

FACULTAD DE INGENIERIA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTRUCTURA
DE PAVIMENTO RÍGIDO MEDIANTE MÉTODOS
AASHTO Y PCA EN LA AV. INDEPENDENCIA -
PROVINCIA DE TRUJILLO –2022”

Tesis para optar al título profesional de:

INGENIERO CIVIL

Autores:

Christopher Owen Espilco Ruiz

Franz Bernnie Rios Hernandez

Asesor:

Mg. German Sagastegui Vasquez

<https://orcid.org/0000-0003-3182-3352>

Trujillo – Perú

JURADO EVALUADOR

Jurado 1 Presidente(a)	Gonzalo Hugo Diaz García	40539624
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 2	Luis Alberto Alva Reyes	42013371
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 3	Nixon Brayan Peche Melo	70615775
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

INFORME DE SIMILITUD

URA_DE_PAVIMENTO_METODO_AASHTO_Y_PCA_AV_INDEPE...

INFORME DE ORIGINALIDAD



FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	11%
2	pt.slideshare.net Fuente de Internet	3%
3	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	3%
4	www.academia.edu Fuente de Internet	1%
5	repositorio.unheval.edu.pe Fuente de Internet	1%

Excluir citas Activo Excluir coincidencias < 1%
Excluir bibliografía Activo

DEDICATORIA

Con mucha alegría y amor, dedico este logro, a mis padres Jardy y Liliana, ya que ellos son mi guía en mi vida siendo mi impulso para esforzarme cada día y lograr mis objetivos. Asimismo, a mis abuelos que fueron parte de este camino y estuvieron brindándome su apoyo incondicional y su confianza en mí.

Dedico este proyecto, a mis hermanos, y de una manera especial a Jacob que compartimos momentos importantes de mi vida, asimismo de saber que mis logros también son los suyos.

Atentamente.

Espilco Ruiz, Christopher Owen

Dedico este proyecto a mi familia, por brindarme todo su apoyo incondicional y siempre guiarme a mejorar día a día, en especial a mi madre por todo su esfuerzo y sus consejos que gracias a ello me convirtieron en quien soy y así ayudarme a afrontar los retos que da la vida. Un abrazo al cielo a mi abuelita Elvia quien me educó y enseñó todos los valores que una persona debe tener para poder ser querida y amada.

Atentamente.

Ríos Hernández, Franz Bernnie

AGRADECIMIENTO

Primeramente, agradecer a Dios por permitirme llegar hasta el final de mi carrera y brindándome la sabiduría ya que sin él no somos nada. A mi familia por estar apoyándome en cada momento y disfrutar conmigo este orgullo por culminar este proyecto.

Atentamente.

Espilco Ruiz, Christopher Owen

Agradecer en primer lugar a Dios y mi familia por siempre apoyarme y estar presente en cada paso y decisión que tomo. Especialmente a mi madre por estar a mi lado y confiar plenamente en mí.

Atentamente.

Ríos Hernández, Franz Bernnie

TABLA DE CONTENIDO

JURADO EVALUADOR.....	2
INFORME DE SIMILITUD.....	3
DEDICATORIA	4
AGRADECIMIENTO	5
TABLA DE CONTENIDO	6
INDICE DE TABLAS	7
INDICE DE FIGURAS	9
INDICE DE ECUACIONES.....	10
RESUMEN	11
CAPITULO I: INTRODUCCION	12
1.1. Realidad Problemática	12
1.2. Formulación del Problema.....	48
1.3. Objetivos.....	48
1.4. Hipótesis	49
1.5. Justificación del estudio:	49
1.6. Justificación teórica:	50
1.7. Justificación Social:	50
1.8. Justificación Metodológica:.....	50
CAPITULO II: METODOLOGIA	51
CAPITULO III: RESULTADOS	60
CAPITULO IV: DISCUSION Y CONCLUSIONES.....	113
REFERENCIAS.....	120

INDICE DE TABLAS

TABLA 1: ESPACIAMIENTO Y LONGITUD DEL PASADOR.....	27
TABLA 2: MÓDULO DE REACCIÓN GRANULAR Y ESTABILIZADO CON CEMENTO (PACKARD 1984)	29
TABLA 3: ANÁLISIS DE FATIGA Y ANÁLISIS DE EROSIÓN.....	32
TABLA 4: REPETICIONES ACUMULADAS DE EJES EQUIVALENTES DE 8.2 TON EN LA TRAYECTORIA DE DISEÑO (MTC 2018)	34
TABLA 5: VALORES RECOMENDADOS, DONDE SE OBSERVA LOS NIVELES DE CONFIABILIDAD	36
TABLA 6: ÍNDICE DE SERVICIABILIDAD INICIAL Y FINAL	37
TABLA 7: VALORES DE RESISTENCIA DEL CONCRETO ARMADO.....	38
TABLA 8: NOMOGRAMA PARA DETERMINAR EL MÓDULO DE REACCIÓN COMPUESTO.....	39
TABLA 9: FACTOR PERDIDA DE APOYO LS.....	39
TABLA 10: COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CARGA	41
TABLA 11: COEFICIENTE DE DRENAJE EN FUNCIÓN AL TIEMPO	41
TABLA 12: PORCENTAJE DEL TIEMPO EN QUE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO ESTÁ EXPUESTA A NIVELES DE HUMEDAD PRÓXIMOS A LA SATURACIÓN	41
TABLA 13: COORDENADAS GLOBALES DE ESTACIONES	63
TABLA 14: COORDENADAS DE PUNTOS TOPOGRÁFICOS	63
TABLA 15: LÍMITES DE CONSISTENCIA DE LA CALICATA N°01	73
TABLA 16: CONTENIDO DE HUMEDAD DE CALICATA N°01	74
TABLA 17: ENSAYO DE CBR, ENSAYO DE EXPANSIÓN Y ENSAYO DE CARGA PENETRACIÓN DE LA C-01.....	74
TABLA 18: LÍMITES DE CONSISTENCIA DE LA CALICATA N°02	76
TABLA 19: CONTENIDO DE HUMEDAD DE CALICATA N°02	77
TABLA 20: ENSAYO DE CBR, ENSAYO DE EXPANSIÓN Y ENSAYO DE CARGA PENETRACIÓN DE LA C-02.....	77
TABLA 21:	78
TABLA 22: CONTENIDO DE HUMEDAD DE CALICATA N°03	80
TABLA 23: ENSAYO DE CBR, ENSAYO DE EXPANSIÓN Y ENSAYO DE CARGA PENETRACIÓN DE LA C-03.....	80
TABLA 24: PERIODO DE DISEÑO, METODOLOGÍA AASHTO 93, PARA PAVIMENTOS RÍGIDOS.....	82
TABLA 25: DETERMINACIÓN DE LOS ÍNDICES DE SERVICIABILIDAD	82
TABLA 26: DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE DISTRIBUCIÓN POR DIRECCIÓN	83
TABLA 27: DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE DISTRIBUCIÓN POR DIRECCIÓN	83
TABLA 28: CÁLCULO DEL CÓDIGO DE EJE CARGADO.	83
TABLA 29: CÁLCULO DE EJES EQUIVALENTES.....	84
TABLA 30: NIVELES DE CONFIABILIDAD	85
TABLA 31: DESVIACIÓN ESTÁNDAR NORMAL	85
TABLA 32: ERROR ESTÁNDAR COMBINADO	85
TABLA 33: MÓDULOS DE ELASTICIDAD DE MATERIALES DE PAVIMENTOS.....	87
TABLA 34: PERDIDA DE SERVICIABILIDAD	89
TABLA 35: DRENAJE.....	89
TABLA 36: CALIDAD DE DRENAJE	89
TABLA 37: COEFICIENTE DE TRANSMISIÓN DE CARGA	90
TABLA 38: RESUMEN DE CONTEO VEHICULAR DE LA AV. INDEPENDENCIA.	93
TABLA 39: PERIODO DE DISEÑO	94
TABLA 40: CÁLCULO DE DISEÑO	95
TABLA 41: CARGA DE DISEÑO.....	95
TABLA 42: FACTOR DE SEGURIDAD	95
TABLA 43: TRÁNSITO DE DISEÑO.	96
TABLA 44: INFLUENCIA DE LAS BASES NO TRATADAS EN LOS VALORES "K"	97

TABLA 45: MÓDULO DE REACCIÓN DE SUBRASANTE POR FATIGA	98
TABLA 46: MÓDULO DE REACCIÓN DE SUB RASANTE POR EROSIÓN	99
TABLA 47: RESUMEN DE CARGAS POR EJES.....	100
TABLA 48:	101
TABLA 49: PRECIOS DE LA SUBBASE GRANULAR.....	104
TABLA 50: CUADRO COMPARATIVO DEL ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS DE PAVIMENTO DEL MÉTODO AASHTO Y PCA	106
TABLA 51: CUADRO COMPARATIVO DEL ANÁLISIS DE COSTO TOTAL ENTRE LA SUBBASE Y EL PAVIMENTO DEL MÉTODO AASHTO Y PCA.....	111

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1: JUNTAS LONGITUDINALES CON BARRAS DE UNIÓN	26
FIGURA 2: TIPOS DE SELLADORES	28
FIGURA 3: POSICIÓN CRÍTICA DE LAS CARGAS MÉTODO DE DISEÑO PCA	31
FIGURA 4: CARGAS CRITICAS PARA EL ANÁLISIS DE EROSIÓN	31
FIGURA 5: NOMOGRAMA DE DISEÑO AASHTO 93 PARA PAVIMENTOS RÍGIDOS.....	43
FIGURA 6: DIAGRAMA DE FLUIDEZ DE LA CALICATA N°01	73
FIGURA 7: DIAGRAMA DE FLUIDEZ DE LA CALICATA N°02.....	76
FIGURA 8: DIAGRAMA DE FLUIDEZ DE LA CALICATA N°03.....	79
FIGURA 9: MONOGRAMA PARA DETERMINAR EL MÓDULO DE REACCIÓN COMPUESTO DE LA SUBRASANTE, SUPONIENDO UNA PROFUNDIDAD INFINITA	88
FIGURA 10: ESPESOR O ALTURA DEL PAVIMENTO DE NOMOGRAMA AASHTO	91
FIGURA 11: REPRESENTACIÓN DEL ESPESOR DE LA LOSA POR MÉTODO AASHTO	91
FIGURA 12: REPRESENTACIÓN DE JUNTA TRANSVERSAL	92
FIGURA 13: JUNTA LONGITUDINAL DE CONSTRUCCIÓN	93
FIGURA 14: RELACIÓN ENTRE EL MÓDULO DE REACCIÓN DE SUB RASANTE "K" Y EL VALOR SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR)	96
FIGURA 15: FACTOR RAZÓN DE ESFUERZO	100
FIGURA 16: FACTOR EROSIÓN	101
FIGURA 17: REPRESENTACIÓN DEL ESPESOR DE LA LOSA POR MÉTODO PCA	102
FIGURA 18:	103
FIGURA 19:	103
FIGURA 20: GRÁFICO COMPARATIVO DE LOS COSTOS TOTALES DEL MÉTODO AASHTO Y PCA	112

INDICE DE ECUACIONES

ECUACIÓN 1: ESPACIAMIENTO DEL PASADOR	27
ECUACIÓN 2: LONGITUD DE ACERO DEL PASADOR	28
ECUACIÓN 3: ANÁLISIS DE FATIGA Y CRITERIOS DE FALLA	30
ECUACIÓN 4: NUMERO DE EJES EQUIVALENTES, PARA PAVIMENTO RÍGIDO AASHTO 93	35
ECUACIÓN 5: CALCULO DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD Y RESISTENCIA A LA FLEXO TRACCIÓN DEL CONCRETO	38
ECUACIÓN 6: MODULO DE REACCIÓN COMPUESTO Y COMBINADO DE LA SUBRASANTE.....	40
ECUACIÓN 7: MÉTODO ASSHTO (FORMULA DE DISEÑO)	42
ECUACIÓN 8: TRANSITO PROMEDIO DIARIO ANUAL	93
ECUACIÓN 9: ERROR ESTÁNDAR DE LA MEDIA	94
ECUACIÓN 10: FACTOR DE CRECIMIENTO	94
ECUACIÓN 11: ÍNDICE MEDIO FUTURO (IMDF)	95
ECUACIÓN 12: DETERMINACIÓN DEL VALOR DE SOPORTE DE LA SUBRASANTE.....	96
ECUACIÓN 13: MODULO DE REACCIÓN COMBINADO PARA BASE GRANULAR.....	97
ECUACIÓN 14: MODULO DE ROTURA DE CONCRETO (MR)	97

RESUMEN

En la provincia de Trujillo escogida para el estudio, existen pavimentos rígidos que se agrietan por fatiga acumulada, generando fallas técnicas en las losas de concreto armado, este problema se origina por la falta de criterios de diseño del método PCA y el método AASHTO donde los diseñadores no consideran los estudios necesarios para diseñar. El objetivo principal de este estudio es realizar el análisis comparativo de la estructura de pavimento rígido mediante métodos AASHTO Y PCA en la av. Independencia - provincia de Trujillo –2022, Tipo de investigación: por la orientación, el enfoque considerado para la investigación cuantitativo, el cual según Rodríguez (2016) analizan hechos existentes y sometidos a las leyes y patrones generales; asimismo, se tuvo como resultado el estudio de suelos y el estudio de topografía, lo cual permitió el diseño de ambos métodos que están orientados a procedimientos experimentales. consideramos que la hipótesis es cierta, ya que el método de diseño de pavimento rígido AASHTO tiene un espesor de pavimento menor y, por lo tanto, se tiene como conclusión que el costo de construcción del método AASHTO es menor que el método de diseño PCA.

Palabras claves: Método PCA, AASTHO, Estudio de suelos, Estudio de topografía

CAPITULO I: INTRODUCCION

1.1. Realidad Problemática

Se sabe que un pavimento rígido está formado de una losa de concreto armado o concreto simple de cemento portland colocada sobre una cimentación o se puede decir sobre el suelo, esta estructura transmite la fuerza al suelo de forma mínima y es autoportante. Por otra parte, también cabe mencionar que, para la formación de un pavimento rígido, comprende todas las operaciones de nivelación, perfilado, nivelación y compactación del suelo en todas las zonas donde se hayan realizado cortes, con el fin de homogeneizar la superficie y permitir la instalación de los materiales que se utilizarán para mejorar la sub rasante y la base con la finalidad de respetar los planos de alineaciones, nivelaciones y cortes.

