



UNIVERSIDAD JOSÉ CARLOS MARIÁTEGUI

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

ESCUELA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL

T E S I S

**APLICACIÓN DEL MÉTODO DE MOLDEO DE
PROBETAS DE SUELO CEMENTO DEL MTC Y EL
MÉTODO EMPÍRICO EN LA CARRETERA
CALACAJA-CAPILLUNE DE MOQUEGUA 2019**

PRESENTADO POR

BACH. MANUEL ALEJANDRO BERNABE SOSA FARFAN

ASESOR

MG. MARIO PEDRO RODRIGUEZ VASQUEZ

PARA OPTAR GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO EN

INGENIERÍA CIVIL

CON MENCIÓN EN GEOTECNIA Y TRANSPORTES

MOQUEGUA – PERÚ

2022

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
ÍNDICE DE CONTENIDO	iv
ÍNDICE DE TABLAS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
RESUMEN	ix
ABSTRACT.....	xi
INTRODUCCIÓN	xiii
CAPÍTULO I.....	1
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	1
1.1. Descripción de la Realidad del Problema.	1
1.3. Objetivos de la Investigación.....	3
1.4. Justificación y Limitaciones de la Investigación	4
1.5. Variables de Operacionalización	6
1.6. Hipótesis de la Investigación	8

CAPÍTULO II	10
MARCO TEÓRICO	10
2.1. Antecedentes de la Investigación	10
2.2. Bases Teóricas	13
2.3. Marco Conceptual	22
CAPÍTULO III	33
METODOLOGÍA	33
3.1. Tipo de investigación	33
3.2. Diseño de investigación	34
3.3. Población y Muestra	34
3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos	36
3.5. Técnicas de procesamiento y análisis de datos.	41
CAPÍTULO IV	42
PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	42
4.1. Presentación de Resultados por variables	42
4.2. Contrastación de hipótesis	48

4.3. Discusión de resultados.....	50
CAPÍTULO V	52
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	52
5.1. Conclusiones	52
5.2. Recomendaciones	53
BIBLIOGRAFÍA	55
ANEXOS	61

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N°1: Operacionalización de Variables del Proyecto de Tesis	07
Tabla N°2: Resultados de densidad Máxima.	21
Tabla N°3: Resultados de Ensayos Químicos	21
Tabla N°4: Resultados de Ensayos de Abrasión	22
Tabla N°5: Fórmula de Trabajo para el Suelo Cemento.	22
Tabla N°6: Tabla de muestro y control de corridas	35
Tabla N°7: Instrumentos para la recolección de datos.	36
Tabla N°8: Flujograma de presentación de Resultados	41
Tabla N°9: Cumplimiento de probetas de suelo cemento	42
Tabla N°10: Comparativo de resultados de resistencia a la compresión	43
Tabla N°11: Comparativo de resultados de Densidad.	45

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N°1: Ubicación General del proyecto K-CCN-105-C	14
Figura N°2: Sección Tipo camino con Slurry.	15
Figura N°3: Imagen referencial de la ubicación de la carretera.	16
Figura N°4: Logo y formato de presentación del cemento a usar.	19
Figura N°5: Curva Granulométrica del Material a estabilizar.	20
Figura N°6: Características del molde.	24
Figura N°7: Características del molde	30
Figura N°8: Testigos de Suelo cemento	37
Figura N°9: Medición de las dimensiones de la probeta.	38
Figura N°10: Ensayo de densidad in situ Método Nuclear	39
Figura N°11: Prensa de compresión	40
Figura N°12: Resultados de Compresión a 3 días	50
Figura N°13: Resultados de Compresión a 7 días	51
Figura N°14: Resultados de Densidades	51

RESUMEN

La presente investigación está basada en la necesidad de implementar métodos acorde a la realidad de construcción, optimizando los recursos y por tal, mejorar los procesos de control, el proyecto en el que se basa la tesis fue ejecutado en el año 2019 por la empresa Conalvias y terminado por un acuerdo comercial por la empresa Colvias, en el Yacimiento minero de Quellaveco en la Ciudad de Moquegua-Perú, parte del alcance es la ejecución de una carpeta de rodadura de 8 m de ancho a nivel de rasante a base de un suelo mejorado con cemento y de espesor de 22cm, el cual permitirá el flujo vehicular de los equipos de la empresas contratistas a los distintos puntos del proyecto Quellaveco.

Como uno de los requerimientos de calidad del contrato solicita que la aceptación de los trabajos se realizara mediante el control de resistencia a la compresión a 7 días con un valor mínimo aceptable de 1.8MPA, medido mediante probetas de suelo cemento, he ahí donde nace la premisa de que método a usar, lo que se demanda directamente es la parte normativa que es utilizar el Método propuesto por el Ministerio de Transportes y comunicaciones – MTC E 1102 / ASTM D 558, en tal sentido este procedimiento es una aplicación en laboratorio en donde la muestra debe ser tratada en condiciones óptimas de diseño, el resultado de ello es una probeta de 101.6 mm de diámetro y 116.4 mm de altura aproximadamente compactada con una energía de compactación de 600 KN-M/M³, en contraparte se propuso realizar un control empírico de moldeo basándonos en la norma ASTM D 1157 Moldeo por Proctor modificado, el resultado de ello es una probeta de 152.4 mm de diámetro y

116.4 mm de altura aproximadamente compactada con una energía de compactación de 2700 KN-M/M³.

La finalidad del estudio aplicativo / exploratorio de la tesis es realizar la comparación de los resultados de resistencia a la compresión no confinada de ambos métodos, la comparación de los resultados de densidad y la descripción del proceso en general como aplicación del control de calidad de la construcción de la carretera.

Del primer parámetro se pudo evidenciar que la aplicación de una mayor energía de compactación en el moldeo proporciona un aumento en la resistencia a la compresión obtenida de la probeta elaborada por el método empírico propuesto, obteniendo valores de 150% con respecto a las probetas del método del MTC que obtuvieron un valor de 75%.

El segundo parámetro de densidades indicó que las densidades obtenidas por el método empírico fueron más cercanas a los valores de campo ya que los valores de densidad obtenidos por el MTC no alcanzaban los valores reales. Con los resultados obtenidos se demostró que ajustes menores pueden dar grandes resultados, ¿que se expresa con ello?, que podemos optimizar los procesos de control haciéndolos más rentables y optimizados a la realidad del proceso constructivo, los cumplimientos de los requisitos técnicos fueron alcanzados, así como la reducción de costos ya que se consiguió alcanzar los valores solicitados con un 3% de cemento agregado cuando por el otro método se hubiese solicitado una mayor porcentaje para alcanzarlo.

Palabras claves: Probetas, Suelo Cemento, Empírico, Carretera, Normatividad, Resistencia, compresión, Densidad.

ABSTRACT

This research is based on the need to implement methods according to the reality of construction, optimizing resources and thus improve the processes of this, the project on which the thesis is based was executed in 2019 by the company Conalvias and completed by a commercial agreement by the company Colvias, in the Quellaveco mining deposit in the city of Moquegua-Perú, part of the scope is the execution of a rolling carpet of 8 m wide at ground level based on a soil improved with cement , which will allow the vehicular flow of the company's equipment to different points of the project from Quellaveco.

As one of the quality, requirements of the contract requested that for the acceptance of the work was performed compression resistance control to 7 days with a minimum acceptable value of 1.8MPa, measured by soil-cement test tubes, this is where the premise of which method to use was born, which was directly seen in the normative part which was to use the Method proposed by the Ministry of Transport and Communications - MTC E 1102 / ASTM D 558, in this sense this procedure is a laboratory application where the sample must be treated in optimal design conditions, the result of this is a 101 test tube. 6mm in diameter and 116.4 mm in height approximately compacted with a compacting energy of 600 KN-M/M³, on the other hand, it was proposed to perform an empirical molding control based on the ASTM D 1157 modified Proctor Molding standard, the result of which is a 152.4 mm in

diameter and 116.4 mm in height approximately compacted with a compacting energy of 2700 KN-M/M³.

The purpose of the application and descriptive study of the thesis is to compare the results of unconfined compressive strength of both methods, the comparison of density results and the analysis of the process in general as an application of quality control of road construction.

From the first parameter it could be evidenced that the application of greater compaction energy in the molding was proportional to the increase in the compressive strength obtained from the specimen made by the proposed empirical method, obtaining values of 150% with respect to the specimens of the TCM method that obtained a value of 75%.

The second density parameter indicated that the densities obtained by the empirical method were closer to the field values since the density values obtained by the TCM did not reach the real values. With the results obtained it was demonstrated that minor adjustments can give great results, what is expressed with it, that we can optimize the control processes making them more profitable and optimized to the reality of the constructive process, the fulfillment of the technical requirements were reached, as well as the reduction of costs since it was possible to reach the requested values with 3% of added cement when by the other method a greater percentage would have been requested to reach it.

Keywords: Specimens, Soil Cement, Empirical, Road, Standard, Resistance, Strength, Density.

INTRODUCCIÓN

La presente tesis contempla la realidad de la construcción donde muchos ingenieros quieren optimizar los procesos de su trabajo y a su vez cumplir con los estándares contractuales y normativos vigentes, bajo esta premisa se propone como parte del control de calidad la realización de un método nuevo para la elaboración de probetas de suelo cemento y estar ser sometidas a ensayos de compresión no confinada, el proyecto en donde se plasmará dicha propuesta está ubicado en la carretera de acceso principal al Yacimiento Minero de Quellaveco en la ciudad de Moquegua en el Año 2019.

Las características del sector en donde se plantea ejecutar la investigación son en 27.3 km de carretera donde se solicitó una capa de suelo mejorado con cemento de 22 cm en un ancho de rodadura de aproximadamente 8 m a nivel de rasante, dentro contrato se solicita que dicha carpeta sea controlada a nivel de calidad a través de probetas las que serán ensayadas a compresión no confinada para obtener una resistencia mínima a la compresión de 1.8 Mpa.

El planteamiento general es presentar un tipo de moldeo de probetas de suelo mejorado con cemento, que se adapte al proceso constructivo teniendo como base o referencia normatividad nacional o internacional, buscando mejorar la toma de muestra, el proceso de control de calidad in situ y por ende buscar una mejora económica sin dejar de lado las solicitudes técnicas de contrato.

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Descripción de la Realidad del Problema.

Actualmente la realidad vial del país se ha sometido a una actualización referente a nuevas tecnologías de construcción, el Perú en los últimos años ha integrado a su infraestructura vial los pavimentos “Low Cost”, o pavimentos de bajo costo, para ello la normatividad peruana regida el MTC (Ministerio de Transportes y comunicaciones) tiene como documento guía el Manual de Carreteras / Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción EG-2013. De acuerdo con lo descrito, la documentación base para cualquier proyecto sea estatal o privado en referencia a la construcción de vías está regido por el documento antes mencionado entre otros que se complementan, esto nos lleva a ver que muchas veces durante la construcción se requiere tener mejores controles de calidad y construcción, los mismos que deben ajustarse a la realidad del proceso.

Las normas en muchos casos dejan vacíos o como menciones no se

amoldan a la realidad constructiva; los profesionales enfrentan este dilema en el cual legalmente están obligados a seguir la legislación vigente y por otro se plantean nuevos procesos que les permita mejorar sus procedimientos y tener datos más confiables de lo que están ejecutando.

1.2. Definición del Problema.

¿Se puede aplicar el método de moldeo de probetas de suelo cemento del MTC en comparación con el método empírico en la carretera Calacaja-Capillune de Moquegua 2019?

1.2.1. Problema Específicos

- a) ¿Se puede obtener valores de resistencia a la compresión no confinada con el Método de Moldeo de Probetas de Suelo Cemento del MTC y el Método Empírico en la Carretera Calacaja-Capillune de Moquegua 2019?
- b) ¿Se puede obtener los valores de densidad de las probetas de suelo cemento con el Método de Moldeo de Probetas de Suelo Cemento del MTC y el Método Empírico en la Carretera Calacaja-Capillune de Moquegua 2019?

- c) ¿Cuáles son los valores de densidad de campo para el diseño de suelo cemento en la Carretera Calacaja-Capillune de Moquegua 2019?
- d) ¿Es más adecuado el Método de Moldeo de Probetas de Suelo Cemento del MTC que el Método Empírico en la Carretera Calacaja-Capillune Moquegua 2019?

1.3. Objetivos de la Investigación

1.3.1. Objetivo General

Aplicar e implementar el Método Empírico de Moldeo de Probetas de Suelo Cemento comparándolo con el Método del MTC en la Carretera Calacaja-Capillune en Moquegua 2019.

1.3.2. Objetivos Específicos

- a) Obtener valores de resistencia a la compresión no confinada con el Método de Moldeo de Probetas de Suelo Cemento del MTC y el Método Empírico en la Carretera Calacaja-Capillune de Moquegua 2019.
- b) Obtener los valores de densidad de las probetas de suelo cemento con el Método de Moldeo de Probetas de Suelo Cemento del MTC y el

Método Empírico en la Carretera Calacaja-Capillune de Moquegua 2019.

