



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

"Aplicación del diseño del MTC 2014 para optimizar la transitabilidad vehicular en pavimentos rígidos. Proyecto Plazas de peaje Vía Expresa Línea Amarilla - Lima, 2018."

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL**

Autor:

PABLO JHONNY ALATRISTA CRUZ

Asesor:

Mg. LUIS VARGAS CHACALTANA

Línea de investigación:

INFRAESTRUCTURA VIAL

LIMA – PERÚ

2018

PÁGINA DEL JURADO



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO DE LIMA

DICTAMEN DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 274-2018-2 UCV-LIMA NORTE/ING

El Presidente y los miembros del Jurado Evaluador de Tesis designado con **RESOLUCIÓN DIRECTORAL N° 1556/EP/ING.CIVIL.UCV LIMA N** de la Escuela de Ing. Civil, dictaminan:

PRIMERO.

Aprobar por sobresaliente (Pasará a publicación)	: 18 - 20 puntos	()
Aprobar por unanimidad	: 14 - 17 puntos	(+)
Aprobar por mayoría	: 11 - 13 puntos	()
Desaprobar	: 0 - 10 puntos	()

La Tesis denominada " **APLICACIÓN DEL DISEÑO DEL MTC 2014 PARA OPTIMIZAR LA TRANSITABILIDAD VEHICULAR EN PAVIMENTOS RIGIDOS, PROYECTO PLAZAS DE PEAJE VÍA EXPRESA LÍNEA AMARILLA – LIMA, 2018**" presentado por el (la) estudiante **ALATRISTA CRUZ, PABLO JHONNY**,

SEGUNDO. Que la calificación obtenida en la sustentación de la Tesis por el (la) estudiante es como corresponde:

Apellidos y Nombres	Calificación en números	Calificación en letras
ALATRISTA CRUZ, PABLO JHONNY	15	quince

Los Olivos, 18 de diciembre del 2018

Presidente(a): **MAG. SUSY GIOVANA RAMOS GALLEGOS**
Nombre Completo



Firma

Secretario(a): **MAG. LUCAS LUDENA GUTIERREZ**
Nombre Completo



Firma

Vocal: **MAG. LUIS VARGAS CHACALTANA**
Nombre Completo



Firma

Dedicatoria

A mis padres que son el ejemplo de
lucha y perseverancia.

Mi esposa e hijo que me ayudan a ser
mejor persona día a día.

Agradecimientos

A Dios en primer lugar, porque sin el nada es posible.

A mi familia que me animaron y me dieron fuerza para seguir aun en momentos difíciles.

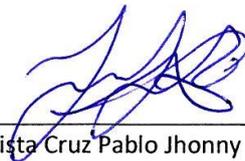
DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Pablo Jhonny Alatriza Cruz con DNI N° 41068787, en la senda de cumplir con las disposiciones vigentes consideradas en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería, Escuela Profesional de Ingeniería Civil, declaro bajo juramento que los documentos que se adjuntan son fidedignos.

Asimismo, indico bajo juramento que todos los datos e información que se presenta en la presente tesis son auténticos y veraces. En el caso que hubiera falta, omisión o falsedad asumo los correspondientes procesos investigativos y sanciones de acuerdo a las normas internas de la Universidad.

En concordancia, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, con las normas académicas de la Universidad César Vallejo.

Lima, 07 de Junio del 2019.



Alatriza Cruz Pablo Jhonny
D.N.I: 41068787

PRESENTACIÓN

Señores miembros del Jurado:

En cumplimiento del Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo presento ante ustedes la tesis titulada: "Aplicación del diseño del MTC 2014 para optimizar la transitabilidad vehicular en pavimentos rígidos. Proyecto Plazas de peaje Vía Expresa Línea Amarilla - Lima, 2018.", la misma que someto a vuestra consideración y espero que cumpla con los requisitos de aprobación para obtener el título Profesional de Ingeniero Civil.

Alatrística Cruz, Pablo Jhonny

ÍNDICE

	Pág.
PÁGINA DEL JURADO	ii
Dedicatoria	iii
Agradecimientos	iv
PRESENTACIÓN	vi
ÍNDICE	vii
INDICE DE TABLAS	10
LISTA DE FIGURAS	11
RESUMEN	13
ABSTRACT	14
I. INTRODUCCION	15
1.1. Realidad problemática	15
1.2. Trabajos previos	17
1.2.1. Antecedentes nacionales	17
1.2.2. Antecedentes internacionales	18
1.3. Teorías relacionadas al tema	24
1.3.1. Manual de carreteras del MTC 2014	24
1.3.2. Pavimento rígido	25
1.3.4. Metodología de diseño método AASHTO	28
1.4. Formulación del Problema	488
1.4.1. Problema general	48
1.4.2. Problemas específicos	48
1.5. Justificación del estudio	49

1.6.	Hipotesis.....	50
1.6.1.	Hipótesis general.....	50
1.6.2	Hipótesis específicas.....	50
1.7.	Objetivos.....	50
1.7.1.	Objetivo general.....	50
1.7.2.	Objetivos específicos.....	51
II.	METODOLOGIA.....	51
2.1.	Diseño, Tipo y Nivel de investigación.....	51
2.1.1.	Diseño de investigación.....	51
2.1.2.	Tipo de investigación.....	52
2.1.3.	Nivel de investigación.....	52
2.2.	Variables, operacionalización.....	53
2.2.1.	Variables.....	53
2.2.2	Operacionalización de variables.....	53
2.3.	Población, muestra y muestreo.....	56
2.3.1.	Población.....	56
2.3.2.	Muestra.....	56
2.3.3.	Muestreo.....	57
2.4.	Técnica e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad...57	
2.4.1.	Técnicas de recolección de datos.....	57
2.4.2.	Instrumentos de recolección de datos.....	57
2.4.3.	Validez.....	57
2.4.4.	Métodos de análisis de datos.....	58
2.4.5.	Ensayos realizados.....	58
2.4.6.	Aspectos éticos.....	70

III.	RESULTADOS	71
3.1.	Granulometria	71
3.2.	Límites de Atterberg	72
3.3.	Proctor Modificado	74
3.4.	CBR	75
3.5.	Secciones de estructuras del pavimento rígido	76
3.6.	Procedimiento del diseño con el método PCA	79
3.7.	Ensayos de resistencia a la compresión con testigos diamantinos	84
IV.	DISCUSIONES	88
V.	CONCLUSIONES	91
VI.	RECOMENDACIONES	92
VII.	REFERENCIAS	93
VIII.	ANEXOS	96

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N°1.	Factores de distribución según número de calzadas y sentidos	30
Tabla N°2	Ejes equivalentes de 8.2 Ton	31
Tabla N°3.	Nivel de confiabilidad R	32
Tabla N°4.	Diferencial de serviciabilidad	33
Tabla N°5.	Valores de coeficiente de transmisión de carga J	34
Tabla N°6.	Diámetros y longitudes recomendados en pasadores	35
Tabla N°7.	Flexo tracción del concreto	35
Tabla N°8.	Coeficiente de drenaje	37
Tabla N°9.	Operacionalización de la variable independiente	53

Tabla N°10. Operacionalización de la variable dependiente.....	54
Tabla N°11. Resultados de la granulometría.....	70
Tabla N°12. Relación entre la humedad optima y densidad máxima.....	73
Tabla N°13. Relación de penetración en mm. – diferentes cargas.....	74
Tabla N°14. IMDA de estudio vial.	78
Tabla N°15. Variables y valores para el método PCA	78
Tabla N°16. Matriz de consistencia.....	113

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Nuevo peaje línea amarilla.....	16
Figura 2. Vía expresa línea amarilla.....	25
Figura 3. Elementos que conforman un pavimento rígido.....	28
Figura 4. Esquema de transferencia de carga.....	34
Figura 5. Datos de carga por eje	44
Figura 6. Espesor aproximado según valor de K / ejes.....	45
Figura 7. Imagen satelital de la zona de peaje de la línea amarilla.....	55
Figura 8. Calicata realizada en la zona de estudio.....	58
Figura 9. Ubicación de la cantera.....	58
Figura 10. Secado del material en el horno.....	60
Figura 11. Empleo de mallas para tamizado.....	61
Figura 12. Pesado del material de cada malla.....	61
Figura 13. Ensayo de limite liquido método de Casagrande.....	63
Figura 14. Muestra de suelo humedecido.....	64
Figura 15. Golpes de compactación.....	65
Figura 16. Equipo utilizado para el ensayo.....	66
Figura 17. Testigos de concreto sacados del pavimento.....	67
Figura 18. Prensa hidráulica – proceso de rotura.....	68
Figura 19. Curva relativa entre % acumulado que pasa y abertura.....	71
Figura 20. Relación entre contenido de humedad y numero de golpes.....	71
Figura 21. Límites de consistencia.....	72
Figura 22. Relación de densidad seca con contenido de humedad.....	73
Figura 23. Relación entre máxima densidad seca y contenido óptimo de humedad.....	75
Figura 24. Curva K vs. Espesor de la losa.....	79
Figura 25. Curva Mpa vs. Espesor de la losa.....	79
Figura 26. Curva % camiones en borde de losa vs. Espesor de la losa.....	80
Figura 27. Curva factor de seguridad LSF vs. Espesor de la losa.....	80
Figura 28. Curva camiones (sin berma-con pasadores) vs. Espesor de la losa.....	81
Figura 29. Curva camiones (tráfico pesado) vs. Espesor de la losa.....	81

Figura 30. Resultados primer testigo diamantino.....	83
Figura 31. Resultados segundo testigo diamantino.....	84
Figura 32. Resultados tercer testigo diamantino.....	84
Figura 33. Resultado cuarto testigo diamantino.....	85
Figura 34. Resultado quinto testigo diamantino.....	85

RESUMEN

Diseñar un pavimento rígido que cumpla con la durabilidad que este demanda (aproximadamente 50 años con su respectivo mantenimiento) y a la vez, disminuir los costos en el proceso constructivo, que es uno de los factores por el cual se utiliza muy poco este tipo de pavimento en nuestro país, es la razón primordial de esta investigación. Este diseño se hace tomando en cuenta normas, métodos y procesos internacionales de países que se asemejen en factores como al nuestro, tales como el clima, el tránsito y la geografía, haciendo un estudio comparativo y recomendando como podemos mejorar para que la inversión que hacemos en un pavimento rígido sea al final más conveniente económicamente que uno flexible y así optimizar la transitabilidad vehicular que es uno de los problemas más resaltantes en nuestro país. Se espera que esta propuesta que se dará en esta investigación sea evaluada técnica y económicamente por el Ministerio de transportes y comunicaciones, esto a través de la empresa Lamsac que es la ejecutora del proyecto y será quien respalde o no esta propuesta y una vez que curse efecto sea tomada en cuenta en la próxima actualización del manual de carreteras de suelos, geotecnia y pavimentos. Esta investigación también resalta la falta de fiscalización en el momento del proceso constructivo que conlleva a tener un producto terminado que no cumplirá con el tiempo para el cual ha sido diseñado, para lo cual se pide mayor énfasis a las autoridades municipales en garantizar que se cumpla una óptima ejecución del proyecto.

Palabras clave: Pavimento rígido, transitabilidad, optimizar, costos.

ABSTRACT

Design a rigid pavement that meets the durability that this demands (approximately 50 years with its respective maintenance) and at the same time, reduce costs in the construction process, which is one of the factors why this type of pavement is used very little In our country, it is the primary reason for this investigation. This design is done taking into account international standards, methods and processes of countries that resemble factors such as ours, such as climate, traffic and geography, making a comparative study and recommending how we can improve so that the investment we make in a rigid pavement it is at the end more economically convenient than a flexible one and thus optimize the vehicular traffic that is one of the most outstanding problems in our country. It is expected that this proposal that will be given in this research will be evaluated technically and economically by the Ministry of transport and communications, this through the company Lamsac that is the executor of the project and will be the one who supports or not this proposal and once it The effect will be taken into account in the next update of the road manual for soils, geotechnics and pavements. This investigation also highlights the lack of oversight at the time of the construction process that leads to having a finished product that will not meet the time for which it was designed, for which greater emphasis is requested to the municipal authorities to ensure that it is complied with. Optimal execution of the project.

Keywords: Rigid pavement, transitability, optimize, costs.

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

La red de carreteras a nivel Internacional se ha ido modernizando en los últimos años debido a las diferentes exigencias que con el paso del tiempo les afectan y el uso de los pavimentos de concreto rígido se hace más habitual y recomendado. Una de las primordiales preocupaciones es el acelerado deterioro de los pavimentos por lo que se ha ido investigando y se está usando métodos que lo optimicen sobre todo en la durabilidad. El aumento de las poblaciones obliga la necesidad de estar interconectados mediante vías de acceso, en nuestro caso terrestres. El desarrollo de estas conlleva al aumento del parque automotor, lo que obliga a mejorar y ampliar estas vías de acceso. Estos accesos se diseñan teniendo en consideración entre otros factores, un tiempo de vida útil; luego de los cuales, serán evaluados para determinar si se rehabilitan o se cambian.

[...] Las vías son muy importantes por el rol que tienen en la actualidad y es necesario disponer de una red transitable, holgada y segura que favorezca al transporte [...], no obstante, las deficiencias que afectan al pavimento son ocasionadas por diferentes factores: la baja calidad en los materiales, malos procesos constructivos, exceso de cargas, un mal cálculo en el diseño, entre otros. (FLORES, 2016 pág. 1).

Actualmente en el Perú no somos ajenos a este problema y en muchos casos estas deficiencias en los pavimentos son causados por dejadez de las autoridades municipales algunos accesos no llegan ni al tiempo de vida útil con el cual se diseñó, otros casos al mal diseño de los accesos o por la mala calidad y malos procesos constructivos. La presente investigación se enfoca en el diseño de pavimentos rígidos utilizando el MTC 2014 con la metodología AASTHO y dar como propuesta el complemento con el método PCA que hoy en día es muy utilizado en países del primer mundo (otros que también lo usan son Colombia y México).

[...]El pavimento rígido es una de las estructuras más importantes en una ciudad y tiene un tiempo estimado de vida útil. En este sentido durante el tiempo de servicio de un pavimento, comenzara un desgaste tal que al concluir su vida útil mostrara una

variedad de fallas que disminuirán su calidad de transitabilidad y aumentara los costos de mantenimiento; esta rehabilitación debe iniciarse desde el comienzo del periodo de diseño, para disminuir el impacto de las fallas que afectan esta estructura, sin necesidad de reconstrucción. (BERNAOLA, 2014 págs. 20 - 21).

[...] Debido a la necesidad de economizar costos, aumentar la calidad y optimizar los materiales hace que se efectúen investigaciones sobre distintos aditivos que se le añaden al concreto para diferentes circunstancias tales como acelerantes de fragua, incorporadores de aire, reductores de agua, súper plastificantes, impermeabilizantes, entre otros. (MONTALVO, 2015 pág. 2).

Actualmente en nuestro país, el Manual de Carreteras del MTC 2014, brinda a los ingenieros las pautas y criterios técnicos adecuados para diseñar los pavimentos rígidos, pero también nos dice que, dadas las circunstancias de un determinado proyecto como el tráfico o el clima demanda usar nuevas tecnologías o procedimientos no considerados en el manual, puede ser sugerido por el proyectista como caso especial, y esta se pueda ejecutar previo estudio técnico-económico; por ello es que se sugiere el método PCA como complemento ya que según estudios que se mostraran a continuación ofrece una disminución considerable en el costo de la construcción de la pavimentación rígida.

[...] Las referencias que abarcan este manual, manifiestan los mínimos requisitos que ha de cumplirse para diseñar afirmados, pavimentos, reconstrucciones de refuerzos de pavimento o proyectos de carreteras y caminos en el Perú. (MTC, 2014 pág. 12).



Figura 1. Nuevo peaje línea amarilla. Fuente: Elaboración propia.

1.2. Trabajos Previos

Se ha obtenido información a partir de la tesis y libros que brinda la biblioteca de la Universidad César Vallejo y documentación desde sitios web, lo que llevó a obtener los siguientes trabajos previos o antecedentes:

1.2.1. Antecedentes nacionales

Rengifo (2014) en su investigación “Diseño de los Pavimentos de la Nueva Carretera Panamericana Norte en el tramo de Huacho a Pativilca (Km 188 a 189)”; tesis para obtener el título de ingeniero civil.

Objetivo

Realizar el diseño del pavimento de un kilómetro de la nueva carretera Panamericana Norte. Se diseñará dicho pavimento considerando dos tipos: flexible y rígido. La investigación realizada es de tipo aplicada explicativa y un diseño experimental, porque la información se basa en comparar distintos espesores de capas de pavimento y su durabilidad de acuerdo a su uso y beneficiara a más de 20 000 personas que usan esta vía diariamente. (pág. 1).

Conclusiones

- Al hacer el diseño en los dos tipos tanto flexible como rígido hay una considerable diferencia en el tema económico pero en el momento actual, luego de unos pocos años de seguimiento estadístico el pavimento flexible requiere mantenimiento ya que el desgaste y fatiga es mucho mayor y esto lleva a mayor gasto en comparación con el pavimento rígido.
- Para el diseño por la PCA otorga variadas opciones. La estructura conformada por 28 cm de concreto y 30 cm de base cumple con lo solicitado pero su porcentaje de daño por erosión es 96% que resulta elevado y muy cercano a la falla del pavimento. Por ello se determina ampliar el espesor de la losa a 29 cm y resulta que con 15 cm de base el

porcentaje de daño es 84% lo cual es aceptable. Considerando el proceso constructivo en el diseño final se contempla 30 cm de losa de concreto y 15 cm de base granular. Adicionalmente se debe tomar en cuenta que se necesitara hacer mantenimiento en la vía para evitar daños mayores prematuros.

- En el caso del pavimento rígido con concreto hidráulico se advierte que mientras para el diseño con el método de la AASHTO se requiere 15 cm de base y 35 cm., el diseño por la PCA sólo requiere 30 cm de concreto con el mismo espesor de base. Por esto se hará el análisis económico sólo con esta última opción ya que minimizaría los costos por el volumen de material que se necesite y a la vez puede soportar las exigencias del tránsito del lugar. (págs. 64 - 65).

Delgado y Quispe (2012) en su tesis investigación “Diseño del Pavimento de un Aeropuerto”; tesis para obtener el título de ingeniero civil.

Objetivo

Diseñar el pavimento del área de movimiento de un aeropuerto, ubicado en Punta Hermosa, utilizando el método de la FAA. Determinar la mejor alternativa entre el pavimento rígido y pavimento flexible. Realizar un estudio de costo y presupuesto para la alternativa más conveniente. La investigación realizada es de tipo aplicada y un diseño no experimental, porque la información se basa en buscar el método adecuado para el pavimento de un aeropuerto en una determinada zona con sus respectivas características y así disminuir la congestión en el Jorge Chávez pensando en beneficiar a un aproximado de 2000 personas entre nacionales y extranjeros. (pág. 4).

Conclusiones

- Hay muchas ventajas del pavimento rígido ante el flexible como:
La durabilidad, la vida útil, la resistencia que tiene ante los derrames de combustible y lo más importante favorece al impacto ambiental, todo esto basado en sus teorías que los libros hoy en día ya nos lo tienen claro

y hace que se ponga en práctica frecuentemente entre los proyectistas para diferentes tipos de carreteras, como en este caso para el diseño del pavimento rígido para un aeropuerto. (pág. 144).

- En estos casos de pavimento que soportara mucha carga y alta fricción se recomienda el concreto hidráulico debido al mayor soporte de carga y la duración. Existe a nivel internacional diferentes metodologías que los siguientes proyectistas pueden investigar y así acoplarlo a su diseño.

Rodríguez (2016) en su investigación titulada “Evaluación de la condición operacional del Pavimento Rígido, aplicando el Método del Pavement Condition INDEX (PCI), en las pistas del barrio El Triunfo, distrito de Carhuaz, provincia de Carhuaz, Región Ancash, Diciembre 2015”; tesis para obtener el título de ingeniero civil.

Objetivo

Evaluar la condición operacional del pavimento rígido en las pistas del Barrio el Triunfo, Distrito de Carhuaz, Provincia de Carhuaz, Región Ancash, aplicando el método del PCI. La investigación realizada es de tipo aplicada descriptiva y un diseño experimental, porque evaluara el comportamiento de un determinado pavimento después de un tiempo y sus conclusiones.

(pág. 3).

Conclusiones

- Se observa al concluir que el índice promedio de condición de pavimento de las 5 calles estudiadas del Barrio El Triunfo, tiene un PCI de 45.20, obteniéndose la calificación de Regular.
- También se observa que en el Barrio de El Triunfo los pavimentos están con una calificación de las condiciones de Regular, debido a que la mayoría de las calles tienen unos 6 años de antigüedad, y casi no tienen mantenimiento.
- Se concluye que una de las patologías del concreto en las diferentes calles del Barrio de El Triunfo que más influyo fue la patología de Grieta de

esquina y Losa Dividida. La cual nos permite tener una idea de la realidad y podemos planificar una mejoría ante una situación futura. (pág. 76).

1.2.2. Antecedentes internacionales

Inciarte (2012) en su investigación titulada “Análisis Comparativo de Métodos de Diseño y Construcción de Pavimentos de Concreto Hidráulico según Normas Aplicadas en México, Reino Unido y España”; tesis para obtener el título de maestría en ingeniería.

Objetivo

Realizar una comparación de los métodos de diseño y construcción que se aplican en México para pavimentos de concreto hidráulico con la normatividad de otras reconocidas internacionalmente por tener vialidades con altas especificaciones. La investigación realizada es de tipo aplicada comparativa y un diseño no experimental, porque la información se basa en comparar distintos métodos nacional e internacional. (pág. 8).

Conclusiones

- Es muy importante para el crecimiento del país la infraestructura vial y, a su vez, para los mismos habitantes ya que mejora su calidad de vida. Al tener una vía o carretera en óptimas condiciones minimiza el costo de combustible, el tiempo de traslado, conserva la calidad en los productos y disminuye la desvalorización de los medios de transporte.
- Hay otra opción para el país usando el concreto hidráulico para los pavimentos que es el método PCA usado en estos países de estudio pero se debe revisar su conducta en distintos ambientes para adaptar su diseño según el clima y los materiales de cada lugar.
- Una opción que podemos tomar en cuenta es la norma en México que no especifica un método de diseño de pavimento de concreto hidráulico, sólo toma en cuenta los pesos máximos que este debe soportar y las

características de la sub-base, dando lugar a que el proyectista pueda escoger el método de diseño que más le convenga, cabe destacar que los métodos aplicados en México son usados en muchos países del mundo. Para construcciones nuevas de pavimentos toma en cuenta obras de desagüe y servicios especificando las características de los materiales a usarse y las capas de pavimento.

- La norma británica inserta el diseño completo de la estructura del pavimento y establece parámetros mínimos en las cargas. Cuando el flujo promedio calculado de vehículos está por debajo de lo especificado por la norma, utilizan los parámetros mínimos, lo cual podría traducirse en un sobre diseño que impacta en costos de construcción; sin embargo, con ello se garantiza que la vida útil del pavimento no se vea disminuido por el crecimiento del tránsito. Para nuevas construcciones de pavimentos y ampliaciones no son muy específicos en los materiales ya que no está dado por capa de pavimento sino por la clase del material.
- El método de diseño de las normas españolas para este tipo de pavimentos, es muy práctico, ya que su catálogo de diseño contiene secciones de pavimentos predeterminadas. Estas secciones fueron estudiadas a escala natural para analizar su comportamiento, y su diseño fue revisado con el método AASHTO, además de otros. Esta norma española incluye la construcción de pavimentos de diferentes espesores que, aunque minimizan costos en materiales, implica un proceso constructivo más extenso y más controlado. (págs. 89 - 90).

Nieto (2016) en su investigación titulada “Comparación entre los Métodos de Diseño de Pavimentos en Colombia, España e Italia”; tesis para obtener el título de ingeniero civil.

Objetivo

Analizar las especificaciones y métodos de diseño de pavimentos utilizados en España e Italia, comparándolos con las nacionales para presentar recomendaciones de orden técnico que sean utilizadas como base para la actualización de estos. La investigación realizada es de tipo aplicada

comparativa y un diseño no experimental, porque la información se basa en comparar distintos métodos internacionales. (págs. 26 - 27).

Conclusiones

- Los métodos AASTHO y el PCA influyen notoriamente sobre los diseños de pavimentos en distintos países incluso el primer mundo ya que su desarrollo es práctico y permite a los proyectistas a dar mejores propuestas para mejorar la transitabilidad vehicular,
- Los métodos de diseño utilizados en Colombia, como el INVIAS y el del IDU presentan incluso diferencias entre ellos, siendo una de las principales el eje de 8.2 toneladas como base para el diseño de pavimentos del INVIAS; por otra parte el IDU utiliza ejes de 13 toneladas; No obstante no tienen las condiciones preferibles ni tampoco un proceso adecuado en esta actividad de construcción de pavimentos.
- A pesar que son casi las mismas variables de diseño de pavimento ; los rangos que se toman en cuenta para establecer en especial la calidad de los materiales que se usaran en las capas del pavimento, si muestran diferencias importantes como la durabilidad de los diseños ejecutados bajo los parámetros de las normas INVIAS e IDU; particularmente la calidad del concreto expresada en la resistencia a la flexo tracción debe ser mayor a los 4Mpa a los 28 días incluso para las vías con bajo volumen de tránsito.
- En Estados unidos y Europa se usan métodos de larga duración, y aunque presentan mínimas diferencias técnicas e incluso mejores condiciones económicas que el modelo INVIAS e IDU, aún no se han usado para el desarrollo vial del país y es claro la necesidad de crecer en este sentido, realizando además los estudios pertinentes para convalidar estos métodos y preparar las condiciones en la utilización de la maquinaria requerida. (págs. 118 - 119).

Mora y Arguelles (2015) en su investigación titulada “Diseño de Pavimento Rígido para la urbanización Caballero y Congora, Municipio de Honda -

Tolima”; tesis para obtener el título de especialista en ingeniería de pavimentos.