El método (American Association Standards Highway Transportation Officials [AASHTO], 1993) se desarrolló en la década de 1960 en los Estados Unidos, donde se tomaron en cuenta varios ensayos a gran escala, realizados durante un período de 2 años para desarrollar tablas, fórmulas y gráficos. Por otro lado, en la versión de 1986 mejoraron la versión con algunos conceptos relacionados con la estructura del pavimento, luego en 1993 se desarrollaron los conceptos básicos del pavimento rígido como son la cimentación, rellenos, losas de concreto, selladores, juntas y daños en el pavimento. (ICG, 2012)

El método (Portland Cement Association [PCA], 1984) fue instaurado en el año 90 en el país de estados unidos con el objetivo de diseñar un pavimento rígido considerando el espesor de la losa de concreto armado o concreto simple teniendo en cuenta los conceptos básicos de la fatiga y del tránsito vehicular; asimismo, 1998 el método PCA fue actualizado con la finalidad de calcular un pavimento rígido teniendo en cuenta la experiencia, basado en teorías

de Westergaard, Pickett y Ray y complementado con conceptos básicos sobre elementos finitos donde se determina el comportamiento de una losa de concreto. (ICG, 2012)

A nivel mundial, los pavimentos rígidos tienen dificultad con la erosión del subsuelo porque no respetan su longevidad, hay un problema entre la compactación del subsuelo y la humedad, y la falta de estabilización con aditivos alternativos, como la cal, donde el objetivo es aumentar el suelo. resistencia en un 16% después de 7 días de prueba, incluso la humedad no disminuyó en un 27,86% después de 7 días de estudio. (Rodríguez, 2016)

En Brasil, las principales fallas de los pavimentos rígidos se deben principalmente a la erosión por bombeo y escalonada, teniendo en cuenta el movimiento del agua que muchas veces pasa por debajo de la losa y provoca mucha erosión, la principal causa de la erosión del pavimento. El material de capa delgada puede quedar suspendido, agua en el sustrato y una desalineación excesiva en los bordes y las esquinas. (Ruano, 2012)

En Bolivia, el principal deterioro del pavimento rígido se debe a la inestabilidad del suelo, que amerita ser tratado con cemento o algún método empírico como el encalado. Por otro lado, no cuentan con normativa en cuanto a pavimento rígido, donde se toman en cuenta conceptos básicos como la durabilidad de los materiales y pruebas comparativas que atienden al contexto local. La Autoridad de Carreteras de Bolivia (ABC) tiene regulaciones de los Estados Unidos, donde no es lo mismo que los suelos blandos de aguas arriba de Bolivia. (Elizondo et al. 2010)

En Chile, el tipo de falla más común en los pavimentos rígidos se produce por fisuras determinadas por la separación de losas de concreto en dos o más partes, este tipo de falla se da por la falta de orientación con respecto al eje de la vía. Por otro lado, existen fisuras

longitudinales, fisuras transversales y fisuras en las esquinas; ambos tienen severidad severa donde la grieta tiene más de 35 mm de ancho con descamación o irregularidad. (León, 2013)

En Colombia, el comportamiento de los daños a los pavimentos ha evolucionado de diferentes formas, tales como daños por agregados reactivos, suelos blandos, superficies muy débiles por exudación del concreto, derrames, ataque químico al concreto, refuerzo superficial de contacto, descomposición de esquinas y puntos de intersección de redes o mallas de fisuras capilares. Por otro lado, en las obras de pavimentación en el país de Colombia, no se prueban completamente la calidad de las losas de concreto vaciado y es ahí donde se usa la dosificación incorrecta, exceso de agua, se usa poca cantidad de cemento. y agregados que no concuerden con su diseño. (Montejo, 2010)

En el Perú existe un problema con la deformación de los pavimentos rígidos, donde las vías no tienen la fuerza, la resistencia, tienen mayores costos de mantenimiento. Además, la mayoría de los suelos no tienen las mejores propiedades para usar porque carecen de estabilidad de volumen y tienen brechas en su permeabilidad. Por otro lado, no existe un análisis único para todos los proyectos donde se pueden prever los problemas. En nuestro país, los factores relacionados con el diseño de pavimentos rígidos no han sido experimentados debido al proceso de patentamiento, los resultados obtenidos de diversas investigaciones no son de mucha ayuda en la actualidad. (Brackel, 2012)

En la libertad existen pavimentos rígidos que fallan por fatiga acumulada, provocando grietas en las losas de hormigón armado por la carga de los vehículos, este problema se debe a la falta de criterios de diseño del método PCA, donde los proyectistas no consideraron el espesor mínimo de la losa de concreto para soportar la carga durante su vida útil. Por otro lado,

la inversión de pavimento por método PCA es muy costosa, pero asegura un buen desempeño a futuro con espesores menores a los requeridos. Asimismo, los proyectos de gestión pública no consideran todos los tipos de defectos que puede tener un pavimento rígido y peor aún no consideran a los profesionales adecuados para diseñar el pavimento rígido correctamente y con métodos adecuados de acuerdo con las necesidades del proyecto. En el sitio seleccionado para el estudio es la Av. Independencia - el Porvenir - Provincia de Trujillo, la población utiliza la avenida para trasladar sus productos por lo que es necesario mejorar el acceso para los residentes que necesitan trasladarse de la av. Independencia a otro lugar. Sin embargo, en el año del 2017 se realizó un proyecto con pavimento rígido, pero con el paso de los años su vida útil llegó a su fin debido a la insuficiente investigación del proyecto y no tomaron en cuenta diversos estudios que son necesarios para un pavimento rígido. Desafortunadamente la falta de experiencia de los proyectistas aprobaba proyectos mal diseñados. Además, los proyectistas no consideraban los procedimientos del método AASHTO o el método PCA.

Conformación y compactación de base granular: Es la capa intermedia de la estructura de revestimiento del subsuelo granular y la capa de soporte. Además, es una estructura básica y elemental que realiza las siguientes funciones: soporta y distribuye la presión aplicada en toda el área; elimina rápidamente el agua de la base como drenaje y evita que el agua suba por capilaridad desde los pisos inferiores; absorbe las deformaciones de la capa inferior. (Montejo, 2010)

Proceso constructivo de un pavimento rígido: Determinamos que, en el caso de equipo, se debe usar equipo apropiado para la preparación del suelo, y en ausencia de equipo, se debe usar equipo apropiado. Manual, pero con rodillo de vibración fina de 1 Tn. Se utiliza para la compresión. El material base se debe aplicar y esparcir sobre

un sustrato aprobado en cantidad suficiente para compactar al espesor que se muestra en el dibujo. La distribución se realizará mediante una máquina etiquetadora manual en un lugar privado y de difícil acceso. La compactación se realizará con rodillos de balasto y las características de desempeño serán confirmadas por el gerente. Es preferible utilizar rodillos lisos o de vibración suave y utilizar rodillos neumáticos con ruedas oscilantes para el acabado. La compresión comienza desde el borde de la línea a través del centro de la línea paralela a su eje en una cantidad suficiente para asegurar la estanqueidad en la zona de control. Para zonas de rodadura de difícil acceso. (Montejo, 2010)

Capas de un pavimento rígido: Los pavimentos rígidos tienen una serie de capas de soporte desde la base hasta la capa de desgaste, y la calidad de los materiales que componen el pavimento mejora a medida que se acerca a la capa de desgaste. Una vez colocado el material se riega y se clasifica. Por otro lado, los camiones cisterna son equipados con equipos para asegurar un riego uniforme. La operación será continua hasta obtener una mezcla homogénea con humedad uniforme. En caso contrario, considere la definición de la capa, por ejemplo, en el caso de suelo portante: es el suelo del fondo del camino, que puede ser natural, perfilado o compactado; el diseño geométrico de los límites viales previstos o el material prestado natural necesario para el relieve. (Velásquez, 2014)

Sub base: Es una capa sobre una base constituida por material granular de buena granulometría, que además debe ser conformado y compactado entre 95 y 100 con una densidad seca máxima que cumpla con el ensayo Proctor estándar. Además, se usa una herramienta para el aumento en la capacidad de carga del suelo, lo que conduce a una disminución en el espesor de la capa de desgaste. Sin embargo, el efecto no es grande. Desde el punto de vista de proteger el suelo de la pérdida de finos y uniformizar el soporte que

formará la capa de desgaste del hormigón, es preferible utilizar material granular entre el material base y la capa de desgaste. (Velásquez, 2014)

Base: Generalmente se considera una capa como base adicional para pavimentos de asfalto, pero es importante mencionar que para diseñar un pavimento de concreto se tiene en cuenta el mejoramiento de la sub rasante. Cuando se utilizan materiales granulares finamente graduados, o el espesor de menos de 10 cm es difícil de compactar, por lo que no se recomienda usar el espesor de menos de 10 cm, y es mejor usar 15 cm cuando se trabaja. (Velásquez, 2014)

Base estabilizadora de cemento: La base estable permite el uso de materiales reciclados en obra con las siguientes ventajas: menor erosión de la suela, menor tensión y deformación, mejor transferencia de carga entre placas, entre otras magnitudes. Por otro lado, siempre que el material estabilizador no contenga partículas orgánicas y el equivalente de arena sea mayor a 30 cm, se puede estabilizar con cemento. (Velásquez, 2014)

Carpeta de rodadura: La capa de rodadura está formado por un concreto hidro formado, teniendo en cuenta un módulo de flexión llamado MR superior a 2 kg/cm³, lo cual es equivalente a $f'c=210$ kg/cm² hasta 320 kg/cm². Por otro lado, los pavimentos de concreto con un MR superior a 50 kg/cm² pueden clasificarse por métodos de diseño, es mejor no exceder esta medida ya que las losas se vuelven demasiado rígidas y más propensas a agrietarse debido al alto contenido de cemento de estas losas. (Velásquez, 2014)

El Tránsito: Existen diferentes enfoques para el diseño de un pavimento rígido, teniendo en cuenta el diseño de estructuras que permiten el tránsito de vehículos con diferentes parámetros de carga en el tiempo requerido.

Por lo tanto, el diseño del pavimento requiere la cantidad, el tipo y el peso de los vehículos que estarán en la carretera después de que se complete el pavimento, así como el tiempo estimado. Por lo tanto, el diseño del pavimento requiere la cantidad, el tipo y el peso de los vehículos que estarán en la carretera después de que se complete el pavimento, y los métodos de diseño generalmente recibidos, como PCA y AASHTO, solo están de acuerdo con camiones pesados. Es un factor por considerar al estimar el espesor. Esto significó que los automóviles y camiones no se incluyeron en el proyecto causaron muy poco daño a la carretera.

Sin embargo, los dos métodos anteriores incluyen efectos de tráfico de diferentes maneras, como PCA, que incluyen compresión y daño axiales acumulados. Por otro lado, el método AASHTO 93 simplifica el cálculo de un solo eje estándar con una masa equivalente de un solo eje (ESAL) de 8,2 toneladas. (Velásquez, 2014)

Criterios de Aceptación: Los pavimentos están diseñados para ser completamente funcionales y estructurales, por lo que el proyectista debe tener en cuenta los criterios de aceptación durante la partición, expresados como comodidad del techo o mantenimiento del Índice Internacional de Rugosidad (IRI). Dependiendo del tamaño de la vía, el IRI del pavimento nuevo puede estar dentro del rango permitido de 1 a 2 m/km. El IRI final, es decir el IRI esperado después de la fase de diseño está entre 5 m/km. (Velásquez, 2014)

Fisuración transversal: Se puede definir que la fisuración transversal se ocasiona por la cantidad de cargas repetidas, lo cual origina un agrietamiento por tracción en la mitad de la losa depende en gran medida de la relación entre el esfuerzo de flexión y el módulo de ruptura del concreto, este tipo de fisuración se da en los dos métodos de diseño tales como el método PCA y el método AASHTO. (Montejo, 2010)

Juntas: Son longitudinales y transversales y su función es crear grietas cuando el hormigón se contrae y así aislar el movimiento de las losas de elementos ocultos como buzones e incluso partes del edificio del programa. Estos son puntos débiles del pavimento porque permiten la penetración de fluidos que pueden corroer el subsuelo o materiales incompresibles que limitan el movimiento; por lo tanto, además de la planificación, deben sellarse y revisarse con frecuencia. (Montejo, 2010)

Restricciones y mecanismos de transferencia de carga: Según los requisitos de carga del tráfico y la geometría de la carretera, las autopistas tienen mecanismos de transferencia de carga entre losas adyacentes y superficies de intersección. **Movimiento:** Esto puede ser causado por agregados obstruidos o juntas de contracción transversales obstruidas. Los remaches son barras de acero lisas con bordes redondeados colocados en un plano perpendicular a la sección transversal. Deben estar centrados y permitir que los paneles adyacentes se muevan, pero no presionar su movimiento. (Montejo, 2010)

Confinamiento lateral: La restricción lateral es importante porque controla el esfuerzo de flexión y la deflexión en la losa. Además del bordillo, también puede ser de hormigón, adherido o no, asfalto o material granular en la continuación de la superficie de la calzada; soportes laterales fijados con ménsulas. Los puntales están hechos de acero corrugado y su función es controlar el movimiento horizontal entre dos rieles adyacentes. Se coloca perpendicular a las juntas longitudinales, que son barras corrugadas generalmente de $3/8\frac{1}{2}$ o $5/8$ de pulgada de diámetro; longitudes de 50 cm a 100 cm, y espaciamiento de 0,5 a 1,0 m. (Montejo, 2010)

Textura: El propósito del concreto texturizado es proporcionar la masa necesaria para el pavimento, permitiendo el contacto con el borde de la carretera y permitiendo el paso seguro de vehículos. La micro textura es la textura que se obtiene en la superficie del pavimento con una llana húmeda y depende en gran medida de las propiedades del agregado. Los marcos estructurales se fabrican con máquinas herramienta, como peines de metal o unidades más complejas que se pueden colocar en adoquines. (Montejo, 2010)

Temperatura y humedad: Los cambios estacionales de temperatura y humedad pueden afectar el desempeño de los pavimentos de concreto. En efecto, estos cambios crean gradientes en la estructura del proceso de desgaste. Ocurrencia de fuerzas y deformaciones que causan daño a un pavimento rígido. Las losas de hormigón se expanden y contraen bajo la influencia del calor y la humedad y sufren un proceso de deformación que define formas convexas y cóncavas, respectivamente, según sea de día o de noche, lo que, junto con el tráfico, aumenta la posibilidad de fisuración del hormigón. En estos casos, lo más importante es determinar el tamaño de la costura transversal. En climas fríos donde existen ciclos de hielo-deshielo, así como en climas extremadamente cálidos, se debe prestar especial atención al diseño y colocación de las mezclas de concreto. (Montejo, 2010)

Lluvia: El agua de lluvia puede ser una fuente de agua que se filtra en las juntas del pavimento de concreto. La intrusión de agua junto con tierra fina en el suelo y el tráfico pesado hacia él da como resultado lo que se conoce como bombeo con la erosión subsiguiente del material de apoyo y la pérdida de capacidad de carga. Para reducir el riesgo de bombeo, los

diseñadores deben limitar o proteger el contenido delicado del sustrato, y lo hacen. (Montejo, 2010)

Granulometría: Se puede definir que la granulometría tiene diferentes tipos de tamaño de material (como porcentaje del peso total) de las partículas que participan en los componentes del suelo que representan. Las propiedades físicas y mecánicas del suelo están directamente relacionadas con su tamaño de grano, y su identificación es fundamental para determinar sus propiedades mecánicas, especialmente cuando se carga directamente. (Elaboración de sal, 2021)

Plasticidad: Propiedad de un suelo que cambia de forma (dentro de un cierto rango de humedad) y la retiene sin perder volumen ni romperse cuando se somete a fuerzas de compresión. (Elaboración de sal, 2021)

Límite de Atterberg o límite de densidad: Se utiliza en suelos bien caracterizados, lo cual los límites llevan el nombre del científico sueco Albert Mauritz Atterberg, donde define que el suelo es firme cuando está seco. Asimismo, cuando adicionan el agua de manera gradual, se convierte en un estado semisólido, plástico y líquido. El contenido de humedad en el que se produce la transición de un estado a otro se conoce como límite de Atterberg. (Elaboración de sal, 2021)

Límite Líquido (LL): Se puede definir que el límite líquido este compuesto por humedad teniendo una reacción en el suelo como un material dúctil, además el porcentaje de humedad en el suelo puede cambiar su comportamiento en un líquido viscoso. (Elaboración de sal, 2021)

Límite Plástico (LP): Se puede definir que el límite plástico de un suelo está determinado por que el contenido de agua determina que el suelo exhiba una plasticidad, dando así el origen el índice de plasticidad (IP). (Elaboración de sal, 2021)

El índice de plasticidad (PI): Es una medida de la cantidad de agua que el suelo puede absorber antes de que se disuelva en la solución. Cuanto mayor sea el número, más plástico y débil será el material. La cal suele reaccionar con suelos arcillosos con un PI entre 10 y 50, reduciendo significativamente el PI y generando nuevo PI. (Elaboración de sal, 2021)

Equivalencia de Arena: Esta es una prueba relacionada con el tamaño de partícula del material, cuyos resultados dan una idea de la proporción de partículas finas en el suelo de menos de 80 unidades de tamaño, consiste en mostrar una sección transversal de una muestra de suelo 0 malla de diámetro 32 mm, altura 30 mm, en probeta graduada hasta 380 mm. Luego se llenaron los tubos con agua destilada, cloruro de calcio anhidro, glicerina y soluciones durante 20 minutos y se leyó la solución de arcilla. (Salinas, 2021)