- c) Obtener valores de densidad de campo para el diseño de suelo cemento en la Carretera Calacaja-Capillune de Moquegua 2019.
- d) Analizar el método más adecuado de Moldeo de Probetas de Suelo Cemento en la Carretera Calacaja-Capillune Moquegua 2019.

1.4. Justificación y Limitaciones de la Investigación

1.4.1. Justificación

Desde el punto de vista Técnico tenemos:

Es de común interés validar nuevas alternativas que nos permitan mejorar los procesos de ejecución y sobre todo de control de las obras, esto adecuando a la realidad del proceso de construcción y articularla con la normativa que lo rija, en caso de no ser posible, es requerido implementar nuevos procedimientos que nos permitan viabilizar la ejecución de los trabajos y tomar datos confiables.

El proyecto está planteado de tal forma que busca permitir un alto tráfico de equipos pesado (transporte de carga), por lo que se requiere que los datos que se obtengan y en control sea haga de manera rápida y con datos confiables; asimismo en aras de tener un antecedente el proyecto permitirá el uso de sus instalaciones para llevar a

cabo la nueva metodología propuesta. Actualmente el MTC propone una metodología de moldeo que se ajusta más a un proceso ideal que se ajustara a trabajos de laboratorio, los mismos que se realizan en ambientes controlados, y en condiciones óptimas y homogéneas, la nueva metodología permitiría realizar un control en el pie de obra contando con datos reales ajustados al requerimiento de la obra y al comportamiento real del pavimento.

Desde el punto de vista económico:

Al tener datos reales y confiables del entregable a ejecutar, se podrá optimizar a posterior los diseños de suelo cemento, al punto de tener lo óptimo requerido para cumplir los requisitos de lo solicitado en las especificaciones técnicas o normas aplicables, todo esto generará una optimización de costos y sobre todo una reducción en el uso del ítem más caro del proceso que es el cemento como agente mejorador.

Desde el punto de vista ético-profesional:

Como profesionales es nuestra responsabilidad reportar aquellas deficiencias que detectemos en el día a día en nuestra ejecución de nuestras labores y sobre todo comprometerse en proponer nuevas alternativas; todo punto de inicio es un gran aporte que servirá para mejorar la calidad de nuestra normativa, así como la imagen profesional de nuestro País. Es primordial que durante nuestro desempeño siempre apelemos a indagar el “porque “de cada norma o acción

requerida en nuestra ejecución, no con una visión de incredulidad sino como un punto de vista que permita mejorar aquellos ya definidos.

1.4.2. Limitaciones de la Investigación

Desde el punto de vista Temporal:

El presente informe situado en la recolección de datos únicos, de una forma lineal, los cuales son recuperados por única vez debido a que su naturaleza de muestreo y relación de edades de ensayo requieren ser de la misma fuente, dichos datos están limitados al año 2018 y 2019.

Desde el punto de vista Físico:

Limita la investigación el control físico del ensayo como es el moldeo de probetas de suelo cemento, así como el alcance de dicho control el cual está situado en el Tramo II de la carretera Calacaja-Capillune en la ciudad de Moquegua.

1.5. Variables de Operacionalización

A continuación, se presenta el Tabla N° 01 en la que se detalla las variables de operacionalización para el presente proyecto de tesis en la Carretera Calacaja - Capillune en el 2019:

Tabla N°1: Operacionalización de Variables del Proyecto de Tesis

VARIABLE INDEPENDIENTE	VARIABLE DEPENDIENTE	DIMENSIÓN	INDICADORES	INSTRUMENTO	ESCALA
VI CARRETERA CALACAJA- CAPILLUNE MOQUEGUA	VD-1 MÉTODO DE MOLDEO DE PROBETAS DE SUELO CEMENTO DEL MTC	Moldeo de Probetas	Testigo de suelo Cemento	Manual de ensayos de Laboratorio del MTC	Unidad
		Peso unitario de la probeta	Relación masa / volumen	Manual de ensayos de Laboratorio del MTC	g/cm3
		Densidad de campo	Relación masa / volumen in situ	Manual de ensayos de Laboratorio del MTC	g/cm3
		Compresión no Confinada	Resistencia a la compresión.	Manual de ensayos de Laboratorio del MTC	Mpa
		Proceso	Procedimiento de ensayo	Ficha de recolección de datos	SI/NO
	VD-2 MÉTODO EMPÍRICO DE MOLDEO DE PROBETAS DE SUELO CEMENTO	Moldeo de Probetas	Testigo de suelo Cemento	Método Empírico de moldeo de probetas	Unidad
		Peso unitario de la probeta	Relación masa / volumen	Manual de ensayos de Laboratorio del MTC	g/cm3
		Densidad de campo	Relación masa / volumen in situ	Manual de ensayos de Laboratorio del MTC	g/cm3
		Compresión no Confinada	Resistencia a la compresión.	Manual de ensayos de Laboratorio del MTC	Mpa
		Proceso	Procedimiento de ensayo	Ficha de recolección de datos	SI/NO

Fuente: Elaboración Propia.

- a) Variable Independiente (VI): “Carretera Calacaja-Capillune Moquegua”, define el ámbito físico de desarrollo de la investigación, el cual

comprende 27.3km de carretera.

- b) Variables Dependientes (VD-1 y VD-2): “Método de Moldeo de Probetas de Suelo Cemento del MTC” / Método Empírico de Moldeo de Probetas de Suelo Cemento, describe las actividades para la aplicación y descripción del proceso, cuenta con 4 indicadores los cuales serán el alcance de la investigación.

1.6. Hipótesis de la Investigación

1.6.1. Hipótesis Principal

La aplicación del método Empírico de Moldeo de probetas de suelo cemento es más eficiente que el moldeo de probetas de suelo Cemento Propuesto por el MTC en la Carretera Calacaja-Capillune en Moquegua 2019.

1.6.2. Hipótesis Específicas

- a) Los resultados de resistencia a la compresión no confinada por Método de Moldeo de Probetas de Suelo Cemento del MTC son mayores el Método Empírico en la Carretera Calacaja-Capillune de Moquegua 2019.
- b) Los resultados de densidad de las probetas de suelo cemento por Método

de Moldeo de Probetas de Suelo Cemento del MTC son menores el Método Empírico en la Carretera Calacaja-Capillune de Moquegua 2019.

- c) Los resultados de densidad de campo para el diseño de suelo cemento para la Carretera Calacaja-Capillune de Moquegua 2019 difieren más a los valores obtenidos por Método de Moldeo de Probetas de Suelo Cemento del MTC que por el Método Empírico en la Carretera Calacaja-Capillune de Moquegua 2019.
- d) Es más adecuado el Método Empírico de Probetas de Suelo Cemento para la aplicación y control en campo en la Carretera Calacaja-Capillune Moquegua 2019.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la Investigación

El uso del suelo cemento inicio a estudiarse metódicamente entre los años 1910 y 1920 en Inglaterra; en los años 1917, Bradley Brooke realizó por primera vez la aplicación del uso de la estabilización de suelo en una carretera en un material a base de arcilla, a pesar de los buenos resultado este no fue utilizado posteriormente. (Quintanilla, 2007, pág. 12); En Estados Unidos el uso del suelo cemento aumento a desde la formalización patente de Joseph Hay Amies en 1917, de una mezcla de suelo con cemento llamada Soilamies. Asimismo, el esfuerzo de la Portland Cement Association (PCA), el Bureau of Public Roads y el Highway Department del estado de Carolina del Sur contribuyó al desarrollo de la nueva tecnología de los suelos estabilizados con cemento, para la conformidad de ello se realizó varios tramos de prueba experimentales durante los siguientes años hasta 1940 (Quintanilla, 2007, pág. 13).

La tierra es el material más antiguo utilizado por el hombre para la construcción increíblemente ha servido de medio para que sea incorporado a nuevas tecnologías o simplemente agregando nuevas adiciones como en este caso el cemento, (Toirac, 2008) Para este caso es necesario dar viabilidad al material de que se presenta en cada región, sea cual sea las características de este, la manejabilidad de lo que se tiene presente in situ es una responsabilidad del profesional encargado, debido a que en muchos lugares no se tienen todos los recursos necesarios, por lo que una alternativa es la adición de un material estabilizante que permita cumplir con los requisitos de diseño para el caso de una vía.

En el Perú se ha iniciado con el uso de vías estabilizadas con cemento en los años 1960, las primeras zonas en recibir dicho tratamiento en sus vías fue la selva Peruana, esto promovido por la escasez de materiales granulares que permitan cumplir con los requerimientos técnicos solicitados en las normas del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, a la fecha esta metodología de trabajo ha sido promovida como pavimentos de bajo costo “low Cost”, como el menciona autor (Torres Rafael, 2007) el Método utilizado en la construcción muchas veces es más relevante en los costos asociados a la construcción, como se menciona una necesidad puede promover el uso de nuevas alternativas de construcción las cuales impactan directamente en los costos y viabilidad de las mismas.

Dentro de los procesos de gestión del cambio para mejorar la estructura vial del Perú, una alternativa que puede ser aplicada sobre todo en las regiones más

vulnerables, es el sistema de estabilización de suelos en pavimentos, para nuestros fines de estudio EL SUELO CEMENTO. Dado sus múltiples ventajas, tales como mayor durabilidad, bajo costo, fácil proceso de construcción y de rápido desarrollo, puede aplicarse en las diversas vías (sobre todo en las redes terciarias). De esta manera, se puede tener un proceso continuo de mejora en la infraestructura vial y así, mejorar la calidad de vida de las comunidades.

El Ministerio Transportes y comunicaciones engloba a los a los materiales estabilizados en una mejora de sus propiedades físicas y químicas, con incorporación de procesos mecánicos u adiciones químicas o sintéticas. (MTC, 2018), cuando este incorpora un material aglomerante se denomina suelo cemento.

En Moquegua se encuentra en ejecución la mina Quellaveco, la misma que en la actualidad aporta un aumento considerable en la económica de la ciudad, es sabido que para que un proyecto de este tipo pueda iniciar, uno de los primeros pasos es la ejecución de vías, para ello ha decidido continuar con la ejecución del camino de acceso principal a Planta-Mina, en consecuencia a través del contratista Conalvias SAC y posteriormente mediante acuerdo comercial la empresa Colvias ejecutó la pavimentación de dicho acceso en mismo que está dividido en 3 fases, para nuestro estudio nos enfocaremos en el Tramo 2.

Este tramo II corresponde a una calzada de material granular sin afirmado del tipo bidireccional con anchos suficientes para dar cabida al perfil tipo de un camino de segunda categoría, de acuerdo con la Normativa Peruana, en gran parte

de este tramo se aprecia en la superficie de rodadura (Subrasante) cuya superficie se encuentra, en general, en buen estado con deformaciones menores.

Tanto la geometría en planta y sección longitudinal, los niveles topográficos de la plataforma, los bombeos, desarrollos de peraltes, de rectas y curvas, en planta y en alzado, todos los parámetros de dichos elementos y otros, deberán ceñirse estrictamente a la normativa de diseño de carreteras de segunda categoría peruana. La estructura del pavimento constará del mejoramiento de la Subrasante actual, de una capa de material mejorado en nuestro caso será llamado Suelo Cemento y una capa final de sellado con Slurry Seal, nuestro estudio se enfocará en el moldeo de las probetas en campo de la capa de suelo cemento,

Todas las obras señaladas anteriormente para el Tramo II, deberán ceñirse estrictamente a lo señalado en el capítulo 2.1 Códigos y Normas aplicables, en específico el DG-2014 Manual de Diseño Geométrico de Carreteras Ministerio de Transporte y Comunicaciones del Perú y el EG-2013 Especificaciones Técnicas para la Construcción de Carreteras (Perú) y todas las demás Normativas señaladas en este documento.

2.2. Bases Teóricas

Para el desarrollo del presente proyecto se tomará la información del proyecto de la Empresa Conalvias SAC para el Cliente Angloamerican Quellaveco del 2019 el mismo que contemplaba la colocación de una capa de suelo cemento al

Tramo II, el estudio se ubica en el Sector de Calacaja hasta el Sector de Capillune en un total de 27.3 km (Ver Figura 01), el que después fue completado bajo la representación de la empresa Colvias SAC en un acuerdo comercial.