Objetivo

Definir una estructura de pavimento rígido la cual garantice la resistencia a la acción de cargas impuestas por el tránsito en las vías de la urbanización Caballero y Góngora del municipio de Honda – Tolima. La investigación realizada es de tipo aplicada correlacionar y un diseño experimental y tiene un beneficio poblacional de 5700 habitantes (pág. 21).

Realiza una evaluación de los diferentes métodos empleados para el diseño de estructuras de pavimentos según criterios de parámetros empíricos semi - empíricos y racionales para establecer las distintas alternativas que se tienen en esta área. Esto con el fin de confrontar y comparar los conceptos técnicos académicos y parámetros empleados para los diferentes tipos de diseño, determinando las diferencias en que ellos se derivan y que al ser aplicados puedan o no desarrollar resultados objetables e inadecuado con respecto a los comportamientos de la situación real de la estructura.

[...] En forma adicional este trabajo se realiza para saber las condiciones actuales de la zona que va ser intervenida y recolectar información de las característica y propiedades que el suelo está presentando para proceder a identificar qué tipo de diseño implementar para dicho proyecto. (pág. 11).

Conclusiones

- La metodología PCA 84 (asociación del cemento portland, año 84) asegura un análisis más específico y conveniente para el espesor de losa de pavimento cumpliendo con los parámetros de fatiga y erosión.
- El análisis de fatiga que se efectúa por la metodología de la PCA 84, controla los diseños de pavimentos delgados para bajo tránsito, independientemente del tipo de transferencia de carga en las juntas transversales.

- Todos los materiales que se usen para la construcción de la infraestructura vial, deberán cumplir como mínimo los requisitos de calidad establecidos en las especificaciones generales para la construcción de carreteras del INVIAS, versión vigente al momento de la intervención y se debe realizar los controles allí exigidos, con la frecuencia normalizada a emplear. (págs. 84 - 85).

1.3. Teorías relacionadas al tema

1.3.1. Manual de Carreteras del MTC 2014

[...] El Manual de “**Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos**” en su Sección **Suelos y Pavimentos**, forma parte de los **Manuales de Carreteras** establecidos por el Reglamento Nacional de Gestión de Infraestructura Vial aprobado por D.S. N° 034 – 2008 – MTC, y constituye uno de los documentos técnicos de carácter normativo, que rige a nivel nacional y es de cumplimiento obligatorio por los órganos responsables de la gestión de la infraestructura vial de los tres niveles de gobierno: Nacional, Regional y Local.

El presente Manual debe aplicarse sin modificación y en concordancia con las características particulares de cada proyecto; así mismo, si determinadas condiciones de un estudio demanda la necesidad de aplicación de nuevas tecnologías o procedimientos no contemplados en este documento, podrá ser propuesto por el proyectista como un caso especial, previa evaluación técnico – económica, el cual será aprobado por la entidad contratante o administradora y reportado al órgano normativo de la infraestructura del MTC. (MTC, 2014 pág. 5).

1.3.2. Pavimento Rígido

[...] Los pavimentos de concreto reciben el apelativo de “rígidos” debido a la naturaleza de la losa de concreto que la constituye.

Debido a su naturaleza rígida, la losa absorbe casi la totalidad de los esfuerzos producidos por las repeticiones de las cargas de tránsito, proyectando en menor intensidad los esfuerzos a las capas inferiores y finalmente a la subrasante.

El pavimento rígido es una estructura de pavimento compuesta específicamente por una capa de subbase granular, no obstante, esta capa puede ser de base granular, o puede ser estabilizada con cemento, asfalto o cal, y una capa de rodadura de losa de concreto de cemento hidráulico como aglomerante, agregados y de ser el caso, aditivos.

Dentro de los pavimentos rígidos existen tres categorías:

- Pavimento de concreto simple con juntas.
- Pavimento de concreto con juntas y refuerzo de acero en forma de fibras o mallas.
- Pavimento de concreto con refuerzo continuo.

Los pavimentos de concreto con juntas son los que mejor se aplican a la realidad nacional debido a su buen desempeño y a los periodos de diseño que usualmente se emplean. En el presente Manual, para los caminos del Perú, se propone la aplicación de pavimentos de concreto con juntas.

(MTC, 2014 pág. 22).



Figura 2. Vía expresa línea amarilla. Fuente: Lamsac

1.3.3. Elementos que conforman un Pavimento Rígido

Un pavimento de concreto o pavimento rígido consiste básicamente en una losa de concreto simple o armado, apoyada directamente sobre una base o subbase. La losa, debido a su rigidez y alto módulo de elasticidad, absorbe gran parte de los esfuerzos que se ejercen sobre el pavimento lo que produce una buena distribución de las cargas de rueda, dando como resultado tensiones muy bajas en la subrasante.

a) Subrasante

Es la capa de terreno de una carretera que soporta la estructura de pavimento, preparada y compactada, que se extiende hasta una profundidad que no afecte la carga de diseño que corresponde al tránsito previsto. La función de la subrasante es dar un apoyo razonablemente uniforme, esta capa puede estar formada en corte o relleno.

El espesor de pavimento dependerá en gran parte de la calidad de la subrasante, por lo que ésta debe cumplir con los requisitos de resistencia, incompresibilidad e inmunidad a la expansión y contracción por efectos de la humedad, por consiguiente, el diseño de un pavimento es esencialmente el ajuste de la carga de diseño por rueda a la capacidad de la subrasante. Se considera como la cimentación del pavimento y una de sus funciones principales es la de soportar las cargas que transmite el pavimento y darle sustentación, así como evitar que el terraplén contamine al pavimento y que sea absorbido por las terracerías.

b) Subbase

Es la capa de la estructura de pavimento destinada fundamentalmente a soportar, transmitir y distribuir con uniformidad las cargas aplicadas a la superficie de rodadura de pavimento, de tal manera que la capa de subrasante la pueda soportar absorbiendo las variaciones inherentes a dicho suelo que puedan afectar a la subbase. La subbase debe controlar los cambios de volumen y elasticidad que serían dañinos para el pavimento.

Se utiliza además como capa de drenaje y contralor de ascensión Capilar de agua, protegiendo así a la estructura de pavimento, por lo que generalmente se usan materiales granulares. Al haber capilaridad en época de heladas, se produce un hinchamiento del agua, causado por el congelamiento, lo que produce fallas en el pavimento, si éste no dispone de una subrasante o subbase adecuada.

Entre otras funciones que debe cumplir son:

- Incrementar el módulo (K) de reacción de la subrasante.
- Proporcionar una plataforma de trabajo para los equipos de construcción.

c) Losa (Superficie de Rodadura)

Es la capa superior de la estructura de pavimento, construida con concreto hidráulico, por lo que debido a su rigidez y alto módulo de elasticidad, basan su capacidad portante en la losa, más que en la capacidad de la subrasante, dado que no usan capa de base.



Figura 3. Elementos que conforman un pavimento rígido.

Fuente: (BECERRA, 2012)

1.3.4. Metodología de Diseño para Pavimento Rígido método AASHTO

[...]Existen tres tipos de pavimentos de concreto:

- Pavimentos de concreto simple con juntas.
- Pavimentos de concreto reforzado con juntas.
- Pavimentos de concreto continuamente reforzados.

Los pavimentos de concreto con juntas son los que mejor se aplican a la realidad nacional debido a su buen desempeño y a los periodos de diseño que usualmente se emplean. En el presente Manual, para los caminos del Perú, se propone la aplicación de pavimentos de concreto con juntas. (MTC, 2014 pág. 224).

[...] El método AASHTO 93 estima que para una construcción nueva de pavimento comienza a dar servicio a un nivel alto. A medida que transcurre el tiempo, y con él las repeticiones de carga de tránsito, el nivel de servicio baja. El método impone un nivel de servicio final que se debe mantener al concluir el periodo de diseño.

Mediante un proceso iterativo, se asumen espesores de losa de concreto hasta que la ecuación finalmente debe soportar el paso de un número determinado de cargas sin que se produzca un deterioro del nivel de servicio inferior al estimado. (pág. 224).

$$\text{Log}_{10}W_{8.2} = Z_R S_O + 7.35 \text{Log}_{10}(D + 25.4) - 10.39 + \frac{\text{Log}_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.5 - 1.5}\right)}{1 + \frac{1.25 \times 10^{19}}{(D + 25.4)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32 P_t) \times \text{Log}_{10}\left(\frac{M_r C_d (0.09 D^{0.75} - 1.132)}{1.51 \times J \left(0.09 D^{0.75} - \frac{7.38}{(E_c / k)^{0.25}}\right)}\right)$$

Donde:

$W_{8.2}$ = número previsto de ejes equivalentes de 8.2 toneladas métricas, a lo largo del periodo de diseño.

Z_R = desviación normal estándar.

S_O = error estándar combinado en la predicción del tránsito y en la variación del comportamiento esperado del pavimento.

D = espesor de pavimento de concreto, en milímetros.

ΔPSI = diferencia entre los índices de servicio inicial y final.

P_t = índice de serviciabilidad o servicio final.

M_r = resistencia media del concreto (en Mpa) a flexo tracción a los 28 días (método de carga en los tercios de luz).

C_d = coeficiente de drenaje.

J = coeficiente de transmisión de carga en las juntas.

E_c = módulo de elasticidad del concreto, en Mpa. (págs. 224 - 225).

Los parámetros que intervienen son:

1.3.5 Variables de diseño

El objetivo fundamental de la ecuación AASTHO 93 es obtener el espesor de la losa de pavimento rígido mediante la relación matemática entre las variables de diseño (tráfico, confiabilidad estadística, serviciabilidad, calidad del material de base o subrasante, calidad del concreto, calidad del drenaje, transferencia de carga entre losas).

A continuación se desarrollarán cada una de las variables de diseño las cuales son el Espesor, Serviciabilidad, Tránsito, Transferencia de carga, Propiedades del concreto, Resistencia a la subrasante, Drenaje y Confiabilidad.

a) Espesor

El espesor del pavimento de concreto es la variable que se pretende determinar al realizar un diseño, el resultado del espesor se ve afectado por todas las demás variables que interviene en los cálculos. Para determinar el espesor del pavimento aplicaremos la formula AASTHO 93 para el diseño de pavimento rígidos.

b) Tránsito

La metodología AASHTO considera la vida útil de un pavimento relacionado al número de repeticiones de carga que podrá soportar el pavimento antes de llegar a las condiciones de servicio final predeterminadas para el camino. El método AASHTO utiliza en su formulación el número de repeticiones esperadas de carga de Ejes Equivalentes, es decir, que antes de entrar a las fórmulas de diseño, debemos transformar los Ejes de Pesos Normales de los vehículos que circulan por el camino, en Ejes Sencillos Equivalentes de 18 kips (8.2Ton) también conocidos como ESAL's.

número de calzadas	número de sentidos	número de carriles por sentido	Factor Direccional (Fd)	Factor Carril (Fc)	Factor Ponderado (Fd x Fc para)
1 calzada (para IMDa total de la)	1 sentido	1	1.00	1.00	1.0
	1 sentido	2	1.00	0.80	0.8
	1 sentido	3	1.00	0.60	0.6
	1 sentido	4	1.00	0.50	0.5
	2 sentidos	1	0.50	1.00	0.5
	2 sentidos	2	0.50		0.4
2 calzadas con separador central	2 sentidos	1	0.50	1.00	0.5
	2 sentidos	2	0.50	0.80	0.4
	2 sentidos	3	0.50	0.60	0.3
	2 sentidos	4	0.50	0.50	0.2

Tabla 1. Factores de distribución según número de calzadas y sentidos. Fuente MTC2014.

Según estos valores y el IMDA según conteo estadístico de 10 000 (para el periodo de diseño) la tasa anual de crecimiento de tránsito de 6% según estudios realizados, para nuestro caso según el cálculo para este tipo de tráfico pesado expresado en ejes equivalentes usaremos el Tp9 en el carril de diseño, que está en el rango de **>7 5 00 000 EE y <10 000 000 EE.**

TIPOS TRÁFICO PESADO EXPRESADO EN EE	RANGOS DE TRÁFICO PESADO EXPRESADO EN EE
TP5	> 1'000,000 EE ≤ 1'500,000 EE
TP6	> 1'500,000 EE ≤ 3'000,000 EE
TP7	> 3'000,000 E ≤ 5'000,000 EE
TP8	> 5'000,000 EE ≤ 7'500,000 EE
TP9	> 7'500,000 EE ≤ 10'000,000 EE
TP10	> 10'000,000 EE ≤ 12'500,000 EE
TP11	> 12'500,000 EE ≤ 15'000,000 EE
TP12	> 15'000,000 EE ≤ 20'000,000 EE

Tabla 2. Ejes equivalentes de 8.2 ton. Fuente: MTC 2014.

c) La confiabilidad “R” y la desviación estándar (So)

El concepto de confiabilidad ha sido incorporado con el propósito de cuantificar la variabilidad propia de los materiales, procesos constructivos y de supervisión que hacen que pavimentos construidos de la “misma forma” presenten comportamientos de deterioro diferentes. La confiabilidad es en cierta manera un factor de seguridad, que equivale a incrementar en una proporción el tránsito previsto a lo largo del periodo de diseño, siguiendo conceptos estadísticos que consideran una distribución normal de las variables involucradas.

En nuestro caso según tabla el nivel de confiabilidad **R será igual a 90%.**

TIPO DE CAMINOS	TRAFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		NIVEL DE CONFIABILIDAD @	DESVIACION ESTÁNDAR NORMAL (Zr)
Caminos de Bajo Volumen de transito	TP0	100,000	150,000	65%	-0.385
	TP1	150,001	300,000	70%	-0.524
	TP2	300,001	500,000	75%	-0.674
	TP3	500,001	750,000	80%	-0.842
	TP4	750,001	1,000,000	80%	-0.842
	TP5	1,000,001	1,500,000	85%	-1.036
Resto de Caminos	TP6	1,500,001	3,000,000	85%	-1.036
	TP7	3,000,001	5,000,000	85%	-1.036
	TP8	5,000,001	7,500,000	90%	-1.282
	TP9	7,500,001	10'000,000	90%	-1.282
	TP10	10'000,001	12'500,000	90%	-1.282
	TP11	12'500,001	15'000,000	90%	-1.282
	TP12	15'000,001	20'000,000	90%	-1.282
	TP13	20'000,001	25'000,000	90%	-1.282
	TP14	25'000,001	30'000,000	90%	-1.282
	TP15		>30'000,000	95%	-1.645

Tabla 3. Nivel de confiabilidad R. Fuente: MTC 2014

El rango típico sugerido por AASHTO está comprendido entre $0.30 < S_o < 0.40$, en el presente Manual se recomienda un **$S_o = 0.35$**

d) Serviciabilidad

Como la serviciabilidad se define como la habilidad del pavimento de servir al tipo de tráfico (autos y camiones) que circulan en la vía, se mide en una escala del 0 al 5 en donde 0 (cero) significa una calificación para pavimento intransitable y 5 (cinco) para un pavimento excelente. La serviciabilidad es una medida subjetiva de la calificación del pavimento, sin embargo la tendencia es poder definirla con parámetros medibles.

En nuestro caso la diferencia entre los índices inicial y final es **$\Delta PSI = 1.50$**

d.1) Serviciabilidad Inicial (P_o): Es la condición que tiene un pavimento inmediatamente después de la construcción del mismo, para su elección es necesario considerar los métodos de construcción, ya que de

esto depende la calidad del pavimento. Usando buenas técnicas de construcción, el pavimento de concreto según tabla para nuestro tendrá una serviciabilidad inicial $P_i = 4.50$

d.2) Serviciabilidad Final (Pt): Tiene que ver con la calificación que esperamos tenga el pavimento al final de su vida útil, o bien, el valor más bajo que pueda ser admitido, antes de que sea necesario efectuar una rehabilitación, un refuerzo o la reconstrucción del pavimento. Se estima un índice de serviciabilidad final **Pf = 3.00**

TIPO DE CAMINOS	TRAFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		INDICE DE SERVICIABILIDAD INICIAL (PI)	INDICE DE SERVICIABILIDAD FINAL O TERMINAL (PT)	DIFERENCIAL DE SERVICIABILIDAD (APSI)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	TP1	150,001	300,000	4.10	2.00	2.10
	TP2	300,001	500,000	4.10	2.00	2.10
	TP3	500,001	750,000	4.10	2.00	2.10
	TP4	750,001	1,000,000	4.10	2.00	2.10
	TP5	1,000,001	1,500,000	4.30	2.50	1.80
	TP6	1,500,001	3,000,000	4.30	2.50	1.80
Resto de Caminos	TP7	3,000,001	5,000,000	4.30	2.50	1.80
	TP8	5,000,001	7,500,000	4.30	2.50	1.80
	TP9	7,500,001	10'000,000	4.30	2.50	1.80
	TP10	10'000,001	12'500,000	4.30	2.50	1.80
	TP11	12'500,001	15'000,000	4.30	2.50	1.80
	TP12	15'000,001	20'000,000	4.50	3.00	1.50
	TP13	20'000,001	25'000,000	4.50	3.00	1.50
	TP14	25'000,001	30'000,000	4.50	3.00	1.50
	TP15		>30'000,000	4.50	3.00	1.50

Tabla 4. Diferencial de serviciabilidad. Fuente MTC 2014

e) Trasferencia de carga (J)

También se conoce como coeficiente de transmisión de carga (J) y es la capacidad que tiene una losa del pavimento de transmitir las fuerzas

cortantes con sus losas adyacentes, con el objetivo de minimizar las deformaciones y los esfuerzos en la estructura del pavimento. Mientras mejor sea la transferencia de cargas, mejor será el comportamiento de la losa del pavimento. En nuestro caso al ser concreto hidráulico con pasadores toma el valor de **J = 3.8**

J			
GRANULAR O ASFÁLTICA		CONCRETO HIDRÁULICO	
SI (con pasadores)	NO (con pasadores)	NO (sin pasadores)	SI (con pasadores)
3.2	3.8 – 4.4	2.8	3.8

Tabla 5. Valores del coeficiente de transmisión de carga J.

Fuente MTC 2014

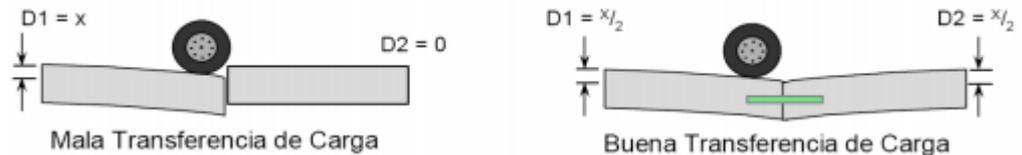


Figura 4. Esquema de transferencia de carga. Fuente ICPA

Pasadores ó dowells

Incrementan mecánicamente la transferencia de carga aportada por la trabazón de agregados, es necesaria para pavimentos con un Número de Repeticiones de EE mayores a 4 millones en el periodo de diseño.

Son barras de acero lisas (cuyo diámetro aproximado es 1/8 del espesor de la losa), insertadas en la mitad de las juntas con el propósito de transferir cargas sin restringir el movimiento de las losas y permitiendo el alineamiento horizontal y vertical. El empleo de pasadores disminuye las deflexiones y los esfuerzos del concreto, reduciendo el escalonamiento, bombeo y las fallas de esquina.

Rango de espesor de lo (m.m)	DIAMETRO		Longitud del pasador o dowells (mm)	separacion entre pasadores m.m
	mm	pulg.		
150-200	25	1"	410	300
200-300	32	1 1/4"	460	300
300-430	38	1 1/2"	510	380

Tabla 6. Diámetros y longitudes recomendados en pasadores.

Fuente MTC 2014

f) Propiedades del concreto

Los datos del concreto que influyen en el diseño y en su comportamiento a lo largo de su vida útil son:

Resistencia a la tensión por flexión o Módulo de Ruptura (MR)

Módulo de elasticidad del concreto (Ec)

f.1) Cálculo del Módulo de Ruptura (MR)

Debido a que los pavimentos de concreto trabajan principalmente a flexión es que se introduce este parámetro en la ecuación AASHTO 93. El módulo de rotura (MR) esta normalizado por ASTM C – 78. En el ensayo el concreto es muestreado en vigas. A los 28 días las vigas deberán ser ensayadas aplicando cargas en los tercios, y forzando la falla en el tercio central de la viga. En nuestro caso el **MR = 45 kg/cm²**

RANGOS DE TRÁFICO PESADO EXPRESADO EN EE	RESISTENCIA MÍNIMA A LA FLEXOTRACCIÓN DEL CONCRETO (MR)	RESISTENCIA MÍNIMA EQUIVALENTE A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO (F'c)
≤ 5'000,000 EE	40 kg/cm ²	280 kg/cm ²
> 5'000,000 EE ≤ 15'000,000 EE	42 kg/cm ²	300 kg/cm ²
> 15'000,000 EE	45 kg/cm ²	350 kg/cm ²

Tabla 7. Flexo tracción del concreto. Fuente MTC 2014

f.2) Cálculo del Módulo de Elasticidad del concreto (E_c)

El módulo de elasticidad del concreto es un parámetro particularmente importante para el dimensionamiento de estructuras de concreto armado.

La predicción del mismo se puede efectuar a partir de la resistencia a compresión o flexo tracción, a través de correlaciones establecidas.

En el caso de concretos de alto desempeño, Resistencia a compresión superior a 40 Mpa, la estimación utilizando las fórmulas propuestas por distintos códigos puede ser incierta puesto que existen variables que no han sido contempladas, lo que las hace objeto de continuo estudio y ajuste.

AASHTO'93 indica que el módulo elástico puede ser estimado usando una correlación, precisando la correlación recomendada por el ACI:

$$E = 57,000x (f'c)^{0.5}; (f'c \text{ en PSI}).$$

Para nuestro caso sería:

$$E = 57000 \times (300 \times 14.2233)^{0.5} = \mathbf{121609215}$$

g) Drenaje

La presencia de agua o humedad en la estructura del pavimento trae consigo los siguientes problemas:

Erosión del suelo por migración de partículas

Ablandamiento de la subrasante por saturación prolongada, especialmente en situaciones de congelamiento

Degradación del material de la carpeta de rodadura por humedad

Deformación y fisuración creciente por pérdida de capacidad estructural

El coeficiente de drenaje C_d varía entre 0.70 y 1.25, según las condiciones antes mencionadas. Un C_d alto implica un buen drenaje y esto favorece a la estructura, reduciendo el espesor de concreto a calcular.

En nuestro caso el coeficiente de drenaje será $C_d = \mathbf{1.10}$

Calidad de Drenaje	% del tiempo en que el pavimento está expuesto a niveles de humedad próximos a la saturación			
	< 1%	1 a 5%	5 a 25%	> 25%
Excelente	1.25 - 1.20	1.20 - 1.15	1.15 - 1.10	1.10
Bueno	1.20 - 1.15	1.15 - 1.10	1.10 - 1.00	1.00
Regular	1.15 - 1.10	1.10 - 1.00	1.00 - 0.90	0.90
Pobre	1.10 - 1.00	1.00 - 0.90	0.90 - 0.80	0.80
Muy Pobre	1.00 - 0.90	0.90 - 0.80	0.80 - 0.70	0.70

Tabla 8. Coeficiente de drenaje. Fuente: MTC 2014

h) El suelo y el efecto de las capas de apoyo (K)

El módulo de reacción del suelo corresponde a la capacidad portante que tiene el terreno natural en donde se soportará el cuerpo del pavimento.

Dado que la prueba de placa es tardada y cara, el valor de k, es usualmente estimado por correlación a una prueba simple, tal como la Relación de Soporte de California (CBR). El resultado es válido ya que no se requiere una determinación exacta del valor de k; las variaciones normales de un valor estimado no afectan apreciablemente los requerimientos del espesor del pavimento.

Según el MTC el valor del CBR de diseño estará referido al 95% de la MDS (Máxima Densidad Seca) y a una penetración de 2.54mm (1”), y se calculara tomando el valor promedio si lo resultados son similares, y si estos no lo son se deberá tomar el valor más bajo. En nuestro caso según el ensayo CBR realizado el valor de K es igual a 111Mpa/m.

Con los valores de estas variables de diseño que se obtuvieron según tablas, se obtiene el espesor de la losa de concreto.

1.3.6. Metodología del PCA

[...]El método de la Portland Cement Association, basa su análisis en la verificación de los dos principales modos de falla de los pavimentos rígidos. El criterio de **Fatiga** es el que permite mantener los esfuerzos del pavimento, producidos por la acción repetitiva de cargas, dentro de los límites de seguridad y con ello prevenir el agrietamiento por fatiga. En tanto que el criterio de **Erosión**, se ocupa de limitar los efectos de la deflexión del pavimento en bordes, juntas y esquinas de las losas, controlando así la erosión de los materiales de las capas inferiores. Para bajos volúmenes de tránsito pesado, el criterio de fatiga suele ser el determinante en el diseño, en tanto que por el contrario, para elevado tránsito pesado, el criterio de erosión es el que gobierna el espesor mínimo requerido.

