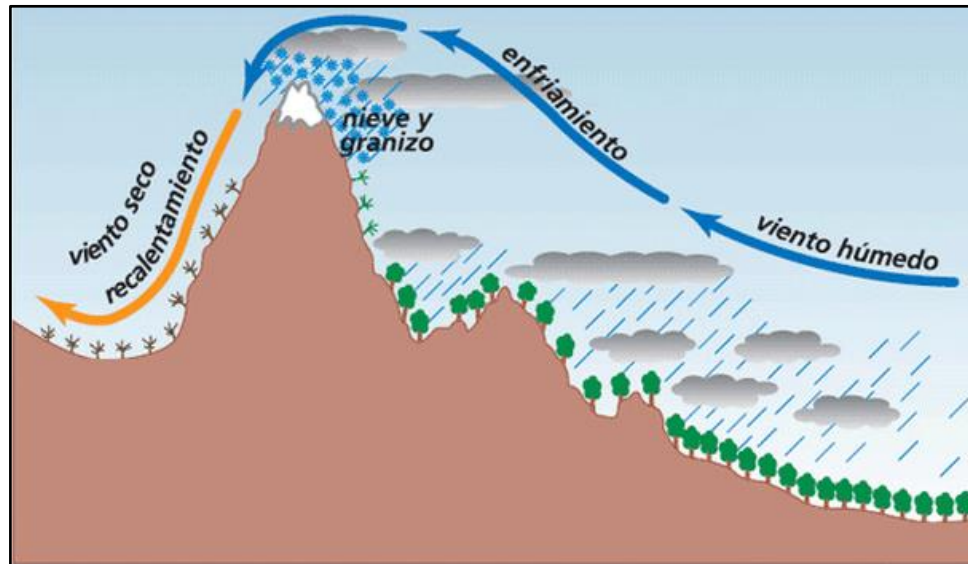


Figura 4. Fenómeno de precipitación en la selva por efectos de la cordillera.

La precipitación promedio en el distrito de Villa Rica es de 1,500 mm anuales siendo los meses de enero, febrero, marzo y abril los que presentan lluvias de alta intensidad.

2.1.2 Geografía y clima

El clima tropical varía según la región en la que se encuentre estableciendo condiciones relacionadas siempre con zonas de gran humedad, altas precipitaciones y/o altas temperaturas.

Por ejemplo, en la selva alta el clima es cálido y húmedo en el área inferior y en la superior más frío, ambas con precipitaciones. Sus ríos son caudalosos y de corrientes rápidas por la bajada de los extremos andinos. Además, es importante resaltar que predominan los bosques de neblina, llamados así debido a la densidad y elevada humedad.

La temperatura en el distrito de Villa Rica es en promedio de 21°C debido a que la zona se caracteriza estar en la falda de la Cordillera de los Andes. Por efecto, es un lugar dedicado a la agricultura, ganadería y reforestación.

A partir de la información climática, de precipitación y conjuntamente con lo mencionado anteriormente por Romero (2016), se induce que las vías de Villa Rica experimentan saturación con relativa frecuencia y, además, el contenido de humedad reduce ante la exposición solar. Como consecuencia en el suelo de las carreteras de Villa Rica se produce la expansión y contracción del volumen, respectivamente a los fenómenos antes mencionados.

2.2 Propiedades de los suelos

Para construir una edificación, un puente, una carretera u otra estructura es necesario conocer las propiedades del suelo en el que se apoya. Para el caso de carreteras, las propiedades determinan la ejecución o no de técnicas de mejoramiento o reemplazo. Dichas propiedades se determinan mediante ensayos de laboratorio o in-situ elaborados al terreno que soportará la estructura.

2.2.1 Distribución granulométrica

La distribución granulométrica permite clasificar un suelo correctamente. Para los suelos que a simple vista se pueden distinguir sus partículas se realiza el análisis granulométrico con malla mientras que para los suelos finos se realiza el análisis del hidrómetro.

2.2.1.1 Ensayos

- ✓ MTC E 107¹: Análisis granulométrico de suelos por tamizado.
- ✓ MTC E 109²: Análisis granulométrico por medio del hidrómetro.

2.2.2 Características físicas de los suelos

2.2.2.1 Densidad³

La densidad de un suelo puede ser absoluta, aparente y relativa, todas ellas son halladas a partir de una relación entre el peso y el volumen del suelo. En la primera, densidad absoluta, interviene la masa de la muestra con el volumen de la misma, pero sin considerar los vacíos, es decir que solo se obtiene el volumen del material sólido en el suelo. En la segunda, densidad aparente, opera la masa de la muestra con el volumen de la misma, pero incluyendo los vacíos, es decir que se toma en cuenta el volumen que ocupa el aire en el suelo. Finalmente, densidad relativa, se realiza la proporción entre la densidad absoluta y la densidad del agua igual a 1 gr/cm³ (cuando se encuentra a una temperatura de 4°C).

2.2.2.2 Absorción⁴

Esta propiedad se refiere a la retención de humedad en el material. Se determina con la siguiente fórmula:

$$\%A = \frac{P_h - P_s}{P_s} \times 100$$

Siendo:

$P_s = \text{Peso seco (secado continuo, peso constante)}$.

¹ Cfr. “Manual de ensayo de materiales” (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016, págs. 44-48).

² Cfr. “Manual de ensayo de materiales” (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016, págs. 54-66).

³ (Crespo Villalaz, 2015, pág. 42)

⁴ (Crespo Villalaz, 2015, pág. 45)

$P_s = \text{Peso humedo (material sumergido en agua por 24 horas).}$

2.2.2.3 Ensayos

✓ MTC E 108⁵: Determinación del contenido de humedad de un suelo.

2.2.3 Relaciones volumétricas⁶

Una muestra de suelo podría parecer una mezcla homogénea, sin embargo, esta se compone de 3 elementos llamados fases, Crespo (2015) las describe de la siguiente manera:

Fase sólida: formada por partículas minerales y orgánicas.

Fase líquida: aquella que llena parcial o totalmente los vacíos del suelo.

Fase gaseosa: aquella que llena parcial o totalmente los vacíos que deja la parte líquida.

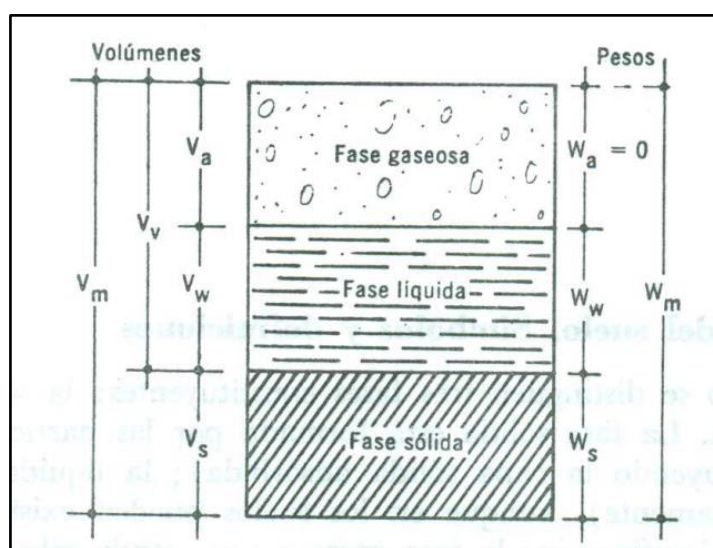


Figura 5. Simbología para las fases de una muestra de suelo.

Fuente: (Crespo Villalaz, 2015).

⁵ Cfr. “Manual de ensayo de materiales” (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016, págs. 49-53)

⁶ Adaptado de “Mecánica de suelos y cimentaciones – Capítulo 4: Relaciones volumétricas” (Crespo Villalaz, 2015, págs. 61-67).

Siendo:

V_m = Volumen total de la muestra de suelo (volumen de la masa).

V_s = Volumen de la fase sólida de la muestra (volumen de sólidos).

V_v = Volumen de los vacíos de la muestra de suelo (volumen de vacíos).

V_w = Volumen de la fase líquida contenida en la muestra (volumen de agua).

V_a = Volumen de la fase gaseosa de la muestra (volumen de aire).

W_m = Peso total de la muestra del suelo (peso de la masa).

W_s = Peso de la fase sólida de la muestra del suelo (peso de los sólidos).

W_w = Peso de la fase líquida de la muestra (peso del agua).

W_a = Peso de la fase gaseosa de la muestra (se considera nulo).

En estado natural los suelos están compuestos por partículas de suelo sólidas, agua y aire. En base a la relación de estos se pueden determinar diversos parámetros.

1. Relación de vacíos: es la relación entre el volumen de vacíos y el volumen de sólidos de la muestra.
2. Porosidad: relación del volumen de vacíos y el volumen total de la muestra
3. Grado de saturación: es el volumen de agua entre de vacíos expresado en porcentaje.
4. Contenido de humedad: es el peso del agua entre el peso sólido de la muestra expresado en porcentaje.
5. Peso específico húmedo: peso total de la muestra entre el volumen total de la muestra.
6. Peso específico seco: es el peso sólido del suelo entre el volumen total de la muestra.

Juárez (2015) también expone los principales pesos específicos:

✓ γ_0 = Peso específico del agua destilada (4º y 0 msnm).

✓ $\gamma_w = \text{Peso específico del agua en condiciones reales de trabajo.}$

✓ $\gamma_m = \text{Peso específico de la masa del suelo.}$

$$\gamma_m = \frac{W_m}{V_m} = \frac{W_s + W_w}{V_m}$$

✓ $\gamma_s = \text{Peso específico de la fase sólida.}$

$$\gamma_s = \frac{W_s}{V_s}$$

✓ $s_m = \text{Peso específico relativo de la masa del suelo.}$

$$s_m = \frac{\gamma_m}{\gamma_0} = \frac{W_m}{V_m \times \gamma_0}$$

✓ $s_s = \text{Peso específico relativo de la fase sólida.}$

$$s_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_0} = \frac{W_s}{V_s \times \gamma_0}$$

Asimismo, también existen fórmulas para las relaciones fundamentales, las cuales contribuyen a obtener las propiedades de una muestra de suelo.

✓ Relación de Vacíos / Oquedad / Índice de poros:

$$e = \frac{V_v}{V_s}$$

✓ Porosidad:

$$n(\%) = \frac{V_v}{V_m} \times 100$$

Además:

$$n = \frac{e}{1 + e} \leftrightarrow e = \frac{n}{1 - n}$$

✓ Grado de saturación:

$$G_w(\%) = \frac{V_w}{V_v} \times 100$$

✓ Contenido de agua / Humedad:

$$w(\%) = \frac{W_w}{W_s} \times 100$$

- ✓ Grado de saturación de aire:

$$G_A(\%) = \frac{V_A}{V_v} \times 100$$

2.2.3.1 Ensayos

- ✓ MTC E 108⁷: Determinación del contenido de humedad de un suelo.
- ✓ MTC E 113⁸: Método de estándar para la gravedad específica de sólidos de suelo mediante píctómetro de agua.

2.2.4 Densidad relativa

Este parámetro es muy importante para la compactación de suelos granulares. La cual está definida como:

Donde:

e_{\max} = relación de vacíos en estado más suelto.

e_{\min} = relación de vacíos en estado más denso.

e = relación de vacíos in-situ.

2.2.5 Límites de Atterberg:

Los suelos arcillosos con diferentes contenidos de humedad determinan el estado en el que se encuentren. Pueden ser Límite Líquido, Límite Plástico y Límite de Contracción, los cuales son denominados los Límites de Atterberg.

⁷ Cfr. “Manual de ensayo de materiales” (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016, págs. 49-53).

⁸ Cfr. “Manual de ensayo de materiales” (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016, págs. 80-90).

El índice de plasticidad es el resultado de la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico.

$$IP = LL - LP$$

2.2.5.1 Ensayos

- ✓ MTC E 110⁹: Determinación del límite líquido de los suelos.
- ✓ MTC E 111¹⁰: Determinación del límite plástico (L.P.) de los suelos e índice de plasticidad (I.P.).

2.2.6 Actividad

Este parámetro sirve para identificar el potencial de expansión y con ellos el tipo de suelo arcilloso.

$$A = \frac{IP}{\% \text{ de la fracción de tamaño de arcilla en peso}}$$

Tabla 1
Rango de Actividad por tipo de mineral.

Mineral	Actividad (A)
Esmecitas	1-7
Ilita	0.5-1
Caolinita	0.5
Halloysita	0.5
Atapul gita	0.5-1.2
Alofana	0.5-1.2

2.2.7 Óptimo contenido de humedad y Peso unitario seco máximo

Parámetros que se determinan mediante el ensayo de Compactación de suelo (Proctor modificado) por medio de 4 o 5 especímenes con contenidos de humedad diferentes.

⁹ Cfr. “Manual de ensayo de materiales” (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016, págs. 67-71).

¹⁰ Cfr. “Manual de ensayo de materiales” (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016, págs. 72-74).

2.2.7.1 Ensayos

- ✓ MTC E 115¹¹: Compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (Proctor modificado).

2.2.8 CBR de los suelos

El objetivo de este ensayo es obtener la resistencia al corte potencial de una muestra que conformarán la subrasante o las capas granulares del pavimento.

2.2.8.1 Ensayos

- ✓ MTC E 132¹²: CBR de suelos (Laboratorio).

2.3 Clasificación de los suelos

2.3.1 Clasificación AASHTO

El sistema de clasificación AASHTO clasifica a los suelos en ocho grupos en base a su granulometría, límite líquido e índice de plasticidad. En la siguiente tabla se puede observar las características que debe presentar el suelo para clasificarlas en un grupo. En el grupo A-8 se encuentran los suelos con material orgánico, turba y fango.

¹¹ Cfr. “Manual de ensayo de materiales” (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016, págs. 105-118).

¹² Cfr. “Manual de ensayo de materiales” (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016, págs. 105-118).

Tabla 2
Clasificación de suelos según AASHTO.

Clasificación general	Materiales granulares (igual o menor del 35% pasa el tamiz N° 200)							Materiales Limo-Arcillosos (más del 35% pasa el tamiz N° 200)			
Grupos	A-1			A-2							A-7
Subgrupos	A-1-a	A-1-b	A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7	A-4	A-5	A-6	A-7-5 A-7-6
% que pasa el tamiz:											
N° 10	50 máx.										
N° 40	30 máx.	50 máx.	51 máx.								
N° 200	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 min.	36 min.	36 min.	36 min.
Características del material que pasa el tamiz N° 40											
Límite líquido			NO PLÁSTICO	40 máx.	41 máx.	40 máx.	41 máx.	40 máx.	41 máx.	40 máx.	41 máx.
Índice de plasticidad	6 máx.	6 máx.		10 máx.	10 máx.	11 máx.	11 máx.	10 máx.	10 máx.	11 máx.	11 máx.
Índice de grupo	0	0	0	0	0	4 máx.	4 máx.	8 máx.	12 máx.	16 máx.	20 máx.
Tipos de material	Fragmentos de piedra grava		Arena fina	Grava, arenas limosas y arcillosas				Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Terreno de fundación	Excelente a bueno					Regular a deficiente					

Si $IP \leq LL - 30$, la clasificación es A-7-5

Si $IP > LL - 30$, la clasificación es A-7-6

Nota: Adaptado de <<Fundamentos de ingeniería de cimentaciones>>, por Braja Das, 2012.