Densidad seca máxima vs humedad óptima: El suelo suelto tiene un volumen mayor que el suelo compactado porque contiene más vacíos. Durante la compresión, el volumen vacío disminuye, reduciendo así el volumen total y aumentando la densidad. A medida que aumenta la humedad, aumenta la densidad porque el agua lubrica las partículas, haciéndolas más fáciles de comprimir. Sin embargo, si se agrega demasiada agua, las fuerzas hidrostáticas resultantes ya no comprimen los poros y tienden a separar las partículas. Por lo tanto, la humedad óptima se encuentra en suelos más densos. (Elaboración de sal, 2021)

Ensayo de Proctor: Existen varios métodos estáticos o dinámicos para medir el contenido óptimo de humedad y la máxima densidad seca. El método más utilizado es el test

dinámico o Proctor en sus versiones estándar (AASHTO - 99) y modificada (AASHTO -180). Los intentos de determinar la masa de suelo compactado por unidad de volumen usando varios métodos de determinación de humedad se limitan a suelos que están completamente infiltrados por más de una celda. (Salinas, 2021)

CBR: Abreviatura de California Bearing Ratio, una prueba definida por AASHTO T-193 para determinar la capacidad del suelo para resistir el desplazamiento en condiciones controladas de densidad y humedad. CBR compara la presión requerida para empujar un pistón a través de una muestra de suelo dada con la presión requerida para una muestra estándar (roca acústica triturada). La prueba en sí consiste en medir la carga requerida para que un pistón de 19 cm² empuje un material de suelo determinado a una velocidad de 1,2 mm por segundo. un minuto. (Elaboración de sal, 2021)

Módulo de reacción del suelo de cimentación k: También conocido como ensayo de un pavimento rígido, su propósito es determinar la presión que se debe aplicar al suelo para lograr una deformación específica, lo cual se rige por AASHTO T-333. Los valores K utilizan es de 30 pulgadas de diámetro bajo una presión que produce una deformación de 0,05 pulgadas. En este caso, k es igual a la tensión que actúa sobre la placa dividida por la deformación. Este valor se utiliza directamente en los métodos de diseño PCA 8 y AASHTO 93. (Salinas, 2021)

Módulo de elasticidad (Sr.): Un neumático centrado en la carretera transfiere la fuerza impulsora a todas las capas del pavimento, incluida la almohadilla, sometiéndolas a cierta deflexión. Se desarrolló una prueba de módulo elástico del suelo para reproducir este comportamiento. En el laboratorio se utiliza una cámara de tres ejes y las muestras se analizan cíclicamente mediante pulsos con una duración de 0,1 s y un tiempo

estático de 0,9 s. Se miden el esfuerzo de flexión y la deformación total y permanente de la probeta. (Elaboración de sal, 2021)

Equivalencia de arena: Esta es una prueba relacionada con el tamaño de partícula del material. Sus resultados indican la proporción de partículas finas (menos de 80 μm) en el suelo. Consiste en colocar una porción de malla de la muestra de suelo en un tubo de ensayo graduado de 380 mm de 33 mm de diámetro, 30 mm de alto. Luego se llena el cilindro con una solución de destilación, cloruro de calcio anhidro, glicerina y formaldehído. Después de mezclar el suelo y dejar reposar la solución durante 30 minutos, se lee la solución de arcilla resultante. Luego coloque el matraz para leer la altura del material granulado e ingrese el valor en la siguiente fórmula. $EA = \text{lectura de arena/arcilla} (100)$, redondeada al número entero más próximo. Un equivalente de arena alto indica que el suelo contiene finos pequeños (limo y arcilla). (Elaboración de sal, 2021)

Sistema de Clasificación de Suelos: La clasificación del suelo se hace para entender sus propiedades, lo cual significa que la ubicación del sitio de investigación en el sistema de recomendación permite obtener información adicional más adelante. Es por esta misma razón que existe el método del comité de estudio de caminos, lo cual se puede determinar que es el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS). Además, la clasificación de suelos es importante para el diseño de carreteras.

Por otro lado, Las parcelas se dividen en grupos marcados con la letra A seguida de un número y una letra; además, el valor apropiado del índice de grupo de tipo de suelo (IG) debe darse entre paréntesis. Los valores de IG van de 0 a 20 y están relacionados con la calidad del

suelo, siendo los suelos de bajo rendimiento los que tienen un IG más alto. (Elaboración de sal, 2021)

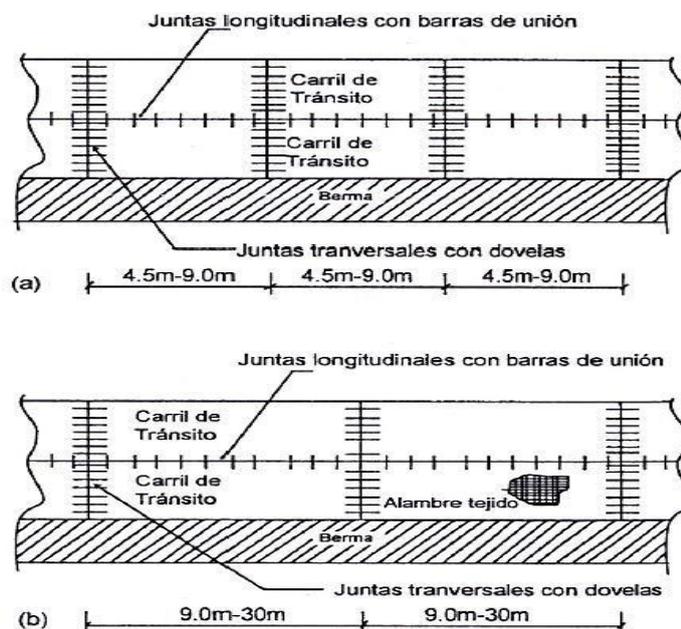
Método de diseño de pavimento rígido: Los pavimentos rígidos se utilizan principalmente en las principales carreteras y aeropuertos. Las losas de hormigón deben diseñarse para resistir las cargas del tráfico y evitar que el pavimento se dañe por fatiga debido a las cargas repetidas. El pavimento rígido está diseñado para durar de 15 a 20 años, pero lo más probable es un ciclo de diseño de 30 a 0 años. Además, las cargas de tráfico deben tener en cuenta el efecto de los gradientes térmicos sobre los esfuerzos de tracción, que pueden provocar la falla del hormigón debido a la baja resistencia a la tracción. Este problema generalmente es causado por la elección correcta de la extensión de la losa en el plano, considerando la distribución del refuerzo para el control de grietas y el diseño del espaciado de grietas y los elementos de control de la losa. (ICG, 2012)

Método PCA para pavimentos no reforzados: Portland Cement Association (PCA) 1984 Design Method for Design Thickness of Concrete Highways and Streets, monografía publicada en 1966. Se puede utilizar un pavimento de hormigón simple como método de carga. Pavimento de concreto Armado y Pavimento de concreto Armado Continuo (CRCP) y Pavimento de concreto Armado (JRCP). La justificación del diseño se basa en la experiencia con el diseño de pavimento tradicional y la investigación sobre la relación entre el rendimiento del pavimento y la falla del pavimento en la Prueba de Carretera AASHTO. Los problemas de diseño se pueden resolver manualmente usando las tablas y diagramas adjuntos o usando algún software. (ICG, 2012)

Forma de diseño: El proceso de diseño PCA para una vía con pavimento rígido es de la manera siguiente: determinar el módulo de ruptura de 28 días del concreto, determinar el factor de carga seguro (LSF), determinar la distribución de carga axial, determinar el módulo de reacción básico k (correspondiente) y calcule el número esperado de iteraciones para el eje de diseño. (ICG, 2012)

Tipo de Junta: Un enfoque inicial es definir un tipo de conexión se requieren pasadores en las juntas horizontales cuando se trabaja con paneles de más de 6 pulgadas. También debe decidir qué tipo de hombro instalar, concreto o asfalto. Los bordillos de concreto ayudan a que el pavimento se mantenga en mejores condiciones y soporte cargas más altas, pero cuestan más que los bordillos de concreto, por lo que este aspecto debe determinarse ya en el proceso de diseño. (ICG, 2012)

Figura 1: Juntas Longitudinales con Barras de Unión



Fuente. Guía AASHTO “Diseño de estructuras de pavimentos, 1993

Juntas Transversales de Construcción

Las juntas de construcción separan los paños colocados en diferentes tiempos, tales que la colocación final del día o entre un pavimento a una nueva estructura. La transferencia de carga, estas van de manera longitudinales o transversales. Según la norma RNE, para una varilla corrugada de manera transversal cumpliendo la función de amarre entre paños.

- **Espaciamiento y Longitud del Pasador**

Tabla 1: *Espaciamiento y Longitud del Pasador*

RANGO DE ESPESOR DE LOSA (MM)	DIÁMETRO	
	(MM)	PULGADA
150 - 200	25	1”
200 – 300	32	1 ¼”
300 – 430	38	1 ½”

Fuente. Guía AASHTO “Diseño de estructuras de pavimentos, 1993

- **Espaciamiento del Pasador ≤ 0.75 m**

Ecuación 1: *Espaciamiento del Pasador*

$$L = \frac{\pi * d^2 * fs}{4 * a * h * Yc * f}$$

Donde:

π = 3.1416

d = Diámetro de la Varilla elevado al cuadrado

fs = Esfuerzo de trabajo del acero

a = Ancho del paño (cm)

h = Espesor de Losa (cm)

Yc = Peso específico del C°; $Yc=2.4 \text{ Ton/m}^3 = 0.0024 \text{ kg/m}^3$

f = Coeficiente de fricción entre paño y suelo; $f=2$

Fuente. MTC

- **Longitud de acero del pasador**

Ecuación 2: Longitud de Acero del Pasador

$$b = \frac{d * fs}{4 * u}$$

Donde:

d = Diámetro de la Varilla elevado al cuadrado

fs = Esfuerzo de trabajo del acero

u = Esfuerzo de Adherencia por flexo tracción; u=29 Kg/cm² para barras corrugadas; u=14Kg/cm² para barras lisas.

Fuente. MTC

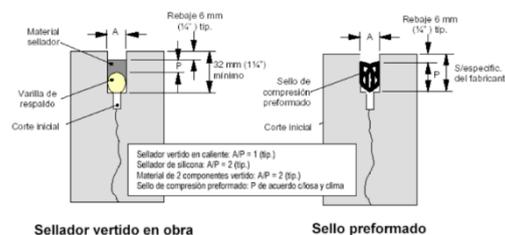
- **Ancho y profundidad de junta**

El rango del ancho y profundidad de la junta varía entre D/3 a D/4. Donde “D” es el espesor del pavimento en (cm).

- **Sellos elastomericos**

Posterior a los cortes de juntas, se realiza un sellado cuya función principal es disminuir la infiltración de agua al pavimento y evitar la intrusión de otros materiales dentro de las juntas que pueden causar la rotura de estas (descascaramientos). En la selección del sello podemos considerar vida útil, datos climáticos, entre otros agentes importantes. La cual es importante precisar que deben cumplir con ciertas características: Impermeabilidad, Deformabilidad, Resiliencia, Adherencia, Resistencia, Estable, Durable.

Figura 2: *Tipos de Selladores*



Fuente. Guía AASHTO “Diseño de estructuras de pavimentos, 1993

Módulo de fisuración del concreto: La resistencia a la flexión del concreto se determina en el módulo de ruptura de 28 días usando la Prueba estándar básica de viga cargada ASTM C78, una prueba de desempeño para concreto resistido hidráulicamente. en el departamento. (ICG, 2012), el módulo de respuesta de la propia moqueta depende del espesor de la moqueta sobre el pavimento como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 2: *Módulo de Reacción Granular y Estabilizado con Cemento (Packard 1984)*

Efecto de una subbase granular en el valor de k				
Valor de k de la subrasante	valores de k de la subbase (PCI)			
	4 pulg	6 pulg	9 pulg	12 pulg
50	65	75	85	110
100	130	140	160	190
200	220	230	270	320
300	320	330	370	430
Valores de diseño de k para bases tratados con cemento				
Valor de k de la subrasante	valores de k de la subbase (PCI)			
	4 pulg	6 pulg	9 pulg	12 pulg
50	170	230	310	390
100	280	400	520	640
300	470	640	830	-

Fuente. ICG 2012

Factor de seguridad de la carga: la masa de cada eje se puede definir mediante un factor de seguridad de la carga (LSF) con los siguientes símbolos: LSF = 1.2 para autopistas y otros tráficos pesados y de varios carriles continuos ideales SPF = 1,1 para autopistas e interestatales de alta velocidad; SPF = 1.0 se adjunta a autopistas, vías residenciales y otras vías con carriles de circulación.

Distribución de la presión sobre los ejes: los ejes se dividen en eje simple, eje paralelo y tres ejes. Cada 2 rampas agrupan un eje a la vez, los ejes paralelos y triaxiales agrupan cada

rampa a la vez. Superposición permitida Para cada carga en el eje i , la carga N_i se repite para la fatiga y la erosión. Calcule el daño acumulativo D , si D es mayor que 1, elija un espesor mayor y repita los pasos anteriores. El espesor de prueba es verdadero y es menor o igual a uno.

Criterios de falla: Este paso considera las observaciones de fatiga, que son criterios de falla relacionados con los esfuerzos de tracción y flexión determinados a partir de las cargas de falla. La expresión se usa para acumular daño por fatiga. El espesor medido es hasta una pérdida total no excedente a 100%. Además, se requiere una tabla de diseño que enumere el límite elástico de la rígido y el módulo de reacción combinado para determinar los factores de tensión apropiados. Por otro lado, los cálculos de fatiga se realizan en función del espesor de la rígido para verificar el agrietamiento por fatiga. El diseño se basa en un control de tensión en el centro del borde exterior y una tensión crítica en el borde. El análisis de diseño se determina teniendo en cuenta el daño acumulativo determinado por:

Ecuación 3: Análisis de Fatiga y Criterios de Falla

$$D = \sum_{i=1}^m \frac{n_i}{N_i}$$

Donde:

m : número total de grupos de peso por eje.

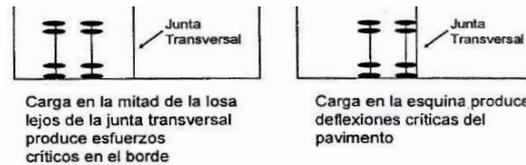
n_i : número previsto de repeticiones para el grupo de carga i .

N_i : número permisible de repeticiones para el grupo de carga i .

Fuente. ICG 2012

El análisis de fatiga siempre se realiza en modelos de bajo flujo con o sin pasador. Además, el análisis de erosión se usa comúnmente en el diseño de pavimentos de servicio mediano y pesado y pavimentos de alto rendimiento.

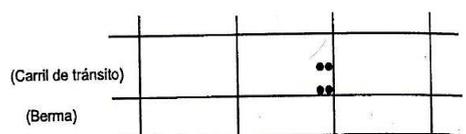
Figura 3: Posición Crítica de las Cargas Método de Diseño PCA



Fuente. ICG 2012

Análisis de erosión: El método PCA es fundamental para el diseño de pavimentos gruesos tiene como objetivo proteger los cimientos y terraplenes de la erosión causada por el bombeo y la filtración. Las tensiones críticas tratadas están en las esquinas, como se muestra en la siguiente figura. La presencia de hombros y pasadores en las juntas puede afectar el espesor de la estructura. El mismo concepto de daño acumulativo también se aplica al análisis de fatiga.

Figura 4: Cargas Críticas para el Análisis de Erosión



Fuente. ICG 2012

Ensayo de Espesores: La siguiente figura muestra el formato para confirmar el espesor del ensayo considerando los efectos de ejes separados por tipo (simple, tándem y triple).

Tabla 3: *Análisis de Fatiga y Análisis de Erosión*

CARGA POR EJE	CARGA POR EJE x Fsc	ANALISIS DE FATIGA			ANALISIS DE EROSION	
		NUMERO REPETICION ES ESPERADAS	NUMERO REPETICION ES ADMISIBLES	CONSUMO DE FATIGA (%)	NUMERO ADMISIBLE DE REPETICION ES	DAÑO POR EROSION (%)
1	2	3	4	5	6	7
KIPS						
EJES SIMPLES		Esf. Equivalente: Factor de Relacion de Esfuerzo:			Factor de erosion:	
EJES TANDEM		Esf. Equivalente: Factor de Relacion de Esfuerzo:			Factor de erosion:	
EJES TRIDEM		Esf. Equivalente: Factor de Relacion de Esfuerzo:			Factor de erosion:	
TOTAL				TOTAL		

Fuente. ICG 2012

Espesor último del pavimento rígido: Si el espesor del pavimento rígido es suficiente, las pérdidas por fatiga y erosión son menores o iguales al 100%. Además, si el espesor de control no cumple con los requisitos especificados, el valor de aluminio se repite hasta 0,5 pulgadas. (ICG, 2012).