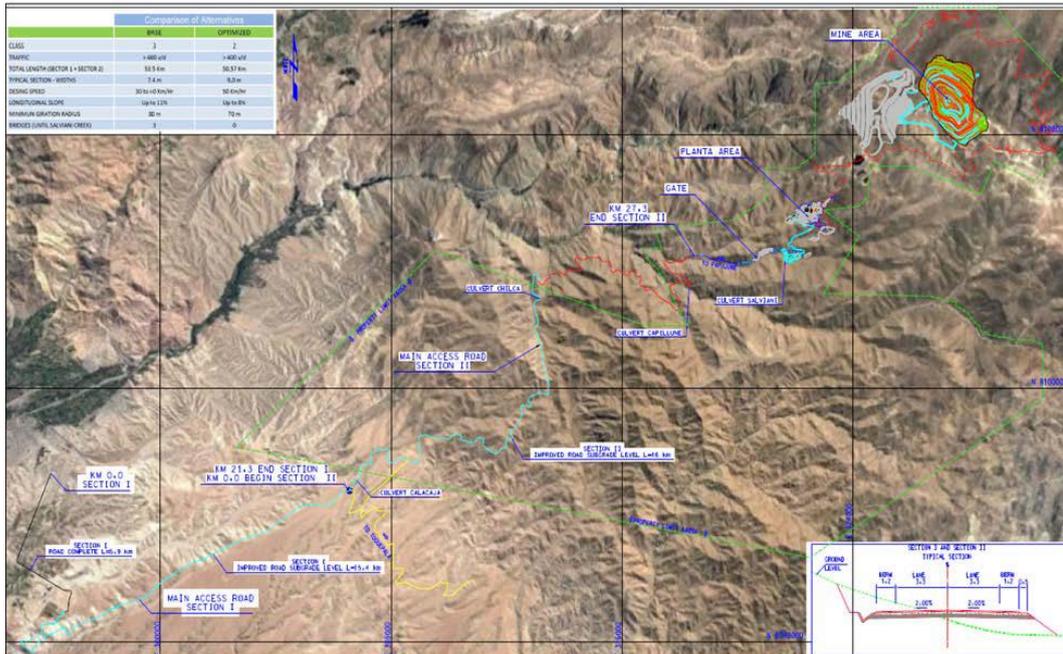


Figura N° 1: Ubicación General del proyecto K-CCN-105-C
Fuente: Plan del Trabajo de Conalvias para el Proyecto

2.2.1. Descripción del proyecto base

a) Del alcance específico:

El proyecto tendrá su desarrollo en el Tramo 2 del de la Vía de Acceso Principal a la Mina Quellaveco, entre los sectores de Calacaja y Capillune, con una longitud de 27.3 km, la vía que a posterior será entregada al Gobierno Regional de Moquegua

La configuración estructural de la vía es de 03 capas, con un ancho mínimo de 8 m (a nivel de Subrasante) en dos carriles incluidos los elementos de bermas y/o sobre anchos:

- Capa a nivel de Subrasante.
- Capa a nivel de Suelo Cemento de 22cm.
- Capa de nivel de rasante de Slurry Seal de 1cm. (min).

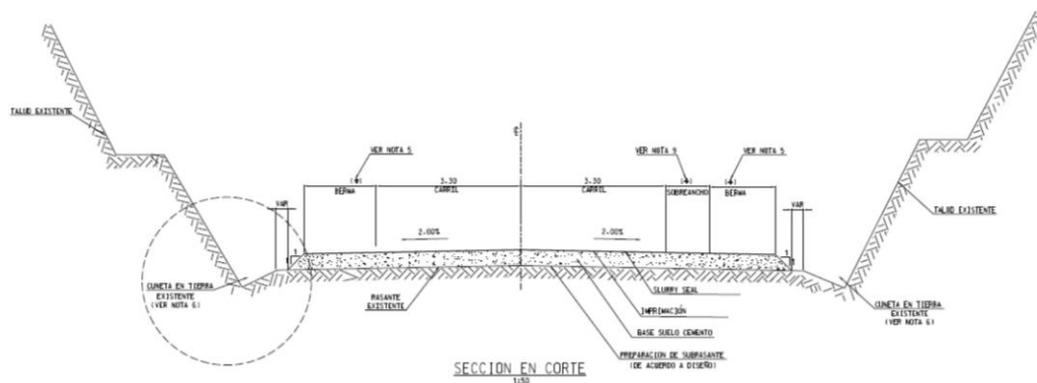


Figura N° 2: Sección Tipo camino con Slurry
Fuente: Planos del Proyecto K-CCN-105-C

La ubicación: Empalme con la carretera MO 596 – Derivación a Quellaveco en el km 21+500 a 500m del cruce con la carretera a Toquepala has el km 27+300 en Capillune.

- Distrito: Moquegua
- Provincia: Mariscal Nieto
- Departamento: Moquegua
- Región: Moquegua

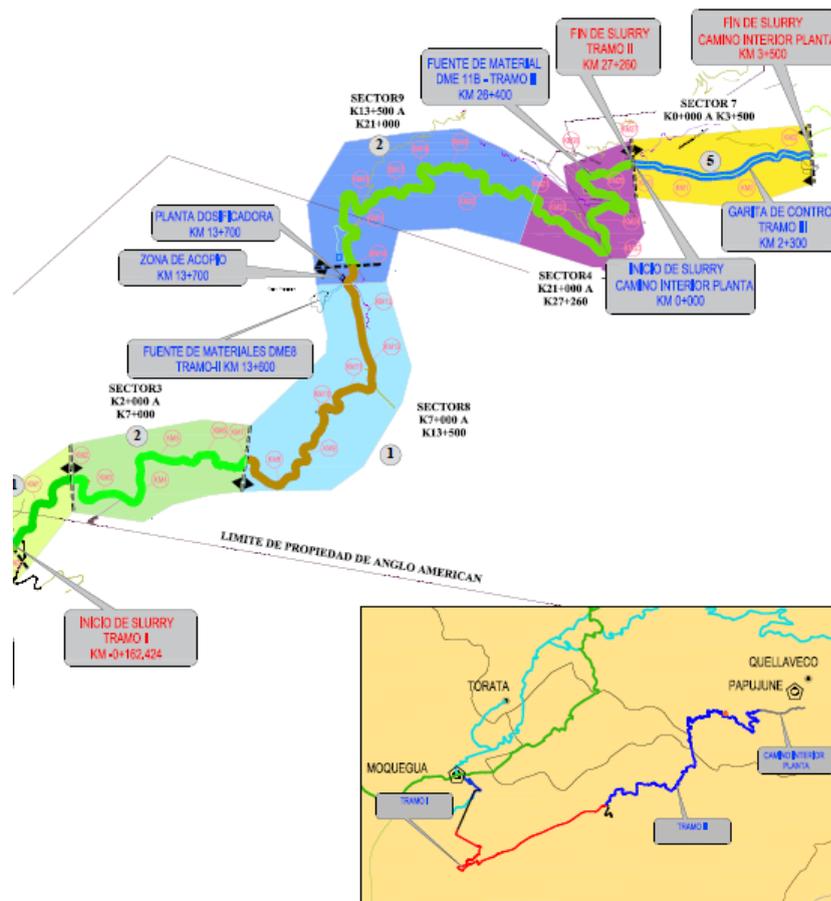


Figura N° 3: Imagen referencial de la ubicación de la carretera.
Fuente: Planimetría General-contrato K-CC5-105

Altitud: La vía departamental se desarrolla sobre una superficie de terreno que fluctúa desde 2160 hasta los 2500 msnm.

Clima: Hasta los 2000 msnm es cálido, templados y fríos con una mínima presencia de lluvias; entre los 2000 a 3500 msnm hay temporadas frías a muy frías con presencia de lluvias.

b) Documentos Generales:

Toda la documentación utilizada en el Proyecto de Tesis y posterior

en la Tesis Final fue aprobada para su uso, mediante una solicitud y respuesta mediante Carta a mi persona (ver Anexo Carta Uso de bins y documentación de la obra 890); para este caso se tiene un proyecto dentro del ámbito privado, los documentos bajo el cual se ha realizado el proyecto son aquellos estipulados en su alcance contractual, pero no se limitan a:

- Alcance de Trabajo MQ13-02-SW-5000-CE0001.
- Especificaciones Técnicas de Base de cemento MQ13-02-ET-0000-CE0010.
- Planos del Proyecto.
- Informes Varios (informes de suelo cemento, Calibraciones, otros).
- Ensayos de Laboratorio.
- Requerimientos de Información al Cliente – RFI.
- Manual de Calidad del Proyecto.

2.2.2. Normatividad

Adicional a los documentos generales del proyecto se han tomado como referencia las indicaciones de las siguientes instituciones rectoras y normativas:

- MTC: Ministerio de Transporte y Comunicaciones.
- ACI: American Concrete Institute.
- PCA: Asociación Cemento Portland.

- AASHTO: Asociación Americana de Autopista y Transporte.
- ASTM: Asociación Americana de Ensayos de Materiales.
- NTP: Norma Técnica Peruana.
- RNE: Reglamento Nacional de edificaciones.
- IMCYC: Instituto Mexicano de Cemento y Construcción.

Cabe resaltar que la ejecución del proyecto se realizó bajo la orientación y detalles del Manual de Especificación de Carreteras Especificaciones Generales para Construcción EG-2013, y su complemento el Manual de Ensayos de Materiales; ambos Documentos regidos por el Ministerio de Transportes y comunicaciones. Los documentos mencionados son parte del requerimiento contractual de la Especificación Técnica de Suelo Cemento MQ13-02-TE-0000-CE0010.

2.2.3. Diseños de Suelo Cemento

Como punto de partida se describirá el diseño de suelo cemento aprobado para el proyecto mediante el informe K-CC5-105C-QA-INF-001, dicho documento da los lineamientos bases con lo que se va a controlar a posterior la calidad del producto a entregar, en este caso la capa de suelo cemento, cabe mencionar que en este caso solo se tomará en cuenta el diseño aplicable al Tramo II ya definido anteriormente.

De los Materiales:

a) Cemento Yura Tipo IP

Cemento portland puzolánico Yura IP de alta resistencia, es un cemento elaborado bajo un alto estándar industrial, producto elaborado con Clinker de alta calidad y puzolanas natural de origen volcánico y yeso.



Figura N° 4: Logo y formato de presentación del cemento a usar.
Fuente: Ficha técnica de Cemento Yura IP

b) Agua de la poza de CARACOLES o EPS Moquegua:

El agua será no potable proveniente de la poza de caracoles del proyecto Quellaveco (poza C-4) o de la EPS Moquegua. (ver anexos de parámetros de agua a usar).

c) Material procesado del Cantera del DME 8 km 14 Tramo 2.

De la Caracterización del Material a Estabilizar:

- Granulometría

Los materiales son procesados con una zaranda vibratoria, la que ofrece uniformidad al material con un tamaño máximo de partícula de 2”.

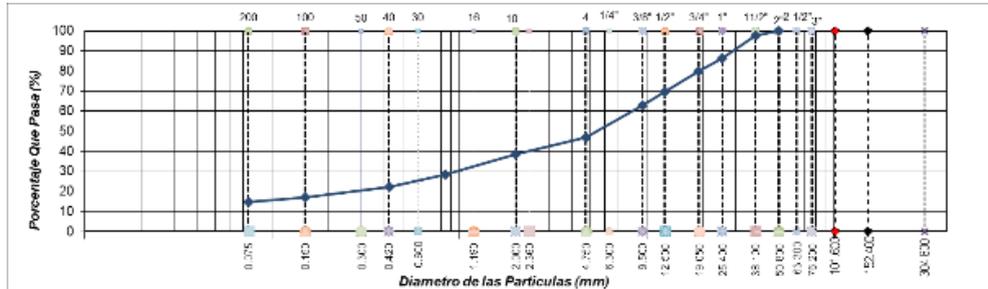


Figura N° 5: Curva Granulométrica del Material a estabilizar.

Fuente: Informe de Diseño de suelo cemento K-CC5-105C-QA-INF-001

- Limite Liquido E Índice De Plasticidad

Los materiales son del tipo grava bien gradada de poco fino (menor a malla #200), las características arenosas del material refieren a un material no plástico, EL DME 8 presenta un material de baja plasticidad.

- Relación Densidad Humedad (Máxima Densidad Seca)

Los materiales presentan una densidad mayor a 2.0 g/cm³ que representa un buen comportamiento mecánico abrasivo.

- Gravedad Específica y Absorción

El material presenta un peso específico de la grava mayor ¾” y menor a 2” mayor a 2.3 g/cm³ recomendable para condiciones de tránsito.

Tabla N° 2: Resultados de densidad Máxima.

GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS GRUESO	MTC E 206 ASTM C 127	SC-DME8-001	2.429 gr/cm ³ 2.853 %
--	-------------------------	-------------	-------------------------------------

Fuente: Informe de Diseño de suelo cemento K-CC5-105C-QA-INF-001

Todos los sectores cumplen con la recomendación.

- Capacidad De Soporte (CBR)

Se ensayó el material con las características del CBR a 100% de la DMS a 0.1”de penetración en condiciones no saturadas, para el DME 8 km 14 Tramo II es de CBR 78.1%.

- Ensayos Químicos

Se ha solicitado realizar: ensayo de sales totales, durabilidad y contenido de materia orgánica, en general estos cumplen con los requisitos de la EETT del proyecto.