2.3.2 Clasificación SUCS

El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos es el sistema de clasificación que más se emplea en los trabajos geotécnicos.

Los siguientes símbolos son los que se usan para la identificación de suelos.

Tabla 3
Simbología para la clasificación SUCS.

Símbolo	Descripción
G	Grava
S	Arena
M	Limo
C	Arcilla
O	Limos orgánicos y arcilla
Pt	Turba y suelo altamente orgánicos
H	Alta plasticidad
L	Baja plasticidad
W	Bien graduado
P	Mal graduado

Con la gráfica de plasticidad se determina si los suelos finos (arcilla o limos) son de alta o baja plasticidad necesarios para la clasificación de este sistema.

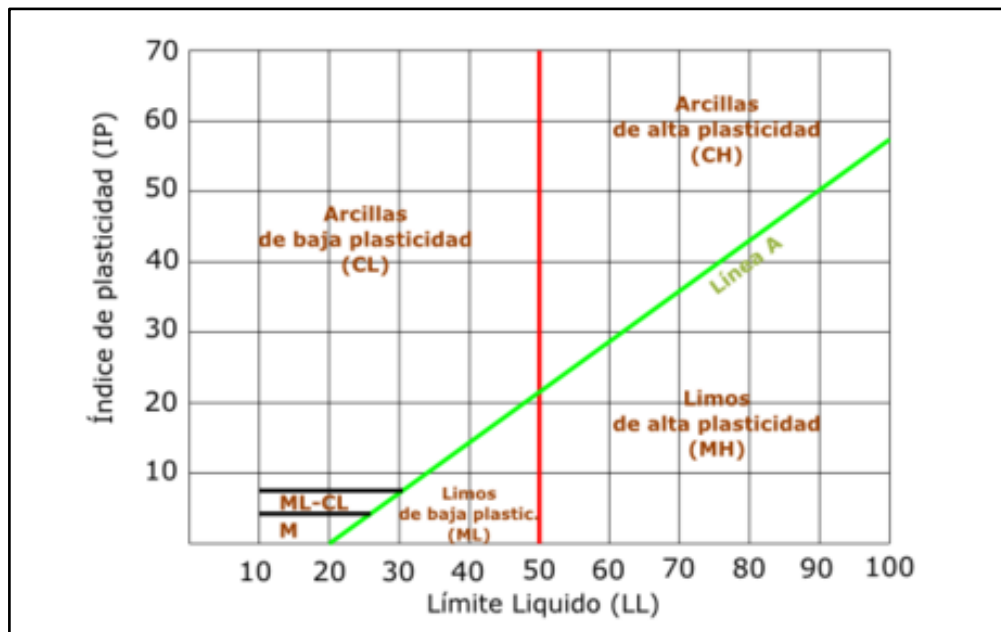


Figura 6. Plasticidad SUCS.

2.4 Cemento Portland¹³

El cemento Portland es un aglomerante que reacciona al añadirle agua y sirve como adhesivo de las partículas de agregado con la finalidad de formar el concreto de cemento Portland. Se le atribuye el nombre a la isla de Portland (Inglaterra), el lugar donde se encuentran los acantilados de piedra caliza, y fue patentado por Joseph Aspdin en 1824. Para trabajar en la selección, especificación y control de calidad como especialista es necesario conocer lo relacionado a la producción, composición química, propiedades de hidratación y propiedades físicas del cemento Portland.

Se puede decir del concreto que:

El hormigón [concreto] es el material artificial de construcción más ampliamente utilizado [...]. Se emplea en estructuras tales como edificios, puentes, túneles, presas, fábricas, pavimentos y campos deportivos. El hormigón [concreto] de cemento Portland está compuesto por cemento Portland, áridos [agregados], agua, espacios rellenos de aire y, en muchos casos, aditivos (Mamlouk & Zaniewski, 2009, pág. 211).

2.4.1 Hidratación

La reacción entre partículas de cemento y agua es conocida como la hidratación del cemento Portland. Es importante tener en consideración que la relación entre aluminatos y sulfatos es un factor enfocado a la velocidad de fraguado. Asimismo, se forman silicatos de calcio hidratados (C-S-H) los cuales están relacionados a la resistencia que tendrá el concreto. Sin embargo, algunos C-S-H son susceptibles a ser atacados por sulfatos y aguas ácidas.

¹³ Adaptado de “Materiales para la ingeniería civil – Capítulo 6: Cemento Portland” (Mamlouk & Zaniewski, 2009).

De acuerdo con lo mencionado anteriormente, la hidratación del cemento Portland es un factor a tener en cuenta para el desarrollo de esta investigación. Esta característica permitirá alcanzar una resistencia adecuada y, de la misma manera, la adherencia con las partículas con la que se combinará.

2.4.2 Tipos

Tabla 4
Tipos y aplicaciones del cemento Portland estándar.

Tipo	Nombre	Aplicación
I	Normal	Trabajo general con hormigón [concreto] cuando no sean necesarias las propiedades de los otros tipos. Adecuado para suelos, estructuras de hormigón [concreto] reforzado, pavimentos, etc.
II	Resistencia moderada a los sulfatos	Protección frente a una exposición moderada a los sulfatos, de 0.1-0.2% de peso de sulfatos solubles en agua en suelos o 150-1,500 ppm de sulfato en agua (agua marina). Puede especificarse con un calor moderado de hidratación, lo que le hace adecuado para grandes muelles, grandes fuertes y muros de contención. El moderado calor de hidratación también es ventajoso a la hora de colocar el hormigón [concreto] en regiones cálidas.
III	Alta resistencia inicial	Utilizado para la construcción rápida cuando es necesario eliminar los encofrados lo más deprisa posible, o cuando haya que poner en servicio la estructura lo antes posible. En ambientes fríos reduce el tiempo requerido para una curación controlada.
IV	Bajo calor de hidratación	Se utiliza cuando la masa de la estructura, como el caso de las presas de gran tamaño, requiera un control cuidadoso del calor de hidratación.
V	Alta resistencia a los sulfatos	Protección frente a una exposición severa a sulfatos, de entre 0.2-2.0% de peso de sulfatos solubles en agua para suelos, o de 1,500-10,800 ppm de sulfatos en agua.

Nota: Adaptado de <<Materiales para la ingeniería civil>>, por Michael S. Mamlouk y John P. Zaniewski, 2009.

Tabla 5

Requisitos químicos de ASTM para el cemento Portland (ASTM C150).

Tipo de cemento	Porcentaje máximo de los compuestos (%)			
	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
Portland				
I	55	19	10	7
II	51	24	6	11
III	56	19	10	7
IV	28	49	4	12
V	38	43	4	9

Nota: Adaptado de <<Materiales para la ingeniería civil>>, por Michael S. Mamlouk y John P. Zaniewski, 2009.

Otros tipos de cemento (aplicaciones limitadas):

- Cemento Portland blanco.
- Cementos hidráulicos mezclados.
- Cemento Portland con escoria de horno alto (Tipo es).
- Cemento Portland-puzolana (Tipo IP y Tipo P).
 - ✓ Cemento de escoria (Tipo S).
 - ✓ Cemento Portland modificado con puzolana (Tipo I (PM)).
 - ✓ Cemento Portland modificado con escoria (Tipo I (SM)).
- Cemento para mampostería.
- Cementos expansivos (Tipo K).
- Cementos especiales.

Estos cementos tienen una finalidad específica para satisfacer algún requerimiento en un proyecto.

En esta tesis se conviene la utilización de cemento Portland tipo I debido a: la fácil adquisición en relación con temas logísticos para una obra en provincia, Villa Rica es una ciudad en expansión y el tipo de cemento descrito es el de mayor comercialización; y menor costo en comparación con los otros tipos, al ser de tipo general y al no desarrollar las características de los otros tipos el costo es menor.

2.4.3 Aditivos para el concreto

Son ingredientes adicionales al cemento, el agua y los agregados, los cuales modifican el concreto y le proporcionan una cualidad específica.

Aditivos en forma de soluciones: se consideran como parte del agua de la mezcla.

Aditivos que no están en forma de soluciones: se añaden por su peso o volumen (recomendación del fabricante).

Pueden ser:

1. Agentes aireantes.
2. Reductores de agua.
3. Retardadores.
4. Aditivos de control de la hidratación.
5. Aceleradores.
6. Aditivos cementosos suplementarios.
7. Aditivos especializados.

Razones principales para el uso de aditivos:

1. Para reducir el coste de fabricación del concreto.
2. Para dotar al concreto de ciertas propiedades de forma más efectiva que por otros medios.
3. Para garantizar la calidad del concreto durante las etapas de mezclado, transporte, colocación y curación en condiciones climatológicas adversas.
4. Para responder a ciertas emergencias durante las operaciones con el concreto.

El presente estudio no contempla la evaluación de algún aditivo para el mejoramiento de las características de la subrasante, por lo que no será utiliza ninguno de los antes

mencionados. Sin embargo, de acuerdo con los resultados, se podrá sugerir la utilización de algún.

2.5 Pavimentos¹⁴

Los pavimentos utilizados para carreteras y vías urbanas están constituidos por una capa de rodadura y una o dos capas de material granular. El principal objetivo es resistir las cargas vehiculares provocadas por el tránsito. Se debe tener en cuenta para su diseño 3 aspectos: comodidad, seguridad y confortabilidad. A diferencia de las cargas en otras estructuras, los pavimentos resisten principalmente cargas dinámicas, es decir cargas cíclicas que dependen del flujo vehicular y los tipos de vehículos.

En el Perú los pavimentos más utilizados son:

2.5.1 Pavimento flexible

Está compuesto por una capa asfáltica y 2 capas granulares (base y subbase) en las que se disipan las cargas generadas por el tránsito vehicular, por lo que cada capa descrita debe tener la resistencia necesaria para soportar dichos esfuerzos. Este tipo de pavimento debe, principalmente, cumplir 3 funciones: estructural; resistir la fatiga y deformaciones acumuladas, funcional; otorgar un desplazamiento vehicular cómodo y seguro durante su periodo de diseño, e impermeabilización; debe evitar la saturación de las capas granulares con la finalidad de mantener las densidades especificadas.

¹⁴ (Rondón Quintana & Reyes Lizcano, 2015)

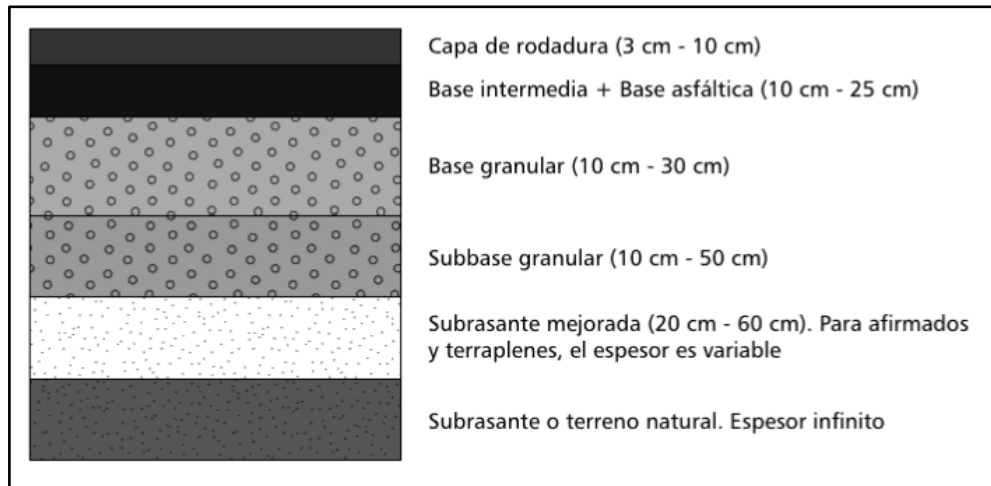


Figura 7. Perfil típico de la estructura de un pavimento flexible.

Fuente: (Rondón Quintana & Reyes Lizcano, 2015).

Este tipo de pavimento es el utilizado con mayor frecuencia en vías regionales, como es el caso de estudio ubicado en la Av. Padre Salas.

2.5.1.1 Diseño¹⁵

Para el diseño de pavimentos se toma en cuenta parámetros estadísticos, ejes equivalentes, número estructural, serviciabilidad y el módulo de resistencia, computados en la siguiente fórmula:

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R S_0 + 9.36 \log_{10}(SN + 1) - 0.2 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log_{10}(M_R) - 8.07$$

El valor de del módulo de resistencia es obtenido indirectamente mediante el CBR por la siguiente fórmula:

$$M_R(psi) = 2555 \times CBR^{0.64}$$

¹⁵ Cfr. Método AASHTO 93

Por lo que, mientras mayor sea el valor de CBR de la subrasante que soportará la estructura de pavimento, mayor será el módulo de resistencia y, por consecuencia, serán menor los requerimientos de la estructura para resistir las cargas vehiculares.

Por ejemplo, el MTC muestra un catálogo de estructuras de pavimento que presentan lo siguiente:

Tabla 6
Comparación de diseños.

	N° 1	N° 2
Ejes Equivalentes	10'000,001 - 12'500,000 (Tp10)	10'000,001 - 12'500,000 (Tp10)
Periodo de diseño	20 años	20 años
CBR	$10\% \leq \text{CBR} < 20\%$	$20\% \leq \text{CBR} < 30\%$
Carpeta asfáltica	13 cm.	13 cm.
Base granular	30 cm.	31 cm.
Sub-base granular	16 cm.	No requiere

Nota: Elaboración propia en base a manual MTC.

Se observa que, bajo las mismas condiciones de diseño, respecto a los ejes equivalentes y periodo de diseño, un CBR de mayor porcentaje reduce la subbase granular de la estructura del pavimento de 16 cm. a no requerirla completamente. Esto supone un ahorro en relación con la logística y construcción de dicho elemento.

2.5.2 Pavimento rígido

Está compuesto por una losa de concreto hidráulico y una capa de material granular (subbase). Este pavimento se caracteriza por disminuir casi toda la proporción de carga vehicular en la capa de concreto, solo una pequeña parte de la carga es transmitida a la subbase.