El propósito de este método es obtener el espesor mínimo de una losa de hormigón que permita soportar las cargas que recibirá durante el período de diseño y que cumpla con las exigencias que el diseño demanda. Es necesario garantizar el buen funcionamiento del pavimento aunque la inversión inicial sea alta, ya que si se coloca un espesor menor al requerido se tendrán costos a largo plazo que aumentarán la inversión del mismo; por tanto, una correcta ingeniería requiere que los diseños de espesores balanceen apropiadamente el costo inicial y los costos de mantenimiento. Los criterios de diseño de espesores de este método están basados en la experiencia del comportamiento general de pavimentos. Si se dispone de experiencia del comportamiento específico regional o local en condiciones más favorables o adversas, los criterios de diseño pueden ser apropiadamente modificados. Estas condiciones particulares pueden ser de clima, suelos, drenaje e innovaciones futuras en los diseños. (BECERRA, 2012)

Los factores del diseño que intervienen básicamente son:

1. Resistencia del hormigón a la flexión (módulo de rotación MR)

2. Resistencia de la subrasante, subrasante y subbase combinadas (k).
3. Los pesos, frecuencias, tipos y cargas axiales de camión que los pavimentos soportarán. (Tráfico)
4. El período de diseño, usado en este momento y otros procedimientos usualmente es tomado como mínimo 20 años, pudiendo ser más o menos.
5. Factor de seguridad LSF

1.3.7. Aplicación de la metodología PCA

[...]La metodología PCA 84 aplica para los casos de pavimentos de concreto con juntas transversales planas, con y sin pasadores; reforzados con juntas; y continuamente reforzados. Los procedimientos de diseño de la PCA 84 cubren condiciones que no fueron consideradas en metodologías previas como:

- Reconocer el grado de transferencia de carga en las juntas previstas en los diferentes tipos de pavimentos antes mencionados.
- El efecto del confinamiento lateral proporcionado por las bermas en la reducción de los esfuerzos de flexión y deflexiones causadas por el paso de los vehículos.
- Aplicación de dos criterios de verificación:
 - 1) **Fatiga**, para mantener los esfuerzos sobre el pavimento debido a la repetición de las cargas de tránsito dentro de un límite de seguridad que prevenga el agrietamiento por fatiga; y
 - 2) **Erosión**, para limitar los efectos de las deflexiones en los bordes y esquinas de los pavimentos y controlar la pérdida o erosión de los materiales que sirven de cimentación. Se ingresó el criterio de erosión,

debido a que los problemas de bombeo, desniveles y falla en los bordes y esquina, no son relativos a la fatiga de la losa de concreto.

- Los ejes Trídem son considerados en el diseño. Aunque los ejes simples y tándem son predominantes en las autopistas, la configuración trídem está incrementándose. Los ejes trídem hacen más daño desde el punto de vista de la verificación por erosión que por el de fatiga. La selección del espesor óptimo es dependiente de otros parámetros de diseño, como: el tipo de sistemas de juntas, tipo de subbase requerido, y tipo de confinamiento lateral, o berma. (BECERRA, 2012)

1.3.8. Parámetros de diseño para el método PCA

a) Resistencia a la flexión del concreto (M_r)

La resistencia a la flexión del concreto interviene en el procedimiento de diseño debido al criterio de falla por fatiga, que controla el agrietamiento en el pavimento debido a la repetición continua de cargas de tránsito. Debe considerarse que tanto AASHTO 93 como PCA 84, contemplan losas de concreto convencionales, cortadas entre 3.5 X 4.5 metros (ancho X largo), es por eso que lo que importa en el diseño es la resistencia a la flexión, pues más de dos ejes estarán circulando sobre la losa al mismo tiempo. Para los efectos del procedimiento de diseño PCA 84, se ha considerado una variación realista en la resistencia a la flexión del concreto debido a que este parámetro tiene una mayor incidencia que otras propiedades de los materiales como la resistencia de la subbase y su espesor. La posible variación del M_r es introducida mediante el coeficiente de variación (CV). Para los propósitos de diseño se asume un CV de 15%, y está sustentada en la variación de la calidad de los materiales para producir la mezcla de concreto. Asimismo el procedimiento de diseño incorpora el aumento de M_r en el tiempo, por lo que los diseñadores deben utilizar el M_r a 28.

b) Soporte de la subrasante y subbase o módulo de reacción K.

El soporte entregado por la subrasante y la subbase está definido en términos del módulo de reacción de la subrasante de Westergaard (K), que se obtiene mediante el ensayo del CBR. Por la naturaleza misma de los pavimentos rígidos, no es económico utilizar subbase granulares por el sólo propósito de elevar el valor de K. El empleo de la subbase está referido al de proteger la pérdida de finos de la subrasante, que por el de elevar el valor K. Sin embargo, de emplearse, hay que considerar el incremento a favor del diseño.

c) Periodo de diseño

Debido a que el tránsito no puede ser proyectado de una forma precisa para periodos muy prolongados, el periodo de diseño a 20 años es comúnmente aceptado. Sin embargo, en algunos casos periodos de diseños menores o mayores se pueden aplicar. El periodo de diseño seleccionado afecta el espesor del pavimento desde que determina cuántos años y a cuántos vehículos éste debe servir.

d) Tránsito (cargas)

Uno de los parámetros de diseño más importantes que afectan el espesor del pavimento es precisamente el tránsito, que en el procedimiento PCA 84 se incorpora mediante la frecuencia, tipo y peso de ejes pesados que transitarán por el pavimento en el periodo de diseño. Los parámetros de tránsito se incorporan mediante:

- El tránsito promedio diario anual TPDA
- Factor de crecimiento de tráfico
- Factor de carril
- Factor de sentido

- Periodo de diseño

Las repeticiones esperadas Re se calculan con la siguiente ecuación:

$$Re = TPDA \times \%_{\text{Tipo de eje}} \times F_{\text{Sentido}} \times F_{\text{Carril}} \times P_{\text{diseño}} \times F_{\text{Crecimiento Anual}} \times 365$$

Porcentaje de vehículos pesados

La metodología de diseño PCA 84 considera el porcentaje de vehículos pesados en ambas direcciones. Para efectos de diseño el número total de camiones es calculado mediante:

$$VP = IMDA \times \% VP \times 365 \times T$$

Dónde:

VP: número de vehículos pesados

IMDA: índice medio diario anual de vehículos en ambas direcciones

%VP: % de vehículos pesados

T: periodo de diseño en años

e) Factores de seguridad para las cargas.

El método de diseño exige que las cargas reales esperadas se multipliquen por factores de seguridad de carga (FSC o LSF por sus siglas en inglés, Load Security Factor), la PCA recomienda los siguientes:

- Para vías interestatales y otros proyectos multicarril, donde se espera un flujo de tránsito ininterrumpido, con un alto volumen de tránsito pesado, utilizar un LSF de 1.2.
- Para autopistas y arterias principales donde se espera un volumen moderado de tránsito pesado, utilizar un LSF de 1.1.
- Para caminos, calles residenciales, y otras vías que soportarán bajos volúmenes de tránsito pesado, utilizar un LSF de 1.0.

En casos especiales, podría justificarse el uso de un factor de seguridad de carga tan alto como 1.3, para mantener un nivel de serviciabilidad mayor que el normal a través del periodo de diseño.

Una vez que tenemos todos estos valores de las variables de este tipo de diseño, se relacionan según tablas con los factores de fatiga y erosión y nos dará valores que influyen en el cálculo del espesor de la losa.

1.3.9. Criterio de verificación por fatiga

El número de repeticiones admisibles para una determinada carga de eje se correlaciona con una razón de tensiones (tensión deflexión dividida entre el Modulo de ruptura a 28 días). La curva de diseño se incorpora directamente en los ábacos. El criterio de fatiga se basa en la hipótesis de Miner, donde la fatiga no consumida por la repetición de una carga puede ser utilizada por el paso de otra. Para el caso del diseño, no se podrá sobrepasar el 100% de la fatiga total consumible.

Para el análisis por esfuerzo de fatiga, la PCA toma la condición más severa: 6% de tráfico pesado; para el análisis por erosión, el cual involucra deflexión en la esquina de la losa, la PCA asume el caso más severo, otra vez 6% de tráfico pesado en el borde. Donde no hay apoyo lateral, las cargas en las esquinas son las críticas (6% del tráfico pesado); y donde hay apoyo lateral, el mayor número de cargas hacia el interior desde la esquina del pavimento son las críticas (94% del tráfico pesado)

1.3.10. Criterio de verificación por erosión

El criterio de verificación por erosión parte por la necesidad de evaluar el esfuerzo adicional al de fatiga ocasionado por la pérdida de material debajo y a los costados de la losa. Repeticiones de carga de tránsito de vehículos pesados cercanas a las esquinas y bordes de la losa producen bombeo, erosión de las capas granulares y de la subrasante, así como pérdida de material de confinamiento lateral que originan vacíos entre la carpeta y el resto de capas, provocando escalonamiento y finalmente roturas en la carpeta de concreto.

Este tipo de daño se relaciona más con las deflexiones del pavimento que por las tensiones de flexión.

La erosión se cuantifica en términos de porcentaje del daño total por erosión, se recomienda optimizar el diseño obteniendo un valor cercano al 100%, ya que si se tienen valores menores a dicho porcentaje, se estaría determinando una estructura sobre diseñada.

Los datos de carga por eje para el cálculo de espesores contenido en el manual de diseño es el siguiente.

(1) Carga por eje, Kips	(2) Ejes por 1000 camiones	(3) Ejes por 1000 caminoes	(4) Ejes en el periodo de diseño
Ejes Simples			
28-30	0.28	0.58	6,310
26-28	0.65	1.35	14,690
24-26	1.33	2.77	30,140
22-24	2.84	5.92	64,410
20-22	4.72	9.83	106,900
18-20	10.40	21.67	235,800
16-18	13.56	28.24	307,200
14-16	18.64	38.83	422,500
12-14	25.89	53.94	586,900
10-12	81.05	168.85	1873,000
Ejes Tandem			
48-52	0.94	1.96	21.320
44-48	1.89	3.94	42.870
40-44	5.51	11.48	124.900
36-40	16.45	34.27	372.900
32-36	39.08	81.42	885.800
28-32	41.06	85.54	930.700
24-28	73.07	152.23	1653.000
20-24	43.45	90.52	984.900
16-20	54.15	112.81	1227.000
12-16	59.85	124.69	1356.000

Figura 5. Datos de carga por eje. Fuente PCA 1984

Esfuerzo equivalente (sin berma de concreto) ejes simple- ejes tandem

Espesor de losa (pulg.)	k de la subrasante - subbase, pci						
	50	100	150	200	300	500	700
4	825/679	726/585	671/542	634/516	584/486	523/457	484/443
4.5	699/586	616/500	571/460	540/435	498/406	448/378	417/363
5	602/516	531/436	493/399	467/376	432/349	390/321	363/307
5.5	526/461	464/387	431/353	409/331	379/305	343/278	320/264
6	465/416	411/348	382/316	362/296	336/271	304/246	285/232
6.5	417/380	367/317	341/286	324/267	300/244	273/220	256/207
7	375/349	331/290	307/262	292/244	271/222	246/199	231/186
7.5	340/323	300/268	279/241	265/224	246/203	224/181	210/169
8	311/300	274/249	255/223	242/208	225/188	205/167	192/155
8.5	285/281	252/232	234/208	222/193	206/174	188/154	177/143
9	264/264	232/218	216/195	205/181	190/163	174/144	163/133
9.5	245/248	215/205	200/183	190/170	176/153	161/134	151/124
10	228/235	200/193	186/173	177/160	164/144	150/126	141/117
10.5	213/222	187/183	174/164	165/151	153/136	140/119	132/110
11	200/211	175/174	163/155	154/143	144/129	131/113	123/104
11.5	188/201	165/165	153/148	145/136	135/122	123/107	116/98
12	177/192	155/158	144/141	137/130	127/116	116/102	109/93
12.5	168/183	147/151	136/135	129/124	120/111	109/97	103/89
13	159/176	139/144	129/129	122/119	113/106	103/93	97/85
13.5	152/168	132/138	122/123	116/114	107/102	98/89	92/81
14	144/162	125/133	116/118	110/109	102/98	93/85	88/78

Carga por eje	Multip. por LSF 1.2	Repetic. Esperadas	Análisis por fatiga		Análisis por erosión	
			Repetic. Permisibles	% de fatiga	Repetic. Permisibles	% de daño
1	2	3	4	5	6	7

8. Esfuerzo equivalente ...206....

10. Factor de erosión ...2.59....

9. Factor de relación esfuerzo ...0.317....

Figura 6. Espesor aproximado según valor de K / ejes. Fuente PCA

1.3.11 Similitudes y diferencias del AASHTO y el PCA

La (PCA, 1984) y (AASHTO, 2004) reconocen dos posiciones críticas en pavimentos de concreto bajo la influencia de un grupo de ejes simples y tándem, la primera se encuentra en el centro-borde de la losa, que provoca los mayores esfuerzos de flexo-tracción y la segunda, en la esquina, cercano a la junta transversal, donde se originan deflexiones considerables dependiendo del modo de transferencia de carga entre las losas.

(PCA, 1984) incorpora un modelo de deterioro por erosión que, en función del mecanismo de transferencia en la losa y la presencia o no en el pavimento de concreto, permite estimar el número de ejes que circulan antes que falle por la pérdida del material del cimiento. Además, al igual que la versión de (AASHTO, 1993), incluye como modificar el módulo de reacción del cimiento cuando se usa una subbase aglomerada o no.

Cabe mencionar que en el método de la PCA, los factores del clima y de drenaje no son considerados, no obstante a que dicha institución reconoce que son aspectos que merecen ser tomados en cuenta si el lugar de estudio lo amerita.

1.3.12. Transitabilidad

[...] El término transitabilidad se define como la posibilidad de llegar a los sitios que sirve la vía; resolver problemas de transitabilidad debe ser el primer objetivo de un plan de optimización vial. La vía (o un tramo de ésta) puede ser intransitable, transitable sólo algunos meses del año o transitable durante todo el año. Es difícil definir, desde el punto de vista técnico y de manera objetiva cuándo un tramo de vía se vuelve intransitable; por ejemplo, los operadores de los vehículos toman decisiones de circular o no en función principalmente de su apreciación subjetiva sobre el grado de riesgo que corren sus vehículos, los pasajeros o la carga que transportan o sobre los tiempos esperados de

circulación. En todo caso, las interrupciones del tránsito por falta de acceso confiable afectan notoriamente el bienestar y la forma de vida de la población. (BECERRA, 2012)

1.4. Formulación del Problema

1.4.1. Problema General

- ¿De qué manera el diseño de pavimentos rígidos aplicando el MTC 2014, optimizara la transitabilidad vehicular del proyecto Plazas de Peaje Vía Expresa Línea Amarilla?

1.4.2. Problemas Específicos

- ¿De qué manera el diseño de pavimentos rígidos aplicando el MTC 2014, optimizará los costos de los recursos del proyecto Plazas de Peaje Vía Expresa Línea Amarilla?
- ¿De qué manera el diseño de pavimentos rígidos aplicando el MTC 2014, optimizará la calidad de vida de las personas e influirá en el crecimiento económico del país?
- ¿De qué manera el diseño de pavimentos rígidos aplicando el MTC 2014, permitirá desarrollar una metodología práctica para mejorar la transitabilidad vehicular?

1.5. Justificación del estudio

TEORICA: La presente investigación pretende insertar un nuevo diseño como metodología para optimizar el rendimiento, tratando de ser práctica para su entendimiento y correcta aplicación. Se busca obtener óptimas conclusiones, esta metodología cuenta con la participación de todos los

integrantes del proyecto, puesto que con trabajo en equipo en conjunto, su aporte será mayor en los plazos, costos y estándares de calidad.

ECONOMICA: Actualmente en el sector construcción, específicamente en el área de pavimentos rígidos, se sigue observando deterioros, grietas, baches, etc.; lo cual conlleva a gastos adicionales en reparaciones o en el peor de los casos reemplazo de tramos completos. Usando nuevas tecnologías que nos dé mayor tiempo de vida útil podremos disminuir notoriamente estos gastos adicionales.

PRACTICA: Con la implementación de nuevas tecnologías se busca mejorar el comportamiento de los pavimentos rígidos a través de diseños y/o metodologías puestos en práctica en países desarrollados, que se puedan adecuar a nuestra realidad climática, topográfica, etc. Por tal motivo, el fin de esta investigación, es dar a conocer lineamientos que conduzcan a mejorar la transitabilidad vehicular aplicando el diseño del MTC 2014 y otra metodología actualizada (Portland y/o ACI) que se adecúe a nuestro país, específicamente, tomando como base el proyecto Plazas de Peaje Vía Expresa Línea Amarilla – Lima, y haciendo una inspección vial del estado actual y sin necesidad de recurrir al laboratorio para ensayos, cuantificar por medio de un índice de integridad estructural (PCI) la condición operacional de éste proyecto y poder destinarlo a los siguientes tramos de la línea amarilla.

SOCIAL: Poner en funcionamiento la nueva tecnología implica más beneficios sociales, es decir, suministra nuevas herramientas para proyectos similares al estudiado, mejorando la transitabilidad vehicular, reduce el tiempo improductivo de los usuarios de la vía y por lo tanto generar mayor calidad de vida en nuestro país, evitando gastos adicionales que afecten la economía del país.

1.6. Hipótesis

1.6.1 Hipótesis General

- La aplicación del MTC 2014 en el diseño de pavimentos rígidos influye en la optimización de la transitabilidad vehicular en el proyecto plazas de peaje vía expresa línea amarilla.

1.6.2 Hipótesis específicas

- Al aplicar el MTC 2014 en el diseño de pavimentos rígidos se optimizará los costos de los recursos en el proyecto plazas de peaje vía expresa línea amarilla.
- Aplicando el MTC 2014 en el diseño de pavimentos rígidos se optimizará la calidad de vida de las personas e influirá en el crecimiento económico del país.
- Con la aplicación del MTC 2014 en el diseño de pavimentos rígidos se desarrollará una metodología práctica que permitirá mejorar la transitabilidad vehicular.

1.7. Objetivos

1.7.1. Objetivo General

- Determinar el diseño de pavimentos rígidos aplicando el MTC 2014 para optimizar la transitabilidad vehicular en el proyecto plazas de peaje vía expresa línea amarilla.

1.7.2. Objetivos Específicos

- Determinar el diseño de pavimentos rígidos aplicando el MTC 2014 para optimizar los costos de los recursos en el proyecto Plazas de Peaje Vía Expresa Línea Amarilla.

- Determinar el diseño de pavimentos rígidos aplicando el MTC 2014 para optimizar la calidad de vida de las personas e influir en el crecimiento económico del país.
- Determinar el diseño de pavimentos rígidos aplicando el MTC 2014 para desarrollar una metodología práctica que permita mejorar la transitabilidad vehicular.

II. METODOLOGÍA

2.1. Diseño, Tipo y Nivel de investigación

2.1.1. Diseño de investigación

[...] La investigación no experimental es aquella que se realiza sin manipular deliberadamente variables. Es decir, es investigación donde no hacemos variar intencionalmente las variables independientes. Lo que hacemos en la investigación no experimental es observar fenómenos tal y como se dan en su contexto natural, para después analizarlos. Como señala Kerlinger (1979, p. 116). “La investigación no experimental o *ex post - facto* es cualquier investigación en la que resulta imposible manipular variables o asignar aleatoriamente a los sujetos o a las condiciones”. De hecho, no hay condiciones o estímulos a los cuales se expongan los sujetos del estudio. Los sujetos son observados en su ambiente natural, en su realidad. En un experimento, el investigador construye deliberadamente una situación a la que son expuestos varios individuos. Esta situación consiste en recibir un tratamiento, condición o estímulo bajo determinadas circunstancias, para después analizar los efectos de la exposición o aplicación de dicho tratamiento o condición. Por decirlo de alguna manera, en un experimento se ‘construye’ una realidad. En cambio, en un estudio no experimental no se construye ninguna situación, sino que se observan situaciones ya existentes, no provocadas intencionalmente por el investigador. En la investigación no experimental las variables independientes ya han ocurrido y no pueden ser manipuladas, el investigador no tiene control directo sobre dichas variables,

no puede influir sobre ellas porque ya sucedieron, al igual que sus efectos. (Uaconcagua, s/f pág. 2)

De acuerdo a lo mencionado, el diseño de la investigación estudiada es *No experimental*.

2.1.2. Tipo de investigación

[...] Se entiende como aquella actividad científica orientada hacia un fin práctico más o menos inmediato. Su finalidad radica en la aplicación concreta de un saber que no busca tanto incrementar su corpus teórico como ensayar sus posibilidades prácticas en el plano de la acción. Su definición está, pues, en relación a criterios precisos de uso, tendentes a facilitar respuestas a problemas prácticos específicos, constituyéndose en un área intermedia entre el descubrimiento de un nuevo conocimiento y su aplicación práctica a través de la cual se trata de transformar los conocimientos científicos en tecnologías. Con ella se pretende aplicar la ciencia para mejorar y ampliar el dominio del hombre sobre la realidad, con el fin de resolver los problemas importantes de la humanidad. Desde la perspectiva de su ejecución, por ser una investigación in vivo y no in vitro, está más supeditada a las situaciones reales, las mismas que condicionan su dinámica y sus resultados. (RODRIGUEZ, 2011 págs. 37 - 38).

De acuerdo a lo mencionado, el tipo de la investigación estudiada es *Aplicada*.

2.1.3. Nivel de investigación

[...] Una investigación científica es descriptiva cuando se orienta a la descripción, el registro, el análisis y la interpretación de las condiciones existentes en el momento. Se caracteriza, especialmente, porque no se efectúa la manipulación de las variables, porque se dedica a la descripción de los fenómenos asociados con la población en estudio y se estiman las

proporciones de una población. Las investigaciones más específicas, tales como las explicativas, llevan implícita la tarea previa de una investigación descriptiva, cuyos resultados son configurados como el marco teórico o marco conceptual. La investigación descriptiva responde a preguntas como ¿quién?, ¿cuándo?, ¿dónde?, ¿cómo?, que son formuladas a manera de propósitos. (RODRIGUEZ, 2011 págs. 46 - 47).

De acuerdo a lo mencionado, el nivel de la investigación estudiada es *Descriptiva explicativa*.

2.2. Variables, operacionalización

2.2.1 Variables

Variable independiente: Diseño de pavimentos rígidos.

Corresponde específicamente al diseño de pavimentos rígidos aplicando el manual de Carreteras del MTC 2014.

Variable dependiente: Optimizar la transitabilidad vehicular.

Corresponde a la mejora en los aspectos técnicos, económicos y operacionales de la transitabilidad vehicular, obtenidos de las buenas prácticas indicadas en el Manual de Carreteras del MTC 2014 para diseñar pavimentos rígidos.

2.2.2. Operacionalización de las variables

La variable que se estudia en este trabajo es la variable independiente adicionada a la variable dependiente y cómo influye en esta.

Ver Tablas

Tabla 9.

Operacionalización de variable independiente

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
Variable Independiente Diseño de pavimentos rígidos	[...]La presente versión del Manual de “Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos” en su Sección Suelos y Pavimentos, tiene por finalidad proporcionar criterios homogéneos en materia de suelos y pavimentos, que faciliten el diseño de las capas superiores y de la superficie de rodadura en carreteras pavimentadas y no pavimentadas, dotándolas de estabilidad estructural para lograr su mejor desempeño en términos de eficiencia técnico – económica; siendo por tanto, una herramienta para el diseño estructural de los pavimentos, tomando en consideración la experiencia, estudio de las características y comportamiento de los materiales, y de acuerdo a las condiciones específicas de los diversos factores que inciden en el desempeño de los pavimentos, como son el tráfico, el clima y los sistemas de gestión vial. El presente Manual debe aplicarse sin modificación y en concordancia con las características particulares de cada proyecto; así mismo, si determinadas condiciones de un estudio demanda la necesidad de aplicación de nuevas tecnologías o procedimientos no contemplados en este documento, podrá ser propuesto por el proyectista como un caso especial, previa evaluación técnico – económica, el cual será aprobado por la entidad contratante o administradora y reportado al órgano normativo de la infraestructura del MTC. (MTC, 2014 pág. 5).	El diseño de pavimentos rígidos aplicando el MTC 2014 tomando en cuenta al periodo o tiempo del diseño ya sean corto, mediano o largo, las variables teoricas que se usaran para el diseño como el transito, serviciabilidad y transferencia de carga; tambien los calculos de diseño como estudio de suelos, resistencia a la flexotraccion, modulo de elasticidad, para implementar diseños similares (Portland, ACI y otros que se usan en europa y EEU)	Periodo de Diseño	Corto Medio Largo
			Variables del diseño	El tránsito (ESALs) Serviciabilidad Transferencia de carga (I)
			Calculos del diseño	El suelo y el efecto de las capas de apoyo (KC) Resistencia a flexotracción del concreto (MR) Módulo elástico del concreto

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10. Operacionalización de la variable dependiente

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
Variable Dependiente Optimización de la transitabilidad vehicular	[...] En este documento, el término optimizar se refiere a la implementación de soluciones de ingeniería diferentes de las utilizadas en la construcción original, con el fin de mejorar el nivel de acceso (transitabilidad, nivel de servicio) o reducir la emisión de polvo. El término transitabilidad se define como la posibilidad de llegar a los sitios que sirve la vía; resolver problemas de transitabilidad debe ser el primer objetivo de un plan de optimización vial. La vía (o un tramo de ésta) puede ser intransitable, transitable sólo algunos meses del año o transitable durante todo el año. Es difícil definir, desde el punto de vista técnico y de manera objetiva cuándo un tramo de vía se vuelve intransitable; por ejemplo, los operadores de los vehículos toman decisiones de circular o no en función principalmente de su apreciación subjetiva sobre el grado de riesgo que corren sus vehículos, los pasajeros o la carga que transportan o sobre los tiempos esperados de circulación. (CAF, 2010 pág. 10).	La Optimización de la transitabilidad vehicular corresponde a la mejora en los aspectos técnicos, económicos y operacionales de la transitabilidad, tomando en cuenta el mantenimiento rutinario, periódico y su señalización; también la ponderación y puntuación de atributos como durabilidad - desempeño, sostenibilidad y económicos - sociales, así como una vez tengamos la pavimentación rígida tener un plan de inspección técnica, inspección visual y un índice de condición del pavimento (pci) para monitoriar su vida útil usando formatos de recopilación de datos.	Ponderación y puntuación de atributos	Atributos de durabilidad y desempeño Atributos de construcción y de sostenibilidad Atributos económicos, sociales y ambientales
			Transitabilidad	Mantenimiento rutinario Mantenimiento periódico Señalización
			Pavimentación Rígida	Inspección Técnica Inspección visual Índice de Condición del Pavimento (PCI)

Fuente: Elaboración propia

2.3. Población, muestra y muestreo

2.3.1. Población

El proyecto “Vía Expresa Línea Amarilla – Lima”, es una megaobra cuya construcción está a cargo de la empresa LAMSAC. Esta megaobra une a un total de 11 distritos, cuenta con un túnel subterráneo, construido debajo del río Rímac y que duplicará su capacidad en el tramo del Centro Histórico de Lima. Además, conectará los viaductos que se encuentran al sur (a la altura de El Agustino) con los viaductos del norte (con dirección al Callao).