Tabla N° 3: Resultados de Ensayos Químicos

IMPUREZAS ORGÁNICAS	MTC E 208 ASTM C 40	SC-DME8-001	NP
SALES TOTALES	MTC E 219	SC-DME8-001	0.0008
DURABILIDAD AL SULFATO DE MAGNESIO - AGREGADOS GRIESO	MTC E 209	SC-DME8-001	0.073

Fuente: Informe de Diseño de suelo cemento K-CC5-105C-QA-INF-001

- Abrasión Los Ángeles

Debido a la gravedad específica mayor a 2.50 g/cm³, garantiza un comportamiento abrasivo resistente.

Tabla N° 4: Resultados de Ensayos de Abrasión

ABRASIÓN LOS ANGELES	MTC E 20 ASTM C 131	SC-DME8-001	18.20%
----------------------	------------------------	-------------	--------

Fuente: Informe de Diseño de suelo cemento K-CC5-105C-QA-INF-001

Como parte de la metodología del diseño se propuso propone el uso de ecuaciones lineales en donde se identificará como mínimo los requisitos de CBR y CNC, asimismo se ha de Considerar un FS de 25% adicional para los trabajos de campo; en las pruebas de laboratorio de obtuvo:

Tabla N° 5: Fórmula de Trabajo para el Suelo Cemento.

RESULTADOS A LOS 7 DÍAS	CEMENTO REQUERIDO	FS 1.25	FORMULA DE TRABAJO
CBR AL 100%	1.30%	1.60%	2%
RESISTENCIA 20 kg/cm ²	0.90%	1.20%	42.5kg/m ³ de cemento
DMS	2.135 gr/cm ³	NA	
% DE LA DMS	98.60%	NA	
COH	8.30%	-0.02	10.30%

Fuente: Informe de Diseño de suelo cemento K-CC5-105C-QA-INF-001

Cabe mencionar que el proyecto considera el uso de un 3% máximo de contenido de cemento en relación con el peso del material, para fines de seguridad se ha procedido a usar dicho valor elevando el valor obtenido en laboratorio de 2%.

2.3. Marco Conceptual

Como variables dependientes se definió la aplicación de dos métodos en

proceso de preparación y moldeo de probetas de suelo cemento; el primero será el método regido por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones en su Manual de Ensayos de Materiales en la Norma MTC E 1102, el segundo será el Método empírico el cual será regido por aplicaciones generales como el moldeo de una probeta de Suelo como indica la norma MTC E 115, pero ya que esta contemplará algunas variaciones y restricciones por la aplicación en campo y no se seguirá el proceso tal cual, dicho proceso se denominará “empírico”; a continuación, se procederá a definir cada procedimiento:

2.3.1. Método de Moldeo de probetas de Suelo Cemento aplicando la relación Humedad Densidad-Densidad de la MTC - E 1102:

El método propuesto por la MTC indica textualmente en su objetivo *“Se refieren a la determinación de la relación entre la humedad y el peso unitario de mezclas de suelo – cemento, cuando se compactan del modo que se prescribe y antes de que ocurra la hidratación del cemento.”* (Manual de Ensayos de Materiales MTC, 2016, pág. 1000).

Por las características del Material a estabilizar el mismo que contempla una Tamaño Máximo de partícula de 2” se aplicara el Método B como se referencia en la Norma *“Para muestras de suelo que pasan un tamiz de 19,0 mm (3/4 pulg). Deberá emplearse este método cuando Parte del suelo queda retenido en el tamiz de 4,75 mm (N°4)”* (Manual de Ensayos de Materiales MTC, 2016, pág. 1000). Para este procedimiento se considerará:

a) De los materiales y equipos a utilizar:

- Molde de 4 pulgadas que tenga en promedio $101,6 \pm 0,4$ mm ($4,000 \pm 0,016$ pulg) de diámetro interior, una altura de $116,4 \pm 0,5$ mm ($4,584 \pm 0,018$ pulg) y un volumen de 944 ± 14 cm³ ($0,0333 \pm 0,0005$ pie³).

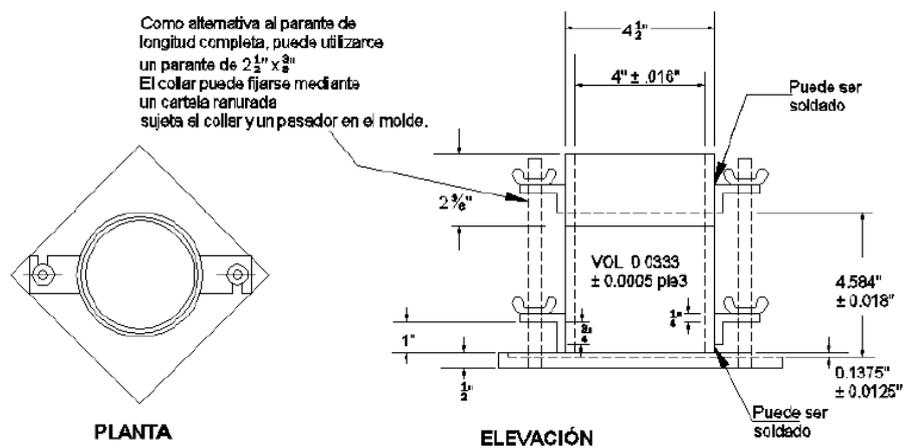


Figura N° 6: Características del molde.

Fuente: Manual de Ensayos de Materiales del MTC, 2016.

- Pisón Manual: El pisón deberá estar equipado con una guía que tenga suficiente espacio libre para que la caída del pisón y la cabeza no sea restringida. La guía deberá tener al menos 4 orificios de ventilación en cada extremo (8 orificios en total) localizados con centros de $19,0 \pm 1,6$ mm ($\frac{3}{4} \pm \frac{1}{16}$ pulg) y espaciados a 90° . Los diámetros mínimos de cada orificio de ventilación deben ser $9,5$ mm ($\frac{3}{8}$ pulg). Orificios adicionales o ranuras pueden ser incorporados en el tubo guía.

- Extractor de Muestras (opcional): Puede ser una gata, estructura u otro mecanismo adaptado con el propósito de extraer los especímenes compactados del molde.
- Tamices o Mallas: De 19,0 mm ($\frac{3}{4}$ pulg), 9,5 mm ($\frac{3}{8}$ pulg) y 4,75mm (N° 4), conforme a los requisitos de la especificación ASTM E 11.
- Herramientas de Mezcla: Diversas herramientas tales como cucharas, morteros, mezclador, paleta, espátula, botella de espray, etc. o un aparato mecánico apropiado para la mezcla completo de muestra de suelo con incrementos de agua.

b) Del procedimiento del Ensayo:

- La muestra tomada será pasada por el tamiz de $\frac{3}{4}$ " para separar la parte de sobre tamaño de la muestra posterior a ellos de re tamizará por el tamiz N°4, la parte retenida será secada al horno y posterior a ello se realizará la limpieza de las impurezas que aun queden en ella.
- En un recipiente aparte se tomará una porción de la muestra fina y se colocará al horno, para ello se registrará en contenido de humedad de esta.
- Posterior al secado y limpieza de la parte gruesa, se dejará sumergida en

agua para que esta llene los vacíos hasta alcanzar una condición de SSS, saturado superficialmente seco.

- En base a los datos iniciales del diseño se tomará porciones de cada elemento: porcentaje de grava y porcentaje de material fino, todo ello representado de la granulometría base, porcentaje de cemento y el contenido de agua óptimo, para el amasado manual se considera un % adicional por la pérdida de este, posterior a ellos la muestra será dividida en 3 porciones iguales y cubierta para evitar la pérdida excesiva de humedad.

- Colocar algún engrasante del tipo mineral en la parte interna del molde, posterior a ello colocar la primera capa en el molde con el collarín, y realizar el uniformizado del material mezclado, y realizar 25 golpes con el pisón, repetir este procedimiento en las 2 capas restantes, al término recortar la parte excedente con un engrasado firme, en caso quedar oquedades rellenar con material pasante de la malla N° 4 de la muestra preparada; para desmoldar esperar mínimo 12 horas para la consolidación de la muestra.

c) Del procesamiento de datos:

- La finalidad del ensayo como tal es llegar a la relación masa-volumen en estado seco de la probeta para ello tomaremos los datos antes obtenidos

y se procesara:

La densidad húmeda de la muestra será la relación:

$$\rho_h = \frac{(M_t - M_m)}{V_m}$$

Donde:

ρ_h : Densidad húmeda de la muestra

M_t : Masa del espécimen húmedo más la masa del molde.

M_m : Masa del molde

V_m : volumen del Molde

La densidad húmeda de la muestra será la relación:

$$\rho_s = \frac{\rho_s}{1 + w/100}$$

Donde:

ρ_s : Densidad seca de la Muestra

W : contenido de humedad del material (%)

Los datos se podrán dar en unidades de g/cm³ y los de humedad en porcentaje (%), los valores se darán como mínimo con 02 decimales.

2.3.2 Método Empírico de Moldeo de probetas de Suelo Cemento con base en el ensayo de Relación Humedad -Densidad del MTC E-115:

El método propuesto tiene una base teórica en el moldeo de pastillas de suelo del Proctor modificado ello regido en la norma MTC E 115 de nuestra actual legislación, considerando lo que indica dicha norma en su alcance “*Este ensayo abarca los procedimientos de compactación usados en Laboratorio, para determinar la relación entre el Contenido de Agua y Peso Unitario Seco de los suelos*”, aplica la compactación de suelo por lo que es dicho caso la adición del cemento como una partícula fina, proveniente de materiales específicos del suelo no altera en gran medida la estructura base del suelo cemento las cual sería, material granular, agua, aire y el cementante, la acción del cemento en este caso limitará la ejecución del ensayo a nivel del tiempo de ejecución (Manual de Ensayos de Materiales MTC, 2016), el Manual de Carreteras EG- 2013 recomienda que a elaboración de cualquier probeta no exceda 2h, para nuestro caso se hará más riguroso tomando 1.5 horas como tiempo máximo, tomando como referencia en tiempo de fraguado inicial de un concreto siempre como menciona la ASTM C 94.

Por las características del Material a estabilizar el mismo que contempla un Tamaño Máximo de partícula de 2” se aplicará el Método C como se referencia en la Norma “*Uso: Cuando más del 20% en peso del material se retiene en el tamiz 9,5 mm (3/8 pulg) y menos de 30% en peso es retenido en el tamiz 19,0 mm (3/4 pulg)*” (Manual de Ensayos de Materiales MTC, 2016, pág. 1000). Para este procedimiento se considerará:

a) De los materiales y equipos a utilizar:

Para la ejecución del ensayo los materiales en general se mantendrán como se mencionas en el ítem 2.3.1 / a), a diferencia de los siguientes:

- Un molde con las características mínimas requeridas de 6 pulgadas tenga en promedio $152,4 \pm 0,7$ mm ($6,000 \pm 0,026$ pulg) de diámetro interior, una altura de: $116,4 \pm 0,5$ mm ($4,584 \pm 0,018$ pulg) y un volumen de 2124 ± 25 cm³ ($0,075 \pm 0,0009$ pie³).
- El pisón debe caer libremente a una distancia de $457,2 \pm 1,6$ mm ($18 \pm 0,05$ pulg) de la superficie de espécimen. La masa del pisón será $4,54 \pm 0,01$ kg ($10 \pm 0,02$ lb-m), salvo que la masa pisón mecánico se ajuste al descrito en el Método de Ensayo ASTM D 2168 (ver Nota 5). La cara del pisón que golpea deberá ser plana y circular, excepto el nombrado en 4.1.2.3 de este ensayo con un diámetro de $50,80 \pm 0,13$ mm ($2,000 \pm 0,005$ pulg), (Figuras 1 y 2). El pisón deberá ser reemplazado si la cara que golpea se desgasta o se deforma al punto que el diámetro sobrepase los $50,800 \pm 0,25$ mm ($2,000 \pm 0,01$ pulg).