El método de pavimento no reforzado AASHTO: Directrices de diseño para pavimento rígido se desarrolló al mismo tiempo que los pavimentos blandos y se publicó en el mismo manual. El diseño se basa en ecuaciones empíricas derivadas de las pruebas en carretera de AASHTO, con algunas definiciones adicionales basadas en la teoría y la experiencia. La metodología de diseño descrita en el Manual de AASHTO (AASHTO 1993) se desarrolló a partir de los resultados de las pruebas en carretera de AASHTO (Comité de Investigación de Carreteras, 1962). La idea básica es garantizar que el recubrimiento tenga suficiente espesor del pavimento rígido para mantener la vida útil del recubrimiento. AASHTO determina el

rendimiento del pavimento en función del Índice de servicio actual (PSI), que varía de 0 a 5. (ICG, 2012).

Procedimiento de diseño: los cálculos del tiempo de diseño considerando el proceso de diseño de pavimentos de AASHTO para calcular el volumen de tráfico durante la fase de diseño (W18); determinar el módulo de efecto secundario efectivo k ; determine la confiabilidad R y la desviación estándar pública S_o ; determinar la pérdida de servicio de diseño como espesor de rígidos. (MTC, 2018).

Tiempo de diseño: El tiempo de diseño utilizado se deriva de la opinión y los requisitos de la agencia u organización, pero para pavimento rígido, se debe considerar el tiempo de diseño más largo posible para determinar alternativas económicamente viables. El Manual de Diseño del MTC (Ministerio de Comunicaciones de Perú 2012) establece que debe tener una antigüedad mínima de 20 años. (MTC, 2018).

Transiciones de diseño: El caudal unitario se expresa como el número de repeticiones del eje equivalente por debajo del elemento determinado según el procedimiento descrito en el apartado de caudales. El manual del MTC define tres tipos de flujos de diseño, resumidos en la siguiente tabla:

Tabla 4: Repeticiones Acumuladas de Ejes Equivalentes de 8.2 Ton en la Trayectoria de Diseño (MTC 2018)

Tipo de tráfico	Tipos tráfico pesado expresado en EE	Rangos de tráfico pesado expresado en EE
Categoría 1: bajo volumen	T _{P1}	> 150,000 EE ≤ 300,000 EE
	T _{P2}	> 300,000 EE ≤ 500,000 EE
	T _{P3}	> 500,000 EE ≤ 750,000 EE
	T _{P4}	> 750,000 EE ≤ 1000,000 EE
Categoría 2: volumen medio	T _{P5}	> 1000,000 EE ≤ 1500,000 EE
	T _{P6}	> 1500,000 EE ≤ 3000,000 EE
	T _{P7}	> 3000,000 EE ≤ 5000,000 EE
	T _{P8}	> 5000,000 EE ≤ 7500,000 EE
	T _{P9}	> 7500,000 EE ≤ 10'000,000 EE
	T _{P10}	> 10'000,000 EE ≤ 12'500,000 EE
	T _{P11}	> 12'500,000 EE ≤ 15'000,000 EE
	T _{P12}	> 15'000,000 EE ≤ 20'000,000 EE
	T _{P13}	> 20'000,000 EE ≤ 25'000,000 EE
	T _{P14}	> 25'000,000 EE ≤ 30'000,000 EE
Categoría 3: volumen alto	T _{P15}	> 30'000,000 EE

Fuente. MTC, 2018

El método AASHTO 93, nos indica una ecuación que tiene la finalidad de calcular el número de ejes equivalentes (ESALS) de 8.2 toneladas o 18 kip.

Ecuación 4: Numero de Ejes Equivalentes, para Pavimento Rígido AASHTO 93

$$Fec = - \frac{W_{t18}}{W_{tx}}$$

$$\text{Log} \frac{W_{t18}}{W_{tx}} = 4.62 \text{Log}(18 + 1) - 4.63 \text{Log}(Lx + L3) + 3.38 \text{Log}(L3) + \frac{G_t}{B_x} - \frac{G_t}{B_{18}}$$

$$G_t = \text{Log} \frac{4.5 - P_t}{4.5 - 1.5}$$

$$B_x = 1 + \frac{3.63(L_x + L_3)^{5.30}}{(D + 1)^{8.46}(L_3)^{3.53}}$$

Donde:

- Tú : # Aplicaciones de carga definida al final del tiempo t.
- Wt18 : # Aplicaciones de carga equivalente al final del tiempo t.
- Lx : Carga de los ejes de los vehículos en Kips.
- L2 : Tipo de eje en contacto con el pavimento.
- Gt : Parámetro en función de la serviciabilidad final f(Pt).
- Pt : Serviciabilidad final.
- B₁₈ : Valor de B_x cuando L_x= 18 y L₂= 1

Fuente. Guide for Design of Pavement Structures, AASHTO, 1993.

Confiabilidad: El desarrollo de la guía AASHTO se centró en desarrollar un factor de confiabilidad R% para corregir las deficiencias en los pronósticos de tráfico y la falta de desempeño del pavimento rígido con su factor R%, lo cual representa la probabilidad de que el desempeño del diseño del pavimento sea mayor que el desempeño del uso final al final al periodo de diseño, teniendo en cuenta los rangos de R% recomendados por el método AASHTO, los cuales son 85-99,9%, 80-99%, 80-95% y 50-80%.

Tabla 5: Valores recomendados, donde se observa los niveles de Confiabilidad

TIPO DE CARRETERA	NIVELES DE CONFIABILIDAD R	
	Suburbanas	Rurales
Autopista Regional	85 - 99.9	80 - 99.9
Local	80 - 99	75 - 95
Colectoras	80 - 95	50 - 80

DESVIACIÓN ESTANDAR NORMAL, VALORES QUE A LOS NIVELES SELECCIONADOS DE CONFIABILIDAD		
CONFIABILIDAD R (%)	(ZR)	(So)
50	0	0.35
60	-0.253	0.35
70	-0.524	0.34
75	-0.647	0.34
80	-0.841	0.32
85	-1.037	0.32
90	-1.282	0.31
91	-1.34	0.31
92	-1.405	0.3
93	-1.476	0.3
94	-1.555	0.3
95	-1.645	0.3
96	-1.751	0.29
97	-1.881	0.29
98	-2.054	0.29
99	-2.327	0.29
99.9	-3.09	0.29
99.99	-3.75	0.29

Fuente. Guide for Design of Pavement Structures. AASHTO 1993.

Serviciabilidad: Un valor de 5 corresponde al mejor de los casos. En la ecuación de diseño, esto se expresa de dos formas: el índice de servicio inicial (P_o) y el índice de servicio final o final (P_t). Ingrese la diferencia entre los valores de aptitud inicial y final en la fórmula para determinar cambios o diferencias entre métricas. (PSI), el valor de PSI depende de la calidad de construcción. Los pavimentos de hormigón tienen un valor $P_o=4,5$ en la prueba de carretera AASHTO. (MTC, 2018).

Tabla 6: *Índice de Serviabilidad Inicial y Final*

INDICE DE SERVICIABILIDAD INICIAL
$P_o = 4.5$ para pavimentos rígidos
$P_o = 4.2$ para pavimentos flexibles
INDICE DE SERVICIABILIDAD FINAL
$P_t = 2.5$ o más para caminos muy importantes
$P_t = 2.0$ para caminos de tránsito menor

Fuente. Guide for Design of Pavement Structures. AASHTO 1993.

Propiedades de concreto armado: Los parámetros de entrada requeridos son el módulo de elasticidad E_c y el módulo de falla de 28 días del concreto S_c . Según el manual del Ministerio de transporte del Perú 2012 (MTC). Por otro lado, es importante mencionar que el concreto armado es utilizado para la construcción de pavimentos rígidos, lo cual deben cumplir con diferentes requisitos de módulo de ruptura (resistencia a la flexión) y resistencia a la compresión. (MTC, 2018).

Tabla 7: Valores de Resistencia del Concreto Armado

Rangos de tráfico pesado expresado en EE	Resistencia a la Flexo tracción del concreto (Mr)	Resistencia equivalente a la compresión del concreto (f'c)
≤ 5'000,000 EE	40 kg/cm ²	280 kg/cm ²
> 5'000,000 EE	42 kg/cm ²	300 kg/cm ²
≤ 15'000,000 EE	45 kg/cm ²	350 kg/cm ²
> 15'000,000 EE		
≤ 30'000,000 EE		

Fuente. Ministerio de transporte del Perú 2018 (MTC).

El módulo de elasticidad del hormigón armado es resistente a la tensión de flexión.

También es importante tener en cuenta que la fórmula es:

Ecuación 5: Calculo del Módulo de Elasticidad y Resistencia a la Flexo Tracción del Concreto

$$E_c = 57000 * \sqrt{f'c} \text{ (psi)}$$

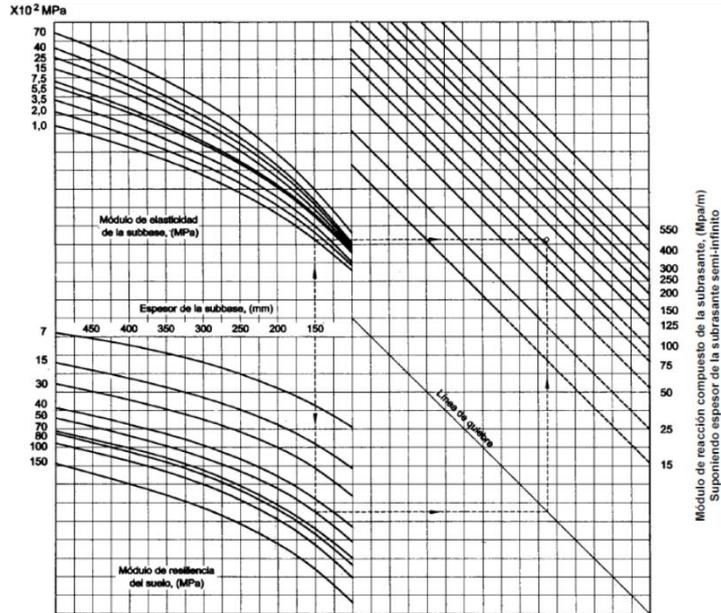
$$E_c = 150000 * \sqrt{f'c} \text{ (Kpa)}$$

Resistencia al flexo Tracción (Mr): $Mr = K * \sqrt{f'c}$

Nota. Esta característica del concreto se determina mediante el ensayo de flexión con carga al tercio. f'c = Resistencia a la compresión simple del concreto.

Módulo de reacción de la subrasante y la subbase: El dato de entrada para determinar el subsuelo es el módulo de elasticidad (Mr), luego este valor se convierte al módulo de respuesta del subsuelo, teniendo en cuenta la diversidad durante todo el año y luego la presencia de subsuelo y subterráneo si la profundidad es menor a 3 metros Estas correcciones se confirman en este gráfico de líneas. (MTC, 2018).

Tabla 8: *Nomograma para Determinar el Módulo de Reacción Compuesto*



Fuente. Guide for Design of Pavement Structures, AASHTO, 1993.

Tabla 9: *Factor Perdida de Apoyo LS*

Tipo de Material	Perdida de Apoyo (LS)
Base de cemento tratamiento granular (E = 1'000,000 a 2'000,000) (lb/pulg ²)	0.0 a 1.0
Cemento mezclas de agregado (E = 500,000 a 1'000,000) (lb/pulg ²)	0.0 a 1.0
Asfalto tratado de base (E = 350,000 a 1'000,000) (lb/pulg ²)	0.0 a 1.0
Bituminosas estabilizado mezclas (E = 40,000 a 300,000) (lb/pulg ²)	0.0 a 1.0
Cal estabilizada (E = 20,000 a 70,000) (lb/pulg ²)	1.0 a 3.0
Sin consolidar los materiales granulares (E = 15,000 a 45,000) (lb/pulg ²)	1.0 a 3.0
Fine-grained or natural subgrade	2.0 a 3.0

Fuente. Guide for Design of Pavement Structures, AASHTO, 1993.

Los suelos con un CBR del 6 por ciento o más se consideran materiales adecuados para cimientos subterráneos. En contados casos, cuando se considera menor es una sub rasante pobre o insuficiente, se utilizan métodos alternativos o mecánicos para estabilizar el suelo, siempre con base en las consideraciones dadas en las instrucciones del Ministerio de Transporte. Por otra parte, de acuerdo con el procedimiento establecido por el Ministerio de Carreteras, a la parte estructural del capital social se le debe aplicar la siguiente ecuación:

Ecuación 6: Modulo de Reacción Compuesto y Combinado de la Subrasante

$$K_c = \left[1 + \left(\frac{h}{38} \right)^2 \left(\frac{k_1}{k_0} \right)^{2/3} \right]^{-0.5} k_0$$

Donde:

$K_1(\text{kg}/\text{cm}^3)$ = Coeficiente de reacción de la sub base granular

$K_c(\text{kg}/\text{cm}^3)$ = Coeficiente de reacción combinado

$K_0(\text{kg}/\text{cm}^3)$ = Coeficiente de reacción de la subrasante

h = Espesor de la sub base granular

Fuente. Guide for Design of Pavement Structures, AASHTO, 1993.

Coeficiente de transferencia de carga: El coeficiente de transferencia de carga J se define como un indicador numérico de la eficiencia de transferencia de carga de varias estructuras. Por otro lado, el valor de J tiene condiciones de seguimiento experimentales y, por lo tanto, valores relacionados con la transferencia de carga, como los pasadores y los hombros.

Tabla 10: Coeficiente de Transferencia de Carga

Dispositivo de transferencia de carga	Berma		Asfalto		PCC	
	Si	No	Si	No	Si	No
Tipo de pavimento con juntas y refuerzo CRCP	3.2	4.4	2.5 – 3.1	3.6 – 4.2		
	2.9 – 3.2	NA	2.3 – 2.9	NA		

Fuente. Guide for Design of Pavement Structures, AASHTO, 1993.

Coefficiente de drenaje: Vale la pena señalar que el factor de secado Cd se incluye en el diseño de espesor de AASHTO para tener en cuenta las diferencias en los requisitos de espesor debido a las diferencias en las características de las capas de pavimento y la capa base. El valor $Cd = 1$ se considera en condiciones de prueba de carretera de AASHTO.

Tabla 11: Coeficiente de Drenaje en función al Tiempo

CALIDAD DEL DRENAJE	TIEMPO QUE TARDA EL AGUA EN SER EVACUADA
Excelente	2 horas
Bueno	1 día
Mediano	1 semana
Malo	1 mes
Muy malo	el agua no evacua

Fuente. Guide for Design of Pavement Structures, AASHTO, 1993.

Tabla 12: Porcentaje del tiempo en que la estructura del pavimento está expuesta a niveles de humedad próximos a la saturación

Calidad del drenaje	Porcentaje del tiempo en que la estructura del pavimento está expuesta a niveles de humedad próximos a la saturación			
	Menos de 1%	1 % - 5 %	5 % - 25 %	más del 25%
Excelente	1.35 - 1.30	1.30 - 1.15	1.15 - 1.10	1.1
Bueno	1.30 - 1.15	1.15 - 1.10	1.10 - 1.00	1
Mediano	1.15 - 1.10	1.10 - 1.00	1.00 - 0.90	0.9
Malo	1.10 - 1.00	1.00 - 0.90	0.90 - 0.80	0.8
Muy malo	1.00 - 0.90	0.90 - 0.80	0.80 - 0.70	0.7

Fuente. Guide for Design of Pavement Structures, AASHTO, 1993.

Espesor del pavimento rígido: El espesor de las placas u losas se determinó mediante el siguiente nomograma o ecuación equivalente. Los factores ambientales determinar que la expansión de la capa soporte, las heladas y el deterioro debido al desgaste pueden causar la pérdida del servicio. En la planificación, esta reducción en la facilidad de uso puede contribuir por la carga de tráfico.