2.3.2. Muestra

Dentro del proyecto “Vía Expresa Línea Amarilla – Lima”, se encuentra la partida **Plazas de Peaje**, que constituyen las áreas para el cobro de peajes tanto de vehículos ligeros como pesados. La presente investigación abarcará el diseño de los pavimentos rígidos de estas plazas de peaje.



Figura 7. Imagen satelital de la zona de peaje de la línea amarilla.

Fuente: Google Earth

2.3.3. Muestreo

“En las muestras no probabilísticas no es posible calcular el error estándar, así como el nivel de confianza con el que hacemos la estimación. Sin embargo, este tipo de muestreo es muy importante en estudios cualitativos. En este caso la selección de los elementos no depende de la probabilidad sino del criterio del investigador” (RODRIGUEZ, 2011)

El muestreo para la presente investigación es no probabilístico intencional, ya que en esta ocasión los elementos estudiados son escogidos en base a criterios establecidos por el investigador

2.4. Técnica e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad

2.4.1. Técnicas de recolección de datos

Para iniciar con la elaboración de la presente investigación, es necesario recolectar información documentaria referente al proyecto “Plazas de Peaje Vía Expresa Línea Amarilla – Lima”; es decir, los documentos que conforman: los planos (ubicación, arquitectura, estructuras, etc.), estudio de suelos, especificaciones técnicas y memoria descriptiva.

2.4.2. Instrumentos de recolección de datos

Para elaborar la presente investigación, se consultarán sitios web que estén relacionados al tema de estudio. Mediante la consulta de documentos tanto nacionales como extranjeros, se obtendrá criterios más amplios.

2.4.3. Validez

La presente tesis será validada mediante los distintos ensayos de laboratorio. Estos ensayos serán validados por técnicos, que son expertos en cuanto a laboratorio se trate, para que luego los mismos técnicos sean quienes se encarguen de poder certificar aquellos ensayos realizados. Se adjunta en *Anexos*.

2.4.4. Métodos de análisis de datos

Para el desarrollo de la presente investigación; se ha tenido en cuenta, evaluar bajo los aspectos: técnico y económico, el diseño de pavimentos rígidos (estructura de concreto) del proyecto “Plazas de Peaje Vía Expresa Línea Amarilla - Lima”. Se definirá el tiempo de diseño teniendo en cuenta; además, determinar las variables involucradas como son: El tránsito, serviciabilidad, la confiabilidad y desviación estándar, el suelo y el efecto de las capas de apoyo, resistencia a la flexo tracción del concreto, módulo elástico del concreto, drenaje, y transferencia de carga; para finalmente determinar el espesor de la losa de concreto.

Todas estas consideraciones para el diseño deben estar dentro de un marco que brinde calidad y seguridad, y que reflejen el correcto uso de las recomendaciones del Manual de Carreteras 2014 del MTC. Con la información obtenida (diseño del MTC 2014 para pavimentos rígidos) se procede a elaborar lo siguiente: Usando el programa de cómputo Excel versión 2016, se elaborarán hojas de cálculo necesarios para diseñar el pavimento de concreto con las recomendaciones del PCA (Asociación del Cemento Portland) y otros organismos que se acomoden a nuestra realidad nacional, con la finalidad de obtener resultados que luego se puedan discutir o debatir. Luego de este proceso se concluirá de acuerdo a los objetivos planteados y se recomendará mejorar procesos para futuras investigaciones.

2.4.5. Ensayos realizados al suelo

2.4.5.1. Ensayo para determinar la granulometría del agregado ASTM D-422, MTC E 107.

Para esta obra se utiliza el afirmado de la cantera Petramas ubicado en Cajamarquilla al este de Lima, esta refinería es actualmente una de la más usada en proyectos de pavimentación. Se obtuvo muestra del suelo aledaño a la obra del estudio mediante una calicata a la cual se le realizó los ensayos correspondientes previos al diseño del pavimento.



Figura 8. Calicata realizada en la zona de estudio.

Fuente elaboración propia

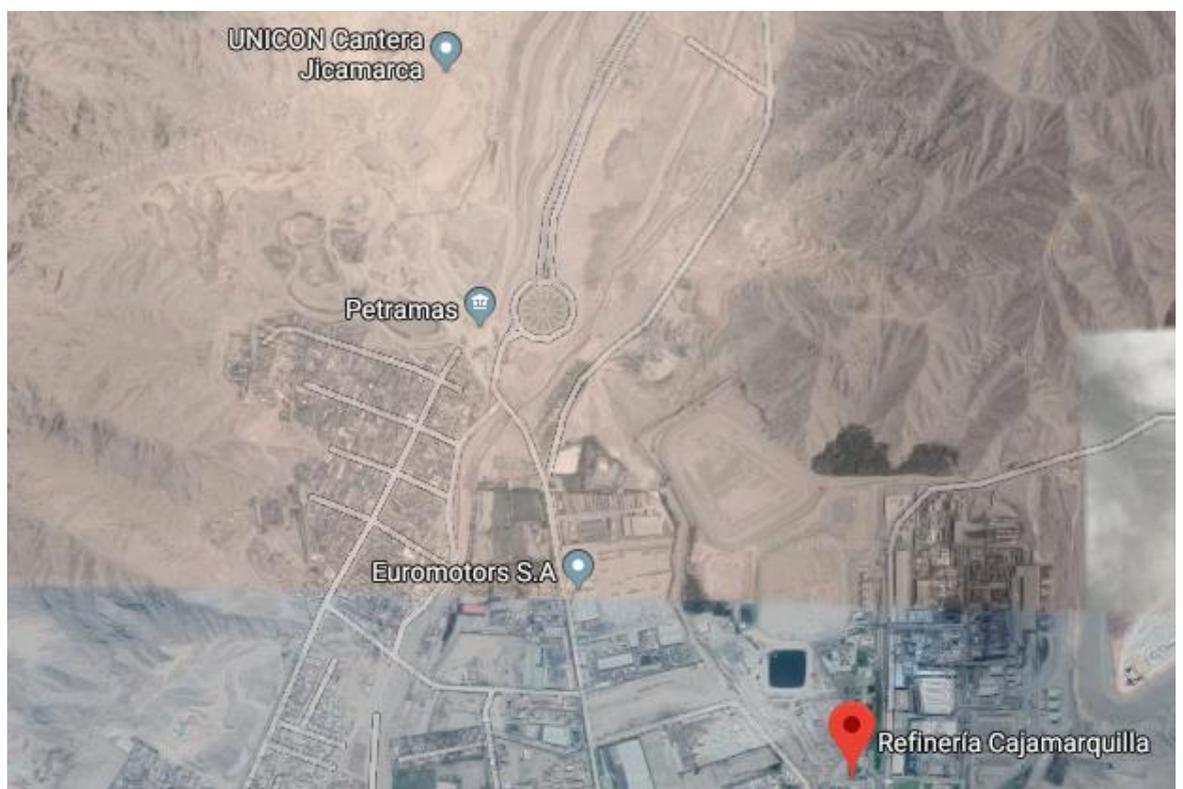


Figura 9. Ubicación de la cantera. Fuente: Google maps.

El ensayo se realizó con las indicaciones de la norma ASTM D-422 y la NTP 400.012. Mediante este método se obtiene la granulometría de los agregados al ser tamizados por las mallas normalizadas.

El objetivo del ensayo es el de trazar la curva granulométrica, y a partir de ello determinar el Tamaño Máximo Nominal para el caso del agregado grueso y el Módulo de Fineza para el caso del agregado fino.

Se entiende como Tamaño Máximo nominal (TM), como la abertura del menor tamiz de la serie usada que comienza a retener.

El módulo de finura (MF) se entiende como la suma de los porcentajes retenidos desde la malla #4 a la #100, dividido entre 100.

Con este ensayo se busca clasificar el tipo de suelo tanto de su origen como de sus propiedades mecánicas.

Equipos y procedimiento

Se sigue la norma ASTM C136. Se usaron los siguientes equipos.

Tamices de 8'' de diámetro, según norma con aperturas de: 3'', 2'', 1 1/2'', 1'', 3/4'', 3/8'', N°4, N°10, N°20, N°40, N°60, N°100, N°200, con fondo y tapa.

Balanza que tiene una aproximación al 0.1% del peso del material que está siendo ensayado.

Horno con temperatura de 110 +/- 5°C

Siguiendo la misma norma, se realiza el procedimiento mediante el cual se separa el material por las mallas, el retenido será agregado grueso que quede en la malla N°4 y el fino será el que pase aquel tamiz.

La muestra, antes de tamizarse fue lavada y secada en el horno por 24 horas y una temperatura de 110 +/- 5°C

Objetivo:

Determinar la granulometría del suelo, con una serie de tamices en fracciones de tamaño decrecientes.

Determinar la distribución del tamaño de partículas del suelo.

Trazar la curva granulométrica

Clasificar el suelo por el método SUCS y AASHTO



Figura 10 .Secado del material en el horno. Fuente: Elaboración propia

Una vez que se haya obtenido el material seco se vierte en el juego de tamices y se zarandea durante un minuto aproximadamente para obtener peso constante en cada tamiz, Luego de algunos minutos, se retiran los tamices y se desensamblan, tomando por separado los pesos de material retenido en cada uno de ellos y que, en su suma, deben corresponder al peso total del material que inicialmente se colocó en la columna de tamices (Conservación de la Masa).



Figura 11. Empleo de mallas para tamizado. Fuente: Elaboración propia

Toda la cantidad obtenida en cada tamiz fue pesada y luego se calcula los porcentajes retenidos y porcentajes que pasan en cada malla, Tomando en cuenta el peso total y los pesos retenidos, se procede a realizar la curva granulométrica.



Figura 12. Pesado del material de cada malla. Fuente: Elaboración propia

2.4.5.2. Ensayos de límite de consistencia

Límite Líquido

A la muestra se le remueve cualquier material retenido en el tamiz de 425 μm (N° 40). El límite líquido se determina realizando ensayos en los cuales una porción del espécimen es esparcida en una copa de bronce dividida en dos por una herramienta ranuradora y luego es dejada fluir debido a los impactos causados por caídas repetidas de la copa en un dispositivo mecánico estándar.

El límite líquido de múltiples puntos, requiere 3 o más tanteos con distintos contenidos de humedad y los datos son graficados o cálculos para obtener una relación que permita determinar el límite líquido.

Límite líquido ASTM D-4318, MTC E 110: cuando el suelo pasa de un estado plástico a un estado líquido. Para la determinación de este límite se utiliza la cuchara de Casagrande.

Materiales

- Máquina de Casagrande (referencia: norma ASTM N° D-4318-95a)
- Acanalador (misma referencia)
- Balanza de sensibilidad 0.1 g.
- Espátula de acero flexible
- Cápsulas de porcelana
- Placa de vidrio
- Horno regulable a 110°
- Agua destilada

Objetivo:

- Determinar el contenido de humedad de un suelo para evaluar su consistencia
- Determinar el contenido de humedad en el Límite de Plástico
- Analizar la cantidad de contenido de humedad en el límite líquido

- Estudiar la relación entre el límite plástico y el límite líquido queda como un resultado el índice de plasticidad.



Figura 13. Ensayo de límite líquido método de Casagrande.

Fuente: Elaboración propia

Límite Plástico ASTM D-4318, MTC E 111

Nos indica la magnitud del intervalo de humedades en el cual el suelo posee consistencia plástica, y el índice de liquidez, que indica la proximidad del suelo natural al límite líquido, son características especialmente útiles del suelo. De la pasta preparada para el ensayo anterior se tomó porciones pequeñas formando esferas (aprox. 6) que se colocaron sobre la placa de vidrio. Se tomaron dos esferas y se rolaron sobre la placa de vidrio aplicándole presión suficiente para moldearlo en forma de una varilla cilíndrica, cuando el diámetro del cilindro de suelo llegó a 3mm y aun no se produjo rotura en pequeños pedazos se moldea nuevamente de la misma manera hasta que se produzca la rotura. Si el cilindro se desmorona a un diámetro superior a 3mm., esta condición es satisfactoria para definir el límite plástico.

A la muestra que ha sufrido rotura se le determina el contenido de humedad. El valor obtenido se promediara con el obtenido en otras repeticiones.

Límite plástico ASTM D-4318, MTC E 111: cuando el suelo pasa de un estado semisólido a un estado plástico.

El índice de plasticidad se calcula como la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico.

2.4.5.3. Ensayo de Proctor Modificado ASTM D-1557, MTC E 115

Se realiza el ensayo de Proctor modificado por la carga que soportara el suelo de este pavimento según este caso con el estándar varia el número de golpes, el pisón (cambia altura y peso), el molde y el número de capas. Este ensayo consiste en compactar una porción de suelo en un cilindro con volumen conocido, haciéndose variar la humedad para obtener la curva que relaciona la humedad y la densidad seca máxima a determinada energía de compactación. El punto máximo de esta curva corresponde a la densidad seca máxima en ordenadas y a la humedad óptima en abscisas, conocer el contenido de humedad óptima es de mucha importancia ya que es de gran utilidad a la hora de buscar una solución para mejorar las propiedades resistentes a la fuerza cortante y densidad del suelo.



Figura 14. Muestra de suelo humedecido. Fuente: Elaboración propia.

Se divide la muestra en 5 partes y se va compactando con de 60 golpes de compactación a cada capa que ha sido previamente humedecido con un porcentaje de 2%, 4%, 6% y así sucesivamente hasta encontrar el límite máximo de humedad para esta muestra.



Figura 15. Golpes de compactación. Fuente: elaboración propia

2.4.5.4. Ensayo CBR ASTM D-1883, MTC E 132

El Ensayo CBR (California Bearing Ratio: Ensayo de Relación de Soporte de California) mide la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo y para poder evaluar la calidad del terreno para subrasante, sub base y base de pavimentos.

Se efectúa bajo condiciones controladas de humedad y densidad.

Procedimiento

La muestra se sumerge para poder prever la hipotética situación de acumulación de humedad en el suelo después de la construcción. Por ello, después de haber compactado el suelo y de haberlo sumergido, se lo

penetra con un pistón el cual está conectado a un pequeño "plotter" que genera una gráfica donde se representa la carga respecto la profundidad a la que ha penetrado el pistón dentro de la muestra.

La gráfica obtenida por lo general es una curva con el tramo inicial recto y el tramo final cóncavo hacia abajo; cuando el tramo inicial no es recto se le corrige.

Con la gráfica observamos los valores de la carga que soportaba el suelo cuando el pistón se había hundido 2.5 mm y 5mm y los expresamos en tanto por ciento (%), tomando como índice CBR el mayor de los porcentajes calculados.



Figura 16. Equipo utilizado para el ensayo. Fuente: elaboración propia.

2.4.5.5. Ensayo para determinar la resistencia a la compresión

Procedimiento

Ya que el pavimento de este estudio se encuentra realizada hace unos meses se procedió a sacar con diamantina 5 testigos los cuales fueron llevados al laboratorio para realizar la prueba.

En la plataforma de prueba inicialmente el lugar de la extracción de los testigos diamantinos se realizó el procedimiento siguiente:

Ubicación de cada punto de extracción.

Fijación del equipo saca testigos en el punto de extracción.

Extracción de los testigos utilizando un equipo de perforación (saca testigos) con broca de diamantina de diámetro de 4”.

Medición preliminar, identificación y embalaje apropiado de los testigos.

La labor realizada en el laboratorio con los testigos diamantinos incluye lo siguiente:

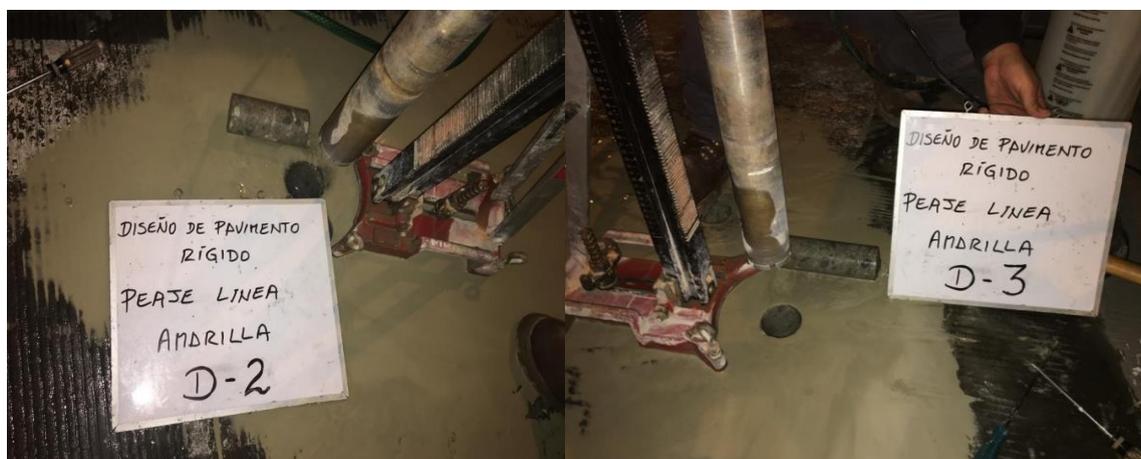
Medición de testigos diamantinos, altura y diámetro.

Peso de los testigos con balanza de precisión.

Regularizar las caras del testigo previo al ensayo de compresión.

Colocación de caping (refrentado).

Ensayo de resistencia a la compresión en prensa hidráulica.



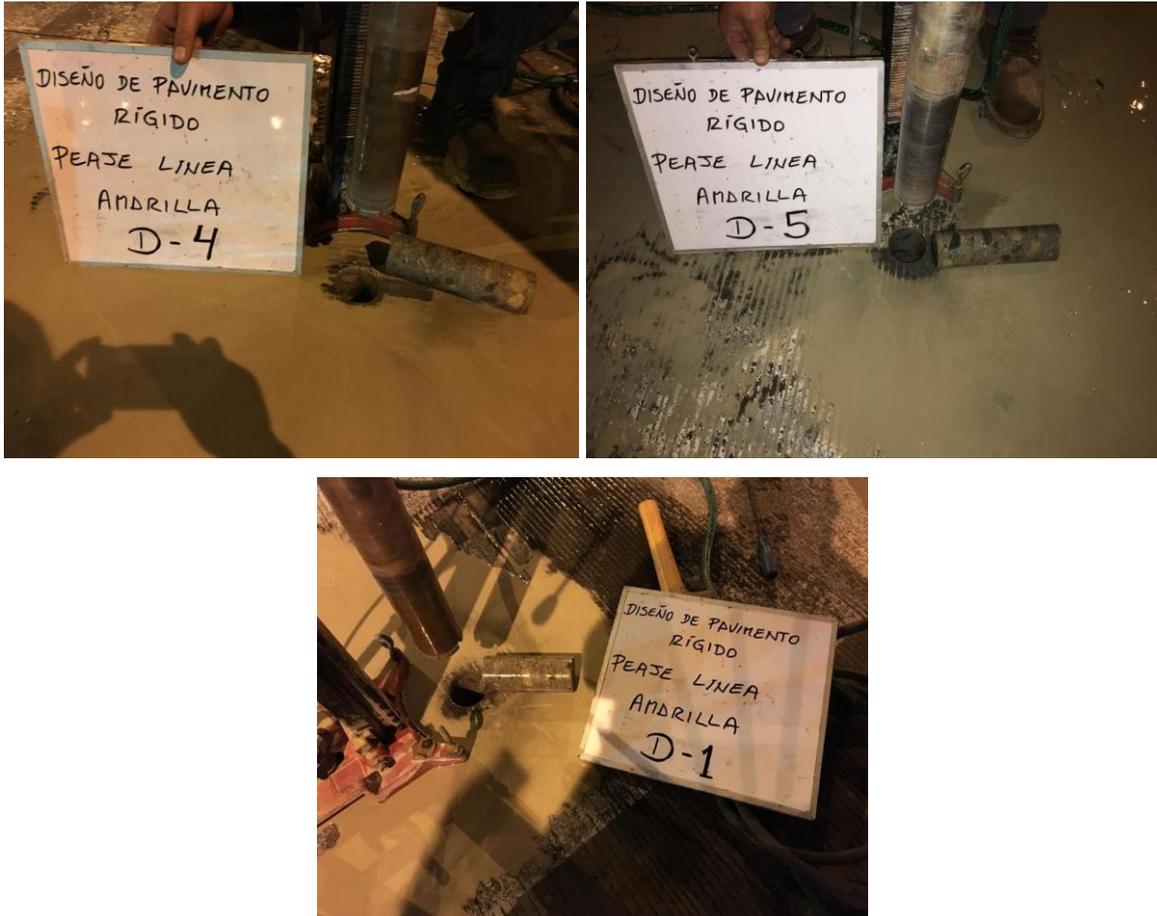


Figura 17. Testigos de concreto sacados del pavimento.
Fuente: Elaboracion propia.



Figura 18. Prensa Hidráulica, proceso de rotura.
Fuente: Elaboración propia.

2.4.6. Aspectos éticos

Para la realización de la presente investigación; el autor, se ha comprometido a lo siguiente:

- Respetar los derechos de autoría de los documentos utilizados; tales como: tesis, ensayos, artículos, etc. entre otros documentos, mediante las referencias y los textos que han sido citados.
- Respetar la confiabilidad de los datos que han sido brindados por la empresa contratista y la identidad de los colaboradores, que han servido para elaborar la presente investigación.

III RESULTADOS

3.1. Granulometría

Tabla N°. Resultados del ensayo de granulometría

TAMIZ	ABERTURA (mm)	% ACUMULADO QUE PASA
3"	76.200	100
2"	50.800	99.1
1 1/2"	38.100	97.3
1"	25.400	89.4
3/4"	19.050	80.7
3/8"	9.525	55.4
N°4	4.760	37.4
N°10	2.000	29.7
N°20	0.840	23.7
N°40	0.426	20.3
N°60	0.250	17.8
N°100	0.149	14.7
N°200	0.074	13.7

Tabla 11. Resultados de la granulometría. Elaboración propia.

Interpretación:

Según los resultados de análisis granulométrico por tamizado ASTM de la calicata, se logró determinar su clasificación SUCS como GC-GM que es un tipo de suelo denominado "Grava limo arcillosa", el cual contiene grava y arena con más de 12% (13.7%) de finos pasantes del tamiz n° 200 y > 50% (37.4%) de la fracción gruesa retenida en el tamiz n°4 (4.75 mm), según la clasificación AASHTO M- 145 es de tipo A2-4.

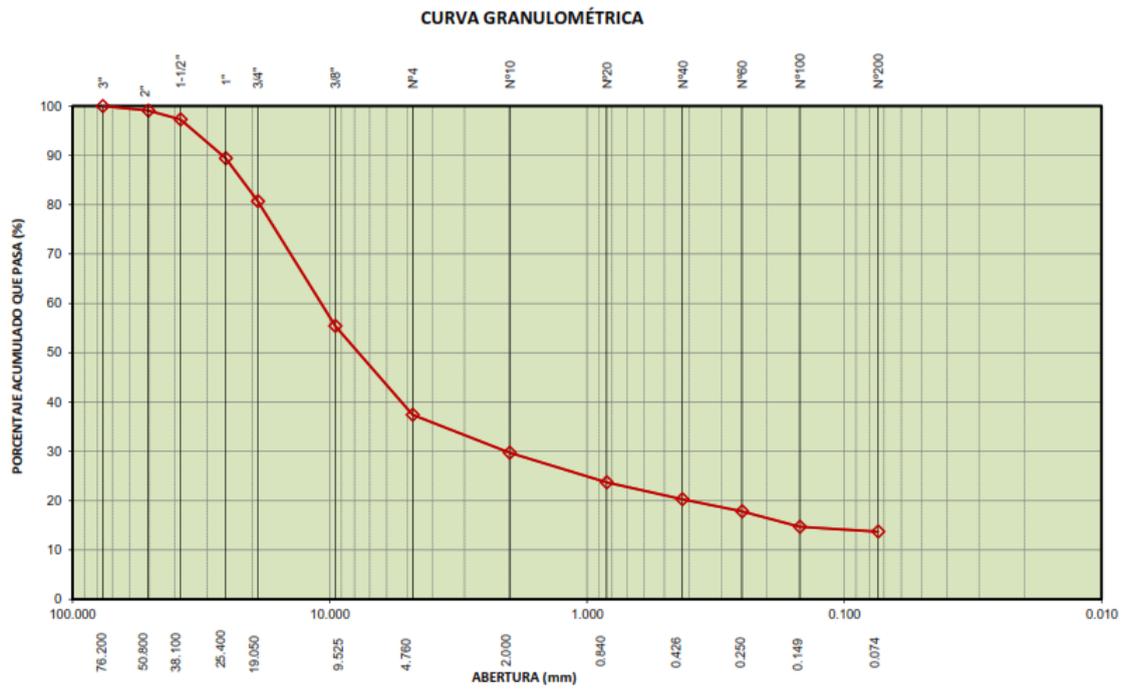


Figura 19. Curva relativa entre % acumulado que pasa y abertura.
Fuente: Elaboración propia.