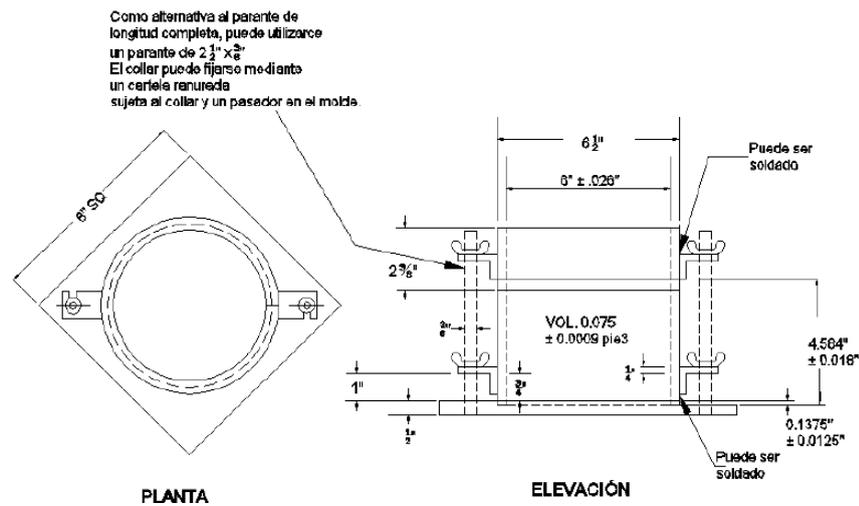


Figura N° 7: Características del molde

Fuente: Manual de Ensayos de Materiales del MTC, 2016.

b) Del procedimiento del Ensayo:

- Al ser este procedimiento aplicado a pie de obra, la muestra será tomada tendrá un cuidado adicional tomado una muestra mínima de 50 kg del material ya combinado, inmediatamente este deberá ser cubierto para evitar la pérdida de humedad durante el proceso de tamizaje y ejecución en si del ensayo.
- La muestra tomada se dividirá en muestras parciales de 8 kg aproximadamente, cada una para una probeta de ensayo, para ello se iniciará pasando la muestra por la malla de $\frac{3}{4}''$, separando la fracción retenida, anotar el peso de dicha fracción, como adicional se deberá retirar la mayor cantidad de material fino adherido a la parte retenida en la malla $\frac{3}{4}''$.

- Tomar una muestra representativa del material y tomar su peso inicial, introducir la muestra en una bolsa o recipiente hermético, para ser llevado al laboratorio para realizar el secado y cálculo de la humedad.

- Colocar algún engrasante del tipo mineral en la parte interna del molde, posterior a ello colocar la primera capa de material tamizado en el molde con el collarín, y realizar el uniformizado del material mezclado, y realizar 56 golpes con el pisón, repetir este procedimiento en las 4 capas restantes, al termino recortar la parte excedente con n enrasado firme, en caso quedar oquedades rellenar con material pasante de la malla N° 4 de la muestra preparada; para desmoldar esperar mínimo 12 horas para la consolidación de la muestra.

c) Del procesamiento de datos:

- La finalidad del ensayo como tal es llegar a la relación masa-volumen en estado seco de la probeta para ello tomaremos los datos antes obtenidos y se procesara:

La densidad húmeda de la muestra será la relación:

$$\rho_h = \frac{(Mt - Mm)}{Vm}$$

Donde:

Ph: Densidad húmeda de la muestra

Mt: Masa del espécimen húmedo más la masa del molde.

Mm: Masa del molde

Vm: volumen del Molde

La densidad húmeda de la muestra será la relación:

$$\rho_s = \frac{\rho_s}{1 + w/100}$$

Donde:

ρ_s : Densidad seca de la Muestra

W: contenido de humedad del material (%)

Los datos se podrán dar en unidades de g/cm³ y los de humedad en porcentaje (%), los valores se darán como mínimo con 02 decimales.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Tipo de investigación

Para el nivel de investigación del proyecto se ha considerado una investigación del tipo aplicada / exploratoria, el primero ya que se buscará plantear una solución directa al problema de ejecutar un método más viable de moldeo de probetas de suelo cemento para la Carretera Calacaja-Capillune obteniendo resultados primarios y por segundo exploratorio, ya que podremos caracterizar los procesos de manera cualitativa desde el punto de vista operacional (Supo, 2013).

Según (Ander-Egg, 1992) *“La investigación es un procedimiento reflexivo, sistemático, controlado y crítico que tiene por finalidad descubrir o interpretar los hechos y fenómenos, relaciones y leyes de un determinado ámbito de la realidad ...-una búsqueda de hechos, un camino para conocer la realidad, un procedimiento para conocer verdades parciales, o mejor, para descubrir no falsedades parciales”*.

3.2. Diseño de investigación

Según su enfoque no excluyente y los resultados del procesamiento de datos, podemos definir como una investigación mixta (Fiallo & Rodrigues, 2008), ya que será cuantitativa por los datos directos y resultados de los ensayos a realizar por ambos métodos, y será cualitativa por que será sujeta a la interpretación y análisis empírico de la fase del nivel exploratorio.

Adicional a ello se puede complementar que por la finalidad del estudio se definiría como una investigación del tipo aplicada o activa, ya que busca dar nuevos conocimientos de un problema específico presentado bajo alguna condición (Sanchez & Reyes, 2006), ya que para ello se implementará un nuevo método basado en soportes normativos alternos.

3.3. Población y Muestra

3.3.1 Población:

Un conjunto de datos o un universo determinado dentro de un esquema a evaluar (Pineda, De Canales, & Cruz, 1994, pág. 13), el proyecto englobará los trabajos de pavimentación de 27.3 km de Suelo Cemento de espesor de 22 cm en la Carretera de Calacaja – Capillune Moquegua.

3.3.2. Muestra:

Se definirá como un subconjunto de la población que representará al universo de datos según el muestreo.

a) Muestreo

Se denominará así al método utilizado para seleccionar los datos de la población, el cual basaremos en los datos solicitados en la investigación (MATA, 1994, pág. 19), Requerimiento del contrato del proyecto Especificaciones Técnicas de Base de Suelo Cemento:

Tabla N°6: Tabla de muestro y control de corridas

FACTOR	PROBETAS SC
ESCALA	UND
INTERVALO	0 a 27300 ml
DIV. ESCALA	máx. 1000 ml
NIVELES	0 a 1000
	1000 a 2000
	2000 a 3000
	4000 a 5000
	(...)
	24000 a 25000
	25000 a 26000
	26000 a 27000
	27000 a 27300
CONTEO NIVELES	26
REPLICAS	6
CORRIDAS	156

Fuente: Elaboración propia

Para el análisis se ha tomado una medición de 26 Niveles el cual se podrá presentar de manera paralela con los datos tomados de cada variable dependiente; para el análisis no se podrá tomar menos una muestra (de 6 réplicas) por nivel de análisis, en caso de tener más se promediará los resultados para ser comparado como dato único por nivel.

3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

Para el estudio se registrará las técnicas del ensayo, la cual aplica directamente a la variable de estudio y esclarece el problema general; estas se correlacionan con las dimensiones a obtener de cada variable como se muestran en el siguiente Tabla:

Tabla N°7: Instrumentos para la recolección de datos.

DIMENSIÓN	INDICADORES	INSTRUMENTO	ESCALA
Moldeo de Probetas	Testigo de suelo Cemento	Manual de ensayos de Laboratorio del MTC	Unidad
Peso unitario de la probeta	Relación masa / volumen	Manual de ensayos de Laboratorio del MTC	g/cm ³
Densidad de campo	Relación masa / volumen in situ	Manual de ensayos de Laboratorio del MTC	g/cm ³
Compresión no Confinada	Resistencia a la compresión.	Manual de ensayos de Laboratorio del MTC	Mpa
Proceso	Procedimiento de ensayo	Ficha de Recolección de datos	SI/NO

Fuente: Elaboración Propia

La recolección de datos tendrá un carácter transversal y condicional para ambas variables dependientes, la aplicación de temporal será tal que ambas deberán ser ejecutadas el mismo día, la denominación de transversal será porque se tomaran solo una vez durante el periodo de ejecución.

Para ello se definirá el alcance de cada Instrumento según su dimensión:

a) Moldeo de Probetas de suelo cemento:

Como se ha definido en los ítems 2.3.1 y 3.3.2 consiste en la elaboración de testigos de suelo cemento mediante métodos de compactación con un pisón manual, los cuales serán desmoldados mediante un pistón (o gata) y curados en una bolsa hermética en condiciones de temperatura ambiente por 7 días.



Figura N° 8: Testigos de Suelo cemento
Fuente: Elaboración propia.

b) Peso unitario de la Probetas de suelo cemento:

Posterior al desmoldado de la Probeta y con referencia de la humedad contenida en la probeta se procederá a tomar los pesos reales de la probeta y las medidas de diámetro (02 lecturas transversales perpendiculares una a la otra), y 02 medidas de altura, con un equipo de precisión (vernier), con los datos obtenidos se tomarán procesada las relaciones masa/volumen.

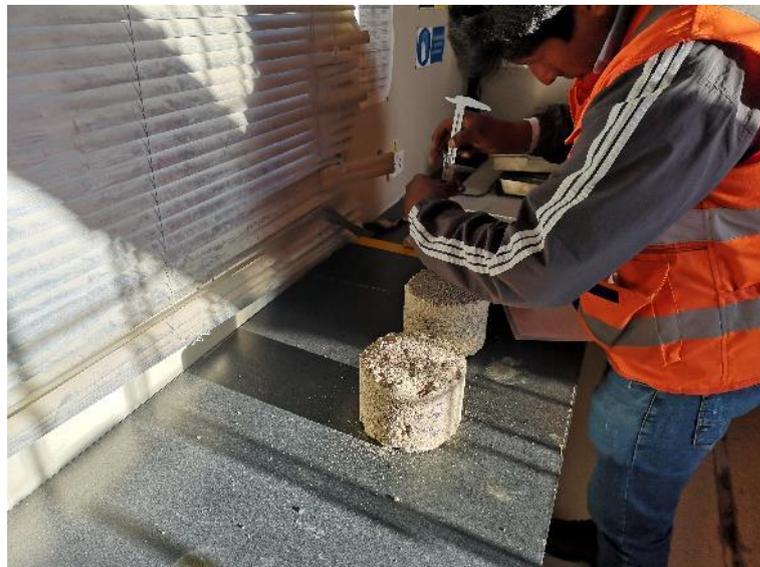


Figura N° 9: Medición de las dimensiones de la probeta.

Fuente: Elaboración propia.

c) Densidad de Campo del suelo cemento:

Por requerimiento normativo y por la facilidad de campo para ejecutar el ensayo se optará por el método nuclear, para los cual el equipo calibrado, será llevado a campo bajo las medidas de seguridad requeridas, en el cual se insertara una varilla de acero en la carpeta a evaluar, posterior a ello

se inserta a varilla guía que contiene la fuente, de configura los datos requeridos para el ensayo (densidad, humedad, espesor) y se procede con el disparo, posterior a 15 segundo se apersona el técnico para la lectura.



Figura N° 10: Ensayo de densidad in situ Método Nuclear
Fuente: Elaboración Propia

d) Ensayo de compresión no confinada de probetas de suelo Cemento:

La finalidad de este proceso es obtener el valor máximo de carga aplicada de manera perpendicular a la probeta de suelo cemento, antes de que falle, por lo que se utilizará un equipo de compresión no confinada, posterior a ello el valor de resistencia será la relación entre la carga aplicada entre el área de la probeta, considerar que dichos valores serán ajustados por los valores interpolado o extrapolados de la tabla del ASTM C 42.



Figura N° 11: Prensa de compresión

Fuente: Elaboración Propia

e) Proceso:

Este indicador será medido mediante el instrumento de Ficha de recolección de Datos, en ella se evaluará que tan eficaz es cada método utilizado, enfocándolo en 15 preguntas orientadas al proceso de ejecución, control y ensayo final, estas serán evaluadas en la Escala de SI o NO.

3.5. Técnicas de procesamiento y análisis de datos.

Para el procesamiento y presentación de los resultados se realizará la recolección de las fichas de datos (hojas de datos de ensayos), se compilarán los resultados de cada indicador en un Tabla los mismos que se relacionarán para su evaluación por niveles.

Tabla N°8: Flujograma de presentación de Resultados

FLUJOGRAMA DE PRESENTACIÓN DE RESULTADOS				
	NIVEL	RESULTADO 1 (VD-1)	RESULTADO 2 (VD-2)	DESCRIPCIÓN
Análisis Aplicativo	Ej.: 0 a 1000 ml	↔ 1.89 Mpa	↔ 2.86 Mpa	↔ (...)
	NIVEL	RESULTADO 1	RESULTADO 2	DESCRIPCIÓN
Análisis Exploratorio	15 preguntas	↔ (VD-1)	↔ (VD-2)	↔ Mayor eficacia

Fuente: Elaboración Propia.

Este método nos servirá para describir de manera cuantitativa y cualitativa los resultados obtenidos de cada indicador de las variables dependientes comparadas.

CAPÍTULO IV

PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. Presentación de Resultados por variables

De acuerdo con el esquema de investigación podemos identificar como variables a los resultados según indicadores de VD1: Método Empírico de moldeos de probetas de suelo cemento y VD2: Método MTC de moldeos de probetas de suelo cemento.

4.1.1. Cantidad de probetas elaboradas:

Tabla N°9: Cumplimiento de probetas de suelo cemento

CONTEO DE MOLDES DE PROBETAS DE SUELO CEMENTO						
ÍTEM	MÉTODO	NIVELES	RÉPLICAS	CORRIDAS	CUMPLIMIENTO	OBSERVACIONES
1	EMPÍRICO	26	6	366	SI	POR REQUERIMIENTO CONSTRUCTIVO
2	MTC	26	6	162	SI	

Fuente: Elaboración Propia.