Ecuación 7: Método ASSHTO (Formula de Diseño)

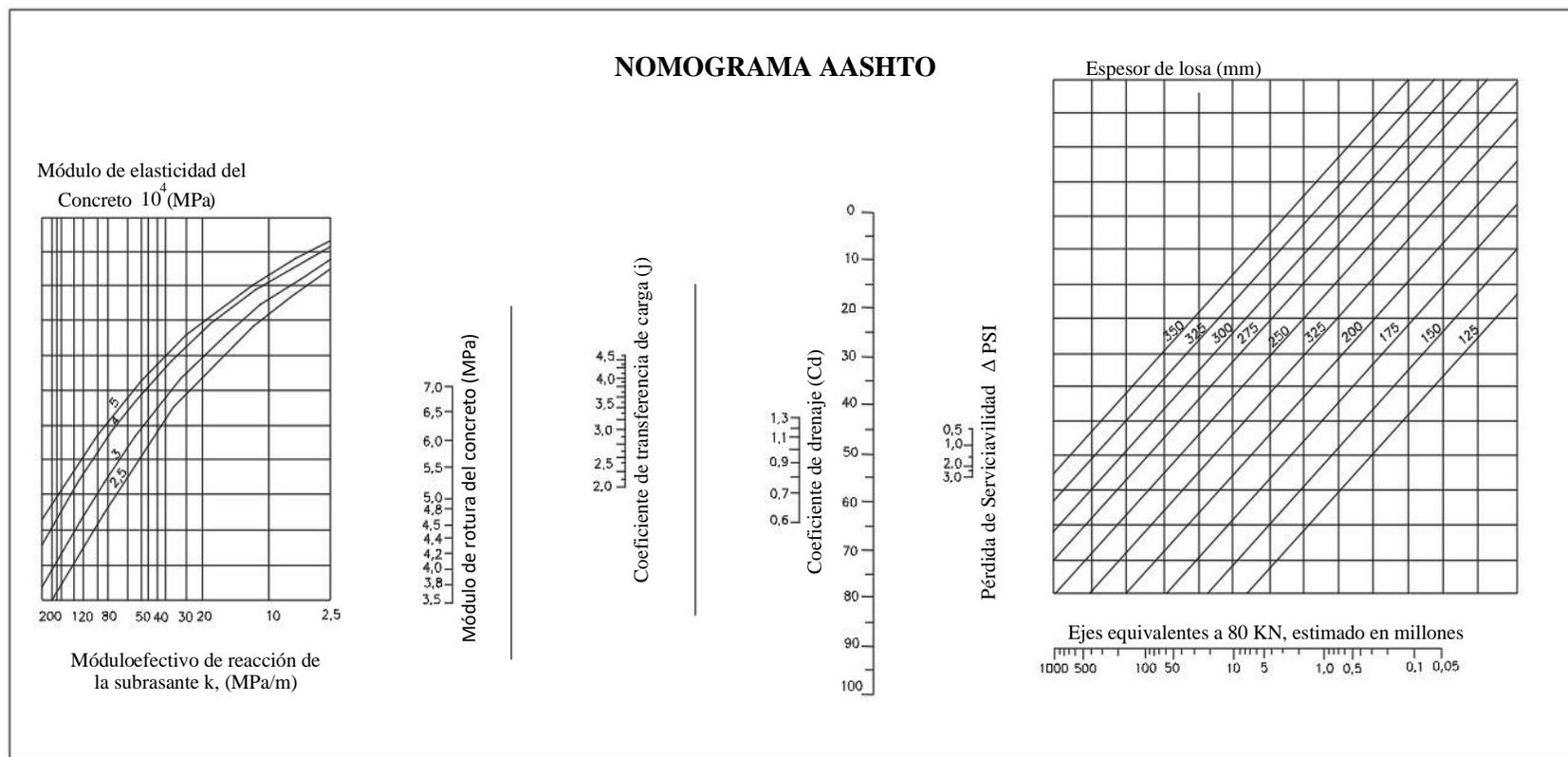
$$\text{Log}_{10} W_{82} = Z_R S_o + 7.35 \text{Log}_{10}(D + 25.4) - 10.39 + \frac{\text{Log}_{10} \left(\frac{\Delta PSI}{4.5 - 1.5} \right)}{1 + \frac{1.25 \times 10^{19}}{(D + 25.4)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32 P_t) \times \text{Log}_{10} \left(\frac{M_r C_{dx} (0.09 D^{0.75} - 1.132)}{1.51 \times J \left(0.09 D^{0.75} - \frac{7.38}{(E_c / k)^{0.25}} \right)} \right)$$

Donde:

$W_{82} =$	Número previsto de ejes equivalentes de 8.2 toneladas métricas, a lo largo del período 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
$\Delta PSI =$	Diferencia entre los índices de servicio inicial y final
$P_t =$	Índice de serviciabilidad o servicio final
$S'_c = M_r =$	Resistencia media del concreto (en Mpa) a flexo tracción a los 28 días (método de carga en los tercios de luz)
$C_d =$	Coefficiente de drenaje
$J =$	Coefficiente de transmisión de carga en las juntas
$E_c =$	Módulo de elasticidad del concreto, en Mpa
$K =$	Módulo de reacción, dado en Mpa/m de la superficie (base, subbase o sub rasante) en la que se apoya el pavimento de concreto.

Fuente. Guide for Design of Pavement Structures, AASHTO, 1993.

Figura 5: Nomograma de diseño AASHTO 93 para pavimentos rígidos



Nota. Guide for Design of Pavement Structures, AASHTO, 1993

Antecedentes Internacionales: Según Señas (2016), en su investigación, concluyó que los métodos necesarios en su estudio fueron Métodos Aplicados, experimentales y de recolección de datos. Datos observacionales. Otra conclusión es que las grietas son causadas por una protección insuficiente. La tercera conclusión es que el estado de deterioro del revestimiento investigado no permite que las juntas absorban la dilatación que se produce al calentar el material. También en este estudio se determinó roca volcánica expandida como tipo de suelo.

Según Torres (2017), en su artículo de investigación, ha concluido que ha comparado pavimentos rígidos y flexibles, su proceso de construcción es diferente, incluyendo las etapas de planificación, construcción y mantenimiento. La segunda conclusión es el análisis de costos de implementación; lo hace analizando dos proyectos viarios en curso, como son la construcción del tramo de la autopista RN-13 en el tramo Génova-Caballo Blanco y la prolongación de la autopista CA-9 Norte hasta Palencia. El país de Guatemala.

Luego se obtiene el mejor plan de construcción para cada proyecto. La tercera conclusión es que debido al costo total del proyecto para la porción RN-13, Génova es 30,987,400.38 Q, mientras que los costos de superficie rígida son 35,562,982.87 Q y CA- 9- tramo Rodriguito Norte de la superficie rígida los costos son de 47,044,532.94 Q en vía dura, los precios están indicados en Quetzales (Q). Así, esto indica que los autores concluyeron que el costo del pavimento duro es mayor que el costo del pavimento flexible. También se debe tener en cuenta que se consideraron para la comparación de los mismos parámetros de diseño, incluida la carga, el tipo de suelo, las selecciones del material y el tiempo.

Según Burgos (2014), en su trabajo de investigación, ha concluido que ha realizado una comparación de dos proyectos alternativos para la vía interurbana seleccionada para el proyecto. La primera conclusión fue determinar el proceso de construcción para posteriormente se pueda hacer un análisis de costos, la segunda conclusión fue hizo un presupuesto de los dos tipos de pavimento para saber cuál era el más económico. La tercera conclusión es que la investigación y análisis realizado por los autores se basa en los resultados obtenidos en el tramo vial que une Santa Elvira con el Arenal en Valdivia, región de los Ríos. Por lo tanto, se concluye que las tapas son más económicas en términos de inversión inicial y cumplen satisfactoriamente con las condiciones de diseño, brindando una mejor protección financiera, pero a un precio menor que las tapas rígidas. Los costos de aplicación son mucho más altos que los recubrimientos sólidos.

Antecedentes Nacionales: Según Chávez (2018), en su trabajo de investigación, ha concluido que el análisis se determina comparando los aspectos técnicos y económicos de los recubrimientos flexibles y rígidos. La segunda conclusión es que este método reunirá a la población y muestras desde Matucana hasta Chavín Huaraz en el 2018.

La tercera conclusión es que la técnica de recolección de datos fue la observación directa y en base a los resultados obtenidos fue creciendo durante la ejecución del proyecto. Proyecto de pavimento rígido que tuvo un costo de 1,913,036 soles. Por lo tanto, para confirmar la conclusión del autor de que es más rentable y sostenible diseñar una superficie rígida en el tramo de carretera de Mula Chavín a Huaraz que un proyecto de superficie flexible pero económicamente justificado, se deben realizar todos los estudios básicos.

Según Rodríguez (2014), en su artículo de investigación, ha concluido que su estudio ha comparado estructuras de un pavimento rígido y flexible de la Carretera Panamericana Nuevo Norte de Huacho a Pativilca (188-189 km) en Lima, Perú. Asimismo, también indico que el método AASHTO y el Instituto de Asfalto (IA) se usa para el diseño de pavimentos rígidos, mientras que el método AASHTO y el Asociación de Cemento Portland también se usa para el diseño de un pavimento rígido. Además, también hizo análisis de sus componentes principales del pavimento. Finalmente concluye que el estudio tiene un costo por kilómetro de un pavimento flexible y fue de 1,346,908 soles, mientras que el costo del pavimento rígido fue de 1,603,623 soles. Hay que decir que el autor concluyó que lo más favorable es la superficie flexible, una diferencia de casi 260.000 soles, valor que no se puede ignorar, sobre todo si luego se extrapola a varios kilómetros de vía.

Según Minchan (2019), en su trabajo de investigación, ha concluido que, en caso de daño natural del suelo, se recomienda excavar el material dañado y reemplazarlo con material de buena calidad como tipo de material aprobado. De ser necesario, se puede considerar la instalación de productos geo sintéticos (referencia T24 00 o geotextiles tejidos 3*3 HF o productos similares en el mercado), los cuales deben cumplir con las normas vigentes del INVIAS 2013. Otra conclusión al instalar en el área donde se debe actuar es aislar, estabilizar y evitar los cambios de volumen que reflejan la superficie natural. La tercera conclusión sugiere utilizar un módulo de ruptura más alto para producir esfuerzos equivalentes bajos, lo que tiene en cuenta el diseño de losa de espesor mínimo considerando el tránsito de vehículos para garantizar un acabado superficial liso que debe ser controlado topográficamente durante la construcción. Estratificación, porque si no se cumplen las condiciones anteriores, esta es la

condición de acumulación de humedad, en la que se decidió tener en cuenta las variables climáticas (condiciones meteorológicas) en la construcción de un revestimiento rígido, teniendo en cuenta la cantidad de lluvia como en la construcción de un revestimiento rígido tiene lugar en la zona.

Según Cornejo y Velásquez (2019), En su trabajo de investigación, ha concluido que el método de diseño de una estructura de pavimento rígido determina el espesor de la losa de concreto de la estructura del pavimento rígido, teniendo en cuenta un análisis de sensibilidad de sus variables de diseño. La segunda conclusión es que hizo el método de trabajo de un proyecto de prueba tipo piloto con una cobertura fija, teniendo en consideración la población donde se está haciendo la investigación. La tercera conclusión es que el estudio encontró que el índice de refracción no estaba dentro del rango especificado. Por lo tanto, los resultados se consideran positivos.

Según Giménez y Valverde (2018), En su trabajo de investigación, ha concluido que ha comparado un pavimento rígido y flexible en el tramo Pariahuanca utilizando los métodos AASHTO y PCA. La segunda conclusión fue que el depósito de Pariahuanca consiste en un subsuelo compuesto principalmente por arena arcillosa y gravas gruesas mezcladas con arena y arcilla moderadamente plástica con poca humedad. La tercera conclusión es que con un CBR del 10,4%, la prueba Proctor estándar da un valor compacto para el DSM de 95L. Por lo tanto, se limita que se recomienda el método ASSHTO 93 para la construcción de plataformas rígidas porque proporciona una base de 6" y una plataforma rígida de 2" de espesor.

1.2. Formulación del Problema

Es importante mencionar que por todo lo mencionado anteriormente se plantea:

¿Cuál es el resultado del análisis comparativo de la estructura de un pavimento rígido mediante métodos AASHTO Y PCA en la av. Independencia - provincia de Trujillo -2022?

En el presente proyecto de investigación se presenta un marco teórico que aborda los principales conceptos relacionados a las variables de investigación, las cuales vienen hacer el pavimento rígido y los métodos AASHTO Y PCA. Es por esta misma razón que según Villanueva (2012) afirma que a nivel mundial existen dos tipos de metodologías que determinan el diseño de un pavimento rígido, considerando todos los criterios de diseño.

1.3. Objetivos

El presente proyecto tiene como objetivo general: Realizar el análisis comparativo de la estructura de pavimento rígido mediante métodos AASHTO Y PCA en la av. Independencia - provincia de Trujillo –2022. Por otro lado, los objetivos específicos son de la siguiente manera:

- Realizar el estudio topográfico de la av. Independencia - provincia de Trujillo – 2022.
- Realizar el estudio de suelos de la av. Independencia - provincia de Trujillo –2022.
- Realizar el análisis comparativo en cuanto a los criterios de aceptación del pavimento rígido mediante métodos AASHTO Y PCA en la av. Independencia - provincia de Trujillo –2022.

- Realizar el análisis comparativo en cuanto a costo beneficio del pavimento rígido mediante métodos AASHTO Y PCA en la av. Independencia - provincia de Trujillo –2022.

1.4. Hipótesis

La hipótesis general del proyecto: Es que el método AASHTO genera menor espesor de pavimento rígido y a la misma vez menor costo a diferencia del método de PCA de la av. Independencia - provincia de Trujillo –2022.

1.5. Justificación del estudio:

En la actualidad, debido a las actividades económicas y los sectores de educación y salud que están ubicados en la unidad de estudio, se ven perjudicados por el deterioro del pavimento que no cumple con su periodo de vida, lo cual el impacto sería negativamente para el paso vehicular en el tramo de 2.88km de la av. Independencia siendo una de las vías principales del distrito del porvenir. Frente a todo esto, es necesario plantear una solución a esta necesidad logrando un proyecto adecuado y que cumpla su periodo de vida y así poder mejorar las condiciones de transporte y fácil acceso de las unidades vehiculares, es por esta misma razón que se busca un buen diseño de un pavimento rígido por el método AASHTO Y PCA, para así poder determinar cuál es el método adecuado que cumpla con un espesor de losa adecuado, que se tenga en consideración con los criterios de aceptación y finalmente optar por el método de diseño que cumpla con el costo beneficio en su periodo de vida que son 20 años. Asimismo, el presente proyecto tiene como finalidad beneficiar a los pobladores que están cerca de la unidad de estudio y así posteriormente permitir el desarrollo económico a nivel local y regional.

1.6. Justificación teórica:

Además de utilizar las teorías y conceptos que describen cada variable estudiada, puede proporcionar a la comunidad investigadora insumos para futuras investigaciones, y también es práctico que pueda brindar información a las instituciones sobre cada variable. Examinar la situación de diagnóstico y proponer alternativas de solución para resolver los problemas identificados.

1.7. Justificación Social:

Potencialmente, esto le brinda a la comunidad de investigación la oportunidad de proporcionar información que respalde investigaciones futuras y utilizar teorías y conceptos que describan cualquier investigación que se esté investigando actualmente.

1.8. Justificación Metodológica:

Consiste en poder desarrollar instrumentos que permitan la medición y al mismo tiempo ayuden a asegurar que las metodologías, técnicas e instrumentos propuestos sean aplicables al desarrollo de la investigación y también válidos en los estudios relacionados con el proyecto de investigación.

CAPITULO II: METODOLOGIA

Tipo de investigación: Por la orientación, el enfoque de una investigación cuantitativa, según Rodríguez (2016) comprenden hechos existentes y sometidos a correlaciones y patrones; asimismo, están orientados a procedimientos experimentales, basándose en la realidad y sometidos a los controles que permitan un estudio sin alteraciones en la medición de las variables con precisión matemáticas y métodos estadísticos de la codificación numérica.