3.2. Límites de Atterberg

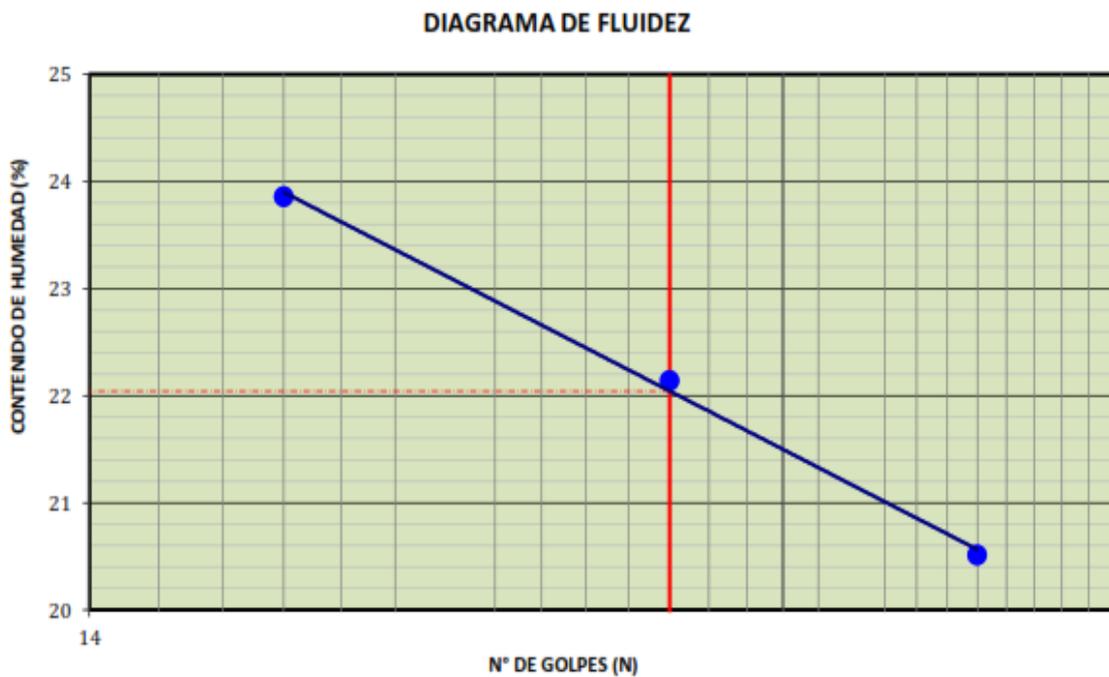


Figura 20. Relación entre contenido de humedad y numero de golpes.
Fuente: Elaboración propia

GRÁFICO DE PLASTICIDAD

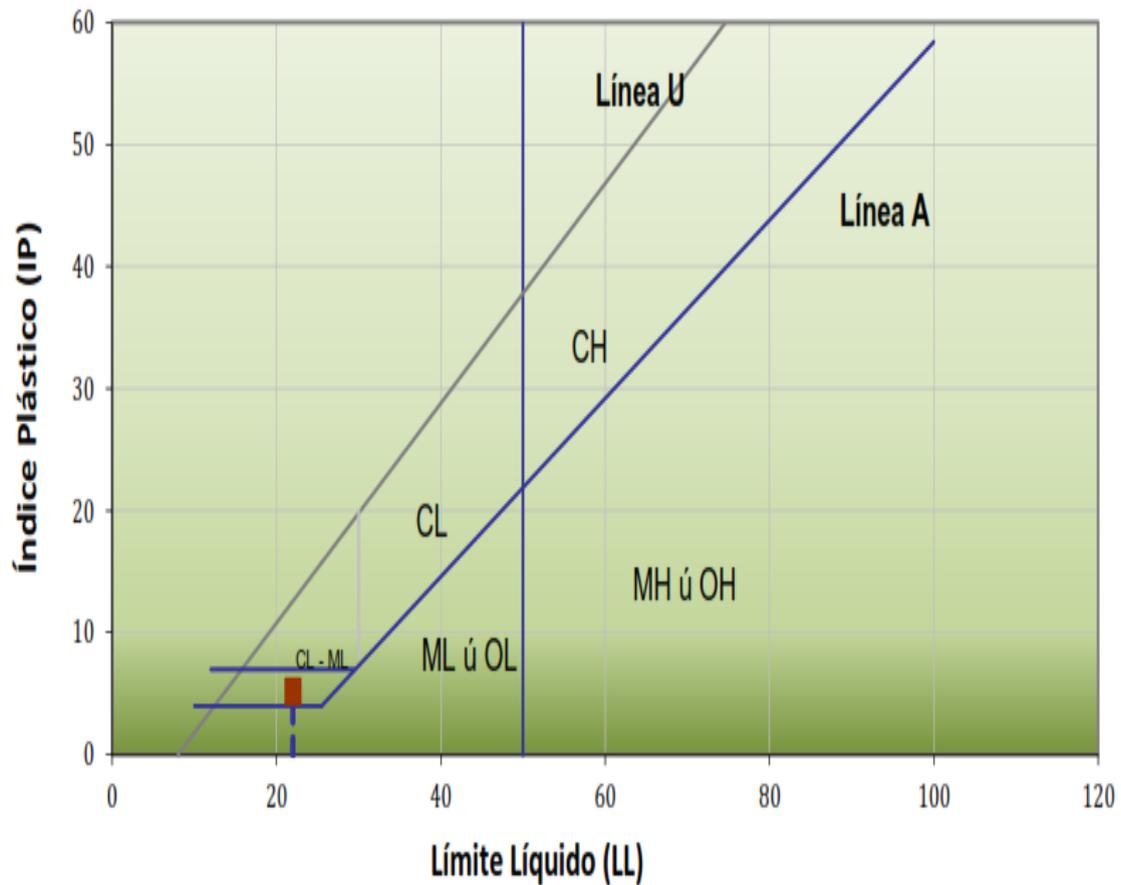


Figura 21. Límites de consistencia. Fuente: Elaboración propia

Interpretación

Según estos resultados esta muestra tiene un 3.7% de humedad, presenta un límite líquido de 22 %, límite plástico de 16.8%, y un índice de plasticidad de 5.2%.

$$LL - LP = IP$$

Con estos resultados podemos concluir que la estimación general de este suelo como sub rasante es bueno a excelente.

3.3 Proctor Modificado

Peso suelo compactado + molde (g)	11226.00	11468.20	11575.00	11509.90	
Peso molde (g)	6516.20	6516.20	6516.20	6516.20	
Peso humedo compactado (g)	4709.80	4952.00	5058.80	4993.70	
Volumen del molde (cm³)	2109.40	2109.40	2109.40	2109.40	
Densidad humeda (g/cm³)	2.23	2.35	2.40	2.37	
Recipiente N°	A74	A99	A34	A53	
Peso muestra humeda + tara (g)	905.30	1115.30	1063.80	1054.70	
Peso muestra seca + tara (g)	882.00	1067.20	1003.80	978.40	
Peso de tara (g)	176.80	180.00	194.60	183.60	
Peso de agua (g)	23.30	48.10	60.60	76.30	
Peso de muestra seca (g)	705.20	887.20	808.60	794.80	
Contenido de humedad (%)	3.30	5.40	7.50	9.60	
Densidad seca (g/cm³)	2.16	2.23	2.23	2.16	
Densidad maxima (g/cm³)				2.238	
Humedad optima (%)				6.78	

Tabla 12. Relación entre la humedad óptima y densidad máxima.

Fuente: Elaboración propia.

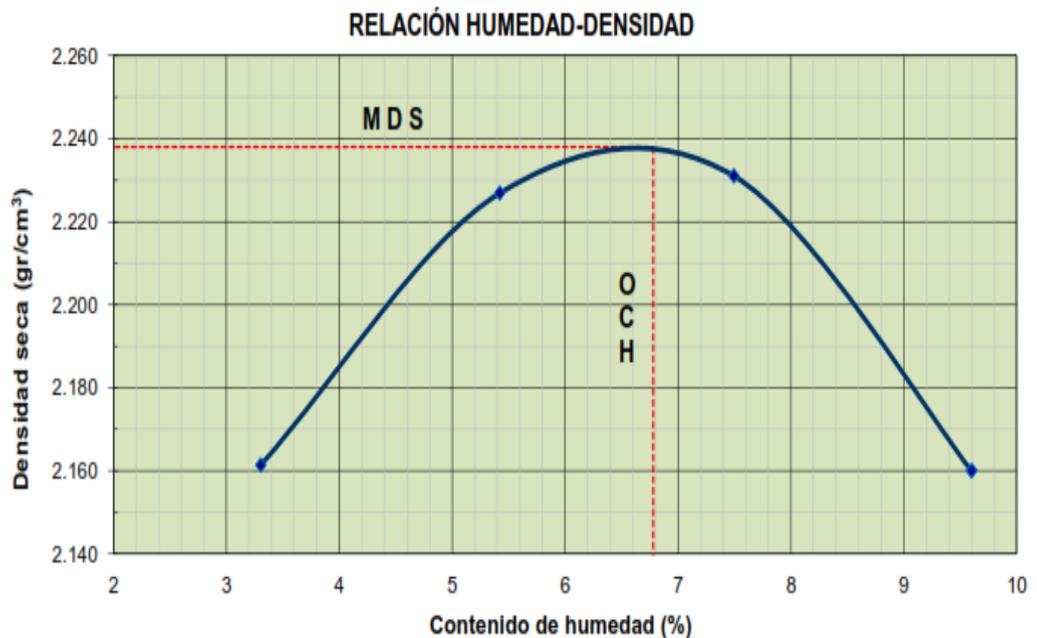


Figura 22. Relación de densidad seca con contenido de humedad.

Fuente: Elaboración propia

Interpretación

Según estos resultados nos indica que en aproximadamente 5 kg. De peso de suelo húmedo compactado con 60 golpes del pisón, logramos obtener una densidad seca máxima calculada en gr/cm³ que toma el valor de 2.238 y que esto se obtiene a una humedad optima de 6.78%. Con este resultado podemos llevar el control durante la construcción que permita asegurar que cumpla los parámetros de densidad requeridos.

3.4 CBR

PENETRACION (mm)	CARGA ESTANDAR (Kg/cm ²)	MOLDE N°				MOLDE N°				MOLDE N°			
		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION	
		Dial (div)	Kg	Kg	CBR (%)	Dial (div)	Kg	Kg	CBR (%)	Dial (div)	Kg	Kg	CBR (%)
0.000		0	0			0	0			0	0		
0.635		63	256			36	140			30	114		
1.270		130	545			73	300			57	231		
1.905		188	793			110	459			83	343		
2.540	70.5	236	998	990.0	72.6	148	622	639.6	46.9	112	467	470.5	34.5
3.810		330	1399			230	973			169	712		
5.080	105.7	411	1743	1764.9	86.3	300	1271	1254.9	61.4	230	973	974.8	47.7
6.350		488	2069			362	1535			288	1220		
7.620		560	2372			420	1781			340	1442		
10.160		676	2859			500	2119			400	1696		
12.700		755	3188			550	2330			420	1781		

Tabla 13. Relación de penetración en mm. - diferentes cargas.

Fuente: Elaboración propia

Interpretación

En la gráfica observamos los valores de la carga que soporta el suelo cuando el pistón se ha hundido 2.5 mm y 5mm. Para los diferentes moldes que fueron compactados con 12, 25 y 56 golpes respectivamente.

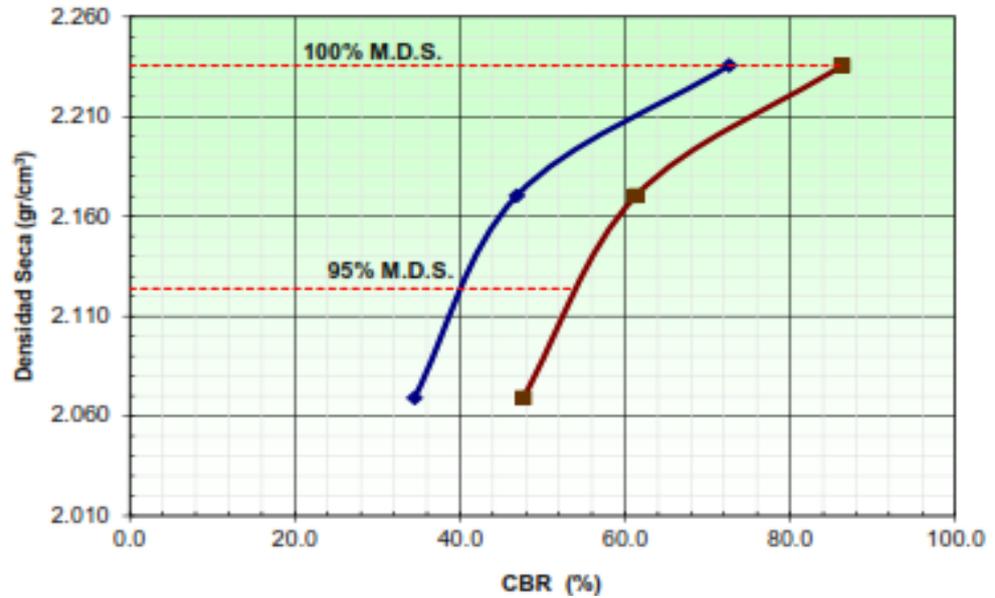


Figura 23. Relación entre máxima densidad seca y contenido óptimo de humedad. Fuente: Elaboración propia.

Se observa que arroja un valor de CBR al 95% de la máxima densidad seca de 37.2% (**S_s sub rasante excelente**) por otro lado, al 100% de la máxima densidad seca nos da un valor de 72.8%; según este valor y la clasificación de suelos nos indica que este suelo es bueno y como base y sub base y no requiere estabilización, este valor es el que se toma para el diseño de pavimentos.

El valor de la máxima densidad seca es de 2.236 g/cm³ y el óptimo contenido de humedad es de 6.810.

3.5 Secciones de estructuras del pavimento rígido

- En función a los parámetros requeridos por AASHTO y especificados en los cuadros anteriores, se ha determinado el espesor de la losa requerida para este proyecto, siguiendo los rangos de tipos de suelo y tráfico expresado en ejes equivalentes EE. Este diseño nos dio un espesor de subbase granular de 15 cm. y como espesor de losa de concreto 29.5 cm., este diseño se realizó con los parámetros que nos da el manual de carreteras, suelos, geología y pavimentos que fue

aprobado por RDN. °10-2014-MTC/14 que fueron calculados mediante una hoja de cálculo que se presenta a continuación.

- También se presenta el análisis de sensibilidad de los parámetros que intervienen en el diseño de una estructura de pavimento rígido, por el método propuesto por la Portland Cement Association (PCA) Edición 1984. Se tomó los mismos valores del cálculo de tránsito y las demás variables que tienen en común con el método AASHTO para realizar el análisis de la variación del espesor de la capa de rodadura del pavimento, en términos de los criterios de falla de fatiga y erosión, para los diferentes parámetros de diseño, para el cálculo de espesor de este método PCA edición 1984 se utilizó el programa BS-PCA desarrollado por los ingenieros de Colombia Efraín Solano y Carlos Benavides.

A continuación diseño de espesor de la losa con una hoja de cálculo según método AASTHO 93 y método PCA.

ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO RÍGIDO-AASHTO 93

Características del suelo de fundación

Características de los Materiales

CBR-Sub Rasante	5	Mr-Sub Rasante(psi)	7500
	<input checked="" type="radio"/> 1500.CBR	<input type="radio"/> 3000.CBR	<input type="radio"/> 4326.Ln(CBR)+241
	Mr-SubBase (psi)	150000	

Espesor de Sub Base = 6.00 in
Mk= 25.00 pci

DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE REACCIÓN EFECTIVO

*Mr: módulo resiliente

Datos de Diseño

ESAL's (ejes equiv. 8.2t)	3.28E+06	
Serviciabilidad Inicial (pi)	4.5	
Serviciabilidad Final (pt)	3	
Confiabilidad (R)	90	(Desplegable)
Desviación Estándar Total (So)	0.35	Pavimentos Rígidos entre 0.30 y 0.40
Coefficiente de Transferencia de Carga (J)	2.9	
Resistencia a Compresión C ^o (f'c)	300	Kg/cm2
Coefficiente de Drenaje (Cd)	1.1	
Módulo Ruptura (fr)	493	lb/pulg2
Módulo de Elasticidad Concreto (Es)	121609215	lb/pulg2
Diferencia de Serviciosibilidad (Δpsi)	1.5	
Desviación Estándar Normal (Zr)	-1.282	

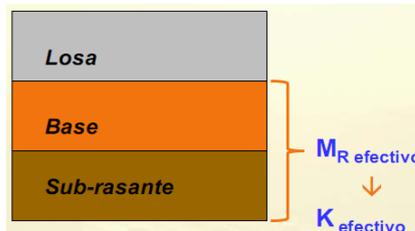
Calculos

	Losa Rígida
Mk-SubRasante-correctado	25.00 pci
log(Esal)	6.51644
Zr x So	-0.44870
log(ΔPsi/(4.5-1.5))	-0.30103

f(x) = 3.65E-01

Cálculo del Espesor "D"

Espesor de PAVIMENTO



Cálculo
D
"Espesor" D(in) = 11.58

"Espesor" D(cm) = 29.5

3.6 Procedimiento del diseño con el método del PCA.

La metodología de diseño PCA 84 parte del supuesto que el ingeniero proyectista, debido a su juicio experto, está en la capacidad de proponer un paquete estructural de pavimento, así como el mecanismo de transferencia de cargas entre paños y el mecanismo de confinamiento lateral, como alternativa al método AASHTO.

Con los mismos resultados obtenidos por los ensayos, se procede a determinar los valores de cada variable del diseño, adicionando los factores de fatiga y erosión.

IMDA	LIGEROS	BUSES	CAMIONES		ARTICULADOS
	Autos	B3	C2	C3	T3S3
	7500	1200	600	500	300

Tabla 14. IMDA de estudio vial. Fuente: Elaboración propia

Datos para el cálculo del espesor de losa:

Tomamos los datos calculados por el método anterior.

- CBR sub rasante: 37.2
- Datos de la sub base: tipo GC-GM
- Espesor de subbase: 15 cm.

VARIABLE	VALOR UTILIZADO EN EL ANALISIS
resistencia a la flexión del concreto	42 Kg/cm ²
módulo de elasticidad del concreto	4, 000 000 psi
módulo de reacción K	409.7 psi
Periodo de diseño	50 años
TPDA	10 000
número de carriles por sentido	3
factor de sentido	0.5
factor de carril	0.69
tasa de crecimiento	10.40%
factor de seguridad	1.2
dispositivo de transferencia de carga	si

Tabla 15. Variables y valores para el método PCA. Fuente elaboración propia.

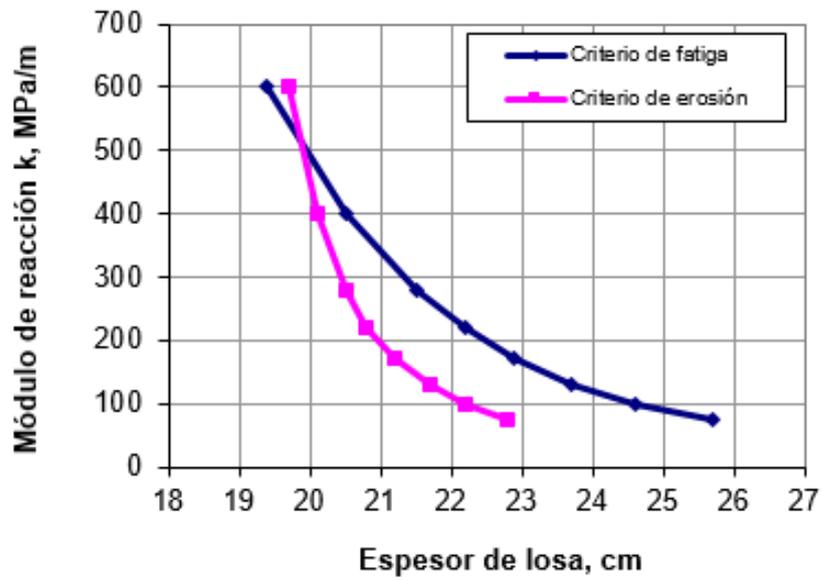


Figura 24. Curva K vs. Espesor de losa. Fuente: Elaboración propia

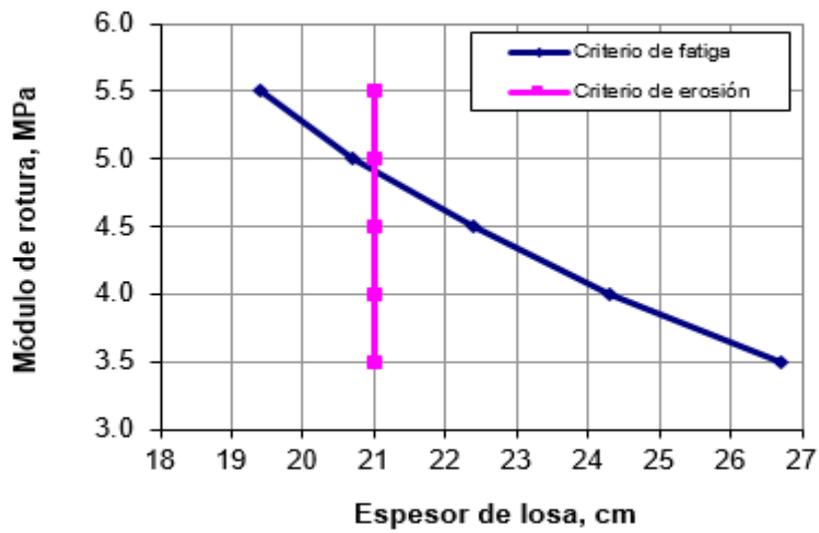


Figura 25. Curva Mpa vs. Espesor de losa. Fuente: Elaboración propia

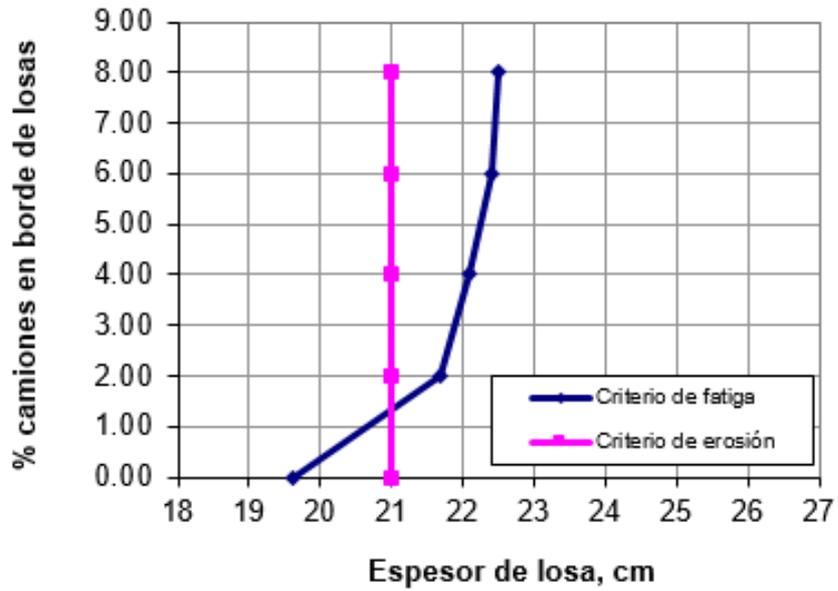


Figura 26. Curva % camiones en bordes de losa vs. Espesor de losa.

Fuente: Elaboración propia

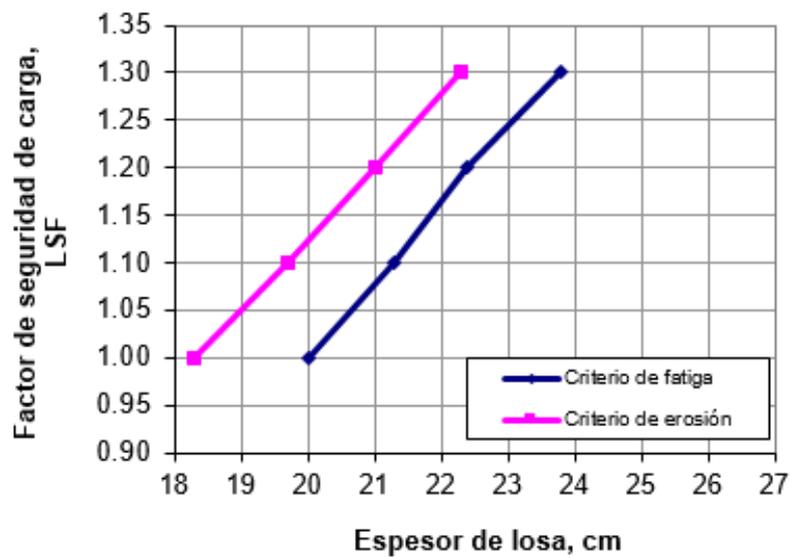


Figura 27. Curva factor de seguridad LSF vs. Espesor de losa.