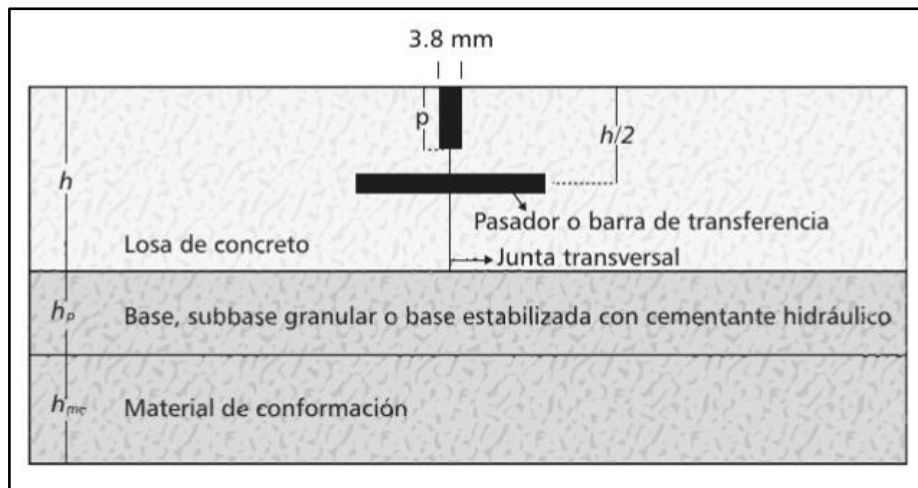


Figura 8. Perfil típico de la estructura de un pavimento rígido.

Fuente: (Rondón Quintana & Reyes Lizcano, 2015).

2.5.3 Inventario de daños¹⁶

“Durante la etapa de inventario de daños superficiales del pavimento se debe indicar el tipo, la extensión y la severidad, de acuerdo con la metodología que establecen los manuales de diagnóstico existentes a nivel nacional o internacional” (Rondón Quintana & Reyes Lizcano, 2015, pág. 265).

2.5.3.1 Fisuras

Este tipo de daños pueden ser longitudinales o transversales. El primero se da en el sentido del tránsito vehicular. Asimismo, son consecuencia de las microfisuras provocadas por los esfuerzos cíclicos que ejercen los vehículos sobre el pavimento. Por último, cabe resaltar que ante la presencia de este tipo de falla se afecta directamente la funcionalidad del pavimento y como consecuencia no se alcanza el periodo de diseño previsto. El segundo,

¹⁶ Adaptado de “Pavimentos: materiales, construcción y diseño – Capítulo 6: Evaluación de pavimentos” (Rondón Quintana & Reyes Lizcano, 2015).

ocurre en el sentido perpendicular a la dirección de la vía y son provocados por factores naturales tales como el clima y la degradación propia del pavimento.

Cuando se desarrollan las fisuras longitudinales y transversales dan como resultado a la malla eslabonada, la cual se puede visualizar como cuadrículas mayores de 15 cm (Se denomina “piel de cocodrilo” cuando las cuadrículas son menores a 15 cm). Esta afectación se vincula también al hundimiento del área donde se presenta.

2.5.3.2 Deformaciones

Se pueden dar en forma de lo que se conoce como fenómeno de ahuellamiento, el cual es identificado como uno de los principales daños en vías de pavimento flexible. Se trata del acumulado de las deformaciones verticales en la vía que son provocadas por parque automotor. Este tipo de daño se puede visualizar en el sentido longitudinal del pavimento como proyección de las llantas, lo que podría llegar a afectar estructuralmente y funcionalmente el pavimento en cualquiera de sus capas. Las principales causas que provocan este daño son:

- Mezcla asfáltica de baja rigidez y/o sometida a altas temperaturas de servicio.
- Compactación insuficiente de las capas del pavimento.
- Exceso de asfalto en la mezcla.
- Cargas elevadas de tránsito, acompañadas de insuficiente espesor del pavimento.

Por otro lado, existen depresiones localizadas en el pavimento, las cuales son conocidas como hundimientos, que son producidas principalmente por:

- Deficiencia en las obras de drenaje.
- Defectos constructivos aislados, los cuales no fueron corregidos durante la ejecución.

- Desplazamiento vertical de la subrasante por pérdida de humedad o cargas de tráfico elevadas.
- Zonas con capas granulares muy húmedas.
- Compactación deficiente.
- Daños de tuberías de alcantarillado o acueducto.
- Inestabilidad de laderas.

Asimismo, se conoce como ondulaciones a un tercer tipo de daños de deformación.

Los cuales afectan el perfil longitudinal de la vía y hasta pueden provocar agrietamientos semicirculares. Son generados por:

- Exceso o mala dosificación del ligante asfáltico.
- Ligante asfáltico blando.
- Mezcla desestabilizada en climas de altas temperaturas.
- Vehículos pesados que frenan en intersecciones o el tránsito lento de estos en zonas con pendientes altas.
- Agregados pétreos redondeados.

2.5.3.3 Pérdidas de las capas de la estructura

- Capa de rodadura de espesor insuficiente.
- Ligante asfáltico inadecuado.
- Compactación localizada insuficiente.
- Baja afinidad entre el ligante asfáltico y agregado pétreo.
- Trabajos con mezcla asfáltica durante condiciones de lluvia.
- Deficiente riego de liga.
- Mezcla asfáltica permeable.

- Deterioro del ligante asfáltico

De la misma manera, otra afectación que está relacionada con la pérdida de capas de la estructura son los daños conocidos como bache, se identifica cuando una zona de la vía pierde totalmente la capa asfáltica y la capa granular se encuentra expuesta. Los baches son consecuencias de:

- Evolución de los daños de “piel de cocodrilo”.
- Zonas en las capas granulares con fallas que no fueron detectadas.
- Obras de drenaje o subdrenaje deficientes.
- Zonas blandas en la subrasante provocadas por un alto contenido de humedad.

Por otro lado, Rondón (2015) indica que se debe tener en cuenta a los “parches” dentro del inventario de daños ya que estos son evidencia de algún deterioro anterior. El autor también describe al “parcheo” como la acción de cambiar la capa asfáltica, y al “bacheo” cuando se reemplaza también parte de la capa granular. Se utilizan para remediar:

- Daños por baches.
- Daños por “piel de cocodrilo”.
- Daños por malla eslabonada.
- El pavimento luego de instalación de tubería.
- El pavimento luego de instalación de cableado.

Como se ha observado anteriormente, en la Av. Padre Salas existe una presencia considerable de daños como fisuras, baches y pérdidas de la estructura del pavimento. Los cuales son provocados principalmente por la baja capacidad portante del material en la subrasante.

2.6 Suelo-Cemento

El suelo-cemento se obtiene al mezclar cemento, agua y un suelo de baja resistencia ya sea granular o fino, seguida de una compactación y un curado adecuados. De modo que el nuevo material formado alcanza una resistencia mayor a la que el suelo por sí solo.

El efecto del cemento en los suelos arcillosos es menos comprendido que su efecto en los suelos granulares. En primer lugar, se produce un efecto en el que la hidratación del cemento produce silicatos y aluminatos hidratados de calcio, hidróxido de calcio e iones de calcio que elevan la concentración de electrolitos de agua intersticial, aumentando su PH. A continuación, le sigue un proceso de dos fases. En la primera, se produce el intercambio iónico entre los iones de calcio y otros absorbidos por los minerales de arcilla. En la segunda, se dan las reacciones químicas puzolánicas entre el cemento y elementos que componen los cristales de arcilla. Los elementos silícicos y aluminicos reaccionan con los compuestos cálcicos para formar elementos cementantes. El resultado final de esta reacción es la transformación de una estructura arcillosa originalmente floculada y vaporosa a un agregado resistente y cuya resistencia se incrementa respecto al tiempo.

Toirac (2008) nos explica que, durante el período de hidratación, los suelos finos los arcillosos y limosos cuando se mezclan con cemento y agua se producen unas fuertes uniones entre partículas minerales para formar una microestructura en forma de un panal de abejas.

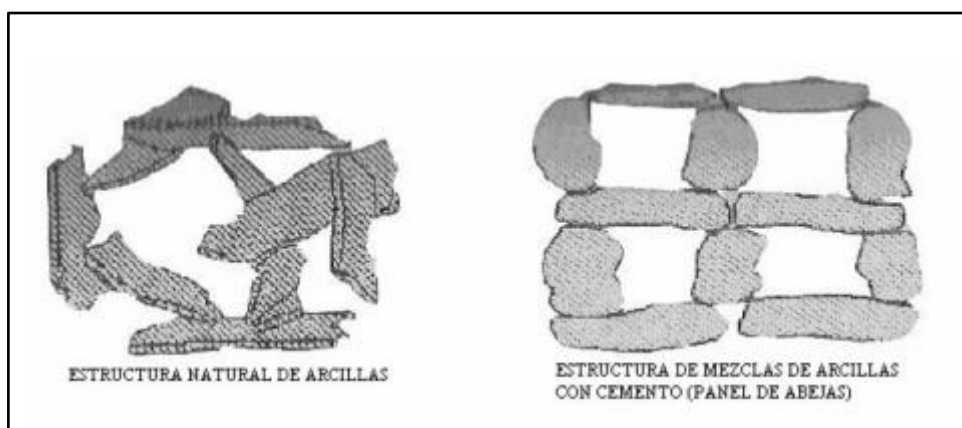


Figura 9. Estructura de arcilla natural y arcilla con cemento.

2.6.1 Suelos recomendados para mezcla suelo-cemento

2.6.1.1 Por granulometría

Tabla 7

Distribución granulométrica recomendada para utilizar suelo-cemento.

Tamiz	% que pasa
3"	100
Nº 4	100 – 50
Nº 40	100 – 15
Nº 200	50 – 10

Nota: Adaptado de <<El suelo-cemento como material de construcción>>, por Toriac, 2008.

2.6.1.2 Por límites de Atterberg

En torno a los límites de Atterberg, Toriac (2008) propone que el suelo debe estar dentro de lo siguiente:

- ✓ Límite líquido < 45%
- ✓ Límite plástico < 18%

2.6.1.3 Por su eficiencia en la mezcla

De la misma manera se puede clasificar los suelos en suelos eficientes y suelos deficientes¹⁷.

El primer conjunto es aquel que reacciona al ser combinado con cantidades pequeñas de cemento Portland, estos pueden ser:

- ✓ Suelos arenosos y suelo con grava: 10 – 35% de suelo y arcilla del total del material.

¹⁷ Cfr. “El suelo-cemento como material de construcción” (Toirac Corral, 2008).

- ✓ Suelo arenoso con deficiencia de partículas finas: Arenas de playas, a pesar de que este tipo de suelo requiere una mínima cantidad de cemento, dicha cantidad es mayor a la que se necesitaría para una mezcla con arena normal.
- ✓ Suelos limosos y arcillosos con baja plasticidad: La cantidad de cemento requerida es baja, pero esta aumentará si el contenido de arcilla del suelo es mayor.

Por otro lado, se encuentran aquellos suelos considerados deficientes, es decir, que es necesario mayores cantidades de cemento Portland en la mezcla suelo-cemento, se pueden identificar 2 suelos con las siguientes características:

- ✓ Suelos limosos y arcillosos con alta plasticidad: Es necesario utilizar mayores cantidades de cemento en la mezcla debido a que este tipo de suelo presenta poca resistencia.
- ✓ Suelos orgánicos: Debido a que este tipo de suelo contiene grandes cantidades materia orgánica, es necesario también contar con una mayor cantidad de cemento Portland. Sin embargo, no se recomienda realizar mezclas con este tipo de suelo.

2.6.1.4 Suelo ideal

Para que la mezcla suelo-cemento reaccione con la mínima cantidad de cemento Portland se recomienda que el suelo tenga las siguientes características:

- ✓ Agregado de arena : 80% máx. (55-75% óptimo).
- ✓ Agregado de limo : 30% máx. (0-28% óptimo).
- ✓ Agregado de arcilla : 50% máx. (15-18% óptimo).
- ✓ Agregado de materia orgánica : 3% máx.
- ✓ Tamiz N° 4 : pasa 100 % del material.

2.6.2 Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC)

De acuerdo con el manual de carreteras del MTC (2013) se usa la estabilización con cemento cuando son los granulares tipos A-1, A-2 y A-3, con finos de plasticidad baja o media ($LL < 40$, $IP < 18$).

Tabla 8

Rango de cemento requerido en estabilización suelo-cemento.

Clasificación de suelos AASHTO	Rango usual de cemento requerido Porcentaje del peso de los suelos
A-1-a	3 – 5%
A-1-b	5 – 8%
A-2	5 – 9%
A-3	7 – 11%
A-4	7 – 12%
A-5	8 – 13%
A-6	9 – 15%
A-7	10 – 16%

Nota: Adaptado de <<Manual de carreteras: suelos, geología, geotecnia>>, por Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), 2013.

3 METODOLOGÍA

Estabilización con cemento

El Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) establece en el Manual de Carreteras “Especificaciones Técnicas Generales para Construcción” (2013) que esta intervención al suelo de interés se realizará en una o más capas y se emplea el cemento Portland. Para ello se detallan los requerimientos del suelo y el cemento para su disposición como mezcla estabilizada.

Suelo

El suelo que se empleará como parte de la mezcla no debe contener material orgánico, sales, sulfatos y/u otros que afecten posteriormente al concreto. La porción de la mezcla conformada por agregado puede ser material preexistente, como el afirmado de la

vía y la capa superficial del suelo; o material externo, como excavaciones, agregados comprados de la zona o como producto de un diseño de mezcla de agregados.

De acuerdo con la clasificación AASHTO, el suelo a estabilizar debe ser de tipo A-1, A-2, A-3, A-4, A-5, A-6 o A-7 con un agregado de tamaño máximo nominal no mayor de 5 cm o 1/3 del espesor de la capa a compactar.

En torno a la plasticidad, el Límite Líquido debe ser inferior a 40, con un Índice Plástico menor a 18%.

3.1 Mejoramiento v. Reemplazo

Se puede considerar 2 alternativas para incrementar la capacidad portante de un terreno que soportará carga. La primera, es el mejoramiento por diferentes técnicas, las cuales consideran la utilización de materiales como: cal, agregados, cenizas, cemento, etc. Por otro lado, el reemplazo corresponde a la remoción total del material y la colocación de un material con mejores características.

La principal diferencia entre las opciones mencionadas radica en el costo de ejecución. Mientras que el mejoramiento solo incrementa el costo por el componente adicional utilizado, el reemplazo toma en cuenta la remoción del material existente, la eliminación de este y el transporte y colocación del nuevo material. En ese sentido, tomando en cuenta mayores recursos como maquinaria y mano de obra, el costo de reemplazar el material es superior al mejoramiento de suelo de soporte.

3.2 Características y propiedades del cemento como agente estabilizante

Al aplicar cemento Portland a un suelo se mejora las características del material como: plasticidad y asentamiento. En torno a la plasticidad, esta es una característica que

tiene relación directa con la sensibilidad que tiene un suelo para expandirse al estar en contacto con el agua. Para el suelo arcilloso esta característica es de gran importancia debido a las precipitaciones que se presentan de manera regular en la zona de estudio. Como se mencionó anteriormente, las subrasantes deben contar con un buen sistema de drenaje con el objetivo de evitar el incremento de humedad en el material de conformación y como consecuencia prevenir el decremento de la capacidad portante.

Asimismo, adicionar material cementante al suelo lo estabiliza evitando desplazamientos provocados por las cargas a las que la subrasante estará soportando. Resistir ante estos esfuerzos es fundamental puesto que son aquellos que generan fatiga en la estructura de la vía, es decir, acumula los desplazamientos a lo largo de la puesta en servicio de la ruta.