Por lo tanto, la orientación de la investigación es descriptiva de característica cuantitativa utilizando herramientas entre ellas observacionales y experimentales en la realización de diversos ensayos en laboratorio de estudios de suelos para descubrir o afirmar preguntas de investigación en el proceso de interpretación sobre una comparación de la estructura de pavimento rígido mediante los dos métodos AASHTO Y PCA.

Diseño: Es de diseño experimental puesto que según Fernández (2011), la investigación experimental es un procedimiento metodológico en el cual un grupo de individuos o conglomerado, son divididos en forma aleatoria en propios estudios, control y son analizados con respecto a un factor o medida que el investigador introduce para estudiar y evaluar.

Por ello, la presente investigación tiene un diseño experimental teniendo estudios de suelos en laboratorio introduciendo de forma activa, recolectando datos numéricos midiendo el efecto que tienen en otra variable de interés tales métodos AASHTO Y PCA.

Población: Según Fernández (2010), una población es un conjunto colectivo de individuos, objetos o medidas en un lugar y tiempo determinado con unas características comunes observables determinadas por la pregunta y el propósito del estudio, en el presente estudio se considera una población.

Por lo cual, la población pertenece al conjunto de carreteras de pavimento rígido en el entorno del distrito del Porvenir provincia de Trujillo.

Muestra: Según Fernández (2010), una muestra es un subconjunto representativo de la población de estudio. Por otro lado, existen programas que pueden extraer la cantidad de componentes de muestra como fórmulas, lógica, etc.

Por ello, la muestra seleccionada para el estudio en la Avenida Independencia ubicada en el Distrito del Porvenir provincia de Trujillo.

Técnicas de recolección de datos: Las técnicas de recolección de datos son observaciones que se refieren al uso de diversas técnicas y herramientas que se pueden utilizar para el análisis que permiten el desarrollo de sistemas de información, son entrevistas, cuestionarios, observaciones, diccionarios de datos, diagramas de flujo y encuestas. (Hernández et al. 2014).

Los datos se recogerán en campo siguiendo lo establecido, Guía de método de diseño para pavimento rígido AASHTO edición 1993 y PCA edición 1984. De igual forma, de manera observacional en campo para el estudio de tráfico utilizando diversos softwares, a la vez mediante el uso de instrumentos y equipos topográficos calibrados, recolección de información de medios escritos y electrónicos, análisis de muestras de estudio de suelos para ser estudiadas en laboratorio siendo validadas por un profesional responsable.

Instrumento: Mediante la utilización una guía de observación, equipos topográficos, instrumentos de laboratorio, equipos de oficina y software computacional.

Procedimiento de recolección de datos de investigación: Se realizó la ubicación y la topografía de los 2.88 kilómetros del camino vecinal, posterior se ubicó las muestras y se extrajo la tierra de las tres calicatas y fueron colocadas en bolsas para que conserve su humedad natural, luego fue llevado al laboratorio de mecánica de suelos ROMASAC para poder realizar los ensayos necesarios para la presente investigación, posteriormente se hizo el análisis de datos, donde se tomó en cuenta un determinando porcentaje de humedad, límite plástico, límite líquido y granulometría determinando el tipo de suelo siguiendo los protocolos del laboratorio; luego se procedió a procesar los datos de Proctor y CBR.

Análisis de datos: Para facilitar el procesamiento de los datos obtenidos del área de estudio del proyecto se utilizan programas especializados como: AutoCAD y Excel; además de usar los softwares, se usaron nomogramas y tablas según la guía para el método AASHTO y para el método PCA se usaron ábacos y adicionando tablas con valores según guía edición 1984; se realizó capacitación en línea y presencial teniendo como foco principal el diseño de pavimento rígido.

Aspectos éticos: El tesista se compromete a respetar la exactitud de los resultados, la fiabilidad de los datos obtenidos en campo y de los análisis realizados en el laboratorio de suelos y en el laboratorio, así como a proteger el medio ambiente durante y después del trabajo esta completado en el proyecto. Así como trabajar con compromiso, determinación y dedicación en el desarrollo de los proyectos.

Materiales de Laboratorio de Estudios de Suelos

Ensayo de Contenido de Humedad (ASTM D 2216)

I. Materiales y equipos

- **Material:** Se utilizó el suelo extraído con la humedad natural.

- **Balanza:** Con una precisión de 0.01gr (MTC E 108 -2016).
- **Horno:** Para secar el material que mantiene una temperatura 110 ± 5 °C. (MTC E 108 -2016).
- **Taras:** Adecuadas para el proceso y para colocar el material.

II. Procedimiento del contenido de humedad

- Pesamos las taras donde vamos a poner el material con su humedad natural.
- Colocamos la muestra con su humedad natural a la tara.
- Pesamos la muestra en la tara pesada anteriormente.
- Colocamos en el horno las muestras por un tiempo estimado de 24 horas.
- Trascorrido las 24 horas se pesa el material y se obtiene el peso seco y calcular el contenido de humedad.

Ensayo de Limite de Attenberg (NTP 339.129)

➤ Limite Liquido

I. Materiales y equipos

- **Espátula:** De hoja flexible de unos 75 mm (3") de longitud y 20 mm ($\frac{3}{4}$ ") de ancho aproximadamente.
- **Copa de Casagrande:** Es un utensilio mecánico consistente en una taza de bronce, fabricado de acuerdo con las dimensiones señaladas. Es de operación mecánica, equipado con motor para producir la altura y el número de golpes (MTC E 110 -2016).
- **Acanalador:** Conforme con las dimensiones críticas indicadas.
- **Calibrador:** Integrado al ranurador o separado, de acuerdo con la dimensión crítica "d", y puede ser, si fuere separada, una barra de

metal de 10.00 ± 0.2 mm ($0.394'' \pm 0.008''$) de espesor y de 50 mm (2") de largo, aproximadamente (MTC E 110 -2016).

- **Recipientes o Pesa Filtros:** De material resistente a la corrosión, y cuya masa no cambie con repetidos calentamientos y enfriamientos. Deben tener tapas herméticas y sin costuras, para evitar la pérdida de humedad de las muestras antes del pesaje inicial y para evitar la absorción de humedad de la atmósfera tras el secado y antes del pesaje final (MTC E 110 -2016).
- **Balanza:** Una balanza con sensibilidad de 0.01 gr.
- **Estufa:** Termostáticamente controlado y que pueda conservar temperaturas de 110 ± 5 °C (230 ± 9 °F) para secar la muestra. (MTC E 110 -2016).

II. Procedimiento del Limite Líquido.

- Tómese una muestra que pese 150 y 200 g de una porción de material completamente mezclado que pase el tamiz de 0.425 mm (N° 40).
- Colocar la muestra de suelo en el recipiente y mézclese completamente con 15 a 20 ml de agua, agitándola, amasándola y tajándola con una espátula en forma alternada y repetida. Realizar más adiciones de agua en incrementos de 1 a 3 ml (MTC E 110 -2016).
- Cuando haya mezclado completamente el agua con el suelo y la consistencia producida requiera de 30 a 35 golpes de la cazuela de bronce para que se ocasione el cierre (MTC E 110 -2016).

➤ **Límite Plástico**

I. Materiales y equipos

- Una porción de la mezcla preparada para el límite líquido.
- Balanza con aproximación de 0.01 gr.
- Estufa de control de temperatura.
- Espátula
- Recipiente para almacenaje de porcelana o similar de (4 ½”) de diámetro (MTC E 111 -2016).
- Placa de vidrio (MTC E 111 -2016).
- Taras

II. Procedimiento del límite Plástico

- A la porción de mezcla preparada para el límite líquido agregar suelo seco de tal manera que la pasta baje su contenido de humedad.
- Enrollar la muestra con la mano sobre la placa de vidrio hasta obtener cilindros de 3mm de diámetro y que presenten agrietamientos, determinar su contenido de humedad (MTC E 111 -2016).
- Repetir el ensayo una vez más.
- El límite plástico es el promedio de los 2 valores de contenidos de humedad, si la diferencia entre estos 2 valores es mayor que dos puntos de porcentaje, repetir el ensayo. (MTC E 111 -2016).

➤ **Índice Plástico**

Se define como la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico para un suelo dado (MTC E 111 -2016).

Proctor Modificado (NTP 339.141)

I. Materiales y equipos

- **Molde:** Los moldes deben tener forma cilíndricos hechos de materiales rígidos y las paredes sólidas, cada molde tiene una placa base y un collar de extensión adjunto, ambos de metal sólido y diseñados de modo que pueda adherir de forma segura y fácil de extracción. (MTC E 115 -2016).
- **Pisón o Martillo:** La cara del pisón debe ser plana y circular de 50.8 +- 1.3 mm de diámetro. El pisón deberá estar equipado con una guía que tenga suficiente espacio libre para la caída (MTC E 115 -2016).
- **Extractor de muestras:** Puede ser una gata, estructura u otro mecanismo que permita retirar la muestra comprimida del molde (MTC E 115 -2016).
- **Balanza:** Usando balanza para pesar el molde de 6” que contiene el suelo compactado y una balanza para pesar las taras con sensibilidad de 0.1 gr.
- **Horno:** Para secar las muestras entradas que han sido compactadas.
- **Regla:** Para enrazar el molde con la muestra compactada.
- **Tamices:** Se utilizó el tamiz de la malla N°4 (MTC E 115 -2016).
- **Herramientas de mezcla:** Se utilizó cucharones para mezclar el material (MTC E 115 -2016).
- **Fiola:** Para medir el agua para compactar el material (MTC E 115 -2016).

II. Procedimiento de Proctor Modificado

- La masa de muestra requerida para los métodos “A” y “B” es aproximadamente de 16 kg para la realización de compactación.

- Determinar el porcentaje de material que queda en la malla de 4,75 mm (Nº 4), 9,5mm (3/8 pulg) o 19,00 mm (3/4 pulg), para escoger el método A, B o C (MTC E 115 -2016).
- Seleccionamos el molde para la realización del ensayo.
- Usar una muestra aproximada de 2,3 kg de suelo tamizado en cada espécimen que se compacta empleando métodos “A” o “B”: o 5,9 kg para el método “C” (MTC E 115 -2016).
- Se sacó la muestra representativa compactada de cada molde para luego ponerlo al horno y sacar el contenido de humedad y la máxima densidad seca.
- Luego se realizó los cálculos en tablas del programa Excel para obtener la curva y encontrar el óptimo contenido de humedad y la máxima densidad seca.

California Bearing Ratio “CBR” (NTP 339.145)

I. Materiales y equipos

- Muestra alterada seca.
- Equipo CBR, 3 moldes cilíndricos con placa de base y collar de extensión, 3 discos espaciadores, 3 placas de expansión, 3 sobrecargas cada una de 4.5 kg. de peso y 3 trípodes (MTC E 132 - 2016).
- Pisón Proctor modificado.
- Balanza con precisión de 1 gr.
- 3 diales de expansión

- Estufa con control de temperatura.
- Probeta de 1000 ml.
- Tanque, con capacidad para la inmersión de los moldes en agua.
- Espátula, papel filtro del diámetro del molde, entre otros.

II. Procedimiento

- Elaboración de especímenes. Se pesa el molde con su base, se coloca el collarín y disco espaciador y sobre este un papel filtro.
- Terminada la compactación, se quita el collar y se engrasa. Se desmonta el molde y se vuelve a montar invertido, sin disco espaciador, colocando un papel filtro entre el molde y la base. Por último, se pesa (MTC E 132 -2016).
- Para la inmersión se coloca los anillos necesarios para completar una sobrecarga. Para medir el hinchamiento se coloca los trípodes sobre los bordes del molde haciendo coincidir el vástago del dial con el de la placa perforada. Se mantiene por 96 horas (4 días) inmerso en agua (MTC E 132 -2016).
- Después del periodo de inmersión se deja escurrir durante 15 min, se retira la sobrecarga y la placa perforada y procede a pesar finalmente se procede al ensayo de penetración (MTC E 132 -2016).
- Se aplica sobrecarga, para producir una intensidad de carga igual al peso del pavimento (con $\pm 2,27$ kg de aproximación) pero no menor de 4,54 kg. mediante el deformímetro de penetración y un cronómetro. Se anotan las lecturas de la carga para las siguientes penetraciones.

CAPITULO III: RESULTADOS

Los resultados de investigación se presentarán en función a los estudios básicos realizados en campo, tales como la topografía que está en función a los objetivos específicos de la investigación, es por esta misma razón que se tiene resultado del primer objetivo específico, lo cual se determinó el estudio topográfico de la av. Independencia - provincia de Trujillo –2022.

Estudio Topográfico

El estudio topográfico de la Av. Independencia es de 2.88km, clasificada como ruta urbana, ubicada en la región la libertad, provincia de Trujillo, distrito del porvenir. El proyecto se desarrolla entre 90 a 190 msnm. El levantamiento topográfico de la avenida independencia se determinó siguiendo el nuevo trazo, mejorando en algunos sectores su alineamiento horizontal, adecuándose a la Diseño Geométrico (Dg. 2018).

Reconocimiento de la zona de estudio

En este punto se realizó una detallada e importante inspección visual del terreno, determinando la ubicación del recorrido del sendero existente. El objetivo de la exploración es elegir el camino más favorable, de modo que, a través de las líneas propuestas en el gabinete para determinar la posición del eje de la avenida, con el fin de acercarse mejor al terreno limítrofe y pronosticar el tráfico. Una decisión equivocada puede conducir a mayores costos de construcción, mantenimiento y operación.

Ubicación del punto inicial y final

Después de determinar el área de levantamiento y el terreno que constituye el área, se determinaron las posiciones locales de los puntos: el inicio, el final y el amarre, que son los puntos guía. El trazado más adecuado, depende de: calidad topográfica, ausencia de fallas geológicas, condiciones de drenaje, longitud de la vía, pendiente favorable al tránsito, mejor alineación, suministro y calidad, cantidad de materiales de construcción, costos de construcción, productividad, elevación, etc. Además, se colocó dos puntos de control están ubicados en dos partes de la avenida tanto al principio como al final de la construcción, donde se encuentra el navegador GPS. Esas cosas nos permitirán pasar y así cerrar y compensarlo. En el proyecto se consideran 10 BM a lo largo del eje. El punto de partida se encuentra, establecido BM1, tiene las siguientes coordenadas.

Punto inicial (BM1)

Quedando definida en el eje del km.2.88 en este punto se obtuvo como coordenadas UTM: Este 721072.00 m Norte 91066.18.00 y a una altitud de 97.00 m.s.n.m.

Punto final (BM10)

En la estación se obtuvo coordenadas UTM: Este 721898.00, Norte 9109356.00 a una altitud de 190 m.s.n.m.

Levantamiento topográfico

Para el levantamiento topográfico se optó por utilizar equipos de alta precisión como la Estación total marca Topcon modelo Cygnus, para recolectar información, además un GPS Garmin 78s, para determinar mi punto de referencia y con la estación total determinar la

posición de la estructura en sistemas universales de coordenadas y elevación. Los trabajos comienzan con la instalación de un punto de referencia y posteriormente se tiene el control (BM1 al BM10), teniendo en cuenta 5 tramos, que servirán para calcular el cierre de la ruta de estudio a lo largo de 2.88km. Considerando que la topografía es la actividad principal de un proyecto de ingeniería, en este sentido se prevé su inicio utilizando los equipos más prácticos para recopilar información y complementarla con geodésica para determinar la posición de estructuras en coordenadas universales y controles de elevación. Se utilizan equipos modernos con estación total y GPS para garantizar la precisión del trabajo dentro del rango permitido.

Control del levantamiento topográfico

Control Horizontal: Esta orientación está determinada por dos o más puntos fijos cuya posición se determina con precisión en distancia y dirección horizontal.

Control Vertical: Para la nivelación de polígonos, el primer BM que usa el método de nivelación compuesto comienza con la obtención de las elevaciones del suelo para cada pila, cada PI y puntos intermedios importantes para los cuales se usa la estación total, prisma de 6 m, con lectura milimétrica, cierra un circuito por separado, dejando BM en puntos fijos numerados a los lados de la carretera y en el suelo, preferiblemente en rocas.