Fuente: Elaboración propia

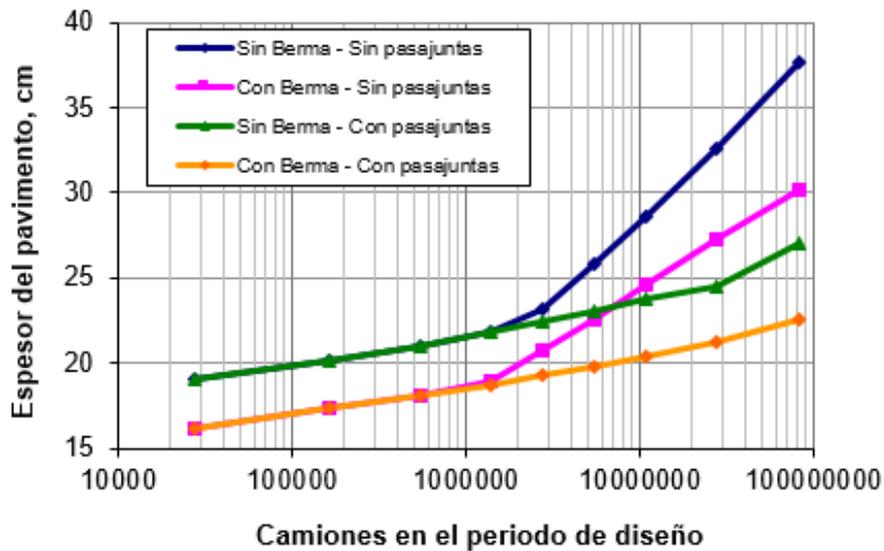


Figura 28. Curva Camiones (sin berma- con pasa juntas) vs. Espesor de losa.
Fuente: Elaboración propia

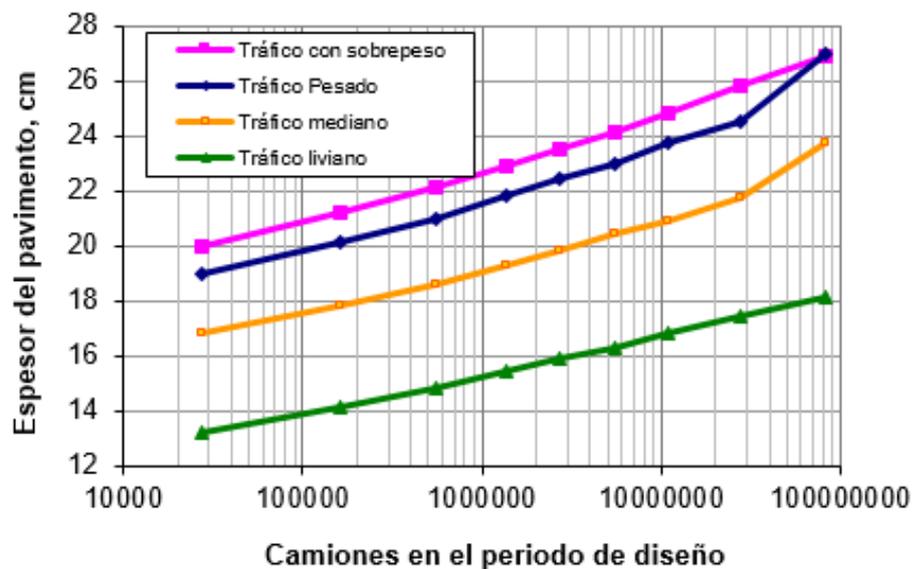


Figura 29. Curva Camiones (tráfico pesado) vs. Espesor de losa.
Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a estos valores de tablas y graficados en relación a los centímetros de espesor de losa, pasamos los valores a la hoja de cálculo para el diseño del espesor que sigue a continuación, que nos da un resultado de 26.5 cm de espesor de losa (3 cm. menos que el método AASHTO) lo cual es una disminución importante en el costo de ejecución.

Diseño de Pavimentos de Hormigón Método de la Portland Cement Association PCA 84

Christian O. Rojas Torrico
Ingeniero civil, Magister en Ingeniería Vial

Cochabamba - Bolivia
christianrojas@hotmail.com

Datos Generales

Proyecto: Plazas de peaje via expresa linea amarilla
Tipo de carretera: Autopista
Numero de carriles por sentido: 3
Bermas de hormigón: No
Barras pasajuntas: Si
Tipo de subbase: Granular
Observaciones adicionales: GC-GM

Periodo de diseño: 50 años
Tipo de distribución de cargas de tráfico: Pesado tipo 2
% camiones que circulan sobre el borde del pavimento: 6.0 % (Método PCA considera el 6%)
Factor de seguridad de cargas: 1.2

T.P.D.A. (incluyendo vehículos livianos)= 10,000.00 vehículos/día
Porcentaje de vehículos pesados en el tráfico: 18.0%
Tasa de crecimiento anual: 10.4%
Factor de distribución por carril: 0.69
Factor direccional: 50%

Cálculo de espesor por Fatiga

Cálculo de espesor por Erosión

Tráfico de diseño (solo camiones pesados): 300,578,839 (vehículos de más de cuatro llantas)

PLANILLA DE CÁLCULO DE ESPESORES						
Valor CBR subrasante: 37.2 %					Espesor losa de Hormigón: 26.5 cm	
Módulo k de subrasante:	111.0 MPa/m	409.7 pci				
Modulo k combinado:	122.0 MPa/m	450.1 pci				
Modulo de rotura:	4.4819 Mpa	650.0 psi				
Varianza de resistencia: 15% (Método considera 15%)					Espesor subbase: 15.0 cm	
Carga por eje (Ton)	Corrección carga por LSF	Repeticiones en el periodo de diseño	Análisis por fatiga		Análisis por erosión	
			Repeticiones admisibles	Acumulación de fatiga	Repeticiones admisibles	Acumulación erosión
EJES SENCILLOS						
Esfuerzo equivalente:		1.0 MPa	143.9 psi			
Relación de esfuerzos:		0.221				
15.4	18.5	-	2751298	0.0%	2111152	0.0%
14.5	17.4	-	47263870	0.0%	3074911	0.0%
13.6	16.3	175,338	Ilimitadas		4657266	3.8%
12.7	15.3	407,034	Ilimitadas		7426101	5.5%
11.8	14.2	832,854	Ilimitadas		12716088	6.5%
10.9	13.1	1,778,425	Ilimitadas		24229045	7.3%
10.0	12.0	2,955,692	Ilimitadas		55336988	5.3%
9.1	10.9	6,512,542	Ilimitadas		186612494	3.5%
8.2	9.8	8,491,352	Ilimitadas		3969981852	0.2%
7.3	8.7	11,672,478	Ilimitadas		Ilimitadas	
6.4	7.6	16,212,471	Ilimitadas		Ilimitadas	
5.4	6.5	50,753,989	Ilimitadas		Ilimitadas	
4.5	5.4	-	Ilimitadas		Ilimitadas	
3.6	4.4	-	Ilimitadas		Ilimitadas	
2.7	3.3	-	Ilimitadas		Ilimitadas	
1.8	2.2	-	Ilimitadas		Ilimitadas	
EJES TANDEM						
Esfuerzo equivalente:		0.9 MPa	123.4 psi			
Relación de esfuerzos:		0.190				
27.2	32.7	-	Ilimitadas		1873226	0.0%
25.4	30.5	-	Ilimitadas		2864446	0.0%
23.6	28.3	588,634	Ilimitadas		4605090	12.8%
21.8	26.2	1,183,529	Ilimitadas		7927883	14.9%
20.0	24.0	3,450,395	Ilimitadas		15090942	22.9%
18.2	21.8	10,301,087	Ilimitadas		33883718	30.4%
16.3	19.6	24,472,127	Ilimitadas		106190131	23.0%
14.5	17.4	25,712,015	Ilimitadas		1083564710	2.4%
12.7	15.3	45,756,866	Ilimitadas		Ilimitadas	
10.9	13.1	27,208,647	Ilimitadas		Ilimitadas	
9.1	10.9	33,909,050	Ilimitadas		Ilimitadas	
7.3	8.7	37,478,424	Ilimitadas		Ilimitadas	
5.4	6.5	-	Ilimitadas		Ilimitadas	
3.6	4.4	-	Ilimitadas		Ilimitadas	
1.8	2.2	-	Ilimitadas		Ilimitadas	
			Total Fatiga =	0.0%	Total Erosión =	138.6%

Interpretación de ambos métodos AASHTO Y PCA complementados

Al observar el desarrollo de ambos métodos podemos notar la diferencia en el espesor de la losa de 3cm. debido a que el método PCA no toma en cuenta todas las variables que toma el método AASHTO, toma en cuenta las que considera las más determinantes en las fallas de la losa y las relaciona con los criterios de la fatiga y erosión los cuales nos dan valores que son tomados en cuenta en el cálculo del espesor de la losa.

3.7 Ensayos de resistencia a la compresión con testigos diamantinos

Como es ya conocido, esta obra fue entregada hace unos meses y para el estudio se ha realizado ensayos de compresión a 5 testigos diamantinos que fueron extraídos del pavimento, a continuación se adjunta los resultados de estos.

Identificación de la Muestra	Fecha de Extracción	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Área (cm ²)	Carga Total (kg)	Factor de Corrección (Altura/ Diámetro)	Resistencia a la Compresión (Kg/cm ²)	Resistencia a la Compresión (MPa)	Tipo de Fractura
L-A / D-1	4/10/2018	5.80	12.0	26.4	9826	1.0	375	36.8	2

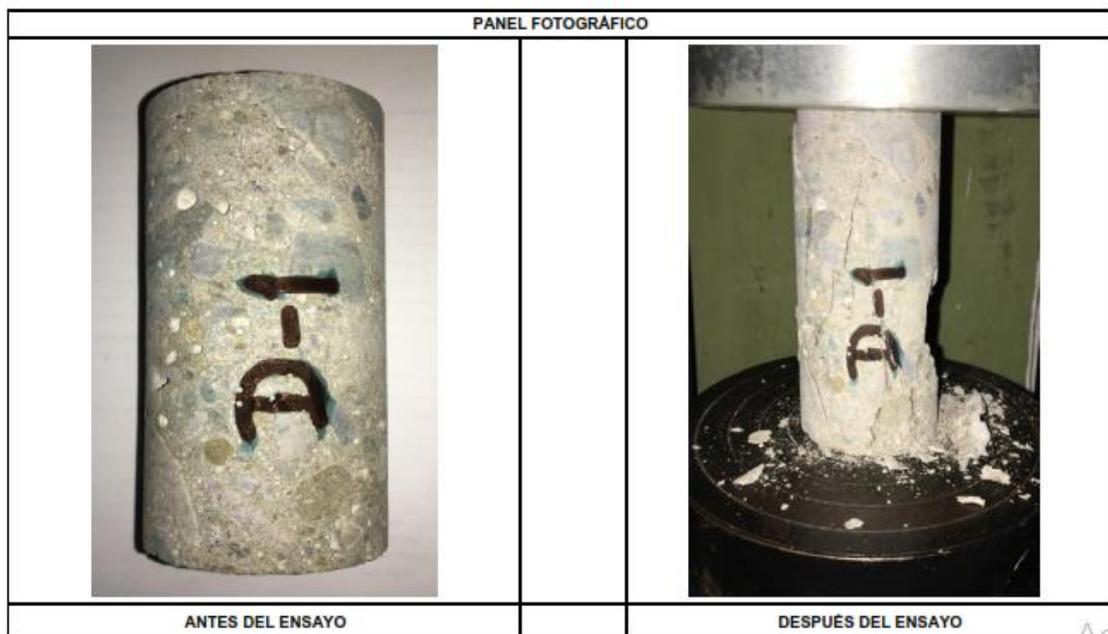


Figura 30. Resultados primer testigo diamantino. Fuente: Elaboración propia.

Identificación de la Muestra	Fecha de Extracción	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Área (cm ²)	Carga Total (kg)	Factor de Corrección (Altura/ Diámetro)	Resistencia a la Compresión (Kg/cm ²)	Resistencia a la Compresión (MPa)	Tipo de Fractura
L-A / D-2	4/10/2018	5.80	12.0	26.4	9487	1.0	362	35.5	2

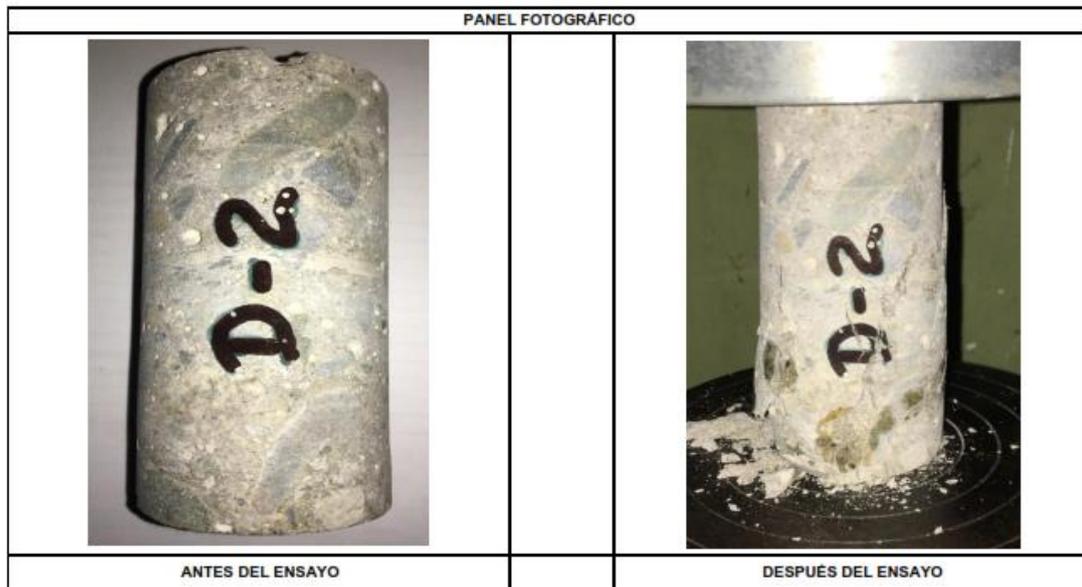


Figura 31. Resultados segundo testigo diamantino. Fuente: Elaboración propia.

Identificación de la Muestra	Fecha de Extracción	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Área (cm ²)	Carga Total (kg)	Factor de Corrección (Altura/ Diámetro)	Resistencia a la Compresión (Kg/cm ²)	Resistencia a la Compresión (MPa)	Tipo de Fractura
L-A / D-3	4/10/2018	5.80	12.0	26.4	8562	1.0	327	32.1	2



Figura 32. Resultados tercer testigo diamantino. Fuente: Elaboración propia.

Interpretación

Se puede ver en los ensayos realizados a los 5 testigos diamantinos que tienen como altura 12 cm. se le aplicó una carga que varía entre 8562 y 9826 kg. Para los 5 testigos y nos arroja una resistencia de compresión mínima de 327 kg/cm² y máxima de 375 kg/cm², este pavimento fue elaborado con un concreto cuyo $f_c' = 300$ kg/cm² la cual al pasar los meses se ha elevado como es natural.

Por lo tanto podemos concluir que este concreto está en su óptima resistencia.

IV DISCUSIÓN

H1: “La aplicación del MTC 2014 en el diseño de pavimentos rígidos influye en la optimización de la transitabilidad vehicular en el proyecto plazas de peaje vía expresa line amarilla”.

En la investigación de Delgado y Quispe, “Diseño del pavimento de un aeropuerto” (2012). El concluye que hay muchas ventajas del pavimento rígido ante el flexible en el tema de optimizar la transitabilidad vehicular y hacerlo más fluido, en la presente investigación se reafirma esta conclusión ya que estudios actuales de la realidad problemática en el tema de transito nos indica que el pavimento rígido por su duración, menor mantenimiento y nuevos procesos y tecnologías que lo mejoran día a día, sin duda conlleva a una transitabilidad fluida y por mas tiempo.

H2: “Al aplicar el MTC 2014 en el diseño de pavimentos rígidos se optimizara los costos de los recursos en el proyecto plazas de peaje vía expresa línea amarilla”.

Rengifo, “Diseño de los pavimentos de la nueva carretera panamericana norte en el tramo de Huacho a Pativilca (km 188 a 189)” (2014). En esta investigación se llega a la conclusión que al hacer el diseño en los dos tipos tanto flexible como rígido hay una considerable diferencia en el tema económico pero en el momento actual, luego de unos pocos años de seguimiento estadístico el pavimento flexible requiere mantenimiento ya que el desgaste y fatiga es mucho mayor; en la presente investigación reafirma esta conclusión ya que esto se debe a que las carpetas asfálticas son nobles, en el sentido que permiten la construcción en espesores menores que los rígidos, lo cual lleva a los constructores a abusar de esa nobleza para abaratar los costos de construcción y que la obra resulte “económica” dejando de lado los costos que se van a generar por conservación y por operación, con el MTC 2014 ya que propone que el proyectista puede aportar nuevas tecnologías o procedimientos este

estudio propone el diseño por el PCA que nos da un menor espesor de pavimento y que soporta las mismas cargas de tránsito y todas las variables que influye en él, esto en kilómetros de concreto el ahorro económico es muy considerable.

H3: “Aplicando el MTC 2014 en el diseño de pavimentos rígidos se optimizara la calidad de vida de las personas e influirá en el crecimiento económico del país”.

Inciarte, “Análisis comparativo de métodos de diseño y construcción de pavimentos de concreto hidráulico según normas aplicadas en México, Reino Unido y España” (2012). En esta investigación una de sus conclusiones es que es muy importante para el crecimiento de un país la infraestructura vial y a su vez para los habitantes ya que mejora su calidad de vida, en la presente investigación también se concluye que aplicando esta alternativa que nos da el MTC 2014 de utilizar propuestas que no se usan en nuestro país y que sea un aporte positivo para que el uso de pavimentos rígidos sea cada vez más común y esto conlleva a una infraestructura vial optima con una garantía mayor en cuanto a años, lo que también repercute en los habitantes en su calidad de vida ya que al pasar menos tiempo transportándonos de un lugar a otro nos beneficia en salud ya que el estrés que se vive en un tráfico de flujo aglomerado de vehículos es causante de enfermedades, nos beneficia en tiempo para más actividades por el menor tiempo de traslado y ahorro de combustible ya que sabemos que en un tránsito de flujo aglomerado de vehículos se gasta más combustible en comparación que un tránsito libre, estos beneficios nos lleva a mejorar la economía propia de cada uno y por consiguiente del país.

H4: “Con la aplicación del MTC 2014 en el diseño de pavimentos rígidos se desarrollara una metodología practica que permitirá mejorar la transitabilidad vehicular”.

Rengifo, en su tesis titulada “Diseño de los pavimentos de la nueva Carretera Panamericana Norte en el tramo de Huacho a Pativilca” (2014). En esta investigación una de sus conclusiones nos dice en el caso del pavimento rígido con concreto hidráulico se advierte un método practico en el diseño ya que mientras para el diseño con el método de la AASHTO se requiere 15 cm de base y 35 cm., el diseño por la PCA sólo requiere 30 cm de concreto con el mismo espesor de base, la presente investigación verifico la practicidad de esta metodología por el uso de las variables que para este método son las más relevantes pero contrasta con el antecedente ya que no necesariamente serán 5 cm. de diferencia en todos los casos porque según la aplicación en este caso particular en nuestro país, se obtuvo una diferencia entre en el diseño AASHTO y PCA de 3cm. en el espesor de losa.

V CONCLUSIONES

- Realizados los diseños de las estructuras de pavimento, para las diferentes metodologías, se encontró, que cada una contempla parámetros que según el método considera son los influyentes en el diseño generando una variación en los dimensionamientos finales, en general se observó que todas las metodologías contemplaban cinco parámetros fundamentales, tal como tal como el estudio del tráfico, la resistencia de la sub rasante K, la resistencia a la flexo tracción del concreto MR, el periodo del diseño y los factores de seguridad LSF; pero es necesario hacer los análisis y cálculos respectivos ya que la diferencia en el espesor de losa de ambos métodos puede regir de acuerdo al lugar y a los resultados de los ensayos.
- Al evaluar ambas metodologías se concluye efectivamente la diferencia en el tema económico debido básicamente a la cantidad de concreto que se ahorra por la diferencia de espesores de losa.
- De acuerdo a los resultados alcanzados y los análisis efectuados, se considera que la metodología AASHTO 93, realiza un diseño más detallado de acuerdo a las características intrínsecas del proyecto, sin embargo es de gran importancia considerar que un modelo entre más variables requiera, mayor es la incertidumbre, debido a que será necesario que cada variable refleje exactamente las condiciones que está representando, de lo contrario empezaría a generar imprecisión en los resultados del modelo, afectando los dimensionamientos finales.
- Este diseño con la metodología AASTHO y PCA ha sido analizado y simulado con programas de diseño y nos arroja que ambos cumplen con las exigencias del tráfico y las cargas de ejes equivalentes que se exigen en el diseño; por lo tanto podemos concluir que el uso de este método PCA es eficiente y se adecua a nuestro país.

VI RECOMENDACIONES

- Se recomienda a los proyectistas en nuestro país el uso de la metodología del PCA, ya que hoy en día es muy usado a nivel internacional, con este método podemos ofrecer una disminución económica significativa en la realización de estas obras cumpliendo con las exigencias de tránsito y cargas de nuestro país, para así poder hacer más frecuente la pavimentación rígida.
- Ya que este método PCA no toma en cuenta factores de clima, se recomienda no usar en lugares de nuestro país que tengan condiciones climáticas desfavorables o propensos a fenómenos climáticos como la constante lluvia, nieve o granizo.
- Es recomendable el uso del concreto hidráulico en pavimentación ya que este tipo de concreto no absorbe la humedad, permanece más tiempo sólido, tiene mejor tracción (reduce en 15% la distancia de frenado), es sustentable ya que absorbe menos calor y reduce el calentamiento global y está comprobado que por duración al final es 30% más barato que otro tipos de pavimento según estudios estadísticos realizados por el antecedente en México.
- En definitiva según este estudio y los antecedentes mostrados se recomienda el uso del pavimento rígido para mejorar la transitabilidad vehicular no solo por su duración sino también por la fluidez que ofrece y la protección al medio ambiente que se daría al producir menos CO₂.

VII REFERENCIAS

ARGUELLES, Camilo y MORA, Andrés. 2015. Diseño de Pavimento Rígido para la Urbanización Caballero y Congora, Municipio de Honda – Tolima. *Tesis (Especialista en Ingeniería de Pavimentos)*. Bogotá: Universidad Católica de Colombia. [En línea] 2015. <http://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/2687/1/dise%C3%B1o%20de%20pavimento%20r%C3%ADido%20para%20la%20urbanizaci%C3%B3n%20Caballero%20Gongora%20Municipio%20de%20Honda-Tolima.pdf>.

BERNAOLA, Roberto. 2014. Evaluación y Determinación del Índice de Condición del Pavimento Rígido en la Av. Huancavelica, Distrito Chilca, Huancayo. *Tesis (Ingeniero Civil)*. Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú, 2014. [En línea] 2014. http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/391/TCIV_02.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

BECERRA, Mario. 2012. Tópicos de pavimentos de concreto; diseño, construcción y supervisión. Ciudad de Lima 2012

DELGADO, Fabiola y QUISPE, Candy. 2012. Diseño del Pavimento de un Aeropuerto. *Tesis (Ingeniero Civil)*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú. [En línea] 2012. http://tesis.pucp.edu.pe:8080/repositorio/bitstream/handle/123456789/1640/DELGADO_FABIOLA_Y_QUISPE_CANDY_PAVIMENTO_AEROPUERTO.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

FLORES, Edgar. 2016. Determinación y Evaluación de las Patologías del Concreto para obtener el Índice de Integridad Estructural del Pavimento Rígido y Condición Operacional en la avenida Perú del distrito de Carmen Alto, Provincia de Huamanga. *Departamento de Ayacucho, agosto - 2016. Tesis (Ingeniero Civil)*. Ayacucho: Universidad Católica Los Ángeles de Chimbote. [En línea] 2016. http://repositorio.uladech.edu.pe/bitstream/handle/123456789/1290/PATOLOGIAS_DEL_CONCRETO_FLORES_HUAMAN_EDGAR_GILBERTO.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

INCIARTE, Carmen. 2012. Análisis Comparativo de Métodos de Diseño y Construcción de Pavimentos de Concreto Hidráulico según Normas aplicadas en México, Reino Unido y España. *Tesis (Maestría en Ingeniería Civil)*. México: Universidad Nacional Autónoma de México. [En línea] 2012.

<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/5180/Tesis.pdf?sequence=1>.

MONTALVO, Marco. 2015. Pavimentos Rígidos Reforzados con Fibras de Acero versus Pavimentos Tradicionales. *Tesis (Ingeniero Civil)*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú. [En línea] 2015.

http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/123456789/6117/MONTALVO_MARCO_PAVIMENTOS_FIBRAS.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

MTC. 2008. Glosario de términos de uso frecuente en proyectos de infraestructura vial. Lima: Dirección General de Caminos y Ferrocarriles. [En línea] 2008.

http://www.proviasnac.gob.pe/Archivos/file/glosario_final_con_RM.pdf.

MTC. 2014. Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, Sección Suelos y Pavimentos. Lima: Dirección General de Caminos y Ferrocarriles. [En línea] 2014.

http://www.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/Seccion%20Suelos%20y%20Pavimentos_Manual_de_Carreteras.pdf.

NIETO, Jhonny. 2016. Comparación entre los Métodos de Diseño de Pavimentos en Colombia, España e Italia. *Tesis (Ingeniero Civil)*. Bogotá: Universidad Militar Nueva Granada. [En línea] 2016.

https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/15930/1/NIETOGALVISJHONNYM_AURICIO2016.pdf.

RENGIFO, Kimiko. 2014. Diseño de los Pavimentos de la Nueva Carretera Panamericana Norte en el tramo de Huacho a Pativilca (Km 188 a 189). *Tesis (Ingeniero Civil)*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú. [En línea] 2014.

http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/123456789/5826/RENGIFO_KIMIK

O_PAVIMENTOS_CARRETERA_HUACHO_PATIVILCA.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

RODRIGUEZ, Walabonso. 2011. Guía de la Investigación Científica. [En línea] 2011.
http://repositorio.uch.edu.pe/bitstream/handle/uch/23/rodriguez_arainaga_walabonso_guia%20investigacion_cientifica.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

RODRIGUEZ, Yony. 2016. Evaluación de la condición operacional del Pavimento Rígido, aplicando el Método del Pavement Condition INDEX (PCI), en las pistas del barrio El Triunfo, distrito de Carhuaz, provincia de Carhuaz, Región Ancash, Diciembre 2015. *Tesis (Ingeniero Civil). Lima: Pontificia Universidad Católica Los Ángeles de Chimbote.* [En línea] 2016.
http://repositorio.uladech.edu.pe/bitstream/handle/123456789/699/CONDICION_OPERACIONAL_RODRIGUEZ_MINAYA_YONY_EDWIN.pdf?sequence=1.

Uaconcagua. s/f. Diseños no experimentales. [En línea] s/f.
<http://www.lapaginadelprofe.cl/Uaconcagua/7Dise%C3%B1osnoExperimentales.pdf>.

VIII. ANEXOS

Anexo 1: Ficha N°1 de validación de datos.