4 ENSAYOS

4.1 Obtención de muestras

Para la realización del presente proyecto se extrajo 3 muestras inalteradas, las cuales contaban con los siguientes parámetros: cubos de 30 cm de arista y un peso total de 180 Kg. Se siguió el procedimiento establecido por el MTC, el cual fue ejecutado el día 7 de abril de 2019 en la Av. Padre Salas.



Figura 10. Mapa de calicatas

En la *Figura 10* se muestra un mapa referencial en el que se encuentran ubicados los puntos donde se realizaron las calicatas para la extracción de las muestras.



Figura 11. Extracción de muestra C-01.

Fuente: Captura propia.

La profundidad de extracción de las muestras de suelo inalteradas fue de 1.00 metro, tomando como referencia el eje de la vía. El sondeo de sitio se realizó mediante la excavación de una zanja en el extremo de la Av. Padre Salas.



Figura 12. Moldeado de muestra.

Fuente: Captura propia.

Las muestras fueron cubiertas con parafina, con el objetivo de evitar la variación de contenido de humedad, y se protegió con bolsas plásticas para su transporte.



Figura 13. Empaquetado de muestra.

Fuente: Captura propia.



Figura 14. Transporte de muestras.

Fuente: Captura propia.



Figura 15. Muestra en laboratorio.

Fuente: Captura propia.

4.2 Ensayos de suelo natural

4.2.1 Límites de Atterberg

Para este ensayo se siguió lo estipulado en la NTP 339.129, dando como resultado lo siguiente¹⁸:

- Límite Líquido : 66.10 %
- Límite Plástico : 26.90 %
- Índice de Plasticidad : 39.20 %



Figura 16. Ejecución de ensayo de Límites de Atterberg.

Fuente: Captura propia.

¹⁸ Anexo 1.

4.2.2 Actividad

A partir de los valores obtenidos en los ensayos de los Límites de Atterberg podemos calcular la actividad del suelo, parámetro que nos sirve para identificar el potencial de expansión y el tipo de suelo arcilloso.

$$A = \frac{IP}{\% \text{ de la fracción de tamaño de arcilla en peso}}$$

$$A = \frac{32.90}{98} = 0.4 \approx 0.5$$

De acuerdo con la *Tabla 2* se clasifica este tipo de arcilla como caolinita.

4.2.3 Contenido de humedad

De acuerdo con la NTP 339.127, se obtuvo¹⁹:

- Contenido de humedad : 29.37 %



Figura 17. Ejecución de ensayo de contenido de humedad.

Fuente: Captura propia.

¹⁹ Anexo 2.

4.2.4 Clasificación²⁰

- SUCS : CH
- AASHTO : A-7-6 (45)

4.2.5 Ensayo de compactación utilizando energía modificada (Proctor Modificado)²¹

Como resultado del ensayo Proctor modificado realizado a la muestra de suelo natural se obtuvo que el Óptimo contenido de humedad es 14.30%, con el cual se alcanza una Máxima Densidad Seca (MDS) de 1.827 gr/cm³.



Figura 18. Ejecución de ensayo Proctor modificado.

Fuente: Captura propia.

²⁰ Anexo 3.

²¹ Anexo 4.

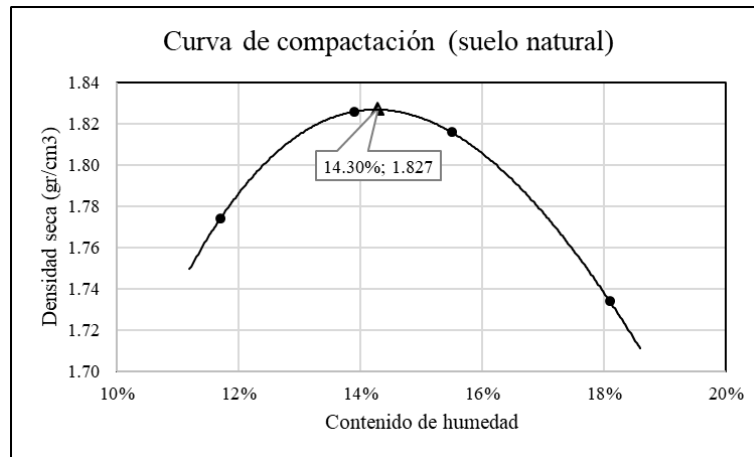


Figura 19. Curva Contenido de humedad v. Densidad seca.

Fuente: Informe de ensayo N° 080-2019-MTC.

4.2.6 CBR²²

Al realizar el ensayo de laboratorio, luego de cuatro días de saturación de la muestra, se obtuvieron los siguientes resultados:

El valor del CBR al 100% del MDS cuando se realiza una penetración de 2.54 mm (0.1”) es igual a 3.30% y cuando se realiza una penetración de 5.08 mm (0.2”) es 3.00%. Asimismo, el valor del CBR al 95% del MDS cuando se realiza una penetración de 2.54 mm (0.1”) es igual a 2.60% y cuando se realiza una penetración de 5.08 mm (0.2”) es 2.30%.

Por otro lado, la expansión, o hinchamiento, de la muestra alcanzó variaciones iguales a 10.14%, 7.21% y 7.00%, con lo que se obtiene un hinchamiento promedio de 8.12% para el suelo natural.

²² Anexo 5.



Figura 20. Ejecución ensayo CBR.

Fuente: Captura propia.

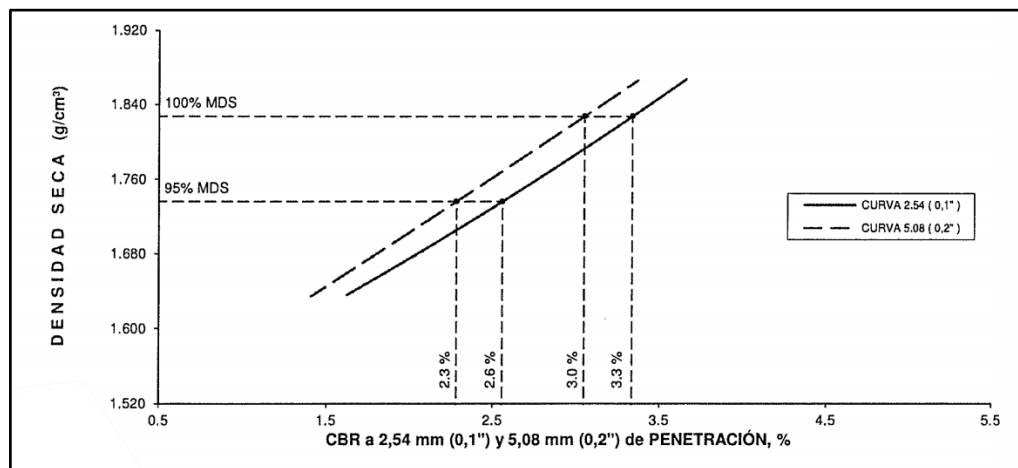


Figura 21. Gráfico CBR v. Densidad seca.

Fuente: Informe de ensayo N° 080-2019-MTC.

4.3 Ensayo de suelo estabilizado



Figura 22. Ejecución ensayo CBR a suelo-cemento de 10%, 15% y 20%.

Fuente: Captura propia.

4.3.1 Proctor modificado – 10%²³

Como resultado del ensayo Proctor modificado realizado a la muestra de suelo cemento 10% se obtuvo un Óptimo contenido de humedad equivalente a 14.60%, con el cual se alcanza una Máxima Densidad Seca (MDS) de 1.831 gr/cm³.

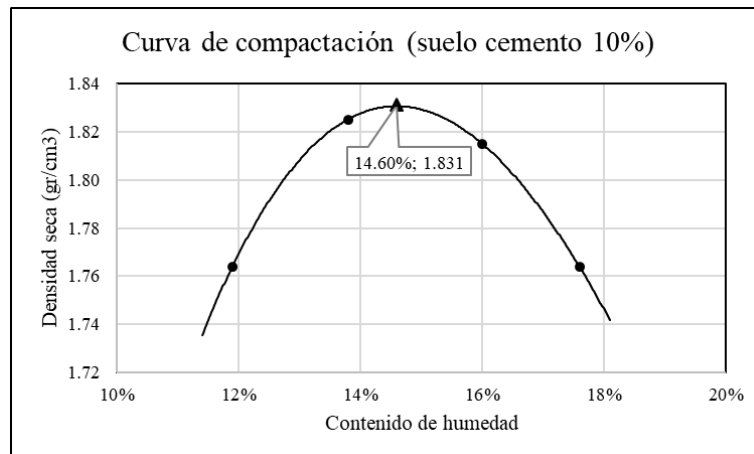


Figura 23. Curva Contenido de humedad v. Densidad seca – 10%.

Fuente: Informe de ensayo OJGRG INGENIEROS S.R.L.

²³ Anexo 6.

4.3.2 CBR – 10%²⁴



Figura 24. Ejecución ensayos proctor modificado y CBR – 10%.

Fuente: Captura propia.

Al realizar el ensayo de laboratorio, luego de cuatro días de saturación de la muestra, se obtuvieron los siguientes resultados:

El valor del CBR al 100% del MDS cuando se realiza una penetración de 2.54 mm (0.1”) es igual a 130.80% y cuando se realiza una penetración de 5.08 mm (0.2”) es 105.80%. Asimismo, el valor del CBR al 95% del MDS cuando se realiza una penetración de 2.54 mm (0.1”) es igual a 105.90% y cuando se realiza una penetración de 5.08 mm (0.2”) es 91.90%.

Por otro lado, la expansión, o hinchamiento, de la muestra alcanzó variaciones iguales a 3.00%, 2.97% y 2.96%, con lo que se obtiene un hinchamiento promedio de 2.98% para el suelo cemento 10%.

²⁴ Anexo 7.

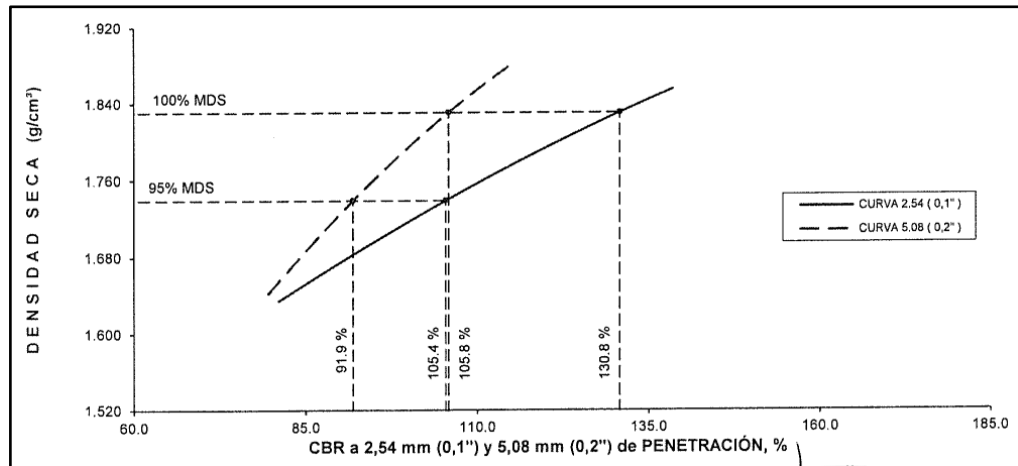


Figura 25. Gráfico CBR v. Densidad seca – 10%.

Fuente: Informe de ensayo OJGRG INGENIEROS S.R.L.

4.3.3 Proctor modificado – 15%²⁵

Como resultado del ensayo Proctor modificado realizado a la muestra de suelo cemento 15% se obtuvo un Óptimo contenido de humedad equivalente a 15.00%, con el cual se alcanza una Máxima Densidad Seca (MDS) de 1.832 gr/cm³.



Figura 26. Ejecución ensayos proctor modificado y CBR – 15%.

Fuente: Captura propia.

²⁵ Anexo 8.

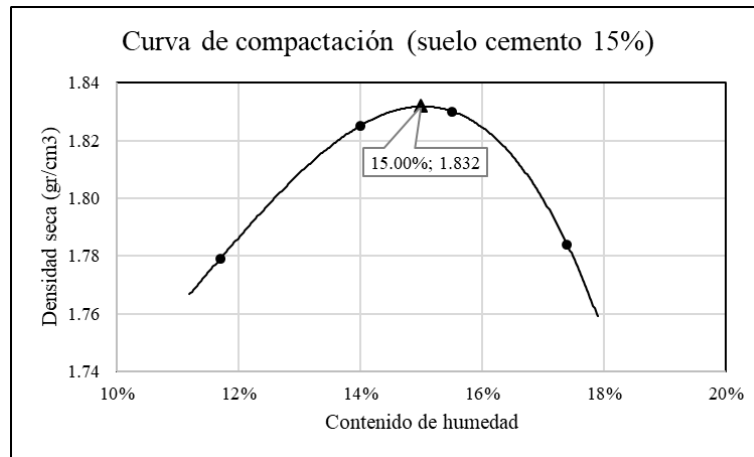


Figura 27. Curva Contenido de humedad v. Densidad seca – 15%.

Fuente: Informe de ensayo OJGRG INGENIEROS S.R.L.

4.3.4 CBR – 15%²⁶

Al realizar el ensayo de laboratorio, luego de cuatro días de saturación de la muestra, se obtuvieron los siguientes resultados:

El valor del CBR al 100% del MDS cuando se realiza una penetración de 2.54 mm (0.1”) es igual a 116.70% y cuando se realiza una penetración de 5.08 mm (0.2”) es 111.80%. Asimismo, el valor del CBR al 95% del MDS cuando se realiza una penetración de 2.54 mm (0.1”) es igual a 108.00% y cuando se realiza una penetración de 5.08 mm (0.2”) es 104.70%.

Por otro lado, la expansión, o hinchamiento, de la muestra alcanzó variaciones iguales a 4.72%, 4.11% y 3.90%, con lo que se obtiene un hinchamiento promedio de 4.24% para el suelo cemento 15%.

²⁶ Anexo 9.

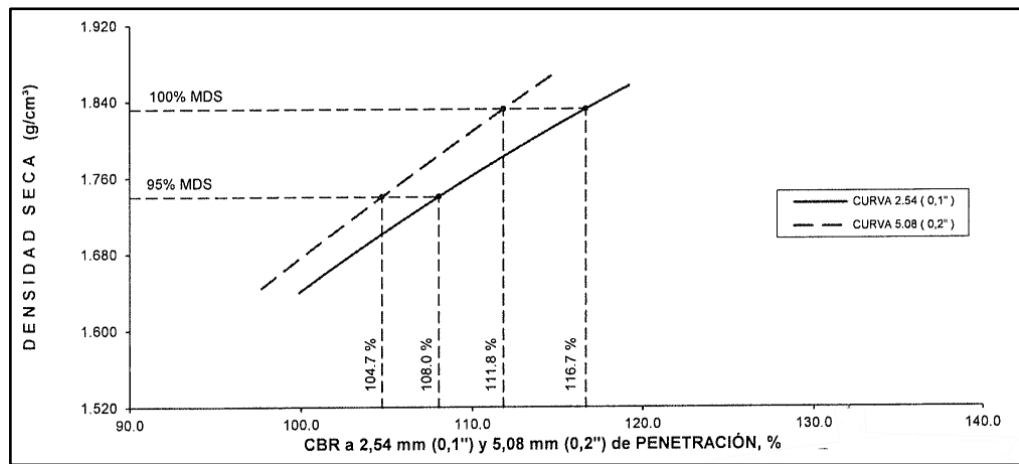


Figura 28. Gráfico CBR v. Densidad seca – 15%.