Procesamiento de la información de campo en gabinete

El procesamiento de información de campo se almacena en la memoria de la estación total, luego descarga los datos a la computadora y luego los envía al software. esta información se procesó en la memoria de la estación según las coordenadas. para la información completa.

Tabla 13: *Coordenadas globales de estaciones*

CUADRO DE COORDENADAS DE ESTACIONES DE APOYO				
PTO	ESTE	NORTE	COTA	DESCRIPCION
1	721072	9106618	97	E1
2	721184	9106930	97	E2
3	721270	9107135	96	E3
4	721359	9107360	95	E4
5	721461	9107601	95	E5
6	721569	9107925	117	E6
7	721677	9108170	117	E7
8	721760	9108373	133	E8
9	721814	9108807	179	E9
10	721898	9109356	181	E10

Nota. En esta tabla se muestra el cuadro de coordenadas de estaciones de la topografía

Tabla 14: *Coordenadas de puntos topográficos*

PUNTO	NORTE	ESTE	ELEVACIÓN
1	721067.83	9106619.64	95.36
2	721071.35	9106617.85	95.29
3	721076.86	9106615.61	95.18
4	721080.21	9106625.88	95.37
5	721082.45	9106632.51	95.49
6	721085.24	9106639.80	95.62
7	721087.25	9106644.88	95.70
8	721089.49	9106650.73	95.81
9	721091.72	9106656.69	95.91
10	721093.51	9106661.00	95.99
11	721096.40	9106667.40	96.09
12	721099.08	9106673.80	96.21
13	721100.87	9106678.44	96.29
14	721103.55	9106685.28	96.35
15	721105.45	9106691.91	96.33

16	721108.25	9106699.20	96.30
17	721110.93	9106706.38	96.27
18	721113.49	9106712.00	96.24
19	721115.39	9106717.64	96.22
20	721117.18	9106722.83	96.20
21	721121.17	9106726.13	96.16
22	721124.62	9106734.29	96.12
23	721126.64	9106741.47	96.10
24	721128.88	9106746.88	96.07
25	721131.11	9106751.74	96.05
26	721133.12	9106758.15	96.03
27	721135.24	9106763.45	96.00
28	721137.59	9106769.30	95.98
29	721139.27	9106775.59	96.00
30	721141.49	9106779.46	96.11
31	721143.62	9106786.30	96.32
32	721144.85	9106790.17	96.45
33	721145.53	9106792.27	96.51
34	721147.09	9106796.02	96.64
35	721148.76	9106799.88	96.76
36	721151.44	9106806.95	97.01
37	721154.00	9106812.47	97.20
38	721155.46	9106816.00	97.33
39	721157.91	9106821.52	97.54
40	721160.14	9106827.04	97.75
41	721162.27	9106833.23	98.00
42	721164.61	9106839.52	98.25
43	721166.84	9106844.04	98.44
44	721169.29	9106849.45	98.67
45	721171.52	9106853.98	98.87
46	721173.08	9106858.73	99.08
47	721174.87	9106863.14	99.28
48	721177.66	9106869.76	99.49
49	721179.12	9106874.62	99.56
50	721181.46	9106880.59	99.65
51	721183.58	9106884.89	99.71
52	721186.92	9106891.51	99.80
53	721189.71	9106899.13	99.88
54	721192.85	9106909.40	99.97

55	721196.19	9106916.24	100.03
56	721200.75	9106925.40	100.08
57	721205.22	9106936.78	100.13
58	721209.00	9106944.17	100.15
59	721212.68	9106951.78	100.15
60	721215.25	9106957.97	100.14
61	721218.14	9106964.26	100.25
62	721220.28	9106971.77	100.39
63	721221.84	9106976.07	100.47
64	721225.19	9106985.24	100.63
65	721227.54	9106990.76	100.72
66	721230.11	9106999.37	100.90
67	721234.23	9107007.43	101.12
68	721236.69	9107014.72	101.31
69	721240.26	9107023.55	101.54
70	721243.06	9107031.94	101.75
71	721244.74	9107036.03	101.86
72	721246.75	9107042.21	102.02
73	721248.54	9107047.18	102.14
74	721250.32	9107050.82	102.24
75	721252.55	9107055.35	102.40
76	721254.34	9107060.21	102.56
77	721256.23	9107064.95	102.72
78	721258.46	9107069.59	102.88
79	721261.25	9107076.54	103.10
80	721263.81	9107081.62	103.27
81	721266.50	9107090.13	103.52
82	721269.73	9107096.41	103.72
83	721272.63	9107102.82	103.91
84	721275.19	9107108.45	104.07
85	721277.32	9107115.07	104.26
86	721278.78	9107121.37	104.44
87	721281.47	9107129.43	104.66
88	721284.69	9107135.28	104.81
89	721287.27	9107143.90	105.02
90	721290.29	9107151.51	105.13
91	721293.29	9107157.69	105.22
92	721296.30	9107163.87	105.30
93	721299.42	9107170.49	105.38

94	721302.10	9107177.01	105.45
95	721304.22	9107183.52	105.53
96	721306.90	9107190.15	105.60
97	721309.14	9107196.77	105.67
98	721312.38	9107204.94	105.75
99	721314.72	9107211.35	105.81
100	721317.18	9107217.97	105.86
101	721320.98	9107227.91	105.94
102	721323.55	9107234.65	106.00
103	721327.57	9107244.58	106.22
104	721330.13	9107250.21	106.34
105	721332.48	9107256.51	106.48
106	721334.38	9107261.92	106.60
107	721338.30	9107273.95	106.86
108	721343.08	9107282.56	107.04
109	721346.42	9107290.40	107.21
110	721349.43	9107297.13	107.36
111	721351.78	9107303.09	107.49
112	721355.13	9107311.70	107.68
113	721357.70	9107319.32	107.85
114	721361.16	9107328.38	108.07
115	721364.85	9107338.43	108.40
116	721368.32	9107347.81	108.69
117	721372.89	9107359.51	109.04
118	721377.47	9107371.88	109.38
119	721382.38	9107382.70	109.65
120	721386.06	9107392.30	109.87
121	721390.75	9107404.45	110.13
122	721394.55	9107413.28	110.30
123	721398.89	9107421.78	110.44
124	721402.24	9107430.17	110.63
125	721405.13	9107436.57	110.78
126	721408.69	9107443.08	110.92
127	721413.60	9107455.00	111.21
128	721417.17	9107463.06	111.43
129	721421.63	9107472.66	111.68
130	721424.32	9107482.05	111.93
131	721428.55	9107489.44	112.09
132	721431.56	9107497.28	112.26

133	721434.57	9107503.35	112.37
134	721438.68	9107510.30	112.48
135	721441.03	9107516.37	112.47
136	721443.38	9107524.77	112.48
137	721446.18	9107533.38	112.49
138	721448.97	9107539.78	112.50
139	721452.44	9107550.94	112.55
140	721457.69	9107564.41	112.62
141	721462.91	9107572.90	112.67
142	721466.61	9107585.05	112.79
143	721469.73	9107590.46	112.85
144	721473.62	9107598.07	112.94
145	721476.65	9107607.90	113.27
146	721484.23	9107624.90	114.15
147	721489.37	9107639.70	114.94
148	721493.19	9107653.50	115.69
149	721496.70	9107673.29	116.75
150	721503.86	9107693.83	117.92
151	721515.17	9107729.17	117.93
152	721521.11	9107748.28	117.96
153	721524.26	9107761.32	118.03
154	721528.18	9107773.69	118.13
155	721532.41	9107781.08	118.22
156	721536.67	9107796.10	118.31
157	721542.57	9107808.79	118.37
158	721545.71	9107819.18	118.41
159	721548.29	9107826.91	118.43
160	721553.63	9107836.50	118.49
161	721556.97	9107844.90	118.53
162	721561.46	9107859.59	118.58
163	721564.49	9107871.41	118.61
164	721567.41	9107881.13	118.70
165	721569.42	9107887.42	118.89
166	721571.55	9107893.72	119.06
167	721581.04	9107917.90	119.73
168	721583.83	9107926.07	119.94
169	721590.31	9107943.07	120.37
170	721594.35	9107956.77	120.69
171	721598.83	9107970.80	121.00

172	721602.96	9107982.39	121.27
173	721607.44	9107996.75	121.58
174	721610.71	9108009.90	121.82
175	721614.73	9108020.17	121.99
176	721618.18	9108027.56	122.08
177	721624.99	9108043.90	122.24
178	721630.80	9108060.35	122.34
179	721634.50	9108073.06	122.40
180	721638.20	9108084.76	122.49
181	721648.34	9108107.06	122.72
182	721650.04	9108116.23	122.87
183	721656.42	9108135.78	123.23
184	721662.57	9108154.00	123.64
185	721668.62	9108172.56	124.50
186	721681.68	9108182.45	125.08
187	721703.05	9108246.72	128.00
188	721748.06	9108364.53	132.10
189	721760.59	9108400.65	134.28
190	721775.76	9108503.67	136.59
191	721778.30	9108526.22	136.92
192	721779.74	9108551.33	137.81
193	721786.27	9108578.95	138.81
194	721787.82	9108601.84	139.57
195	721794.60	9108635.55	142.78
196	721799.39	9108667.27	146.01
197	721800.27	9108689.06	147.89
198	721803.88	9108706.08	149.42
199	721810.51	9108732.70	151.11
200	721812.06	9108755.48	152.39
201	721816.80	9108777.14	153.72
202	721821.78	9108803.33	155.43
203	721827.45	9108836.82	158.56
204	721832.68	9108868.77	161.74
205	721839.41	9108914.31	165.10
206	721846.84	9108966.93	167.44
207	721850.04	9108989.15	168.70
208	721856.21	9109033.37	172.62
209	721864.11	9109094.39	179.50
210	721868.66	9109122.69	184.86

211	721873.85	9109146.00	189.68
212	721886.11	9109217.62	192.81
213	721901.73	9109300.73	190.20
214	721908.36	9109348.27	187.87
215	721900.56	9109353.95	186.05
216	721890.75	9109285.85	189.37
217	721884.71	9109245.62	191.08
218	721880.40	9109222.08	191.66
219	721876.78	9109203.62	192.09
220	721871.92	9109179.31	192.72
221	721862.86	9109129.91	185.53
222	721860.00	9109110.12	181.86
223	721850.47	9109032.07	172.16
224	721847.52	9109015.27	170.60
225	721840.09	9108962.10	166.70
226	721834.51	9108926.39	165.07
227	721832.79	9108913.46	164.50
228	721830.59	9108890.57	163.53
229	721823.91	9108855.09	159.92
230	721817.44	9108817.74	156.45
231	721815.18	9108807.79	155.55
232	721809.67	9108763.35	152.74
233	721806.95	9108747.65	151.80
234	721799.92	9108707.98	149.42
235	721791.48	9108651.93	143.94
236	721787.03	9108621.09	140.60
237	721782.08	9108600.76	139.52
238	721777.28	9108565.61	138.27
239	721772.27	9108534.22	137.08
240	721768.82	9108505.25	136.48
241	721764.92	9108496.09	136.36
242	721762.12	9108465.79	136.17
243	721754.77	9108406.54	134.59
244	721750.75	9108395.38	133.93
245	721740.45	9108362.80	131.94
246	721731.52	9108341.61	130.58
247	721726.39	9108328.91	130.09
248	721701.24	9108260.45	128.31
249	721695.44	9108246.65	128.00

250	721692.18	9108233.83	127.42
251	721672.45	9108188.58	125.24
252	721661.45	9108172.59	124.42
253	721652.27	9108144.65	123.37
254	721644.14	9108127.10	123.05
255	721641.88	9108115.50	122.88
256	721639.29	9108104.56	122.74
257	721630.82	9108087.45	122.62
258	721619.88	9108058.86	122.54
259	721612.47	9108031.79	122.21
260	721608.67	9108021.97	122.06
261	721600.73	9107998.44	121.61
262	721595.69	9107983.31	121.28
263	721591.98	9107969.17	120.97
264	721584.06	9107950.07	120.51
265	721578.12	9107929.53	120.00
266	721571.63	9107909.65	119.46
267	721566.27	9107896.07	119.08
268	721560.34	9107879.84	118.59
269	721557.76	9107870.00	118.54
270	721554.29	9107859.51	118.50
271	721544.59	9107836.99	118.39
272	721539.86	9107817.99	118.34
273	721531.40	9107801.22	118.25
274	721524.02	9107779.24	118.13
275	721519.75	9107763.55	118.03
276	721516.16	9107751.84	117.99
277	721512.69	9107740.36	117.97
278	721510.32	9107729.86	117.98
279	721507.43	9107725.34	118.00
280	721498.03	9107695.41	117.90
281	721493.12	9107683.48	117.26
282	721470.16	9107611.47	113.45
283	721463.02	9107594.58	112.91
284	721448.53	9107562.57	112.69
285	721441.82	9107542.81	112.62
286	721415.93	9107480.32	112.00
287	721409.37	9107469.07	111.73
288	721404.11	9107452.06	111.28

289	721397.19	9107435.28	110.89
290	721390.61	9107419.49	110.55
291	721380.25	9107398.64	110.15
292	721373.34	9107382.63	109.76
293	721365.30	9107363.09	109.22
294	721361.50	9107352.16	108.87
295	721352.14	9107332.07	108.20
296	721346.11	9107316.50	107.78
297	721341.95	9107299.93	107.42
298	721335.94	9107288.90	107.18
299	721328.13	9107269.69	106.76
300	721326.10	9107261.07	106.58
301	721323.54	9107254.78	106.44
302	721320.20	9107248.16	106.31
303	721313.51	9107232.59	106.07
304	721307.59	9107217.36	105.94
305	721299.90	9107200.36	105.78
306	721295.53	9107187.22	105.62
307	721290.06	9107172.31	105.43
308	721285.28	9107164.15	105.33
309	721281.47	9107152.00	105.15
310	721278.00	9107141.84	104.98
311	721273.76	9107131.02	104.69
312	721268.63	9107120.54	104.39
313	721263.96	9107111.60	104.12
314	721259.60	9107098.46	103.72
315	721248.23	9107074.29	102.93
316	721236.84	9107043.70	101.94
317	721231.80	9107028.57	101.55
318	721222.32	9107005.83	101.13
319	721212.49	9106980.43	100.69
320	721198.56	9106949.31	100.26
321	721188.61	9106921.92	100.09
322	721174.56	9106889.47	99.71
323	721167.52	9106871.36	99.41
324	721163.72	9106860.54	99.06
325	721157.46	9106841.88	98.30
326	721152.98	9106829.18	97.82
327	721147.30	9106816.15	97.35

328	721141.74	9106806.00	97.01
329	721135.80	9106787.01	96.41
330	721129.68	9106775.09	96.08
331	721125.53	9106761.17	96.11
332	721119.95	9106747.04	96.17
333	721115.36	9106734.12	96.22
334	721109.44	9106717.22	96.28
335	721102.85	9106700.00	96.36
336	721099.50	9106692.16	96.39
337	721095.15	9106682.23	96.43
338	721090.70	9106672.40	96.27
339	721089.24	9106666.99	96.16
340	721085.33	9106657.61	96.00
341	721081.53	9106647.23	95.82
342	721075.95	9106633.54	95.58
343	721073.17	9106628.68	95.50
344	721070.39	9106622.61	95.40

Nota. El levantamiento topográfico de la av. Independencia de la provincia de Trujillo, se pudo radiar un total de 344 Puntos topográficos, lo cual permitirán observar el norte, este y cota.