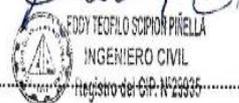
	INSTRUMENTO DE RECOPIACIÓN DE DATOS	EXPERTO A
---	-------------------------------------	-----------

PROYECTO	Aplicación del diseño del MTC 2014 para optimizar la transitabilidad vehicular en pavimentos rígidos. Proyecto Plazas de Peaje Vía Expresa Línea Amarilla - Lima, 2018
Autor:	<u>Pablo Jhonny Alatriza Cruz</u>

Información General:

Ubicación	Altitud:	131m
Distrito: Cercado de Lima	Latitud:	12° 02' 23" S
Provincia: Lima	Longitud:	77° 02' 33" O
Departamento: Lima		

I	ENSAYOS REALIZADOS AL SUELO				/
	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO	LÍMITES DE ATTERBERG	PROCTOR MODIFICADO	ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO CBR	
	ASTM-D422	ASTM-D4318	ASTM-D1557	ASTM-D1883	
II	CÁLCULO DEL ESPESOR DE LA LOSA MÉTODO ASSHTO				/
	ÍNDICE MEDIO DIARIO ANUAL IMDA	SERVICIABILIDAD INICIAL (Pi)	DESVIACIÓN ESTÁNDAR (Zr)	MÓDULO ELÁSTICO DEL CONCRETO	
	EL TRANSITO ESALs	DIFERENCIAL DE SERVICIABILIDAD (ΔPSI)	MÓDULO DE REACCIÓN "K"	DRENAJE (Cd)	
	EJES EQUIVALENTES	CONFIABILIDAD "R"	RESISTENCIA A LA FLEXOTRACCIÓN (MR)	COEFICIENTE DE TRANSMISIÓN DE CARGA "J"	
III	CÁLCULO DEL ESPESOR DE LA LOSA MÉTODO PCA				/
	TRANSITO CARGAS	FACTOR DE SENTIDO	RESISTENCIA A LA FLEXOTRACCIÓN (MR)	FACTOR DE SEGURIDAD	
	TPDA	MÓDULO DE REACCIÓN "K"	MÓDULO ELÁSTICO DEL CONCRETO	PERÍODO DE DISEÑO	
IV	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE TESTIGOS DIAMANTINOS DE CONCRETO				/
	DIÁMETRO	ALTURA	CARGA TOTAL	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	

Firma y Sello

Anexo 2: Ficha N°2 de validación de datos.

	INSTRUMENTO DE RECOPIACIÓN DE DATOS	EXPERTO B
PROYECTO	Aplicacion del diseño del MTC 2014 para optimizar la transitabilidad vehicular en pavimentos rígidos. Proyecto Plazas de Peaje Vía Expresa Línea Amarilla - Lima, 2018	

Autor: Pablo Jhonny Alatriza Cruz

Información General:

Ubicación	Altitud:	131m
Distrito: Cercado de Lima	Latitud:	12° 02' 23" S
Provincia: Lima	Longitud:	77° 02' 33" O
Departamento: Lima		

I	ENSAYOS REALIZADOS AL SUELO				/
	ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO	LIMITES DE ATTERBERG	PROCTOR MODIFICADO	ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO CBR	
	ASTM-D422	ASTM-D4318	ASTM-D1557	ASTM-D1883	
II	CALCULO DEL ESPESOR DE LA LOSA METODO ASSHTO				/
	INDICE MEDIO DIARIO ANUAL IMDA	SERVICIABILIDAD INICIAL (Pi)	DESVIACION ESTANDAR (Zr)	MODULO ELASTICO DEL CONCRETO	
	EL TRANSITO ESALs	DIFERENCIAL DE SERVICIABILIDAD (ΔPSI)	MODULO DE REACCION "K"	DRENAJE (Cd)	
	EJES EQUIVALENTES	CONFIABILIDAD "R"	RESISTENCIA A LA FLEXOTRACCION (MR)	COEFICIENTE DE TRANSMISION DE CARGA "J"	
III	CALCULO DEL ESPESOR DE LA LOSA METODO PCA				/
	TRANSITO CARGAS	FACTOR DE SENTIDO	RESISTENCIA A LA FLEXOTRACCION (MR)	FACTOR DE SEGURIDAD	
	TPDA	MODULO DE REACCION "K"	MODULO ELASTICO DEL CONCRETO	PERIODO DE DISEÑO	
IV	RESISTENCIA A LA COMPRESION DE TESTIGOS DIAMANTINOS DE CONCRETO				/
	DIAMETRO	ALTURA	CARGA TOTAL	RESISTENCIA A LA COMPRESION	


 GUSTAVO ADOLFO
 AYBARRIOLA
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP N° 47898

Anexo 3: Ficha N°3 de validación de datos.

				INSTRUMENTO DE RECOPIACIÓN DE DATOS				EXPERTO C	
PROYECTO Aplicacion del diseño del MTC 2014 para optimizar la transitabilidad vehicular en pavimentos rígidos. Proyecto Plazas de Peaje Vía Expresa Línea Amarilla - Lima, 2018									
Autor: Pablo Jhonny Alatrística Cruz									
Información General:									
Ubicación					Altitud: 131m				
Distrito: Cercado de Lima					Latitud: 12° 02' 23" S				
Provincia: Lima					Longitud: 77° 02' 33" O				
Departamento: Lima									
ENSAYOS REALIZADOS AL SUELO									
I	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO		LÍMITES DE ATTERBERG		PROCTOR MODIFICADO		ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO CBR		
	ASTM-D422		ASTM-D4318		ASTM-D1557		ASTM-D1883		
CÁLCULO DEL ESPESOR DE LA LOSA METODO ASSHTO									
II	ÍNDICE MEDIO DIARIO ANUAL IMDA		SERVICIBILIDAD INICIAL (Pi)		DESVIACION ESTANDAR (Zr)		MÓDULO ELÁSTICO DEL CONCRETO		
	EL TRÁNSITO ESALs		DIFERENCIAL DE SERVICIBILIDAD (ΔPSI)		MÓDULO DE REACCIÓN "K"		DRENAJE (Cd)		
	EJES EQUIVALENTES		CONFIABILIDAD "R"		RESISTENCIA A LA FLEXOTRACCIÓN (MR)		COEFICIENTE DE TRANSMISIÓN DE CARGA "J"		
CÁLCULO DEL ESPESOR DE LA LOSA METODO PCA									
III	TRÁNSITO CARGAS		FACTOR DE SENTIDO		RESISTENCIA A LA FLEXOTRACCIÓN (MR)		FACTOR DE SEGURIDAD		
	TPDA		MÓDULO DE REACCIÓN "K"		MÓDULO ELÁSTICO DEL CONCRETO		PERÍODO DE DISEÑO		
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE TESTIGOS DIAMANTINOS DE CONCRETO									
IV	DIÁMETRO		ALTURA		CARGA TOTAL		RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN		
APELLIDOS Y NOMBRES:			ING. SCIPION PIÑELLA EDDY						
DNI:			6087547						
REGISTRO CIP:			29935						
EMAIL:			eddy_scipion@yahoo.es						
TELÉFONO:			3723882						
									

Anexo 4: Certificado de ensayo de granulometría.



LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO
ASTM - D422**

Proyecto : Aplicación del diseño del MTC 2014 para optimizar la transitabilidad vehicular en pavimentos rigididos. Proyecto plazas de peaje vía expresa línea amarilla Lima 2018

Solicitante : Pablo Jhonny Alatriza Cruz

Ubicación : Cercado de Lima - Lima.

Sector : Peaje vía expresa línea amarilla

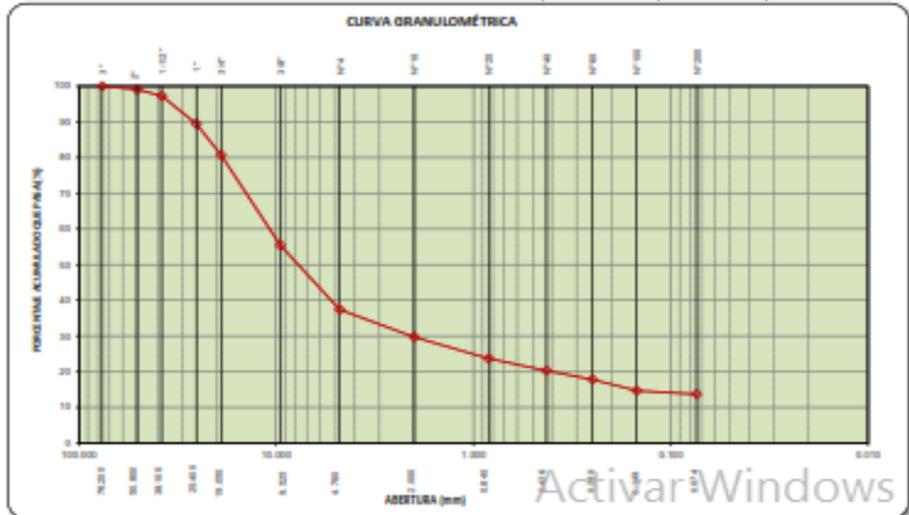
Sondeo : --- **Fecha** : Octubre - 2018

Muestra : ---

Profundidad (mts.) : --- **Coordenadas** : ---

Partículas >3" (%) :	---	D10 :	
Grava (%) :	62.6	D30:	2.07
Arena (%) :	23.7	D60:	10.60
Limos y Arcillas (%) :	13.7	CU:	
		Cc:	
Límites de Atterberg:			
LL (%) :	22.0		
LP (%) :	16.6		
IP (%) :	5.2		
Humedad (%) :	3.7		
Clasificación SUCS :	GC-GM		
	Grava arcillo-limosa con arena		

Tamiz	Abertura (mm)	% Acumulado que pasa
3"	76.200	100.0
2"	50.800	99.1
1 1/2"	38.100	97.3
1"	25.400	89.4
3/4"	19.050	80.7
3/8"	9.525	55.4
Nº4	4.760	37.4
Nº10	2.000	29.7
Nº20	0.840	23.7
Nº40	0.426	20.3
Nº60	0.250	17.6
Nº100	0.149	14.7
Nº200	0.074	13.7



Nota: Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante

Anexo 5: certificado límites de Atterberg



LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

LÍMITES DE ATTERBERG ASTM - D4318

Proyecto : Aplicación del diseño del MTC 2014 para optimizar la transfiabilidad vehicular en pavimentos rígidos. Proyecto plazas de peaje vía expresa línea amarilla Lima 2018

Solicitante : Pablo Jhonny Alatriza Cruz

Ubicación : Cercado de Lima - Lima.

Sector : Peaje vía expresa línea amarilla

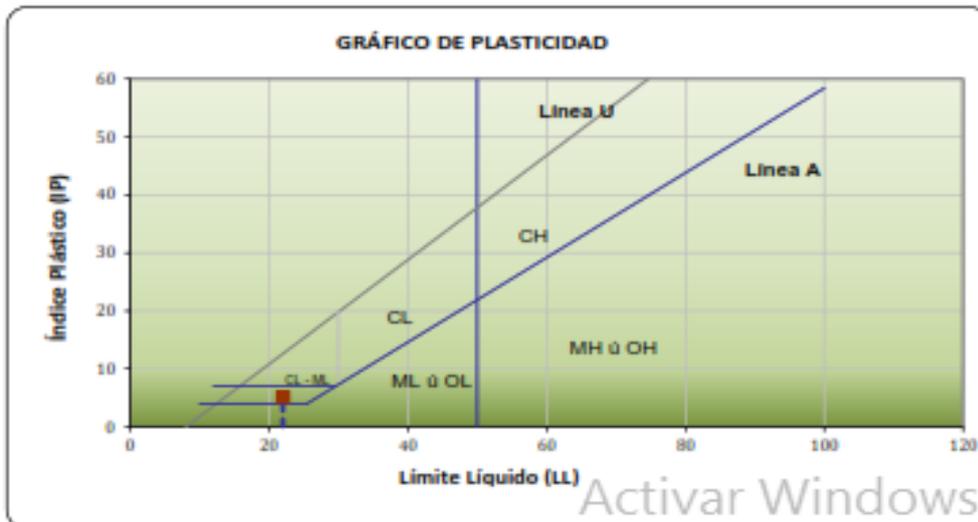
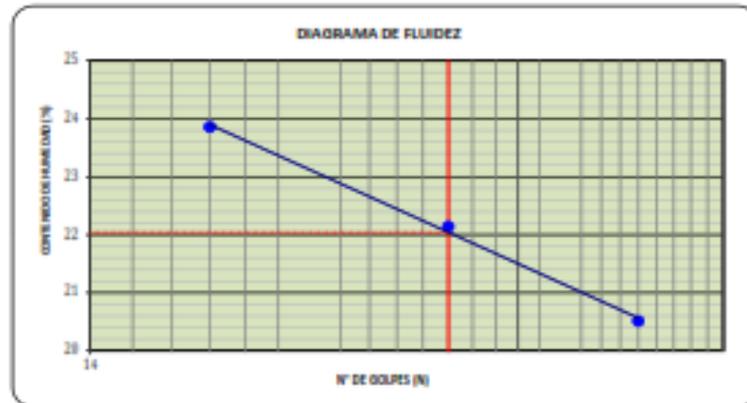
Sondeo : --- **Fecha** : Octubre - 2018

Muestra : ---

Profundidad (mts.) : --- **Coordenadas** : ---

Límites de Atterberg

LL (%): 22
LP (%): 16.8
IP (%): 5.2



Nota: Las muestras han sido proporcionadas e identificadas por el solicitante

Anexo 6: Certificado de ensayo de Proctor modificado.



LABORATORIO GEOTÉCNICO Y DE CONCRETO

PRÓCTOR MODIFICADO

PROYECTO : Aplicación del diseño del MTC 2014 para optimizar la transitabilidad vehicular en pavimentos rígidos.
Proyecto plazas de peaje vía expresa línea amarilla Lima 2018

SOLICITANTE : Pablo Jhonny Alarista Cruz

UBICACIÓN : Cercado de Lima - Lima. **Fecha** : Octubre - 2018

Calicata : --- **Clasificación SUCS** : GC - GM

Muestra : AFIRMADO **Clasificación AASHTO** : A-1-a(0)

Profundidad : --- **Método de compactación** : " C "

Sector : Peaje vía expresa línea amarilla

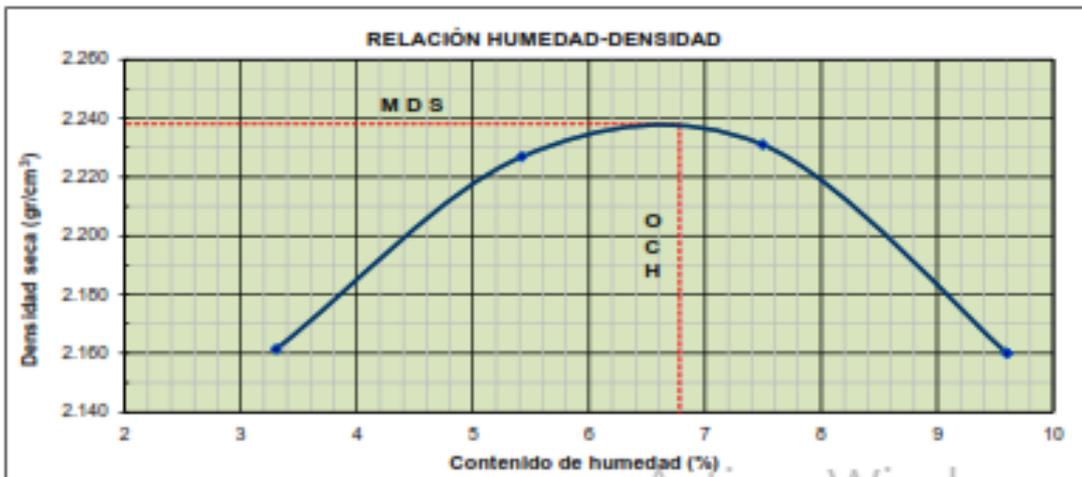
Método de preparación : Húmeda **Referidos** 3/4 : 19.3

Contenido de Humedad recibido (%) : 2% 3/8 : 25.3

Descripción del pisón : Manual N°4 : 18

Gravedad específica : ---

Peso suelo compactado + molde (g)	11226.00	11468.20	11575.00	11509.90
Peso molde (g)	6516.20	6516.20	6516.20	6516.20
Peso suelo húmedo compactado (g)	4709.80	4952.00	5058.80	4993.70
Volumen del molde (cm ³)	2109.40	2109.40	2109.40	2109.40
Densidad húmeda (g/cm ³)	2.23	2.35	2.40	2.37
Recipiente N°	A74	A89	A34	A53
Peso muestra húmeda + tara (g)	905.30	1115.30	1063.60	1054.70
Peso muestra seca + tara (g)	882.00	1067.20	1003.20	876.40
Peso de tara (g)	176.00	180.00	194.60	183.00
Peso de agua (g)	23.30	48.10	60.60	76.30
Peso de la muestra seca (g)	705.20	887.20	808.60	794.00
Contenido de humedad (%)	3.3	5.4	7.5	9.6
Densidad seca (g/cm ³)	2.161	2.227	2.231	2.160
Densidad máxima (g/cm³)				2.238
Humedad óptima (%)				6.78



Observaciones:

La muestra ha sido identificada y entregada por el solicitante. Estos datos se aplican solo a las muestras indicadas.

Anexo 7: Certificado de ensayo de California bearing ratio CBR.



LABORATORIO GEOTÉCNICO Y DE CONCRETO

ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR) ASTM D 1883

Proyecto: Aplicación del diseño del MTC 2014 para optimizar la transitabilidad vehicular en pavimentos rígidos. Proyecto plazas de peaje vía expresa línea amarilla Lima 2018
Solicitante: Pablo Johnny Alabrata Cruz
Ubicación: Cercado de Lima - Lima.

Fecha: Octubre - 2018

Ensayo	Método
California Bearing Ratio (CBR)	SUELOS. Método de ensayo de CBR (Relación de soporte de California) de suelos compactados en el laboratorio

Código: --	Sondeo: --	Muestra: Afirmado
Profundidad (m): --	Progresiva: --	Tipo de Material: Suelo
Cantera: --		Condición de la muestra: Alterada

Método de preparación: Humeda	Clasificación SUCS: GC - GM
Sobrepeso: 4.54	Clasificación AASHTO: A-1-a (2)
	Método de compactación: ASTM D1557

COMPACTACION

	5		25		12	
	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Molde N°						
Capas N°						
Golpes por capa N°						
Condición de la muestra						
Peso de molde + Suelo húmedo (g)	13545.80	12008.50	12008.50	12340.80		
Peso de molde (g)	8482.50	7708.70	7667.50			
Peso del suelo húmedo (g)	5053.30	4897.80	4673.30			
Volumen del molde (cm ³)	2118.50	2112.10	2114.80			
Densidad húmeda (g/cm ³)	2.388	2.319	2.210			
Tara (N°)	A 186	A 57	A 103			
Peso suelo húmedo + tara (g)	825.10	718.30	723.00			
Peso suelo seco + tara (g)	752.40	652.40	657.70			
Peso de tara (g)	155.40	157.80	188.90			
Peso de agua (g)	42.70	35.90	35.30			
Peso de suelo seco (g)	827.00	534.60	518.80			
Contenido de humedad (%)	8.81	6.84	6.80			
Densidad seca (g/cm ³)	2.236	2.170	2.069			

EXPANSION

FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
No expansivo											

PENETRACION

PENETRACION (mm)	CARGA ESTÁNDAR (kg/cm ²)	MOLDE N°				MOLDE N°				MOLDE N°			
		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION	
		Dial (div)	(kg)	(kg)	CBR (%)	Dial (div)	(kg)	(kg)	CBR (%)	Dial (div)	(kg)	(kg)	CBR (%)
0.000		0	0			0	0			0	0		
0.635		83	258			38	140			30	114		
1.270		130	545			73	300			57	231		
1.905		188	793			110	459			83	343		
2.540	75.5	236	995	993.0	72.8	148	622	639.8	46.9	112	487	476.5	34.5
3.810		330	1389			230	973			189	712		
5.080	105.7	411	1743	1704.9	86.3	300	1271	1254.9	81.4	230	973	974.8	47.7
6.350		498	2089			362	1535			288	1220		
7.620		580	2372			430	1781			340	1442		
10.160		675	2859			500	2119			400	1896		
12.700		755	3188			550	2330			420	1761		

Observaciones

ENSAYO CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR) ASTM D 1883

Proyecto: Aplicación del diseño del MTC 2014 para optimizar la transitabilidad vehicular en pavimentos rígidos. Proyecto plazas de peaje vía expresa línea amarilla Lima 2015

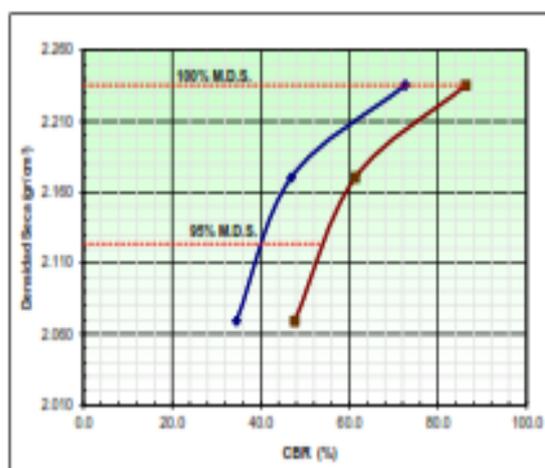
Solicitante: Pablo Johnny Alatriza Cruz

Ubicación: Cercado de Lima - Lima.

Fecha: Octubre - 2018

Ensayo	Método
California Bearing Ratio (CBR)	NTP 339.145 - 1999(revisada el 2014) SUELOS. Método de ensayo de CBR (Relación de soporte de California) de suelos compactados en el laboratorio

Código: ---	Sondeo: ---	Muestra: Aliviado
Profundidad (m): ---	Progresiva: ---	Tipo de Material: Suelo
Cantera: ---		Condición de la muestra: Alterada



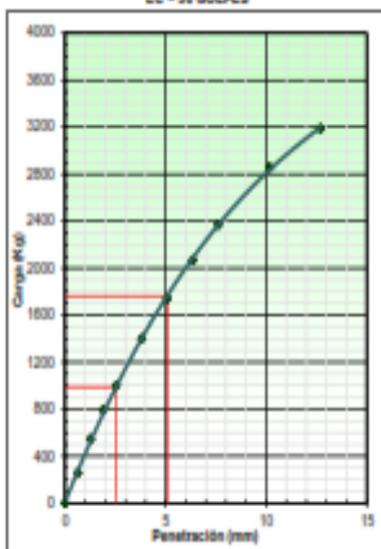
Clasificación SUCS:	GC - GM
Clasificación AASHTO:	A-1-a (0)
Método de compactación:	ASTM D1557
Máxima densidad seca (g/cm³):	2.236
Óptimo contenido de humedad (%):	6.810
95% Máxima densidad seca (g/cm³):	2.124

C.B.R. al 100% de M.D.S. (%)	0.1": 72.8	0.2": 86.0
C.B.R. al 95% de M.D.S. (%)	0.1": 37.2	0.2": 51.0

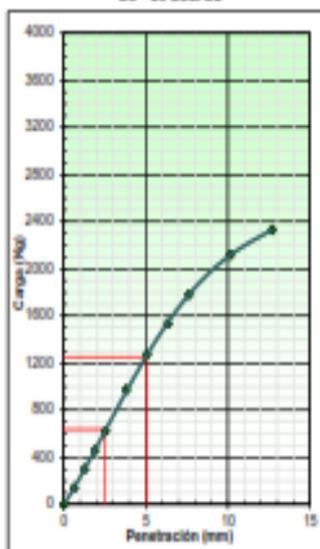
RESULTADOS:

Valor de C.B.R. al 100% de la M.D.S.	= <u>72.8 (%)</u>
Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S.	= <u>37.2 (%)</u>

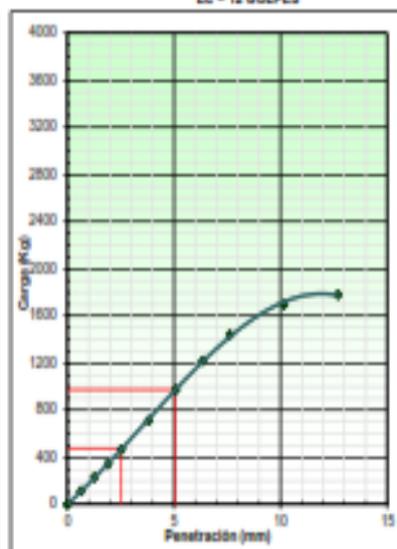
EC = 56 GOLPES



EC = 25 GOLPES



EC = 12 GOLPES



Observaciones:

Anexo 8: Certificado de ensayo de compresión uniaxial en testigo de concreto D1.

ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL EN TESTIGOS DE CONCRETO NORMA ASTM C - 39

Proyecto : Aplicación del diseño del MTC 2014 para optimizar la transitabilidad vehicular en pavimentos rigidizados. Proyecto plazas de peaje vía expresa línea amarilla Lima 2018

Solicitante: Pablo Johnny Alebrata Cruz

Ubicación: Cercado de Lima - Lima. **Fecha de emisión :** 10/10/2018

Sector: Peaje vía expresa línea amarilla

Estructura: Lona

Tipo de Material: Concreto

Diseño de Mezcla (Fc): — **Fecha de ensayo:** 8/10/2018

Resultados de los ensayos realizados

Resistencia a la Compresión de Testigos Diamantinos

ASTM C39 / C39M - 10 Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens

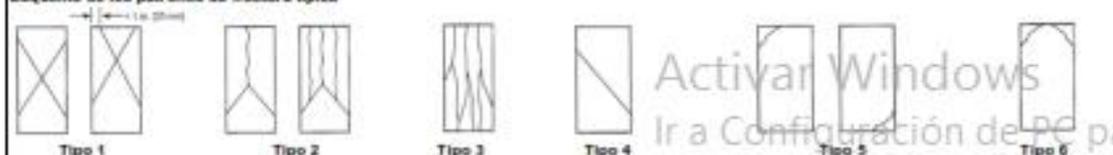
Identificación de la Muestra	Fecha de Extracción	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Área (cm ²)	Carga Total (kg)	Factor de Corrección (Altura/Diámetro)	Resistencia a la Compresión (Kg/cm ²)	Resistencia a la Compresión (MPa)	Tipo de Fractura
L-A / D-1	4/10/2018	5.80	12.0	26.4	9526	1.0	375	36.8	2

PANEL FOTOGRÁFICO



Observaciones: Se observa un material de grava subangulosa con arena color gris verdoso.