4.1.2. Resultados de Resistencia a la compresión no confinada

Tabla N°10: Comparativo de resultados de resistencia a la compresión.

Item	NIVEL	Descripción del Nivel	F'c Req. MPa	Edad Días	METODO EMPIRÍCO		MÉTODO MTC	
					F'c Corregido (MPa)	Resistencia. Prom %	F'c Corregido (MPa)	Resistencia. Prom %
					001	0.00	PK 0+000 A 1+000	1.8
				7	3.29	182.85%	1.16	64.44%
002	1.00	PK 1+000 A 2+000	1.8	3	2.54	141.01%	1.25	69.52%
				7	3.34	185.78%	1.40	77.82%
003	2.00	PK 2+000 A 3+000	1.8	3	2.57	142.87%	1.30	72.46%
				7	3.35	186.14%	1.20	66.53%
004	3.00	PK 3+000 A 4+000	1.8	3	2.58	143.42%	1.15	64.10%
				7	3.47	192.59%	1.26	69.91%
005	4.00	PK 4+000 A 5+000	1.8	3	2.60	144.54%	1.35	74.93%
				7	3.34	185.51%	1.53	84.81%
006	5.00	PK 5+000 A 6+000	1.8	3	2.59	143.85%	1.37	76.26%
				7	3.37	187.38%	1.28	70.89%
007	6.00	PK 6+000 A 7+000	1.8	3	2.61	144.94%	1.04	57.52%
				7	3.31	183.85%	1.06	59.07%
008	7.00	PK 7+000 A 8+000	1.8	3	2.48	137.96%	1.20	66.63%
				7	3.29	182.65%	1.27	70.74%
009	8.00	PK 8+000 A 9+000	1.8	3	2.52	140.12%	1.22	67.89%
				7	3.40	189.06%	1.07	59.34%
010	9.00	PK 9+000 A 10+000	1.8	3	2.54	141.13%	0.96	53.58%
				7	3.42	189.91%	1.16	64.47%
011	10.00	PK 10+000 A 11+000	1.8	3	2.56	142.21%	1.25	69.47%
				7	3.30	183.56%	1.48	82.35%
012	11.00	PK 11+000 A 12+000	1.8	3	2.61	144.94%	1.32	73.30%
				7	3.42	190.24%	1.21	67.16%
013	12.00	PK 12+000 A 13+000	1.8	3	2.63	146.04%	1.02	56.70%
				7	3.40	188.65%	1.24	68.86%
014	13.00	PK 13+000 A 14+000	1.8	3	2.60	144.39%	1.47	81.86%
				7	3.31	184.04%	1.53	85.05%

015	14.00	PK 14+000 A 15+000	1.8	3	2.60	144.43%	1.34	74.25%
				7	3.31	183.83%	1.08	60.27%
016	15.00	PK 15+000 A 16+000	1.8	3	2.60	144.30%	0.98	54.36%
				7	3.29	182.94%	1.07	59.20%
017	16.00	PK 16+000 A 17+000	1.8	3	2.61	145.11%	1.23	68.57%
				7	3.30	183.44%	1.32	73.11%
018	17.00	PK 17+000 A 18+000	1.8	3	2.56	142.37%	1.14	63.52%
				7	3.35	186.18%	0.98	54.57%
019	18.00	PK 18+000 A 19+000	1.8	3	2.64	146.87%	0.95	52.98%
				7	3.36	186.71%	1.10	61.25%
020	19.00	PK 19+000 A 20+000	1.8	3	2.63	145.96%	1.21	67.05%
				7	3.34	185.56%	1.41	78.61%
021	20.00	PK 20+000 A 21+000	1.8	3	2.55	141.63%	1.35	75.26%
				7	3.38	187.65%	1.26	70.24%
022	21.00	PK 21+000 A 22+000	1.8	3	2.66	147.80%	1.07	59.19%
				7	3.39	188.23%	1.24	69.02%
023	22.00	PK 22+000 A 23+000	1.8	3	2.57	142.87%	1.41	78.18%
				7	3.38	187.72%	1.44	80.07%
024	23.00	PK 23+000 A 24+000	1.8	3	2.60	144.44%	1.19	66.08%
				7	3.43	190.64%	1.07	59.52%
025	24.00	PK 24+000 A 25+000	1.8	3	2.57	142.92%	1.00	55.54%
				7	3.35	186.25%	1.19	66.11%
026	25.00	PK 25+000 A 26+000	1.8	3	2.57	142.52%	1.36	75.36%
				7	3.25	180.71%	1.61	89.36%
027	26.00	PK 26+000 A 27+300	1.8	3	2.62	145.83%	1.48	82.18%
				7	3.32	184.50%	1.35	75.19%

Fuente: Elaboración Propia.

4.1.3. Resultados de Densidad (Densímetro, campo y laboratorio)

Tabla N°11: Comparativo de resultados de Densidad.

							CAMPO	MÉTODO EMP	MÉTODO MTC
DATOS DE CAMPO							DATOS PROMEDIO	DATOS PROMEDIO	DATOS PROMEDIO
Densidad N°	Capa	Nivel	Ubicación	Densidad	Comp prom %	W %	Densidad densímetro	Densidad campo	Densidad laboratorio
DSC-T2-024	SUELO CEMENTO	0	SUELO CEMENTO TRAMO II KM 0+000 A 1+000 LD	1.988	95.2	6.0	2.048	2.109	2.025
DSC-T2-040	SUELO CEMENTO		SUELO CEMENTO TRAMO II KM 0+000 A 1+000 LI	2.107	99.0	7.1			
DSC-T2-026	SUELO CEMENTO	1	SUELO CEMENTO TRAMO II KM 1+000 A 2+000 LD	2.074	99.0	7.9	2.090	2.104	2.039
DSC-T2-043	SUELO CEMENTO		SUELO CEMENTO TRAMO II KM 1+000 A 2+000 LI	2.106	99.6	7.9			
DSC-T2-029	SUELO CEMENTO	2	SUELO CEMENTO TRAMO II KM 2+000 A 3+000 LD	2.040	96.5	7.4	2.041	2.114	2.033
DSC-T2-046	SUELO CEMENTO		SUELO CEMENTO TRAMO II KM 2+000 A 3+000 LI	2.042	96.6	7.2			
DSC-T2-033	SUELO CEMENTO	3	SUELO CEMENTO TRAMO II KM 3+000 A 4+000 LD	2.072	98.0	7.9	2.067	2.107	2.040
DSC-T2-049	SUELO CEMENTO		SUELO CEMENTO TRAMO II KM 3+000 A 4+000 LI	2.061	98.2	7.7			
DSC-T2-037	SUELO CEMENTO	4	SUELO CEMENTO TRAMO II KM 4+000 A 5+000 LD	2.040	96.6	6.7	2.067	2.111	2.027
DSC-T2-052	SUELO CEMENTO		SUELO CEMENTO TRAMO II KM 4+000 A 5+000 LI	2.095	99.3	8.2			
DSC-T2-055	SUELO CEMENTO	5	SUELO CEMENTO TRAMO II KM 5+000 A 6+000 LD	2.082	99.2	6.5	2.078	2.100	2.038
DSC-T2-057	SUELO CEMENTO		SUELO CEMENTO TRAMO II KM 5+000 A 6+000 LI	2.074	98.7	7.9			
DSC-T2-036	SUELO CEMENTO	6	SUELO CEMENTO TRAMO II KM 6+000 A 7+000 LD	2.004	95.8	6.9	2.034	2.105	2.031
DSC-T2-059	SUELO CEMENTO		SUELO CEMENTO TRAMO II KM 6+000 A 7+000 LI	2.063	97.4	7.5			
DSC-T2-034	SUELO CEMENTO	7	SUELO CEMENTO TRAMO II KM 7+000 A 8+000 LD	2.049	97.2	7.3	2.031	2.102	2.048
DSC-T2-054	SUELO CEMENTO		SUELO CEMENTO TRAMO II KM 7+000 A 8+000 LI	2.014	96.0	6.7			
DSC-T2-031	SUELO CEMENTO	8	SUELO CEMENTO TRAMO II KM 8+000 A 9+000 LD	2.061	97.8	6.1	2.056	2.101	2.036
DSC-T2-051	SUELO CEMENTO		SUELO CEMENTO TRAMO II KM 8+000 A 9+000 LI	2.051	98.0	8.0			
DSC-T2-028	SUELO CEMENTO	9	SUELO CEMENTO TRAMO II KM 9+000 A 10+000 LD	2.015	95.8	6.3	2.055	2.109	2.046
DSC-T2-048	SUELO CEMENTO		SUELO CEMENTO TRAMO II KM 9+000 A 10+000 LI	2.096	99.1	6.7			
DSC-T2-025	SUELO CEMENTO	10	SUELO CEMENTO TRAMO II KM 10+000 A 11+000 LD	2.026	95.6	7.3	2.057	2.115	2.058
DSC-T2-045	SUELO CEMENTO		SUELO CEMENTO TRAMO II KM 10+000 A 11+000 LI	2.088	98.8	6.2			
DSC-T2-022	SUELO CEMENTO	11	SUELO CEMENTO TRAMO II KM 11+000 A 12+000 LD	2.074	98.3	7.6	2.046	2.112	2.022
DSC-T2-042	SUELO CEMENTO		SUELO CEMENTO TRAMO II KM 11+000 A 12+000 LI	2.018	95.4	7.3			
DSC-T2-015	SUELO CEMENTO	12	SUELO CEMENTO TRAMO II KM 12+000 A 13+000 LD	2.101	99.2	7.0	2.060	2.113	2.038
DSC-T2-039	SUELO CEMENTO		SUELO CEMENTO TRAMO II KM 12+000 A 13+000 LI	2.019	95.8	6.4			
DSC-T2-001	SUELO CEMENTO	13	SUELO CEMENTO TRAMO II KM 13+000 A 13+500 LD	2.072	98.4	7.1	2.066	2.107	2.028
DSC-T2-002	SUELO CEMENTO		SUELO CEMENTO TRAMO II KM 13+500 A 14+000 LD	2.092	99.0	6.9			
DSC-T2-006	SUELO CEMENTO	14	SUELO CEMENTO TRAMO II KM 13+000 A 13+500 LI	2.040	97.1	7.2	2.065	2.111	2.046
DSC-T2-008	SUELO CEMENTO		SUELO CEMENTO TRAMO II KM 13+500 A 14+000 LI	2.060	97.7	6.5			
DSC-T2-003	SUELO CEMENTO	14	SUELO CEMENTO TRAMO II KM 14+000 A 14+500 LD	2.009	95.3	7.4	2.065	2.111	2.046
DSC-T2-004	SUELO CEMENTO		SUELO CEMENTO TRAMO II KM 14+500 A 15+000 LD	2.071	98.0	7.5			
DSC-T2-010	SUELO CEMENTO	14	SUELO CEMENTO TRAMO II KM 14+000 A 14+500 LI	2.087	98.7	6.3	2.065	2.111	2.046
DSC-T2-012	SUELO CEMENTO		SUELO CEMENTO TRAMO II KM 14+500 A 15+000 LI	2.093	99.3	6.9			