Fuente: Informe de ensayo OJGRG INGENIEROS S.R.L.

4.3.5 Proctor modificado – 20%²⁷

Como resultado del ensayo Proctor modificado realizado a la muestra de suelo cemento 20% se obtuvo un Óptimo contenido de humedad equivalente a 15.20%, con el cual se alcanza una Máxima Densidad Seca (MDS) de 1.833 gr/cm³.



Figura 29. Ejecución ensayos proctor modificado y CBR – 20%.

Fuente: Captura propia.

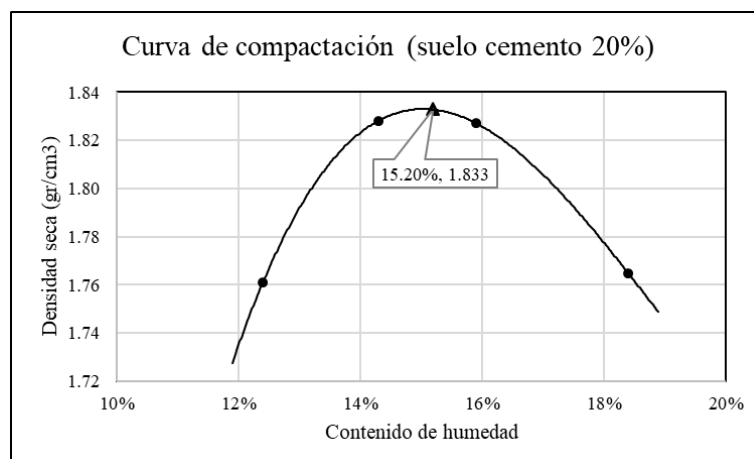


Figura 30. Curva Contenido de humedad v. Densidad seca – 20%.

Fuente: Informe de ensayo OJGRG INGENIEROS S.R.L.

²⁷ Anexo 10.

4.3.6 CBR – 20%²⁸

Al realizar el ensayo de laboratorio, luego de cuatro días de saturación de la muestra, se obtuvieron los siguientes resultados:

El valor del CBR al 100% del MDS cuando se realiza una penetración de 2.54 mm (0.1”) es igual a 153.60% y cuando se realiza una penetración de 5.08 mm (0.2”) es 146.30%. Asimismo, el valor del CBR al 95% del MDS cuando se realiza una penetración de 2.54 mm (0.1”) es igual a 138.70% y cuando se realiza una penetración de 5.08 mm (0.2”) es 129.30%.

Por otro lado, la expansión, o hinchamiento, de la muestra alcanzó variaciones iguales a 4.16%, 3.27% y 3.18%, con lo que se obtiene un hinchamiento promedio de 3.54% para el suelo cemento 20%.

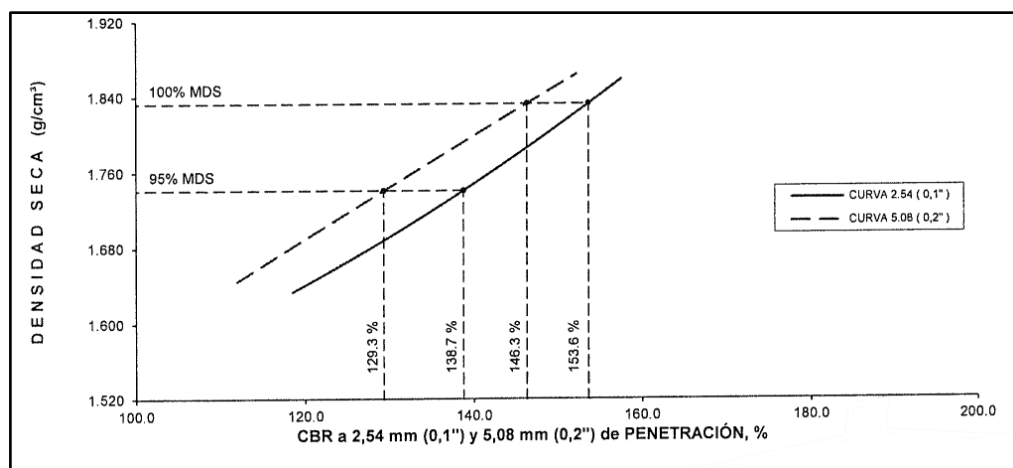


Figura 31. Gráfico CBR v. Densidad seca – 20%.

Fuente: Informe de ensayo OJGRG INGENIEROS S.R.L.

²⁸ Anexo 11.

4.4 Resultados

4.4.1 Caracterización

Tabla 9

Resultado de ensayos para caracterización del suelo.

Límites de Atterberg			Actividad	Cont. humedad	Clasificación	
L.L.	L.P.	I.P.	0.50		SUCS	AASHTO
66.10%	26.90%	39.20%	(Caolinita)	29.37%	CH	A-7-6 (45)

Fuente: Elaboración propia.

4.4.2 Proctor modificado

Tabla 10

Resultado de ensayos de compactación.

	Suelo natural	Suelo cemento 10%	Suelo cemento 15%	Suelo cemento 20%
O.C.H.	14.30%	14.60%	15.00%	15.20%
MDS (gr/cm ³)	1.827	1.833	1.832	1.833

Fuente: Elaboración propia.

4.4.3 CBR

Tabla 11

Resultado de ensayos CBR.

	Suelo natural		Suelo cemento 10%		Suelo cemento 15%		Suelo cemento 20%	
	2.54 mm (0.1")	5.08 mm (0.2")	2.54 mm (0.1")	5.08 mm (0.2")	2.54 mm (0.1")	5.08 mm (0.2")	2.54 mm (0.1")	5.08 mm (0.2")
100% MDS	3.30%	3.00%	130.80%	105.80%	116.70%	111.80%	153.60%	146.30%
95% MDS	2.60%	2.30%	105.40%	91.90%	108.00%	104.70%	138.70%	129.30%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 12

Resultados de ensayos CBR en torno a expansión.

Suelo natural		Suelo cemento 10%		Suelo cemento 15%		Suelo cemento 20%	
Exp.	Prom.	Exp.	Prom.	Exp.	Prom.	Exp.	Prom.
10.14%		3.00%		4.72%		4.16%	
7.21%	8.12%	2.97%	2.98%	4.11%	4.24%	3.27%	3.54%
7.00%		2.96%		3.90%		3.18%	

Fuente: Elaboración propia.

5 ANÁLISIS DE RESULTADOS

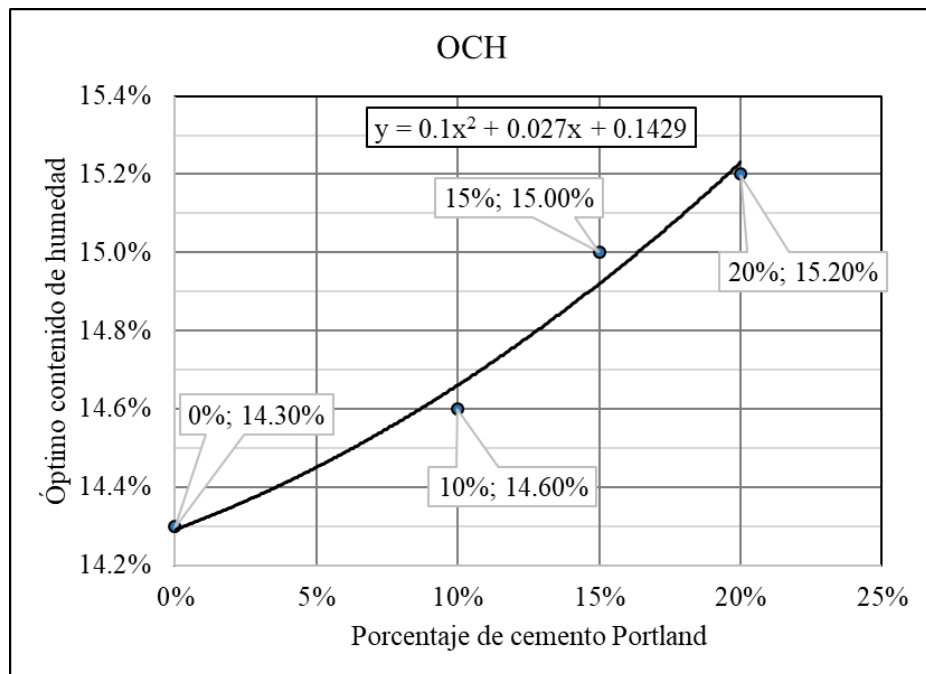


Figura 32. Gráfico Porcentaje de cemento Portland v. Óptimo contenido de humedad.

Fuente: Elaboración propia.

Se observa en la Figura 32. *Gráfico Porcentaje de cemento Portland v. Óptimo contenido de humedad.* que el óptimo contenido de humedad varía casi de forma lineal. Además, el menor valor de contenido de humedad es 14.3% cuando el suelo está en condiciones naturales, y llega a un máximo de 15.2% cuando se agrega 20% de cemento al suelo. Por lo que se obtiene una variación de 0.9% de humedad entre las muestras e indica

que a mayor cantidad de cemento mayor será el requerimiento de agua para lograr la densidad máxima de la muestra.

La humedad adicional necesaria para desarrollar una consistencia máxima se debe a la hidratación del cemento, acción necesaria para que los componentes reaccionen y se produzca la fragua. Mientras más cemento esté presente en el suelo cemento, mayor será la cantidad de agua. Es importante la cantidad de agua en la mezcla para lograr mayor resistencia en el suelo mejorado.

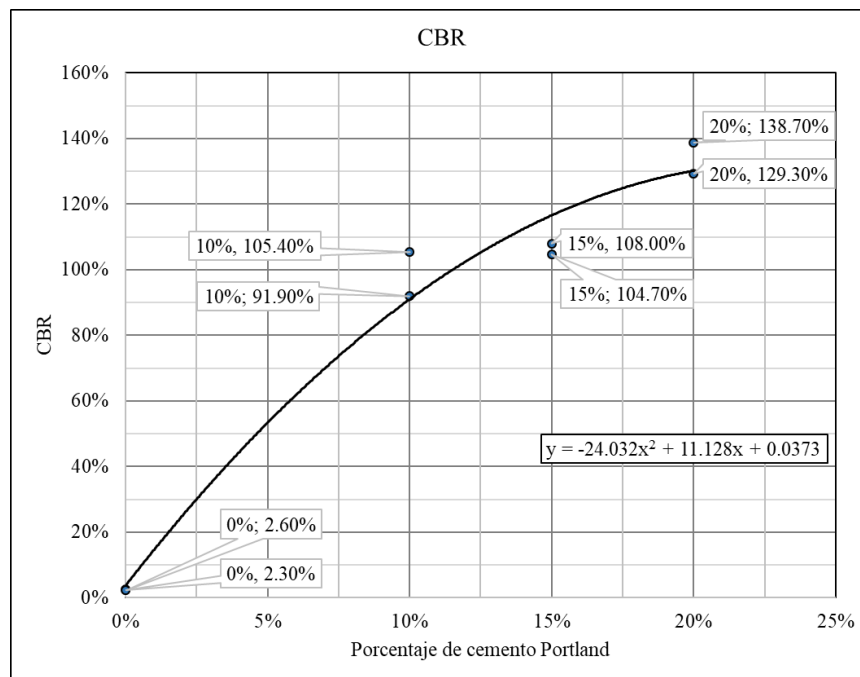


Figura 33. Gráfico Porcentaje de cemento Portland v. CBR.

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 33. Gráfico Porcentaje de cemento Portland v. CBR. se observa que el CBR del suelo se comporta en relación con el porcentaje de cemento Portland en forma de una curva, a mayor porcentaje de cemento, el valor del CBR aumentará.

Por otro lado, se puede visualizar el comportamiento del CBR en relación con el porcentaje de cemento mediante la fórmula de la curva descrita computada en la siguiente tabla:

Tabla 13

Variación CBR en relación con porcentaje de cemento añadido.

Ítem	% cemento	CBR
1	2 %	25.02 %
2	3 %	34.95 %
3	4 %	44.40 %
4	5 %	53.36 %

Fuente: Elaboración propia.

Se puede apreciar que a partir de 3% de cemento agregado, según el MTC, se obtiene una subrasante extraordinaria con un CBR de 34.95%. Este parámetro proporciona una subrasante de gran calidad para resistir la estructura de pavimento y las cargas vehiculares.

Asimismo, con 5% de cemento agregado se alcanza un CBR de 53.36%, el suelo cemento elaborado podría ser utilizado como una trocha carrozable afirmada en conjunto con una emulsión asfáltica.

Finalmente, se resalta que los ensayos CBR son elaborados en un periodo de 4 días en los que se produce la saturación. Para los ensayos realizados con suelo cemento, en ese lapso de tiempo se produce la hidratación y fraguado del cemento, con los cuales gana resistencia. Sin embargo, de acuerdo con el comportamiento mecánico del cemento, este sigue ganando resistencia con el paso del tiempo.

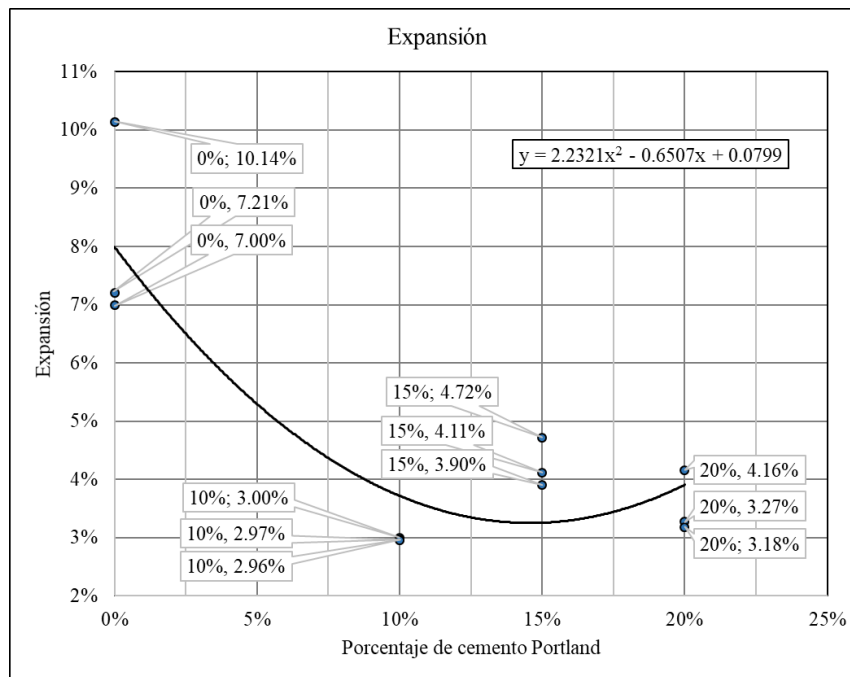


Figura 34. Gráfico Porcentaje de cemento Portland v. Expansión.