Esquema de los patrones de fractura típica



Anexo 9: Certificado de ensayo de compresión uniaxial en testigo de concreto D2.



LABORATORIO GEOTÉCNICO Y DE CONCRETO

**ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAxIAL EN TESTIGOS DE CONCRETO
NORMA ASTM C - 39**

Proyecto : Aplicación del diseño del MTC 2014 para optimizar la transitabilidad vehicular en pavimentos rigidizados. Proyecto plazas de peaje vía expresa línea amarilla Lima 2018
Solicitante: Pablo Jhonny Alabieta Cruz
Ubicación: Cercado de Lima - Lima. **Fecha de emisión :** 10/10/2018

Sector: Peaje vía expresa línea amarilla
Estructura: Lona
Tipo de Material: Concreto
Diseño de Mezcla (Fc): — **Fecha de ensayo:** 8/10/2018

Resultados de los ensayos realizados

Resistencia a la Compresión de Testigos Dismantlados

ASTM C39 / C39M - 10 Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens

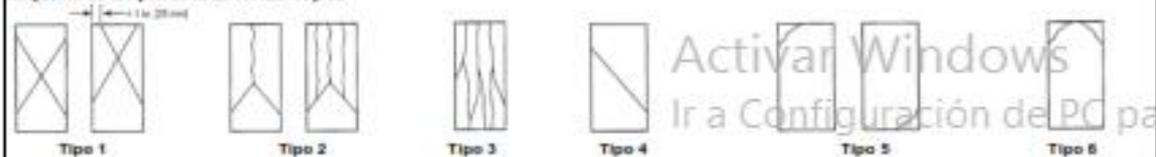
Identificación de la Muestra	Fecha de Extracción	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Área (cm ²)	Carga Total (kg)	Factor de Corrección (Altura/ Diámetro)	Resistencia a la Compresión (Kg/cm ²)	Resistencia a la Compresión (MPa)	Tipo de Fractura
L-A / D-2	4/10/2018	5.80	12.0	26.4	9487	1.0	362	35.5	2

PANEL FOTOGRÁFICO



Observaciones: Se observa un material de grava subangulosa con arena color gris verdoso.

Esquema de los patrones de fractura típica



Anexo 10: Certificado de ensayo de compresión uniaxial en testigo de concreto D3.



LABORATORIO GEOTÉCNICO Y DE CONCRETO

**ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAxIAL EN TESTIGOS DE CONCRETO
NORMA ASTM C - 39**

Proyecto : Aplicación del diseño del MTC 2014 para optimizar la transitabilidad vehicular en pavimentos rígidos. Proyecto plazas de peaje vía expresa línea amarilla Lima 2018.
Solicitante: Pablo Johnny Alarida Cruz
Ubicación: Cercado de Lima - Lima. **Fecha de emisión :** 10/10/2018

Sector: Peaje vía expresa línea amarilla
Estructura: Losa
Tipo de Material: Concreto
Diseño de Mezcla (Fc): — **Fecha de ensayo:** 8/10/2018

Resultados de los ensayos realizados

Resistencia a la Compresión de Testigos Diamantinos

ASTM C39 / C39M - 10 Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens

Identificación de la Muestra	Fecha de Extracción	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Área (cm ²)	Carga Total (kg)	Factor de Corrección (Altura/ Diámetro)	Resistencia a la Compresión (Kg/cm ²)	Resistencia a la Compresión (MPa)	Tipo de Fractura
L-A / D-3	4/10/2018	5.80	12.0	26.4	8562	1.0	327	32.1	2

PANEL FOTOGRÁFICO

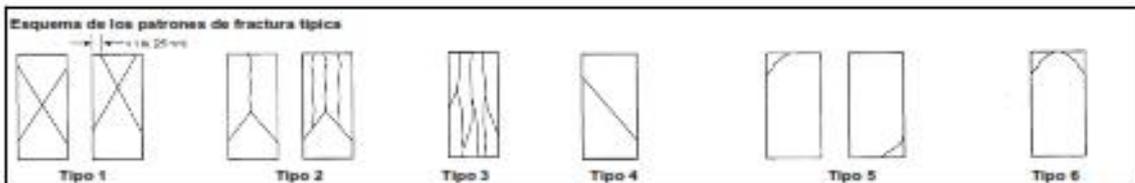


ANTES DEL ENSAYO



DESPUÉS DEL ENSAYO

Observaciones: Se observa un material de grava subangulosa con arena color gris verdoso.



Anexo 11: Certificado de ensayo de compresión uniaxial en testigo de concreto D4.



LABORATORIO GEOTÉCNICO Y DE CONCRETO

**ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAxIAL EN TESTIGOS DE CONCRETO
NORMA ASTM C - 39**

Proyecto : Aplicación del diseño del MTC 2014 para optimizar la transitabilidad vehicular en pavimentos rígidos. Proyecto plaza de peaje vía expresa línea amarilla Lima 2018
Solicitante: Pablo Johnny Alabrada Cruz
Ubicación: Cercado de Lima - Lima. **Fecha de emisión :** 10/10/2018

Sector: Peaje vía expresa línea amarilla
Estructura: Losa
Tipo de Material: Concreto
Diseño de Mezcla (Fc): — **Fecha de ensayo:** 8/10/2018

Resultados de los ensayos realizados

Resistencia a la Compresión de Testigos Diamantinos

ASTM C39 / C39M - 10 Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens

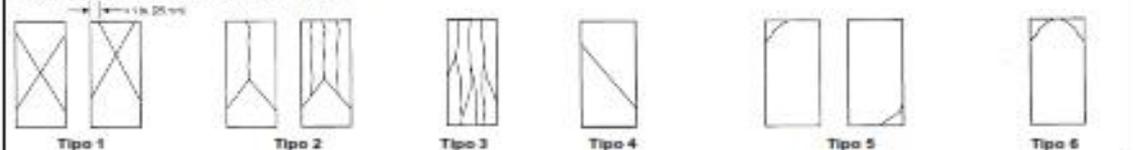
Identificación de la Muestra	Fecha de Extracción	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Área (cm ²)	Carga Total (kg)	Factor de Corrección (Altura/ Diámetro)	Resistencia a la Compresión (Kg/cm ²)	Resistencia a la Compresión (MPa)	Tipo de Fractura
L-A/ D-4	4/10/2018	5.80	12.0	26.4	9721	1.0	371	36.4	2

PANEL FOTOGRÁFICO



Observaciones: Se observa un material de grava subangulosa con arena color gris verdoso.

Esquema de los patrones de fractura típicos



Anexo 12: Certificado de ensayo de compresión uniaxial en testigo de concreto D5.



LABORATORIO GEOTÉCNICO Y DE CONCRETO

**ENSAYO DE COMPRESIÓN UNIAxIAL EN TESTIGOS DE CONCRETO
NORMA ASTM C - 39**

Proyecto : Aplicación del diseño del MTC 2014 para optimizar la transitabilidad vehicular en pavimentos rígidos. Proyecto píasas de peaje vía expresa línea amarilla Lima 2018
Solicitante: Pablo Johnny Alabrada Cruz
Ubicación: Cercado de Lima - Lima **Fecha de emisión :** 10/10/2018

Sector: Peaje vía expresa línea amarilla
Estructura: Loas
Tipo de Material: Concreto
Diseño de Mezcla (Fc): — **Fecha de ensayo:** 5/10/2018

Resultados de los ensayos realizados

Resistencia a la Compresión de Testigos Diamantinos

ASTM C39 / C39M - 10 Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens

Identificación de la Muestra	Fecha de Extracción	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Área (cm ²)	Carga Total (kg)	Factor de Corrección (Altura/ Diámetro)	Resistencia a la Compresión (Kg/cm ²)	Resistencia a la Compresión (MPa)	Tipo de Fractura
L-A / D-5	4/10/2018	5.80	12.0	26.4	9358	1.0	358	35.1	2

PANEL FOTOGRÁFICO

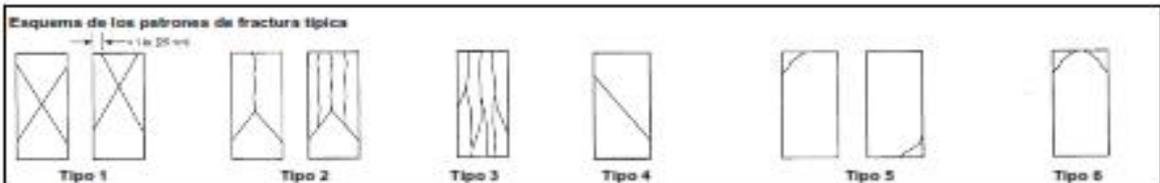


ANTES DEL ENSAYO

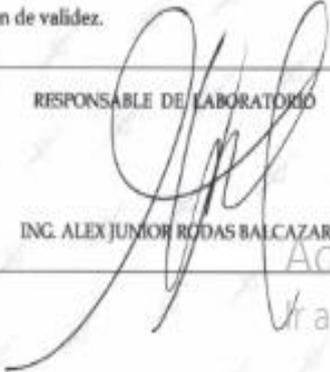


DESPUÉS DEL ENSAYO

Observaciones: Se observa un material de grava subangulosa con arena color gris verdoso.



Anexo 13: Certificado de calibración del anillo de carga CBR

		SERVICIO DE ASEGURAMIENTO METROLÓGICO	
		CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN	
		DEPARTAMENTO DE METROLOGÍA	
CERTIFICADO DE CALIBRACION N°100-LA -2018			
Cliente	GMIG S.A.C	<p>Los resultados son válidos al momento de la calibración, al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una nueva calibración, la cual está en función del uso, mantenimiento o reglamentaciones vigentes.</p> <p>Este certificado sólo puede ser difundido completamente y sin modificaciones. Los extractos o modificaciones requieren la autorización de MUNTEC CORP E.I.R.L.</p> <p>El presente certificado carece de validez sin las firmas y sellos de MUNTEC CORP E.I.R.L.</p> <p>Los resultados reportados en el presente certificado de calibración corresponden únicamente al objeto calibrado, no pudiéndose extender a otro.</p> <p>Los resultados reportados en el presente certificado de calibración no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.</p>	
Dirección	CAL.6 MZA. E LOTE. 13 ASC. PAPA JUAN PABLO LIMA - LIMA - SAN MARTIN DE PORRES		
Instrumento de Medición	ANILLO DE CARGA CBR		
Clase / Tipo	Clase Media II		
Cap. Máxima	0 - 5 mm 5 mm		
División de escala / Resolución	0,002 mm		
Marca	ELE		
Modelo	—		
Número de Serie	7732		
Procedencia	USA		
Identificación / Código	AN - 01		
Cantidad	1		
Fecha de Calibración	24/09/2018		
<p>Certificados sin firma y sellos carecen de validez.</p>			
24/09/2018			
	RESPONSABLE DE LABORATORIO		
	ING. ALEX JUNIOR RODAS BALCAZAR		

Anexo 14: Certificado de calibración de la balanza 4 kg. Usada en el laboratorio para los ensayos

		CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN	
QUALITY CONTROL IN YOUR COMPANY		DEPARTAMENTO DE METROLOGÍA	
CERTIFICADO DE CALIBRACION N° 921-LM -2018			
Cliente	GMIG S.A.C	<p>Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones del SNM / INDECOPI.</p> <p>Los resultados contenidos en este certificado corresponden al momento y condiciones en que se realizó la calibración.</p> <p>A fin de asegurar la calidad de sus mediciones el usuario está obligado a recalibrar sus instrumentos a intervalos apropiados.</p>	
Dirección	CAL 6 MZA. E LOTE. 13 ASC. PAPA JUAN PABLO LIMA - LIMA - SAN MARTIN DE PORRES		
Instrumento de Medición	BALANZA ELECTRONICA		
Clase / Tipo	Clase Media I		
Cap. Máxima	4KG		
División de escala / Resolución	0.01G		
Marca	SARTORIUS		
Modelo	BA4100S		
Número de Serie	KG082364		
Procedencia	ALEMANA		
Identificación / Código	BALANZA 2		
Cantidad	1		
Fecha de Calibración	27/06/2018		
Certificados sin firma y sellos carecen de validez.			
2018-06-27		 ING. ALEX JUNIOR RODAS BALCAZAR	
			

Anexo 15: Certificado de calibración de la balanza 20 kg. Usada en el laboratorio para los ensayos

		<h1>CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN</h1> <h2>DEPARTAMENTO DE METROLOGÍA</h2>
<p>CERTIFICADO DE CALIBRACION N°822-LM -2018</p>		
Cliente	GMIG S.A.C	<p>Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones del SNM / INDECOPI.</p> <p>Los resultados contenidos en este certificado corresponden al momento y condiciones en que se realizó la calibración.</p> <p>A fin de asegurar la calidad de sus mediciones el usuario está obligado a recalibrar sus instrumentos a intervalos apropiados.</p>
Dirección	CAL. 6 MZA. E LOTE. 13 ASC. PAPA JUAN PABLO LIMA - LIMA - SAN MARTIN DE PORRES	
Instrumento de Medición	BALANZA ELECTRONICA	
Clase / Tipo	Clase Media I	
Cap. Máxima	20KG	
División de escala / Resolución	0.1G	
Marca	AND	
Modelo	GP-20K	
Número de Serie	KG082370	
Procedencia	USA	
Identificación / Código	BALANZA 1	
Cantidad	1	
Fecha de Calibración	27/06/2018	
<p>Certificados sin firma y sellos carecen de validez.</p>		
2018-06-27	 ING. ALEX JUNIOR ROJAS BALCAZAR	

Anexo 16: Certificado de calibración del horno usado en el laboratorio.



Tecnología, Precisión y Calidad

"Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional"

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
CLT-00015-2018

Expediente : 0012-1673

Fecha de emisión : 2018 - 01 - 12

Página : 1 de 2

1. **SOLICITANTE** : GMIG S.A.C.
DIRECCIÓN : CALLE.6 MZA. E LOTE. 13 ASC. PAPA JUAN PABLO LIMA - SAN MARTIN DE PORRES
2. **INSTRUMENTO DE MEDICIÓN** : HORNO
MARCA : HUMBOLDT MFO.CO
MODELO : H-30145E
COD. IDENTIFICACIÓN : NO INDICA
ALCANCE : 80°C a 230°C
DIVISIÓN DE ESCALA : 0.1 °C
SENSOR : PT 100
PROCEDECENCIA : USA
UBICACIÓN : NO INDICA
3. **FECHA Y LUGAR DE MEDICIÓN.**
La calibración se realizó el día 12 de Enero del 2018 en las instalaciones de PESAS Y BALANZAS S.A.C
4. **MÉTODO.**
#N/A
5. **PATRÓN DE MEDICIÓN.**
Se utilizó patrones trazables a las unidades de temperatura y humedad del Sistema Internacional de Unidades calibrados por el SNM-INDECCPI.

INSTRUMENTO	ALCANCE DE INDICACIÓN	RESOLUCIÓN	CLASE DE EXACTITUD	Nº DE CERTIFICADO	ENTIDAD
Termómetro digital	-40 °C a 400 °C	0,01 °C	± 0,1 °C	LT-266-2018	SNM-INDECCPI
Termohigrómetro digital	-30 a 100 °C / 0 % a 100 %	0,01 °C / 0.01% HR	± 1,5 %	LT-272-2018	SNM-INDECCPI

6. **CONDICIONES AMBIENTALES.**

MAGNITUD	INICIAL	FINAL
TEMPERATURA	24.6 °C	25.5 °C
HUMEDAD RELATIVA	69%	70%
7. **OBSERVACIONES.**
El equipo en mención presenta errores dentro de los errores máximo permisibles.
Los resultados de las mediciones efectuadas se muestran en la página 02 del presente documento.
La incertidumbre de la medición se determinó con un factor de cobertura k=2, para un nivel de confianza de 95 %.
Con fines de identificación de la calibración se colocó una etiqueta autoadhesiva de color verde.
La periodicidad de la calibración depende del uso, mantenimiento y conservación del instrumento de medición.

Activar Win
Ir a Configuración

Jorge Luis Broncano Aguilar
Gerencia Técnica



Código: HCT-740-001

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN DE PESAS Y BALANZAS S.A.C.

Anexo 17: Certificado de calibración del manómetro de prensa del concreto.

 QUALITY CENTER IN YOUR COMPANY	SERVICIO DE ASEGURAMIENTO METROLOGICO CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN DEPARTAMENTO DE METROLOGÍA	
CERTIFICADO DE CALIBRACION N° 384-LM -2018		
Cliente	GMIG S.A.C	<p>Los resultados son válidos al momento de la calibración, al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una nueva calibración, la cual está en función del uso, mantenimiento o reglamentaciones vigentes.</p> <p>Este certificado sólo puede ser difundido completamente y sin modificaciones. Los extractos o modificaciones requieren la autorización de MUNTEC CORP E.I.R.L.</p> <p>El presente certificado carece de validez sin las firmas y sellos de MUNTEC CORP E.I.R.L.</p> <p>Los resultados reportados en el presente certificado de calibración corresponde únicamente al objeto calibrado, no pudiéndose extender a otro.</p> <p>Los resultados reportados en el presente certificado de calibración no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.</p>
Dirección	CAL 5 MZA. E LOTE. 13 ASC. PAPA JUAN PABLO LIMA - LIMA - SAN MARTIN DE PORRES	
Instrumento de Medición	MANOMETRO DE PRENSA CONCRETO	
Clase / Tipo	Clase Media II	
Cap. Máxima	25000 KILONEWTONS	
División de escala / Resolución	500 LBS	
Marca	ELE INTERNATIONAL SOILTETEST	
Modelo	CT-728D	
Número de Serie	1925	
Procedencia	USA	
Identificación / Código	---	
Cantidad	1	
Fecha de Calibración	16/08/2018	
<p>Certificados sin firma y sellos carecen de validez.</p>		
16-08-2018	 RESPONSABLE DE LABORATORIO  ING. ALEX JUNIOR RODAS BALCAZAR	

Anexo 18: Matriz de Consistencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTOS
<p>PROBLEMA GENERAL</p> <p>¿De qué manera el diseño de pavimentos rígidos aplicando el MTC 2014, optimizara la transitabilidad vehicular del proyecto Plazas de Peaje Vía Expresa Línea Amarilla?</p>	<p>OBJETIVO GENERAL</p> <ul style="list-style-type: none"> Determinar el diseño de pavimentos rígidos aplicando el MTC 2014 para optimizar la transitabilidad vehicular en el proyecto plazas de peaje vía expresa línea amarilla. 	<p>HIPOTESIS GENERAL</p> <ul style="list-style-type: none"> La aplicación del MTC 2014 en el diseño de pavimentos rígidos influye en la optimización de la transitabilidad vehicular en el proyecto plazas de peaje vía expresa línea amarilla. 	<p>Variable Independiente</p>	<p>Periodo de Diseño</p>	<p>Corto</p> <p>Medio</p> <p>Largo</p>	Manual del MTC 2014
<p>PROBLEMAS ESPECÍFICOS</p> <p>¿De qué manera el diseño de pavimentos rígidos aplicando el MTC 2014, optimizará los costos de los recursos del proyecto Plazas de Peaje Vía Expresa Línea Amarilla?</p>	<p>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</p> <ul style="list-style-type: none"> Determinar el diseño de pavimentos rígidos aplicando el MTC 2014 para optimizar los costos de los recursos en el proyecto Plazas de Peaje Vía Expresa Línea Amarilla. 	<p>HIPOTESIS ESPECIFICAS</p> <ul style="list-style-type: none"> Al aplicar el MTC 2014 en el diseño de pavimentos rígidos se optimizara los costos de los recursos en el proyecto plazas de peaje vía expresa línea amarilla. 	<p>Diseño de pavimentos rígidos</p>	<p>Variables teoricas del diseño</p>	<p>El tránsito (ESALs)</p> <p>Serviciabilidad</p> <p>Transferencia de carga (J)</p>	
<p>¿De qué manera el diseño de pavimentos rígidos aplicando el MTC 2014, optimizará la calidad de vida de las personas e influira en el crecimiento economico del pais?</p>	<p>• Determinar el diseño de pavimentos rígidos aplicando el MTC 2014 para optimizar la calidad de vida de las personas e influir en el crecimiento economico del pais.</p>	<p>• Aplicando el MTC 2014 en el diseño de pavimentos rígidos se optimizara la calidad de vida de las personas e influira en el crecimiento economico del pais.</p>	<p>Variable Dependiente</p>	<p>Transitabilidad</p>	<p>Mantenimiento rutinario</p> <p>Mantenimiento periodico</p> <p>Señalización</p>	
<p>¿De qué manera el diseño de pavimentos rígidos aplicando el MTC 2014, permitira desarrollar una metodología práctica para mejorar la transitabilidad vehicular?</p>	<p>• Determinar el diseño de pavimentos rígidos aplicando el MTC 2014 para desarrollar una metodología práctica que permita mejorar la transitabilidad vehicular.</p>	<p>• Con la aplicación del MTC 2014 en el diseño de pavimentos rígidos se desarrollara una metodología práctica que permitirá mejorar la transitabilidad vehicular.</p>	<p>Optimizar la transitabilidad vehicular</p>	<p>Pavimentación Rígida</p>	<p>Inspeccion tecnica</p> <p>Inspección visual</p> <p>Indice de Condición del Pavimento (PCI)</p>	Ficha de recoleccion de datos



Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación (CRAI)
"César Acuña Peralta"

FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN PARA LA PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA

1. DATOS PERSONALES

Nombre: Pablo Jhonny Alatriza Cruz
D.N.I. : 41066787 N° Celular: 987417201 N° Telf. Fijo: 5796687
Domicilio : AAHH. 5 de Marzo Mz. O Lt. 5 Payet - Independencia
E-mail : jhonyac_1@hotmail.com

2. IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN / TESIS

Facultad : Ingeniería
Escuela : Ingeniería civil
Modalidad:

Form with checkboxes for Pre Grado (Trabajo de Investigación, Tesis) and Post Grado (Maestría, Doctorado) with fields for degree and title.

3. DATOS DE LA TESIS

Autor (es) Apellidos y Nombres: Alatriza Cruz Pablo Jhonny
Título de la tesis: "Aplicación del diseño del MTC 2014 para optimizar la transitabilidad vehicular en pavimentos rígidos. Proyecto Plazas de peaje Vía Expresa Línea Amarilla - Lima, 2018."
Año de publicación : 2019

4. AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE LA TESIS EN VERSIÓN ELECTRÓNICA:

A través del presente documento;
[] AUTORIZO a publicar en texto completo. | [X] NO AUTORIZO a publicar en texto completo.

Firma del autor: [Handwritten Signature] Fecha: 20 de Junio del 2019

Feedback Studio - Google Chrome

https://ev.lumin.com/app/carta/tes/3-80u=10817616726o=1145412535&student_user=1&lang=es

feedback studio jhonny alarista Aplicación del diseño del MTC 2014 para optimizar la transitableidad vehicular en pavimentos rígidos. Proyecto Plazas de peaje Vía Expresa Línea Amar



UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Aplicación del diseño del MTC 2014 para optimizar la transitableidad vehicular en pavimentos rígidos. Proyecto Plazas de peaje Vía Expresa Línea Amarilla - Lima, 2018.

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL.

Autor:
PABLO JHONNY ALARISTA CRUZ

Asesor:
Mg. LUIS VARGAS CHIM ALTANA

Resumen de coincidencias X

19 %

Nº	Origen	Porcentaje
19	www.um.edu.ar <small>Fuente de Internet</small>	<1 %
20	cybertesis.up.edu.pe <small>Fuente de Internet</small>	<1 %
21	Entregado a UNILIBRE <small>Título de estudiante</small>	<1 %
22	ssau.com <small>Fuente de Internet</small>	<1 %
23	ebookbrowse.com <small>Fuente de Internet</small>	<1 %
24	www.enjoybolivia.com <small>Fuente de Internet</small>	<1 %
25	Entregado a Universidad. <small>Título de estudiante</small>	<1 %

Página: 1 de 77 Número de palabras: 13272 Text-only Report High Resolution Activado



	ACTA DE APROBACIÓN DE ORIGINALIDAD DE TESIS	Código : F06-PP-PR-02.02 Versión : 09 Fecha : 23-03-2018 Página : 1 de 1
---	--	---

Yo, **Mgr. LUIS ALBERTO VARGAS CHACALTANA**, docente de la Facultad de Ingeniería y Carrera Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad César Vallejo campus Lima Norte, revisor (a) de la tesis titulada:

"APLICACIÓN DEL DISEÑO DEL MTC 2014 PARA OPTIMIZAR LA TRANSITABILIDAD VEHICULAR EN PAVIMENTOS RÍGIDOS. PROYECTO PLAZAS DE PEAJE VÍA EXPRESA LÍNEA AMARILLA - LIMA, 2018"

Del estudiante **PABLO JHONNY ALATRISTA CRUZ**, constato que la investigación tiene un índice de similitud del 19 % verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin.

El suscrito(a) analizó dicho reporte y concluyó que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender, la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

Los Olivos, 25 de junio del 2019.




Mgtr. Luis Alberto Vargas Chacaltana
D.N.I.: 09389936



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

AUTORIZACIÓN DE LA VERSIÓN FINAL DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

CONSTE POR EL PRESENTE EL VISTO BUENO QUE OTORGA EL ENCARGADO DE INVESTIGACIÓN DE
La Escuela de Ingeniería Civil

A LA VERSIÓN FINAL DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN QUE PRESENTA:

ALTAÍSTA CRUZ, PABLO J HENRY

INFORME TITULADO:

*APLICACIÓN DEL DISEÑO DEL PTC 2014 PARA OPTIMIZAR
LA TRANSITABILIDAD VEHICULAR EN PAVIMENTOS RIGIDOS, PROYECTO
PLAZAS DE PEAJE VIA EXPRESA LINEA AMARILLA - 2018*

PARA OBTENER EL TÍTULO O GRADO DE:

Ingeniero Civil

SUSTENTADO EN FECHA:

18/12/2018

NOTA O MENCIÓN :

15 (QUINCE)

[Firma manuscrita]

Firma del Coordinador de Investigación de
Ingeniería Civil