DSC-T2-005	SUELO CEMENTO		SUELO CEMENTO TRAMO II KM 15+000 A 15+500 LD	2.088	98.8	6.9			
DSC-T2-007	SUELO CEMENTO	15	SUELO CEMENTO TRAMO II KM 15+500 A 16+000 LD	2.042	97.0	6.4	2.052	2.109	2.012
DSC-T2-021	SUELO CEMENTO		SUELO CEMENTO TRAMO II KM 15+000 A 16+000 LI	2.026	96.0	7.0			
DSC-T2-009	SUELO CEMENTO		SUELO CEMENTO TRAMO II I1KM 16+000 A 16+500 LD	2.034	96.9	6.7			
DSC-T2-011	SUELO CEMENTO	16	SUELO CEMENTO TRAMO II KM 16+500 A 17+000 LD	2.031	96.3	7.2	2.055	2.107	2.028
DSC-T2-023	SUELO CEMENTO		SUELO CEMENTO TRAMO II KM 16+000 A 17+000 LI	2.101	99.5	6.2			
DSC-T2-013	SUELO CEMENTO		SUELO CEMENTO TRAMO II KM 17+000 A 17+500 LD	2.021	95.8	7.5			
DSC-T2-014	SUELO CEMENTO	17	SUELO CEMENTO TRAMO II KM 17+500 A 18+000 LD	2.075	98.2	6.9	2.054	2.113	2.028
DSC-T2-027	SUELO CEMENTO		SUELO CEMENTO TRAMO II KM 17+000 A 18+000 LD	2.068	97.6	6.5			
DSC-T2-016	SUELO CEMENTO	18	SUELO CEMENTO TRAMO II KM 18+000 A 19+000 LD	2.025	95.8	6.7	2.022	2.107	2.020
DSC-T2-030	SUELO CEMENTO		SUELO CEMENTO TRAMO II KM 18+000 A 19+000 LD	2.019	96.1	6.1			
DSC-T2-017	SUELO CEMENTO	19	SUELO CEMENTO TRAMO II KM 19+000 A 20+000 LD	2.013	95.5	6.7	2.026	2.107	2.033
DSC-T2-032	SUELO CEMENTO		SUELO CEMENTO TRAMO II KM 19+000 A 20+000 LI	2.039	96.8	6.2			
DSC-T2-018	SUELO CEMENTO	20	SUELO CEMENTO TRAMO II KM 20+000 A 21+000 LD	2.096	98.5	6.6	2.086	2.123	2.042
DSC-T2-035	SUELO CEMENTO		SUELO CEMENTO TRAMO II KM 20+000 A 21+000 LI	2.075	98.0	6.6			
DSC-T2-019	SUELO CEMENTO	21	SUELO CEMENTO TRAMO II KM 21+000 A 22+000 LD	2.048	96.7	7.4	2.057	2.112	2.044
DSC-T2-038	SUELO CEMENTO		SUELO CEMENTO TRAMO II KM 21+000 A 22+000 LI	2.066	98.1	6.4			
DSC-T2-020	SUELO CEMENTO	22	SUELO CEMENTO TRAMO II KM 22+000 A 23+000 LD	2.037	97.0	6.3	2.037	2.104	2.036
DSC-T2-041	SUELO CEMENTO		SUELO CEMENTO TRAMO II KM 22+000 A 23+000 LI	2.036	96.6	7.4			
DSC-T2-044	SUELO CEMENTO	23	SUELO CEMENTO TRAMO II KM 23+000 A 24+000 LI	2.104	99.3	7.5	2.059	2.113	2.044
DSC-T2-058	SUELO CEMENTO		SUELO CEMENTO TRAMO II KM 23+000 A 24+000 LD	2.014	95.6	7.1			
DSC-T2-047	SUELO CEMENTO	24	SUELO CEMENTO TRAMO II KM 24+000 A 25+000 LI	2.020	95.5	6.6	2.029	2.114	2.036
DSC-T2-060	SUELO CEMENTO		SUELO CEMENTO TRAMO II KM 24+000 A 25+000 LD	2.039	96.5	7.6			
DSC-T2-050	SUELO CEMENTO	25	SUELO CEMENTO TRAMO II KM 25+000 A 26+000 LI	2.095	99.1	6.1	2.069	2.117	2.037
DSC-T2-061	SUELO CEMENTO		SUELO CEMENTO TRAMO II KM 25+000 A 26+000 LD	2.042	96.3	6.1			
DSC-T2-053	SUELO CEMENTO	26	SUELO CEMENTO TRAMO II KM 26+000 A 27+300 LI	2.111	99.4	7.1	2.057	2.114	2.033
DSC-T2-056	SUELO CEMENTO		SUELO CEMENTO TRAMO II KM 26+000 A 27+300 LD	2.003	95.2	8.0			

Fuente: Elaboración Propia.

4.1.4. Resultados del Análisis del Proceso

EVALUACIÓN DEL PROCESO					
PREGUNTA	MÉTODO EMPÍRICO COMENTARIO	EFICIENTE SI/NO	MÉTODO MTC COMENTARIO	EFICIENTE SI/NO	
1	¿Se cuenta con parámetros normativos para el ensayo?	Toma como referencia el moldeo de probetas del Proctor modificado MTC -E-115 / ASTM D 1557	NO	Toma como referencia el moldeo de probetas del Proctor modificado MTC -E-1102 / ASTM D 558	SI
2	¿Se cuenta con equipos estándar para la realización?	Se puede utilizar los equipos del moldeo de Proctor modificado y/o del CBR	SI	Utiliza los implementos para el ensayo de Proctor estándar MTC E 116	NO
3	¿Ubicación del muestreo?	Se realiza en campo, bajo las condiciones del proceso de ejecución	SI	Se realiza en condiciones de laboratorio con pesos según diseño	NO
4	¿Ubicación del ensayo?	Se realiza en campo, bajo las condiciones del proceso de ejecución	SI	Se realiza en condiciones de laboratorio con pesos según diseño	NO
5	¿Utiliza tiempos perdidos de equipos para su conformación	Si utiliza recursos como el rodillo compactador, en tiempo de inactividad	SI	No, al requerir un tiempo de compactación menor no optimiza el uso del equipo.	NO
6	¿Se utiliza mayor energía de compactación?	Utiliza 2700 kNm/m3	NO	Utiliza 600 kNm/m3	SI
7	¿Requiere mayor contenido de cemento?	Se contempla un diseño con un máximo de 3%	SI	Si requiere un mayor contenido de cemento para alcanzar el valor de resistencia requerido.	NO
8	¿Cuál es el tiempo de preparación de la muestra?	Contempla un tiempo máximo de 1 H en campo	SI	Contempla un tiempo máximo de 48 H en laboratorio por el tratamiento de los componentes.	NO
9	¿Cuál es el tiempo para análisis de resultados?	Se puede obtener resultados a las 72 horas post moldeo	SI	Se puede obtener resultados a las 144 horas post moldeo	NO
10	¿Cuál es la cantidad de datos de muestreo?	Se pueden obtener 06 juegos de probetas	SI	Se pueden obtener 06 juegos de probetas	SI
11	¿Existe variación en el procesamiento de la muestra?	La muestra refleja la condición de campo	SI	La muestra refleja la condición de diseño	NO

12	¿Se requiere mayor cantidad de material a para realizar el ensayo?	Se toma aproximadamente 50 kg. de muestra	SI	Se toma aproximadamente 50 kg. Por cada parte de muestra.	NO
13	¿Presenta complicaciones el desmoldado de la probeta?	La probeta es las consistente y estable para la presión de desmoldado de la gata.	SI	La probeta es menos estable y presenta deterioro con presión de desmoldado de la gata.	NO
14	¿Cuál obtuvo mayores resultados de resistencia a la compresión?	Los resultados se cumplen con un 2% de cemento	SI	Los resultados no se cumplen con un 2% de cemento	NO
15	¿Permite detectar algún problema de proceso en un menor tiempo?	Al obtener resultados en 72 horas podemos corregir cualquier desvío con anterioridad	SI	Al obtener resultados en 144 horas la respuesta a cualquier desvío es tardía.	NO
		CONTEO	EFICIENCIA	COMENTARIO FINAL	
A	MÉTODO EMPÍRICO	13 de 15 items	87%	El Método Empírico en 67% las eficiente que el Método MTC.	
B	MÉTODO MTC	3 de 15 items	20%		

4.2. Contrastación de hipótesis

Analizaremos de acuerdo con el planteamiento de la investigación en relación con el tipo de hipótesis, para el caso de estudio serán de 2 tipos la principal y las específicas:

4.2.1. Contrastación de resultados según hipótesis principal.

- a) Podemos identificar que el Método Empírico tiene más ventajas sobre el Método MTC de moldeo de probetas, esto reflejado en un 67% de mayor eficiencia según el análisis del proceso.

La cantidad de datos obtenidos por el Método Empírico (366) son mayores a los obtenidos por el método MTC, uno de los factores más relevantes que influye en esta mayor cantidad de datos es que el primero es ejecutado en el punto de obra, a diferencia de realización en laboratorio, esto impacta en los plazos y proceso de ejecución lo que reducen a una versión más práctica y no idealista.

4.2.2. Contrastación de resultados según hipótesis específicas.

- a) Se ha alcanzado por el método empírico un resultado de 183% de la resistencia requerida (1.8Mpa), en comparación del 70% obtenido por el método propuesto por el MTC, ambos resultados a 7 días de elaboración medidos como promedio, ello es un indicador relacionado con que el primer método tuvo una energía de compactación mayor que el segundo.
- b) Los resultados de densidad promedio por el método empírico son 5% mayores que los del método del MTC, este último incrementa su valor debido al porcentaje teórico de grava (20%).
- c) Se evidencia que en campo los resultados de los valores de densidad in situ medidos por el equipo de densímetro nuclear son mayores a los del método del MTC, pero menores a los propuestos en el método empírico, siendo una relación lógica de lo construido y lo controlado.

- d) Los resultados favorables indican que las hipótesis anteriores planteadas dan una mejor adaptación del método empírico al control de campo que el método propuesto por el MTC.

4.3. Discusión de resultados

Lo detallado en el ítem 4.1.1. muestra que ambas variables cumplieron con el valor mínimo de datos para realizar el análisis, como resumen se deberá implementar el medio grafico para cada indicador:

4.3.1. Resumen de resultados de compresión no confinada

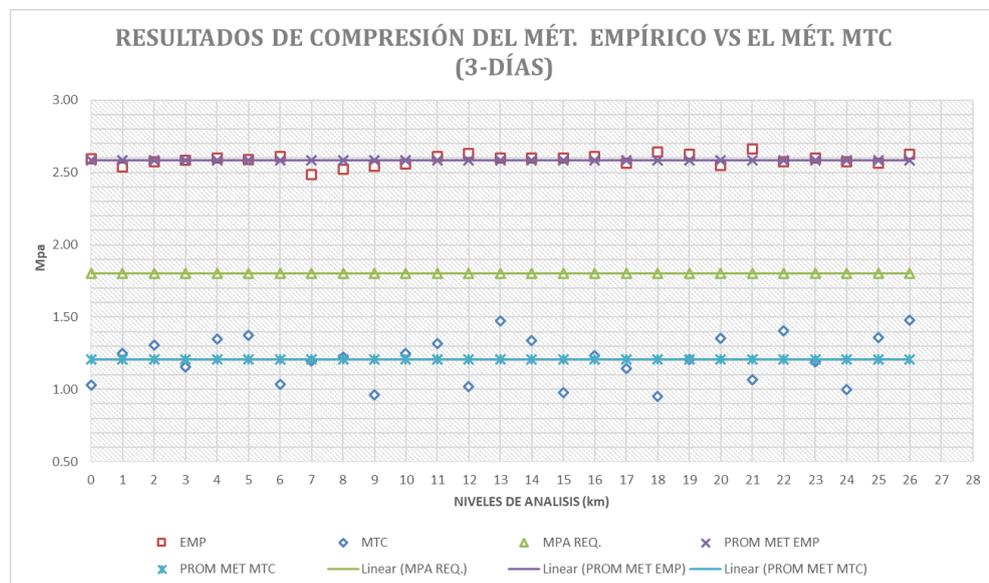


Figura N° 12: Resultados de Compresión a 3 días

Fuente: Elaboración Propia

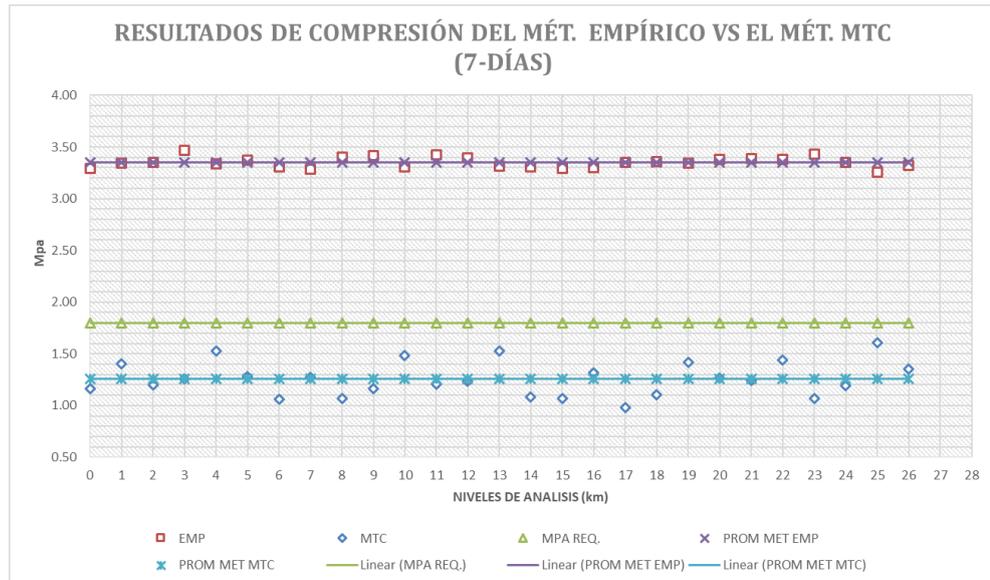


Figura N° 13: Resultados de Compresión a 7 días
Fuente: Elaboración Propia

4.3.2. Resumen de resultados de Densidades

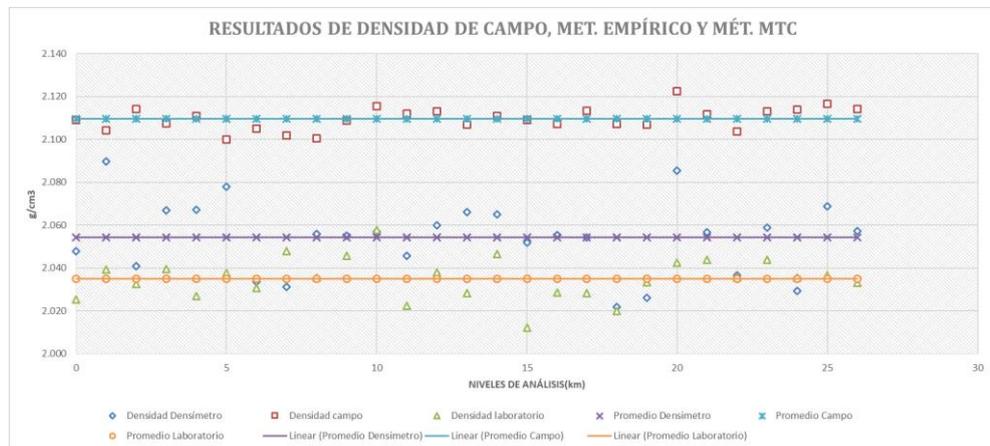


Figura N° 14: Resultados de Densidades
Fuente: Elaboración Propia

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Se ha logrado aplicar el Método Empírico de moldeo de probetas de suelo cemento en la Carretera Calacaja- Capillune con eficiencia, su toma de muestra y datos de posterior control son directos a la condición del proceso, es decir se reducen factores de incertidumbre por muestreo y condiciones teóricas como en el caso de método propuesto por el MTC, esto refleja el 67% más de eficiencia del primer método.
- Se logró obtener mayores valores de resistencia a la compresión en el orden de 150% de lo Requerido (1.8Mpa) a los 7 días en comparación del método de MTC que obtuvo un 70% de cumplimiento, esto solo con el incremento de energía de compactación.
- Los valores de densidad por medio del Método empírico fueron en promedio 5% más altos que los valores del método MTC, se consideró que ambas densidades