Fuente: Elaboración propia.

En torno a la expansión el suelo describe una curva de decrecimiento, donde se llega al mínimo porcentaje de expansión cuando se utiliza 15% de cemento Portland. Al observar los valores obtenidos de los ensayos se resalta que son invariables con los porcentajes de cemento Portland de 10%, 15% y 20% y, por consecuencia, se debería analizar la curva solo hasta el mínimo valor e inferir que este se mantiene.

5.1 Suelo natural

De acuerdo con la sección 2.6.1.3 de esta tesis, al ser una arcilla de alta plasticidad por clasificación SUCS la mezcla suelo-cemento deberá contener una mayor cantidad de cemento para lograr estabilizar la subrasante en la Av. Padre Salas.

Por otro lado, según lo indicado por el MTC para un suelo con clasificación AASHTO A-7, es necesario entre 10% y 16% de cemento en relación al peso seco de la muestra.

El ensayo de proctor modificado dio como resultado un óptimo contenido de humedad igual a 14.30%, el cual es necesario mantener para que la subrasante no pierda capacidad portante

El CBR de la subrasante es menor a lo indicado en la norma, por lo que es necesario utilizar suelo-cemento para adquirir una mejor capacidad portante y pueda resistir las cargas que transitan a lo largo de la Av. Padre Salas.

La expansión de la muestra luego de 4 días de saturación fue un máximo de 10.14%.

5.2 Suelo estabilizado

Para las muestras de suelo-cemento se observa que el óptimo contenido de humedad aumenta a medida que la muestra tenga mayor porcentaje de cemento Portland (10%, 15% y 20%), siendo estos de 14.6%, 15.0% y 15.2%, respectivamente.

La expansión de las muestras de suelo-cemento se mantuvo dentro de un rango desde expansión igual a 2.96% hasta 4.72%, sin mantener una relación con el aumento del porcentaje de cemento Portland adicionado.

CONCLUSIONES

Se logró caracterizar la subrasante de la Av. Padre Salas, la cual está conformada por arcilla de alta plasticidad (CH-SUCS) o suelo A-7-6 (45) (AASHTO) con Límite líquido igual a 66.1%, Límite plástico equivalente a 26.9% y un Índice de plasticidad equivalente a 36.9%, encontrándose a una humedad de 14.3%. El CBR del suelo en condiciones naturales es de 2.3%, es decir, es una subrasante inadecuada.

Se evaluó el comportamiento volumétrico de la arcilla según la clasificación SUCS y AASHTO el cual es el principal componente del suelo de la Av. Padre Salas. Se determinó una actividad correspondiente a 0.5 el cual indica que es una arcilla caolinita, esto quiere decir que su expansividad es baja y, por lo tanto, su cambio volumétrico no es representativo.

Se evaluó el cambio volumétrico del suelo natural y del suelo estabilizado con cemento, a través de ensayos de CBR, y se obtuvo que la expansión de la arcilla de alta plasticidad de la Av. Padre Salas disminuyó al ser mejorada con cemento Portland, el suelo presento una reducción de hasta 7.18% respecto al suelo-cemento.

El suelo-cemento mejoró el CBR a un valor de 91.9%, siendo 10% el cemento Portland adicionado, por lo que, de acuerdo con el MTC, se obtiene una subrasante extraordinaria.

RECOMENDACIONES

Se recomienda la evaluación de suelo-cemento con menor porcentaje de cemento Portland con la finalidad de lograr valores CBR entre 30% y 40%, los cuales se encuentran, según la Figura 33. Gráfico Porcentaje de cemento Portland v. CBR., en un rango de hasta 5% de cemento Portland.

De la misma manera, es necesario evaluar el cambio volumétrico o también expansión de la arcilla de alta plasticidad en muestras suelo-cemento con porcentajes hasta 10% de cemento Portland.

Debido a que el concreto desarrolla su máxima resistencia a la compresión a los 28 días y en un 70% aproximadamente a los 7 días, se recomienda evaluar el CBR del suelo-cemento a los 7 días y no a los 4 como indica el manual del MTC pues se tendría valores mayores.

REFERENCIAS

- Antioquía, A. d. (26 de Enero de 2017). *Rionegro pionero en Antioquia en estabilizar sus vías terciarias con suelo-cemento*. Recuperado el 5 de Septiembre de 2018, de <http://www.rionegro.gov.co/Transparencia/BancoDocumentos/Fotonoticia%20N%C2%B0%20001%20de%202017.pdf>
- Argos, C. (19 de Abril de 2017). *Cemento para estabilización de suelos: Ventajas y Recomendaciones*. Recuperado el 5 de Septiembre de 2018, de <http://mniapscpp01.azurewebsites.net/comunidad360/blog/detalle/cemento/cemento-para-estabilizacion-de-suelos>
- Castro Cuba Valencia, M. (1992). *Suelos expansivos en Talara*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Chen, M., Shen, S.-L., Arulrajah, A., Wu, H.-N., Hou, D.-W., & Xu, Y.-S. (Noviembre de 2015). Laboratory evaluation on the effectiveness of polypropylene fibers on the strength of fiber-reinforced and cement-stabilized Shanghai soft clay. *Geotextiles and Geomembranes*, 43(6), 515-523.
- Crespo Villalaz, C. (2015). *Mecánica de suelos y cimentaciones*. D.F.: Editorial Limusa.
- Dafalla, M., Moghal, A. A., & Al-Obaid, A. (Enero de 2017). Enhancing tensile strength in clays using polypropylene fibers. *International Journal of GEOMATE*, 12(29), 33-37.
- Fernandez Condeña, R. (2009). *Diseño y proceso constructivo de suelos estabilizados en pavimentos asfálticos - Aplicación en la carretera Interoceánica-Sur Tramo III*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Juárez Badillo, E. (2015). *Mecánica de suelos I: Fundamentos de la mecánica de suelos*. D.F.: Editorial Limusa.

- Llique Mondragón, R. H. (2015). *Influencia de la humedad de compactación en el comportamiento volumétrico de los suelos arcillosos*. Trujillo: Universidad Nacional de Trujillo.
- Makhmud, K., & Svintsov, A. P. (Febrero de 2017). Soil-Cement Ratio and Curing Conditions as the Factors of Soil-Concrete Strength. *Key Engineering Materials*, 730, 358-363.
- Mamlouk, M. S., & Zaniewski, J. P. (2009). *Materiales para ingeniería civil*. Madrid: PEARSON EDUCACIÓN S.A.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2013). *Manual de Carreteras: especificaciones técnicas generales para construcción*. Lima.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2013). *Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos*. Lima, Lima, Perú.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2016). *Manual de ensayo de materiales*. Lima: República del Perú.
- Mollamahmutoglu, M., & Avcı, E. (1 de Julio de 2018). Engineering Properties of Slag-Based Superfine Cement- Stabilized Clayey Soil. *ACI Materials Journal*, 115(4), 541-548.
- Romero Quispe, E. J. (2016). *Análisis de suelos arcillosos compactados para determinar su comportamiento volumétrico, distrito Tres de Octubre, Año 2015*. Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Rondón Quintana, H. A., & Reyes Lizcano, F. a. (2015). *Pavimentos: materiales, construcción y diseño*. Bogotá: Ecoe Ediciones.
- Sánchez, P. (1981). *Suelos del Trópico: características y manejo*. San José: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura.

- Shen, Z., Cao, Y., & Fang, L. (Julio de 2017). Experimental Investigation of Rapid Stabilization of Soft Clay Soils Using Chemical Admixtures. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 54(3), 202-210.
- Toirac Corral, J. (2008). El suelo-cemento como material de construcción. *Ciencia y Sociedad*, XXXIII(4), 520-571.

ANEXOS

Anexo 1: Resultado ensayo de Límites de Atterberg.



DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD EN SUELOS NTP 339.129 (99)

PROYECTO : Tesis de Investigación Villa Rica, Pasco
SOLICITANTE : Milagos Castro Gonzales, Jesus Navarro Pereyra
UBICACIÓN :

REFERENCIAS DE LA MUESTRA

- PROCEDENCIA :

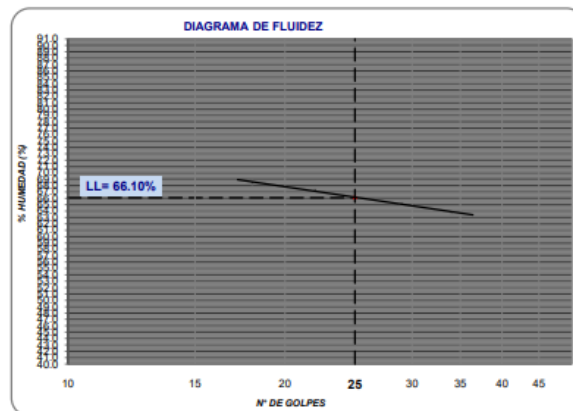
- MUESTRA : - PROF. (m)

REGISTRO

TÉCNICO

FECHA : Abril/2019

DESCRIPCIÓN	LÍMITE LÍQUIDO				LÍMITE PLÁSTICO	
ENSAYO No.	1	2	3	4	1	2
CÁPSULA No.	27	32	36	14	20	12
PESO CÁPSULA + SUELO HÚMEDO, g	32.55	32.43	32.47	33.20	22.44	24.69
PESO CÁPSULA + SUELO SECO, g	24.79	24.91	25.95	26.00	20.80	22.80
PESO AGUA, g	7.76	7.52	6.52	7.20	1.64	1.89
PESO DE LA CÁPSULA, g	13.46	13.73	15.94	14.72	14.72	15.75
PESO SUELO SECO, g	11.33	11.18	10.01	11.28	6.08	7.05
CONTENIDO DE HUMEDAD, %	68.49	67.26	65.13	63.83	26.97	26.81
NÚMERO DE GOLPES	18	22	29	34		



RESULTADOS DE ENSAYOS

LÍMITE LÍQUIDO, %	66.1
LÍMITE PLÁSTICO, %	26.9
ÍNDICE DE PLASTICIDAD, %	39.2

OBSERVACIONES:

Ensayo efectuado al material pasante la malla N° 40 (0.425 mm).

Psj. Húsares de Junín N° 175 Piso 2 Urb. El Retablo - Lima 7- Next. 94710*0409 / 94710*0395
Cel. 994-509-050 / 988-483-431 - Mail: ojgrg_ingenieros@yahoo.com.pe

Anexo 2: Resultado ensayo de contenido de humedad.



PROYECTO : " Tesis de Investigación Villa Rica, Pasco"					
SOLICITADO : Milagro Castro Gonzales, Jesus Navarro Pereyra.				REGISTRO:	
ENTIDAD :				TÉCNICO :	
UBICACIÓN :				FECHA : 10/04/2019	
NTP 339.127(1 998)		SUELOS : MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN SUELO			
CÓDIGO DE LA MUESTRA					
Identificación de Tarro		PA-320			
Peso Tarro + Peso Suelo Húmedo (g)		A	2461.80		
Peso constante del Suelo+Peso de Tarro	N° 1	B	2017.90		
	N° 2		2017.90		
Peso del Tarro		C	506.30		
Peso del agua		D=A-B	443.90		
Peso Suelo Seco		E=B-C	1511.60		
Contenido de Humedad (%)		D/E*100	29.37		
Incertidumbre de Ensayo		(U)	0		
CÓDIGO DE LA MUESTRA					
Peso Tarro + Peso Suelo Húmedo (g)		A			
Peso constante del Suelo+Peso de Tarro	N° 1	B			
	N° 2				
Peso del Tarro		C			
Peso del agua		D=A-B			
Peso Suelo Seco		E=B-C			
Contenido de Humedad (%)		D/E*100			
Incertidumbre de Ensayo		(U)			
Incertidumbre de Ensayo		(U)			

ING.

ANALISTA

Observaciones:

Anexo 3: Resultado ensayo de clasificación de suelos.



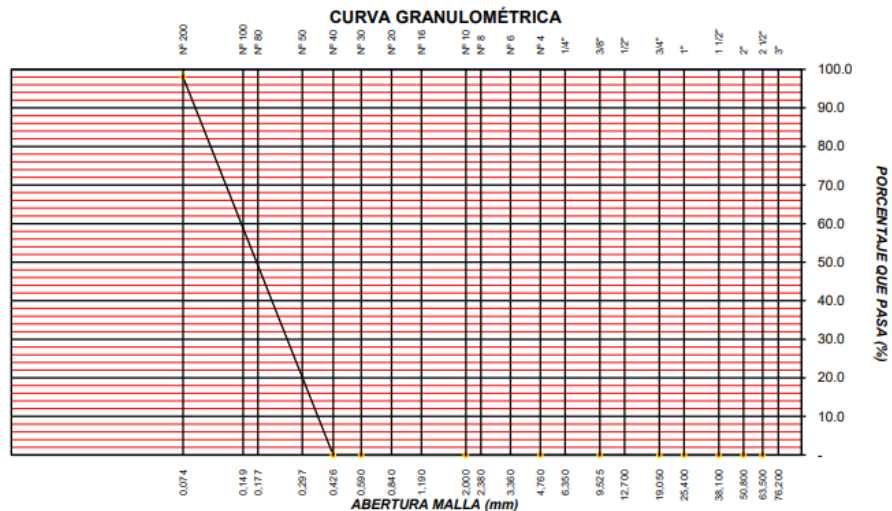
ANÁLISIS DE CANTERAS

PROYECTO	: Tesis de Investigación Villa Rica, Pasco	ENSAYO N°	:
SOLICITADO	: Milagros Castro Gonzales, Jesus Navarro Pereyra.	ING° RESP.	:
PROCEDENCIA	: PROGRESIVA :	TÉCNICO	:
MUESTRA	: PROF. (m) :	FECHA	: 11-Abril-2019

MALLAS SERIE AMERICANA	GRANULOMETRÍA					DESCRIPCIÓN
	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	RET. PARCIAL (%)	RET. ACUMUL. (%)	PASA (%)	
3"	76.200					
2 1/2"	63.500					
2"	50.800					
1 1/2"	38.100					
1"	25.400					
3/4"	19.050					
1/2"	12.700					
3/8"	9.525					
1/4"	6.350					
N° 4	4.750					
N° 6	3.350					
N° 8	2.380					
N° 10	2.000					
N° 16	1.190					
N° 20	0.840					
N° 30	0.590					
N° 40	0.425					
N° 50	0.297					
N° 80	0.177					
N° 100	0.149	5.3	1.0	1.0	99.0	
N° 200	0.074	5.9	1.0	2.0	98.0	
- N° 200	-	489.0	98.0	100.0	-	

RESULTADOS DE ENSAYOS	
- LÍMITE LÍQUIDO (%)	66.10
- LÍMITE PLÁSTICO (%)	26.90
- ÍNDICE PLASTICIDAD (%)	39.20
- CLASIFICACIÓN SUCS	CH
- CLASIFICACIÓN AASHTO	A-7-6 (45)
- HUMEDAD NATURAL (%)	29.4

DATOS DE LA MUESTRA DE ENSAYO	
- PESO TOTAL (gr)	500.0 100.0 %
- PESO GRAVA (gr)	0.0 0.0 %
- PESO ARENA (gr)	500.0 100.0 %
- PESO DE ARENA EMPLEADA (gr)	500.0




TÉCNICO LABORATORISTA :

ING. SUPERVISOR :

ING. JEFE DE PROYECTO :

Anexo 4: Resultado ensayo Proctor modificado (Suelo natural).