fueron corregidas por su porcentaje de grava, el primero con valores de campo reales y el segundo con el valor teórico de diseño.

- Los valores obtenidos como promedio de la densidad por el método Empírico es 2.111gr/cm³ mayor que lo obtenido por el método del MTC siendo en promedio 2.035 gr/cm³, esto confirma la relación entre los distintos valores de energía de compactación.

- De acuerdo con la evaluación del proceso antes, durante y después analizado mediante 15 puntos objetivos, que el Método Empírico tiene una eficiencia de 67% por encima del proceso por el Método del MTC.

5.2. Recomendaciones

- Se recomienda que se hagan más investigaciones sobre el tema tratado no solo a nivel aplicativo/exploratorio, sino a nivel experimental / estadístico, que nos permita proponer un nuevo método de control y ser presentado a nuestra normatividad nacional, y como elemento principal buscar una reforma para la actualización de la normatividad nacional aplicada para estos ensayos de control.

- Se debe tener en cuenta los factores de corrección en el resultado final de la resistencia de las probetas, estos fueron hallados mediante la interpolación o extrapolación de la tabla del ASTM C 42.

- Se recomienda como posterior análisis verificar la influencia del grado de compactación frente a los resultados de resistencia de compactación, a fin de verificar tolerancias en campo que no alteren el requerimiento principal que es el valor de resistencia a la compresión

- Se recomienda que se haga el metrado del volumen utilizado para la compactación por método empírico vs el Método del MTC, con la finalidad de analizar el impacto económico de la utilización de un mayor volumen de material a usar.

- Se recomienda, realizar a posterior un análisis cuantitativo de la eficiencia del proceso, tomando como referencia la ficha de análisis de proceso propuesta, en la que se detallara los valores numéricos de cada proceso analizado tales como tiempo, cantidades, costo, materiales, otros.

BIBLIOGRAFÍA

- AASHTO American Association of State Highway and Transportation Officials
(La Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes).
- Al-Amoudi, O., Asi, I., Wahhab, H., & Khan, Z. (2002). Clegg Hammer California-Bearing Ratio Correlations. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 512-523.
- Arenas, H. (2000). Conferencia Teoría De Los Pavimentos. Universidad del Cauca.
- ASTM American Society of Testing Materials, (Asociación Americana de Ensayo de Materiales).
- ASTM D 1883 California Bearing Ratio, (Ensayo de Relación de Soporte de California).
- Bañón, L., & Beviá, J. (2000). Manual De Carreteras 2, Construcción y Mantenimiento. Alicante: Ortiz e Hijos.
- Bowles, J. (1980). Manual de laboratorio de suelos en ingeniería civil. México D.F: McGraw Hill.
- Braja M. Das. (2008) Principios de Ingeniería de Cimentaciones
- Braja M. Das. PWS Publishing Company. (1994). Principles of geotechnical engineering.
- Castañeda, J., & Gil, J. (2005). Una mirada al valor de P en investigación. *Revista Colombiana de psiquiatría*, 414-424.
- Celso Ugas. Caracas (1985). Ensayos de laboratorio en mecánica de suelos.: U.C.V.
- Coral, H. (2006). Geotecnia 1. Universidad de Nariño.

- Coronado, J. (2002). Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos. Secretaria de Integración Económica Centroamericana (SIECA).
- Crespo V. (2006) Mecánica de Suelos y Cimentaciones. Editorial Limusa,
- Crespo, C. (1979). Mecánica de suelos y cimentaciones. México: Limusa.
- Das, B. (2001). Fundamentos De Ingeniería Geotécnica. México D.F: Learning.
- Díaz, P., & Fernández, P. (2002). Determinación del tamaño muestral para calcular la significación del coeficiente de correlación lineal. A Coruña, España: Unidad de epidemiología clínica y bioestadística, complejo hospitalario Juan Canalejo .
- Diseño de Pavimentos Tramo II (2015) Estudio Definitivo para la Construcción a Nivel de Asfaltado y Mantenimiento de La Carretera Desvío Toquepala – Papujune, Tramo II MQ11-27-ES-5310-CE0008
- Ese, D., Myre, J., Noss, P., & Vaernes, E. (1994). The Use of Dynamic Cone Penetrometer for Road Strenghtening Design in Norway. Proc 4th Int. Conf. on the bearing Capacity of Roads and Airfield, University of Minnesota. Minneapolis, Minnesota.
- Especificaciones Técnicas Tramo II (2015) Estudio Definitivo para la Construcción a Nivel de Asfaltado y Mantenimiento de La Carretera Desvío Toquepala – Papujune, Tramo II MQ11-27-TE-5310-CE0002
- Estudio de Trafico Tramo II (2015) Estudio Definitivo para la Construcción a Nivel de Asfaltado y Mantenimiento de La Carretera Desvío Toquepala – Papujune, Tramo II MQ11-27-ES-5310-CE0003
- Gonzáles, R., & Salazar, F. (2008). Aspectos Básicos Del Estudio De Muestra Y Población Para La Elaboración De Los Proyectos De Investigación.

- Universidad de Oriente. Cumaná, Venezuela.
- Harison, G. (1986). Correlation Between California Bearing Ratio and Dynamic Cone. Australian Road Research. Australia.
- Harison, G. (1989). In situ CBR Determination by DCP Testing Using a Laboratory-Based Correlation. Technical Note no.2, Australian Road Research. Australia.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (1991). Metodología de la investigación. México: Mc Graw Hill.
- INVIAS. (2007). Manual de Diseño de Pavimentos Asfálticos para Vías con Bajos Volúmenes de Tránsito. Bogotá, Colombia.
- INVIAS. (2007). Normas de ensayo para materiales de carreteras. Bogotá, Colombia.
- Juárez Badillo y Rico Rodríguez. México. (1993). Mecánica de suelos. Tomos I y II. Limusa
- Juárez, E., & Rico, A. (2005). Mecánica De Suelos Tomo 1, Fundamentos De La Mecánica De Suelos (Vol. I). México D.F: Limusa.
- Kerlinger, F. (1979). Enfoque conceptual de la investigación del comportamiento. México D.F: Nueva Editorial Inter americana.
- Kleyn, E. (1975). The Use of the Dynamic Cone Penetrometer (DCP). Transvaal Roads Department. Pretoria, South África.
- Lambe, T.W y Whitman, México, (2008) R.V. "Mecánica de Suelos". Editorial Limusa.
- Lambe, W., & Whitman, R. (1979). Mecánica de Suelos. México D.F: Limusa.
- Livneh, M. (1987). The Correlation Between Dynamic Cone Penetrometer Values

- (DCP) and CBR Values. Transportation Research Institute, Technion - Israel Institute of Technology. Haifa, Israel.
- Livneh, M., Ishai, I., & Livneh, N. (1995). Effect of Vertical Confinement on Dynamic Cone Penetrometer Strength Values in Pavement and Subgrade Evaluations. Transportation Research Board. Washington, D.C.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2013) Manual de carreteras Especificaciones Técnicas para la Construcción de Carreteras, Perú.
- MTC-Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2016) Manual de Ensayos y Material, Lima-Perú.
- MTC-Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2016) Manual de Ensayos y Material, Lima-Perú.
- MTC- Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, Glosario de Términos de Uso Frecuente en Proyectos de Infraestructura Vial (2018), Lima-Perú
- Márquez, J. (2006). Mecánica De Suelos y Estudios Geotécnicos En Obras De Ingeniería.
- Martínez, N., Arista, M., & Anglas, J. (2005). El penetrómetro dinámico de cono como una alternativa para determinar el C.B.R del suelo (PDC vs C.B.R). Perú: Universidad Federico Villareal.
- Memoria Descriptiva Tramo II (2015) Estudio Definitivo para la Construcción a Nivel de Asfaltado y Mantenimiento de La Carretera Desvío Toquepala – Papujune, Tramo II MQ11-27-RE-5310-CE0002
- Montejo, A. (2002). Ingeniería de pavimentos para carreteras. Bogotá D.C: Universidad Católica de Colombia.
- Montgomery, D. (2004). Diseño y análisis de experimentos. México D.F: Limusa

Wiley.

Montgomery, D., Peck, E., & Vining, G. (2002). *Introducción al análisis de regresión lineal*. México: Continental.

MTC Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, es el órgano del Estado Peruano que busca lograr un racional ordenamiento territorial

Navarro, D., & Gómez, F. (2004). *Correlaciones entre métodos convencionales y alternativos para estimar la resistencia y compactación del suelo*. Costa Rica: Instituto tecnológico de Costa Rica.

Normas COVENIN para ensayos de suelos.

Polaco, A. (2012). *Prácticas de laboratorio de mecánica de suelos 1*. México: Universidad Autónoma de Chihuahua.

PCA-Portland Cement Association, Jerod Gross, Snyder & Associates, Inc. Wayne Alaska, Portland Cement Association, Massachusetts Avenue NW, Mayo 2020.

Rico. Del Castillo. (2006) *La Ingeniería de Suelos en las Vías terrestres*. Tomo 1. Editorial Limusa,

Saeed, O. (2002). Clegg Hammer- California-Bearing Ratio Correlations. *Journal Of Materials in Civil Engineering*, 512-523.

Smith, R., & Pratt, D. (1983). A field study of in situ California Bearing ratio and dynamic. *Australian Road Research*. Australia.

Terzaghi y Peck. (1972). *“Mecánica de suelos en la Ingeniería práctica”*. Editorial Ateneo,

Truebe, M., Evans, G., & Bolander, P. (1995). *Lowell Test Road: Helping Improve Road Surfacing Design*. Transportation Research Board, National Research

Council.

Torres R., Análisis Comparativo De Costos Entre El Pavimento Flexible Y El Pavimento Rígido (2007), Guatemala.

Toirac J. El suelo Cemento como Material de Construcción (2008), Santo Domingo, República Dominicana.

U.S Department of The Interior Bureau of Reclamation. (1998). Earth Manual. Denver, Colorado.

Usluogullari, O., & Vipulanandan, C. (2007). Strength, Modulus and CBR Values for Artificially Cemented Sand. Houston: Department of Civil and Environmental Engineering. University of Houston.

Van Vuuren D, J. (1969). Rapid Determination of C.B.R. with the Portable Dynamic. The Rhodesian Engineer.

Varghese, G., Nageshwar, R., & Shivashankar, R. (2009). PFWD, DCP and CBR correlations for evaluation of lateritic subgrades. International Journal of Pavement Engineering, 189-199.

Walpole, R., Myers, R., & Myers, S. (1998). Probabilidad y estadística para ingenieros. México: Pearson Education.

Webster, S., Brown, R., & Porter, J. (1994). Force Projection Site Evaluation Using the Electric Cone Penetrometer (ECP) and the Dynamic Cone Penetrometer (DCP). Air Force Civil Engineering Support Agency, U.S. Air Force, Tyndall Air Force Base. Washington D.C.

Webster, S., Grau, R., & Williams, T. (1992). Description and Application of Dual Mass Dynamic Cone Penetrometer. Department of the Army. Washington DC.