PERÚ
Ministerio
de Transportes
y Comunicaciones

000001

INFORME DE ENSAYO N° 080 - 2019 - MTC/19.01

SOLICITANTE : SR. JESÚS DAVID NAVARRO PEREYRA
DOMICILIO LEGAL : Calle Tres Marias, N°354 - Dpto. 302, Los Cedros de Villa - Chorrillos
PROYECTO : "Tesis Villa Rica, Pasco"

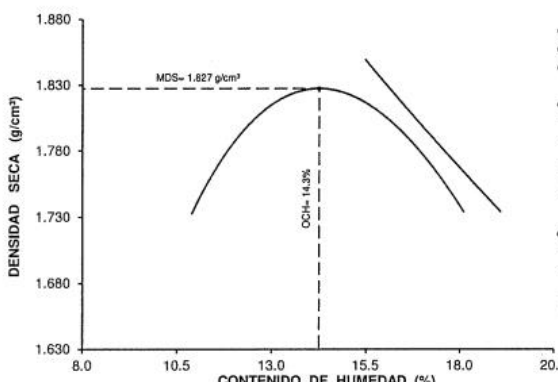
REFERENCIA : REC N°060-2019-FE-02
FECHA DE RECEPCIÓN : 2019.04.09

MUESTRA : Suelos
IDENTIFICACIÓN : La que se indica

CANTIDAD : 150 kg
PRESENTACIÓN : 3 bloques parafinados
FECHA DE ENSAYO : 2019.04.10 al 2019.04.11

**MTC E-115 (2000) COMPACTACIÓN DEL SUELO UTILIZANDO UNA ENERGÍA MODIFICADA
(2700 kN- m/m³ (56000 pie-lbf/pie³))**


01 - Masa Suelo Humedo + Molde (g)	3415.0	3507.0	3524.0	3477.0
02 - Masa del Molde (g)	1560.0	1560.0	1560.0	1560.0
03 - Masa Suelo Humedo (g)	1855.0	1947.0	1964.0	1917.0
04 - Volumen del Molde (cm³)	936.0	936.0	936.0	936.0
05 - Densidad Suelo Humedo (g/cm³)	1.982	2.080	2.098	2.048
06 - Tarro N°	124	85	137	47
07 - Masa suelo humedo + tarro (g)	305.6	272.4	314.8	277.0
08 - Masa suelo seco + tarro (g)	282.4	253.4	286.8	250.8
09 - Masa del agua (g)	23.2	19.0	28.0	26.2
10 - Masa del tarro (g)	84.3	91.1	85.1	82.3
11 - Masa suelo seco (g)	198.1	162.3	201.7	188.3
12 - Contenido de Humedad (%)	11.71	11.71	13.88	13.91
13 - Promedio de Humedad (%)	11.7		13.9	
14 - Densidad del Suelo Seco (g/cm³)	1.774		1.826	




MDS= 1.827 g/cm³
OCH= 14.3%

- Método de compactación "A"
- Máxima densidad seca, g/cm³ 1.827
- Óptimo cont. de humedad, % 14.3
- Características del espécimen:
 - Masa espec. relat. de sólidos (MTC E-113) 2.591
 - Límite líquido, % (MTC E-110)
 - Índice de plasticidad, % (MTC E-111)
 - Clasificación SUCS (NTP 339.134)
 - Clasificación AASHTO (NTP 339.135)
- Retenidos acumulados, % (*):
 - Tamiz 3/4" (19,050 mm) (MTC E-107)
 - Tamiz 3/8" (9,525 mm) (MTC E-107)
 - Tamiz N° 4 (4,750 mm) (MTC E-107)
 - Pasa tamiz N°200 (0,074 mm) (NTP 339.132)

Observaciones :
Muestra proporcionada e identificada por el Solicitante.
Suelo identificado como: Suelo fino inalterado, procedente de Villa Rica - Pasco.
Valor de Masa Específica Relativa de Sólidos (2.591), para la elaboración de la Curva de Saturación, fue proporcionada por el solicitante.
Fecha de Orden de Ensayo y/o Preparación : 2019.04.09
Los resultados de ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce (Resolución N° 0002-98/INDECOP-CRT del 07.01.98).
Este documento no autoriza el empleo de los materiales analizados; siendo la interpretación del mismo de exclusiva responsabilidad del usuario.




UCC (1/3)
hrc/cpq/abs
O.S. N° 071



CONTROL DE CALIDAD
ING. HARRY M. RODRÍGUEZ C.
17 de Abril del 2019

Av. Túpac Amaru N°150 - Rimac, Lima 25 Perú
T. (511) 4813707
www.mtc.gob.pe



Anexo 5: Resultado ensayo CBR (Suelo natural).



PERÚ Ministerio de Transportes y Comunicaciones

000003

INFORME DE ENSAYO N° 080 - 2019 - MTC/19.01

SOLICITANTE : SR. JESÚS DAVID NAVARRO PEREYRA
DOMICILIO LEGAL : Calle Tres Marías, N°354 - Dpto. 302, Los Cedros de Villa - Chorrillos
PROYECTO : "Tesis Villa Rica, Pasco"

MUESTRA : Suelos
IDENTIFICACIÓN : La que se indica

CANTIDAD : 150 kg
PRESENTACIÓN : 3 bloques parafrinados
FECHA DE ENSAYO : 2019.04.12 al 2019.04.16

REFERENCIA : REC N°060-2019-FE-02
FECHA DE RECEPCIÓN : 2019.04.09

MTC E-132 (2000) C.B.R. DE SUELOS (LABORATORIO)

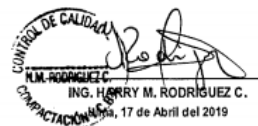
• Procedimiento de Compactación	(MTC E-115 (2000))	:	"A"	
• Método de Preparación	(MTC E-115 (2000))	:	Húmedo	
• Máxima Densidad Seca (MDS)	(MTC E-115 (2000))	:	1.827 g/cm³	(17.92 kN/m³)
• Óptimo Contenido de Humedad (OCH)	(MTC E-115 (2000))	:	14.3 %	
• Penetración	2,54 mm (0,1")		5,08 mm (0,2")	
• CBR al 100% de la MDS	3.3 %		3.0 %	
• CBR al 95% de la MDS	2.6 %		2.3 %	
• Condición de la muestra ensayada	Embebido en agua: 4 días			
	<u>Especimen N° 01</u>		<u>Especimen N° 02</u>	<u>Especimen N° 03</u>
• Energía de compactación	27.7 kg*cm/cm³		12.2 kg*cm/cm³	6.1 kg*cm/cm³
• Densidad seca (antes de ser remojada)	1.830 g/cm³		1.764 g/cm³	1.646 g/cm³
• Masa de sobrecarga	4.53 kg		4.53 kg	4.53 kg
• Expansión (hinchamiento)	7.21 %		7.00 %	10.14 %
• Humedad (antes de la compactación)	14.7 %		14.7 %	14.6 %
• Humedad de penetración	19.9 %		21.0 %	25.5 %
• Absorción	5.2 %		6.3 %	10.9 %
• Características de los especímenes				
• Retenido acumulado en tamices (*)	(MTC E-107) : 3/4" (19,050 mm)			
	(MTC E-107) : 3/8" (9,525 mm)			
	(MTC E-107) : N°4 (4,074 mm)			
• Pasa tamiz N° 200	(NTP 339.132) : N°200 (0,074 mm)			
• Peso Específico Relativo de Partículas Sólidas	(MTC E-113) : 2.591			
	(MTC E-110) :			
	(MTC E-111) :			
	(NTP 339.134) :			
	(NTP 339.135) :			

Observaciones :

Muestra proporcionada e identificada por el Solicitante.
Suelo identificado como: Suelo fino inalterado, procedente de Villa Rica - Pasco.
Valor de Masa Específica Relativa de Sólidos (2,591), para la elaboración de la Curva de Saturación, fue proporcionada por el solicitante.
Fecha de Orden de Ensayo y/o Preparación : 2019.04.09
Los resultados de ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce (Resolución N° 0002-98/INDECOPI-CRT del 07.01.98).
Este documento no autoriza el empleo de los materiales analizados; siendo la interpretación del mismo de exclusiva responsabilidad del usuario.



UCC (3/3)
hrc/cpq/abs
O.S. N° 071



Anexo 6: Resultado ensayo Proctor modificado (Suelo-cemento 10%).



INFORME DE ENSAYO

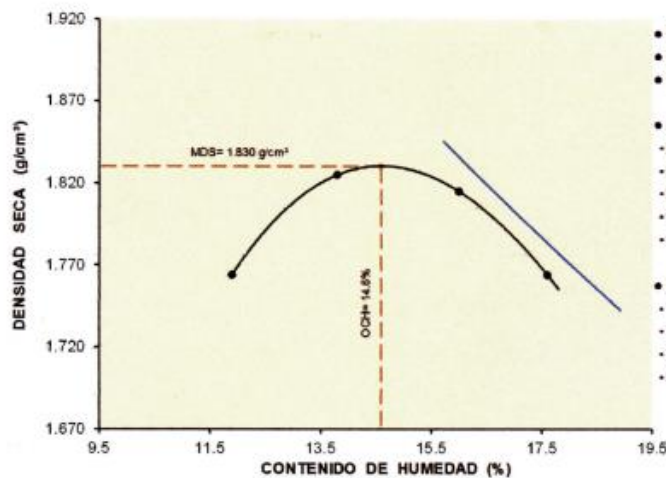
SOLICITANTE : SR. JESÚS DAVID NAVARRO PEREYRA
 DOMICILIO LEGAL : Calle Tres Marías, N°354 - Dpto. 302, Los Cedros de Villa - Chomillos
 PROYECTO "Tesis Villa Rica, Pasco"

MUESTRA : Suelos
 IDENTIFICACIÓN : SUELO + 10% CEMENTO

CANTIDAD : 100 Kg.
 PRESENTACIÓN : 02 Sacos de Polietileno
 FECHA DE ENSAYO :

(2000) COMPACTACIÓN DEL SUELO UTILIZANDO UNA ENERGÍA MODIFICADA (2700 kN- m/m³ (56000 pie-lb/pie³))

01 - Masa Suelo Humedo + Molde (g)	3767.9	3864.6	3890.1	3861.6
02 - Masa del Molde (g)	1918.0	1918.0	1918.0	1918.0
03 - Masa Suelo Humedo (g)	1849.9	1946.6	1972.1	1943.6
04 - Volumen del Molde (cm³)	937.0	937.0	937.0	937.0
05 - Densidad Suelo Humedo (g/cm³)	1.974	2.077	2.105	2.074
06 - Tarro N°	39	81	22	33
07 - Masa suelo humedo + tarro (g)	325.6	330.4	294.0	311.8
08 - Masa suelo seco + tarro (g)	300.2	304.1	269.6	284.3
09 - Masa del agua (g)	25.4	26.3	24.4	27.5
10 - Masa del tarro (g)	88.0	83.5	90.0	86.7
11 - Masa suelo seco (g)	212.2	220.6	179.6	195.5
12 - Contenido de Humedad (%)	11.97	11.92	13.59	13.92
13 - Promedio de Humedad (%)	11.9	13.8	16.0	17.6
14 - Densidad del Suelo Seco (g/cm³)	1.764	1.825	1.815	1.764



- Método de compactación "A"
- Máxima densidad seca, g/cm³ 1.830
- Óptimo cont. de humedad, % 14.6

- Características del espécimen:
 - Masa espec. relat. de sólidos (MTC E-113) 2.600
 - Límite líquido, % (MTC E-110)
 - Índice de plasticidad, % (MTC E-111)
 - Clasificación SUCS (NTP 339.134)
 - Clasificación AASHTO (NTP 339.135)

- Retenidos acumulados, % ("") :
 - Tamiz 3/4" (19.050 mm) (MTC E-107)
 - Tamiz 3/8" (9.525 mm) (MTC E-107)
 - Tamiz N° 4 (4.750 mm) (MTC E-107)
 - Pasa tamiz N°200 (0.075 mm) (NTP 339.132)

Observaciones :
 Muestra proporcionada e identificada por el Solicitante.

CESAR A. FERREYROS CORCUERA
 INGENIERO CIVIL - CIP 56334
 ING. RESPONSABLE

001/004

Psj. Húsares de Junín N° 175 Piso 2 Urb. El Retablo - Lima 7- Next. 94710*0409 / 94710*0395
 Cel. 994-509-050 / 988-483-431 - Mail: ojgrg_ingenieros@yahoo.com.pe

Anexo 7: Resultado ensayo CBR (Suelo-cemento 10%).



INFORME DE ENSAYO

SOLICITANTE : SR. JESÚS DAVID NAVARRO PEREYRA
 DOMICILIO LEGAL : Calle Tres Marias, N°354 - Dpto. 302, Los Cedros de Villa - Chorrillos
 PROYECTO "Tesis Villa Rica, Pasco"

MUESTRA : Suelos
 IDENTIFICACIÓN : SUELO + 10% CEMENTO

REFERENCIA :
 FECHA DE RECEPCIÓN :

CANTIDAD : 100 Kg.
 PRESENTACIÓN : 02 Sacos de Polietileno
 FECHA DE ENSAYO : 2019.05.10 al 2019.05.14

(2000) C.B.R. DE SUELOS (LABORATORIO)

• Procedimiento de Compactación	(MTC E-115 (2000))	:	"A"	
• Método de Preparación	(MTC E-115 (2000))	:	Húmedo	
• Máxima Densidad Seca (MDS)	(MTC E-115 (2000))	:	1.830 g/cm³	(17.95 kN/m²)
• Óptimo Contenido de Humedad (OCH)	(MTC E-115 (2000))	:	14.6 %	
• Penetración	2,54 mm (0.1")		5,08 mm (0.2")	
• CBR al 100% de la MDS	130.8 %		105.8 %	
• CBR al 95% de la MDS	105.4 %		91.9 %	
• Condición de la muestra ensayada	Embebido en agua: 4 días			
	<u>Especimen N° 01</u>		<u>Especimen N° 02</u>	<u>Especimen N° 03</u>
• Energía de compactación	27.7 kg*cm/cm²		12.2 kg*cm/cm²	6.1 kg*cm/cm²
• Densidad seca (antes de ser remojada)	1.822 g/cm³		1.763 g/cm³	1.680 g/cm³
• Masa de sobrecarga	4.53 kg		4.53 kg	4.53 kg
• Expansión (hinchamiento)	3.00 %		2.97 %	2.96 %
• Humedad (antes de la compactación)	14.6 %		14.5 %	14.4 %
• Humedad de penetración	18.3 %		17.5 %	20.7 %
• Absorción	3.7 %		3.0 %	6.3 %
• Características de los especímenes				
• Retenido acumulado en tamices (*)	(MTC E-107) : 3/4" (19,050 mm)			
	(MTC E-107) : 3/8" (9,525 mm)			
	(MTC E-107) : N°4 (4,074 mm)			
• Pasa tamiz N° 200	(NTP 339.132) : N°200 (0,074 mm)			
• Peso Específico Relativo de Partículas Sólidas	(MTC E-113) : 2.600			
	(MTC E-110) :			
	(MTC E-111) :			
	(NTP 339.134) :			
	(NTP 339.135) :			

Observaciones :
 Muestra proporcionada e identificada por el Solicitante.


 CESAR A. FERREYROS CORCUERA
 INGENIERO CIVIL - CIP 66334
 ING. RESPONSABLE

004/004

Psj. Húsares de Junín N° 175 Piso 2 Urb. El Retablo - Lima 7- Next. 94710*0409 / 94710*0395
 Cel. 994-509-050 / 988-483-431 - Mail: ojgrg_ingenieros@yahoo.com.pe

Anexo 8: Resultado ensayo Proctor modificado (Suelo-cemento 15%).



INFORME DE ENSAYO

SOLICITANTE : SR. JESÚS DAVID NAVARRO PEREYRA
DOMICILIO LEGAL : Calle Tres Marias, N°354 - Dpto. 302, Los Cedros de Villa -
Chorrillos
PROYECTO "Tesis Villa Rica, Pasco"

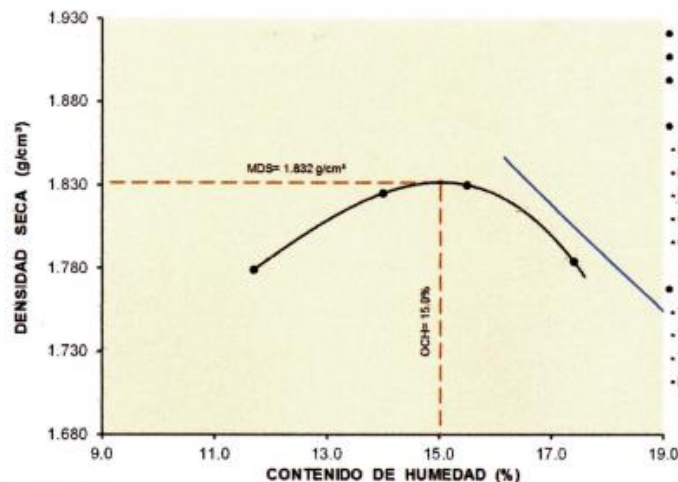
MUESTRA : Suelos
IDENTIFICACIÓN : SUELO + 15% CEMENTO

CANTIDAD : 100 Kg.
PRESENTACIÓN : 02 Sacos de Polietileno
FECHA DE ENSAYO :

REFERENCIA :
FECHA DE RECEPCIÓN :

(2000) COMPACTACIÓN DEL SUELO UTILIZANDO UNA ENERGÍA MODIFICADA (2700 kN·m/m³ (56000 pie-lbf/pie³))

01 - Masa Suelo Humedo + Molde (g)	3780.0	3867.0	3899.0	3880.0
02 - Masa del Molde (g)	1918.0	1918.0	1918.0	1918.0
03 - Masa Suelo Humedo (g)	1862.0	1949.0	1981.0	1962.0
04 - Volumen del Molde (cm³)	937.0	937.0	937.0	937.0
05 - Densidad Suelo Humedo (g/cm³)	1.987	2.080	2.114	2.094
06 - Tarro N°	40	80	25	24
07 - Masa suelo humedo + tarro (g)	325.7	329.5	294.5	312.5
08 - Masa suelo seco + tarro (g)	300.2	304.1	269.6	284.3
09 - Masa del agua (g)	25.5	25.4	24.9	28.2
10 - Masa del tarro (g)	84.6	85.3	89.1	86.0
11 - Masa suelo seco (g)	215.6	218.8	180.5	198.3
12 - Contenido de Humedad (%)	11.65	11.61	13.82	14.21
13 - Promedio de Humedad (%)	11.7	14.0	15.5	17.4
14 - Densidad del Suelo Seco (g/cm³)	1.779	1.825	1.830	1.784



- Método de compactación
- Máxima densidad seca, g/cm³ **1.832**
- Óptimo cont. de humedad, % **15.0**

- Características del espécimen:
- Masa espec. relat. de sólidos (MTC E-113) **2.632**
- Límite líquido, % (MTC E-110)
- Índice de plasticidad, % (MTC E-111)
- Clasificación SUCS (NTP 339.134)
- Clasificación AASHTO (NTP 339.135)

- Retenidos acumulados, % (*):
- Tamiz 3/4" (19.050 mm) (MTC E-107)
- Tamiz 3/8" (9.525 mm) (MTC E-107)
- Tamiz N° 4 (4.760 mm) (MTC E-107)
- Pasa tamiz N°200 (0.074 mm) (NTP 339.132)

Observaciones :
Muestra proporcionada e identificada por el Solicitante.

001/004

CESAR A. FERREYROS CORCUERA
INGENIERO CIVIL - CIP 66334
ING. RESPONSABLE

Psj. Húsares de Junín N° 175 Piso 2 Urb. El Retablo - Lima 7- Next. 94710*0409 / 94710*0395
Cel. 994-509-050 / 988-483-431 - Mail: ojgrg_ingenieros@yahoo.com.pe

Anexo 9: Resultado ensayo CBR (Suelo-cemento 15%).



INFORME DE ENSAYO

SOLICITANTE : SR. JESÚS DAVID NAVARRO PEREYRA
DOMICILIO LEGAL : Calle Tres Marias, N°354 - Dpto. 302, Los Cedros de Villa - Chorrillos
PROYECTO "Tesis Villa Rica, Pasco"

MUESTRA : Suelos
IDENTIFICACIÓN : SUELO + 15% CEMENTO

CANTIDAD : 100 Kg.
PRESENTACIÓN : 02 Sacos de Polietileno
FECHA DE ENSAYO : 2019.05.10 al 2019.05.14

(2000) C.B.R. DE SUELOS (LABORATORIO)

• Procedimiento de Compactación	(MTC E-115 (2000))	:	""	
• Método de Preparación	(MTC E-115 (2000))	:		
• Máxima Densidad Seca (MDS)	(MTC E-115 (2000))	:	1.832 g/cm³	(17.96 kN/m³)
• Óptimo Contenido de Humedad (OCH)	(MTC E-115 (2000))	:	15.0 %	
• Penetración	2,54 mm (0.1")		5,08 mm (0.2")	
• CBR al 100% de la MDS	116.7 %		111.8 %	
• CBR al 95% de la MDS	108.0 %		104.7 %	
• Condición de la muestra ensayada	Embebido en agua: 4 días			
	<u>Especimen N° 01</u>		<u>Especimen N° 02</u>	<u>Especimen N° 03</u>
• Energía de compactación	27.7 kg*cm/cm³		12.2 kg*cm/cm³	6.1 kg*cm/cm³
• Densidad seca (antes de ser remojada)	1.817 g/cm³		1.772 g/cm³	1.672 g/cm³
• Masa de sobrecarga	4.53 kg		4.53 kg	4.53 kg
• Expansión (hinchamiento)	4.11 %		3.90 %	4.72 %
• Humedad (antes de la compactación)	14.6 %		14.5 %	14.8 %
• Humedad de penetración	20.8 %		24.0 %	25.9 %
• Absorción	6.2 %		9.5 %	11.1 %
• Características de los especímenes				
• Retenido acumulado en tamices (*)	(MTC E-107) : 3/4" (19,050 mm)			
	(MTC E-107) : 3/8" (9,525 mm)			
	(MTC E-107) : N°4 (4,074 mm)			
• Pasa tamiz N° 200	(NTP 339.132) : N°200 (0,074 mm)			
• Peso Específico Relativo de Partículas Sólidas	(MTC E-113) : 2.632			
	(MTC E-110) :			
	(MTC E-111) :			
	(NTP 339.134) :			
	(NTP 339.135) :			

Observaciones :
Muestra proporcionada e identificada por el Solicitante.


CESAR A. FERREYROS CORCUERA
INGENIERO CIVIL - CIP 66334
ING. RESPONSABLE

004/004

Psj. Húsares de Junín N° 175 Piso 2 Urb. El Retablo - Lima 7- Next. 94710*0409 / 94710*0395
Cel. 994-509-050 / 988-483-431 - Mail: ojgrg_ingenieros@yahoo.com.pe

Anexo 10: Resultado ensayo Proctor modificado (Suelo-cemento 20%).



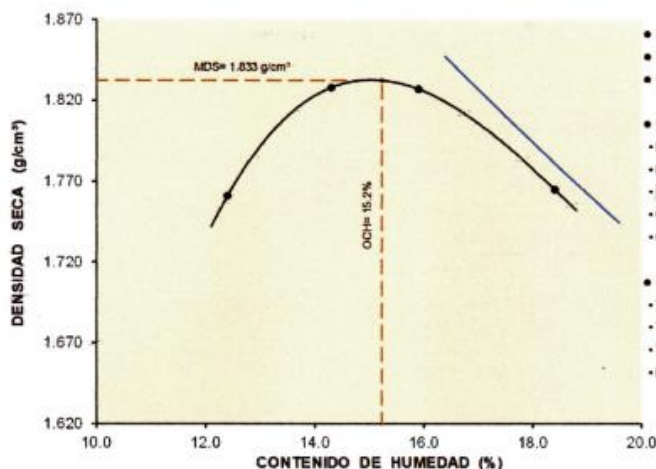
INFORME DE ENSAYO

SOLICITANTE : SR. JESÚS DAVID NAVARRO PEREYRA MUESTRA : Suelos
DOMICILIO LEGAL : Calle Tres Marías, N°354 - Dpto. 302, Los Cedros de Villa - Chomillos IDENTIFICACIÓN : SUELO + 20% CEMENTO

PROYECTO "Tesis Villa Rica, Pasco"

REFERENCIA : CANTIDAD : 100 Kg.
FECHA DE RECEPCIÓN : PRESENTACIÓN : 02 Sacos de Polietileno
FECHA DE ENSAYO : 2019.05.10 al 2019.05.14

01 - Masa Suelo Humedo + Molde (g)	3772.0	3875.0	3902.0	3876.0
02 - Masa del Molde (g)	1918.0	1918.0	1918.0	1918.0
03 - Masa Suelo Humedo (g)	1854.0	1957.0	1984.0	1958.0
04 - Volumen del Molde (cm ³)	937.0	937.0	937.0	937.0
05 - Densidad Suelo Humedo (g/cm ³)	1.979	2.089	2.117	2.090
06 - Tarro N°	19	77	50	85
07 - Masa suelo humedo + tarro (g)	306.4	271.5	315.1	276.9
08 - Masa suelo seco + tarro (g)	281.0	251.9	286.0	253.8
09 - Masa del agua (g)	25.4	19.6	29.1	23.1
10 - Masa del tarro (g)	84.7	87.1	84.4	91.1
11 - Masa suelo seco (g)	196.3	164.8	201.6	162.7
12 - Contenido de Humedad (%)	12.94	11.89	14.44	14.20
13 - Promedio de Humedad (%)	12.4	14.3	15.9	18.4
14 - Densidad del Suelo Seco (g/cm ³)	1.761	1.828	1.827	1.765



Observaciones :
Muestra proporcionada e identificada por el Solicitante.

CESAR A. FERREYROS CORCUERA
INGENIERO CIVIL - CIP 66334
ING. RESPONSABLE

001/004

Psj. Húsares de Junín N° 175 Piso 2 Urb. El Retablo - Lima 7- Next. 94710*0409 / 94710*0395
Cel. 994-509-050 / 988-483-431 - Mail: ojgrg_ingenieros@yahoo.com.pe

Anexo 11: Resultado ensayo CBR (Suelo-cemento 20%).



INFORME DE ENSAYO

SOLICITANTE : SR. JESÚS DAVID NAVARRO PEREYRA
 DOMICILIO LEGAL : Calle Tres Marias, N°354 - Dpto. 302, Los Cedros de Villa - Chorrillos
 MUESTRA : Suelos
 IDENTIFICACIÓN : SUELO + 20% CEMENTO
 PROYECTO : "Tesis Villa Rica, Pasco"
 REFERENCIA :
 FECHA DE RECEPCIÓN :
 CANTIDAD : 100 Kg.
 PRESENTACIÓN : 02 Sacos de Polietileno
 FECHA DE ENSAYO : 2019.05.10 al 2019.05.14

(2000) C.B.R. DE SUELOS (LABORATORIO)

• Procedimiento de Compactación	(MTC E-115 (2000))	:	"A"	
• Método de Preparación	(MTC E-115 (2000))	:	Húmedo	
• Máxima Densidad Seca (MDS)	(MTC E-115 (2000))	:	1.833 g/cm³	(17.97 kN/m²)
• Óptimo Contenido de Humedad (OCH)	(MTC E-115 (2000))	:	15.2 %	
• Penetración	2,54 mm (0.1")		5,08 mm (0.2")	
• CBR al 100% de la MDS	153.6 %		146.3 %	
• CBR al 95% de la MDS	138.7 %		129.3 %	
• Condición de la muestra ensayada	Embebido en agua: 4 días			
	<u>Especimen N° 01</u>		<u>Especimen N° 02</u>	<u>Especimen N° 03</u>
• Energía de compactación	27.7 kg*cm/cm³		12.2 kg*cm/cm³	6.1 kg*cm/cm³
• Densidad seca (antes de ser remojada)	1.832 g/cm³		1.754 g/cm³	1.687 g/cm³
• Masa de sobrecarga	4.53 kg		4.53 kg	4.53 kg
• Expansión (hinchamiento)	3.18 %		3.27 %	4.16 %
• Humedad (antes de la compactación)	15.0 %		15.2 %	15.1 %
• Humedad de penetración	20.9 %		24.5 %	26.0 %
• Absorción	5.9 %		9.3 %	10.9 %
• Características de los especímenes				
• Retenido acumulado en tamices (*)	(MTC E-107) : 3/4" (19,050 mm)			
	(MTC E-107) : 3/8" (9,525 mm)			
	(MTC E-107) : N°4 (4,074 mm)			
• Pasa tamiz N° 200	(NTP 339.132) : N°200 (0,074 mm)			
• Peso Específico Relativo de Partículas Sólidas	(MTC E-113) : 2.650			
	(MTC E-110) :			
	(MTC E-111) :			
	(NTP 339.134) :			
	(NTP 339.135) :			

Observaciones :
 Muestra proporcionada e identificada por el Solicitante.


 CESAR A. FERRAYROS CORCUERA
 INGENIERO CIVIL - CIP 66334
 ING. RESPONSABLE

004/004

Psj. Húsares de Junín N° 175 Piso 2 Urb. El Retablo - Lima 7- Next. 94710*0409 / 94710*0395
 Cel. 994-509-050 / 988-483-431 - Mail: ojgrg_ingenieros@yahoo.com.pe