Estudio de Suelos

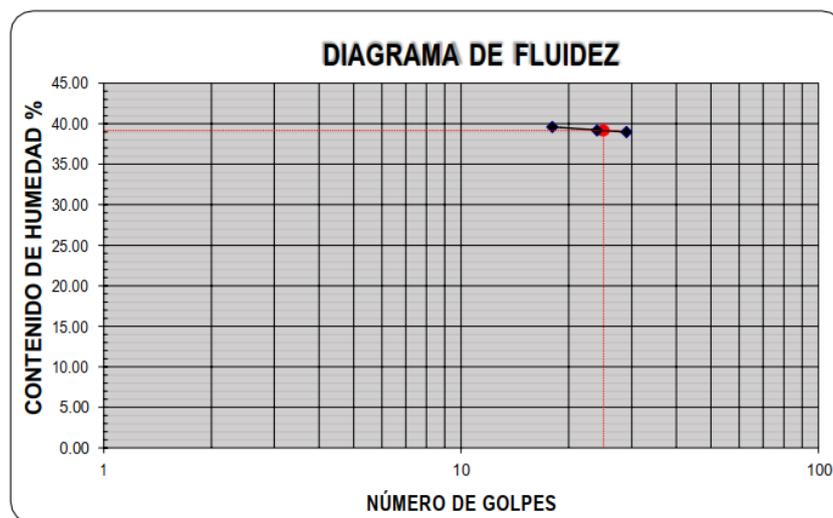
Resultado del estudio de suelos de acuerdo con el segundo objetivo específico “Determinar el Análisis de estudio de suelos de la av. Independencia - provincia de Trujillo – 2022”.

Tabla 15: Límites de consistencia de la Calicata N°01

LÍMITES DE CONSISTENCIA						
Descripción		Límite Líquido			Límite Plástico	
N° de golpes		18	24	29	-	-
Peso de tara	(g)	10.76	10.61	10.44	10.38	10.41
Peso de tara + suelo húmedo	(g)	15.06	14.32	14.54	11.57	11
Peso tara + suelo seco	(g)	13.84	13.28	13.39	11.31	10.87
Contenido de Humedad %		39.61	39.19	38.98	27.91	27.97
Límites %			39			28

Nota. Limite liquido 39 y limite plástico 28

Figura 6: Diagrama de fluidez de la calicata N°01



Nota. Se puede observar que, en el diagrama de fluidez, el límite líquido está por 39 y el límite plástico esta está por 28.

Tabla 16: *Contenido de Humedad de Calicata N°01*

CONTENIDO DE HUMEDAD			
ASTM D-2216			
Descripción	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03
Peso del tarro (g)	14.21	14.10	14.42
Peso del tarro + suelo húmedo (g)	75.07	68.08	86.17
Peso del tarro + suelo seco (g)	65.02	59.12	74.18
Peso del suelo seco (g)	50.81	45.02	59.74
Peso del agua (g)	10.05	8.96	12.01
% de humedad (%)	19.79	19.90	20.10
% de humedad promedio (%)	19.93		

Nota. Se puede observar que el porcentaje de humedad promedio es 19.93% de la calicata N°01

Tabla 17: *Ensayo de CBR, ensayo de expansión y ensayo de carga penetración de la C-01*

ENSAYO DE CBR						
ESTADO	SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR	SATURADO
MOLDE	MOLDE 01		MOLDE 02		MOLDE 03	
N° DE GOLPES POR CAPA	56		25		10	
SOBRECARGA (g)	4530		4530		4530	
Peso del suelo húmedo + molde (g)	11840		11630		11385	
Peso del molde (g)	7556		7556		7555	
Peso del suelo húmedo (g)	4285		4075		3830	
Volumen del molde (cm ³)	2119		2119		2119	
Volumen del disco espaciador (cm ³)	1085		1085		1085	
Densidad húmeda (g/cm ³)	2.021		1.924		1.808	
CONTENIDO DE HUMEDAD						
Peso del suelo húmedo + cápsula (g)	94.72		101.13		89.95	
Peso del suelo seco + cápsula (g)	85.19		90.56		80.24	
Peso del agua (g)	9.53		10.57		8.71	

Peso de la cápsula	(g)	10.52	10.34	10.12
Peso del suelo seco	(g)	74.67	80.22	70.12
% de humedad	(%)	12.76	13.18	12.42
Densidad de Suelo Seco	(g/cm ³)	1.79	1.70	1.61

ENSAYO DE EXPANSION												
TIEMPO	LECTURA			EXPANSION			LECTURA			EXPANSION		
	DIAL	mm	%	DIAL	mm	%	DIAL	mm	%			
0 hrs	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000			
24 hrs	2.268	2.268	1.786	2.089	2.089	1.645	2.149	2.149	1.692			
48 hrs	2.597	2.597	2.044	2.238	3.338	1.762	2.298	2.398	1.809			
72 hrs	2.805	2.805	2.209	2.567	3.567	2.021	2.626	2.626	2.068			
96 hrs	2.805	2.805	2.209	2.567	3.567	2.021	2.626	2.626	2.068			

ENSAYO DE CARGA PENETRACIÓN									
ENSAYO DE CARGA PENETRACIÓN	LECTURA DIAL	MOLDE 1		MOLDE 2			MOLDE 3		MOLDE 10
		lbs	lbs/pulg ²	LECTURA DIAL	lbs	lbs/pulg ²	LECTURA DIAL	lbs	lbs/pulg ²
0.025	15	153.50	51.20	9.00	103.10	34.40	5.00	69.60	23.20
0.050	28	262.60	87.50	18.00	178.60	59.50	9.00	103.10	34.40
0.075	38	346.50	115.50	26.00	245.80	81.90	15.00	153.50	51.20
0.100	49	435.00	145.00	35.00	321.30	107.10	22.00	212.20	70.70
0.125	60	531.30	177.10	43.00	388.50	139.50	29.00	270.90	90.30
0.150	70	615.40	205.10	51.00	455.70	151.90	36.00	329.70	109.90
0.200	86	749.90	250.00	64.00	564.90	188.30	50.00	447.20	149.10
0.300	105	909.80	303.30	83.00	724.70	341.60	69.00	607.00	202.30
0.400	117	1010.90	337.00	94.00	817.20	373.40	80.00	699.50	233.20
0.500	123	1061.40	353.80	99.00	859.30	386.40	83.00	724.70	241.60

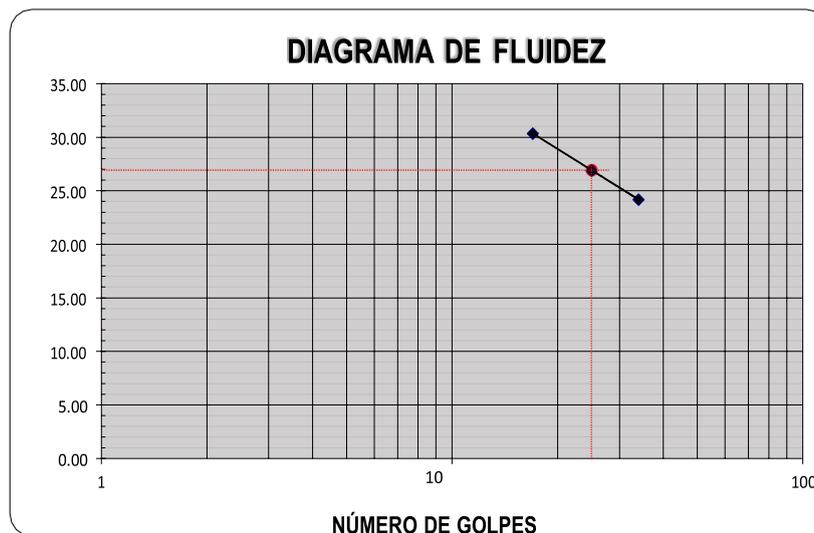
Nota. Se puede observar que el ensayo de CBR se hizo en 3 moldes en estado saturado y sin saturar, asimismo también el ensayo de expansión se hizo en el tiempo de 0 hasta 96 horas y, por otro lado, el ensayo de carga de penetración se hizo de 0.025 hasta 0.500

Tabla 18: Límites de consistencia de la Calicata N°02

Descripción	LÍMITES DE CONSISTENCIA					
	Límite Líquido			Límite Plástico		
N° de golpes		17	25	34	-	-
Peso de tara (g)		10.16	10.61	10.44	9.95	9.54
Peso de tara + suelo húmedo (g)		12.35	13.99	15.47	12.41	9.95
Peso tara + suelo seco (g)		11.84	13.27	14.49	12.11	9.9
Contenido de Humedad %		30.36	26.91	24.2	13.91	13.93
Límites %		27			14	

Nota. Limite liquido 27 y limite plástico 14

Figura 7: Diagrama de fluidez de la calicata N°02



Nota. Se puede observar que, en el diagrama de fluidez, el límite liquido está por 27 y el límite plástico esta está por 14.

Tabla 19: *Contenido de Humedad de Calicata N°02*

CONTENIDO DE HUMEDAD			
ASTM D-2216			
Descripción	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03
Peso del tarro (g)	14.12	15.18	14.34
Peso del tarro + suelo húmedo (g)	68.95	72.11	79.15
Peso del tarro + suelo seco (g)	58.07	61.63	67.34
Peso del suelo seco (g)	44.94	47.45	53.00
Peso del agua (g)	9.88	10.48	11.81
% de humedad (%)	21.99	22.09	22.28
% de humedad promedio (%)	22.12		

Nota. Se puede observar que el porcentaje de humedad promedio es 22.12% de la calicata N°02

Tabla 20: *Ensayo de CBR, ensayo de expansión y ensayo de carga penetración de la C-02*

ENSAYO DE CBR						
ESTADO	SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR	SATURADO
MOLDE	MOLDE 01		MOLDE 02		MOLDE 03	
N° DE GOLPES POR CAPA	56		25		10	
SOBRECARGA (g)	4530		4530		4530	
Peso del suelo húmedo + molde (g)	11840		11620		11285	
Peso del molde (g)	7556		7556		7556	
Peso del suelo húmedo (g)	4385		4075		3820	
Volumen del molde (cm ³)	2119		3120		2120	
Volumen del disco espaciador (cm ³)	1085		1085		1086	
Densidad húmeda (g/cm ³)	2.021		1.924		1.808	
CONTENIDO DE HUMEDAD						
Peso del suelo húmedo + cápsula (g)	94.72		102.13		89.95	
Peso del suelo seco + cápsula (g)	85.19		91.56		80.34	
Peso del agua (g)	9.52		10.57		8.71	

Peso de la cápsula	(g)	10.53	11.34	10.14
Peso del suelo seco	(g)	74.67	80.33	70.13
% de humedad	(%)	12.76	13.18	13.43
Densidad de Suelo Seco	(g/cm ³)	1.79	2.70	1.61

ENSAYO DE EXPANSION									
TIEMPO	LECTURA EXPANSION			LECTURA EXPANSION			LECTURA EXPANSION		
	DIAL	mm	%	DIAL	mm	%	DIAL	mm	%
0 hrs	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
24 hrs	2.268	2.268	1.786	2.089	2.089	1.645	2.149	2.149	1.692
48 hrs	2.597	2.597	2.044	2.328	2.328	1.762	2.298	2.398	1.809
72 hrs	2.805	2.805	2.209	2.567	2.567	2.031	2.626	2.636	2.068
96 hrs	2.805	2.805	2.209	2.567	2.567	2.031	2.626	2.636	2.068

ENSAYO DE CARGA PENETRACIÓN									
ENSAYO DE CARGA PENETRACIÓN	LECTURA DIAL	MOLDE 56		LECTURA DIAL	MOLDE 25		LECTURA DIAL	MOLDE 10	
		1	56		2	25		3	10
		lbs	lbs/pulg ²		lbs	lbs/pulg ²		lbs	lbs/pulg ²
0.025	15	152.50	51.20	9.00	103.10	34.40	5.00	69.60	23.20
0.050	28	262.60	87.50	18.00	178.60	59.50	9.00	103.10	34.40
0.075	38	246.50	115.50	26.00	245.80	81.90	15.00	153.50	51.20
0.100	49	435.00	145.00	35.00	321.30	107.10	22.00	212.30	70.70
0.125	60	531.30	177.10	43.00	388.50	129.50	29.00	270.90	90.30
0.150	70	615.40	205.10	51.00	455.70	151.90	36.00	329.70	109.90
0.200	86	749.90	250.00	64.00	564.90	188.30	50.00	447.30	149.10
0.300	105	909.80	303.30	83.00	724.70	241.60	69.00	607.00	202.30
0.400	117	1010.90	337.00	94.00	817.30	272.40	80.00	699.50	233.20
0.500	122	1061.40	353.80	99.00	859.30	386.40	83.00	724.70	241.60

Nota. Se puede observar que el ensayo de CBR se hizo en 3 moldes en estado saturado y sin saturar, asimismo también el ensayo de expansión se hizo en el tiempo de 0 hasta 96 horas y, por otro lado, el ensayo de carga de penetración se hizo de 0.025 hasta 0.500.

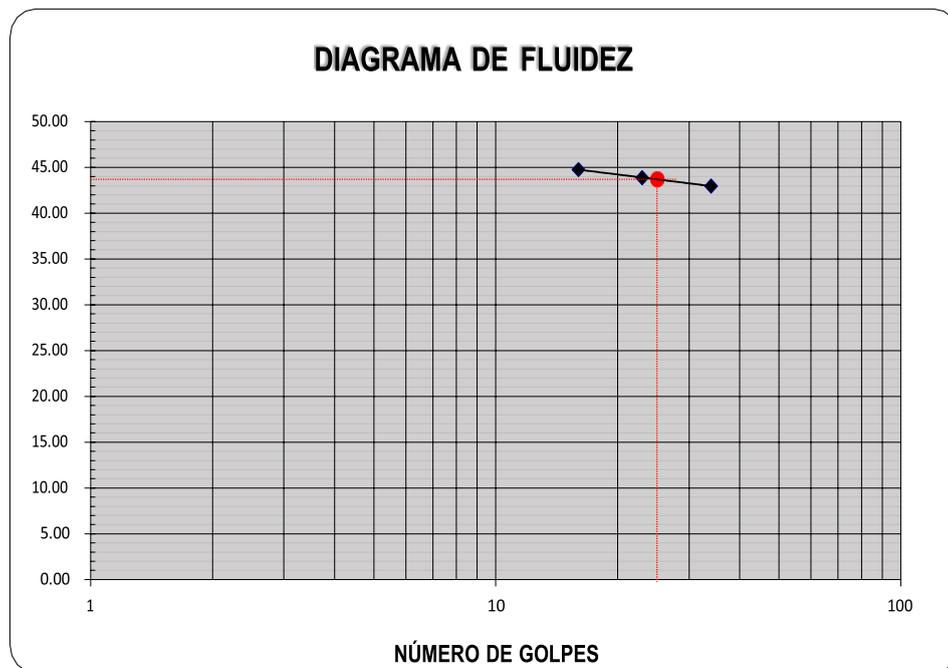
Tabla 21:

Límites de consistencia de la Calicata N°03

LÍMITES DE CONSISTENCIA						
Descripción	Límite Líquido			Límite Plástico		
N° de golpes		16	23	34	-	-
Peso de tara (g)		10.38	10.04	10.42	10.19	9.62
Peso de tara + suelo húmedo (g)		12.74	13.81	13.58	10.45	10.54
Peso tara + suelo seco (g)		12.01	12.66	12.63	10.39	10.33
Contenido de Humedad %		44.79	43.89	42.99	29.48	29.51
Límites %		44			29	

Nota. Limite liquido 44 y limite plástico 29

Figura 8: Diagrama de Fluidez de la Calicata N°03



Nota. Se puede observar que, en el diagrama de fluidez, el límite liquido está por 44 y el límite plástico está por 29.

Tabla 22: *Contenido de Humedad de Calicata N°03*

CONTENIDO DE HUMEDAD			
ASTM D-2216			
Descripción	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03
Peso del tarro (g)	14.21	14.13	14.42
Peso del tarro + suelo húmedo (g)	78.15	71.98	89.71
Peso del tarro + suelo seco (g)	64.30	59.41	73.27
Peso del suelo seco (g)	50.09	45.28	58.85
Peso del agua (g)	13.85	12.57	16.44
% de humedad (%)	27.64	27.75	27.94
% de humedad promedio (%)	27.78		

Nota. Se puede observar que el porcentaje de humedad promedio es 27.78% de la calicata N°03

Tabla 23: *Ensayo de CBR, ensayo de expansión y ensayo de carga penetración de la C-03*

ENSAYO DE CBR						
ESTADO	SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR	SATURADO
MOLDE	MOLDE 01		MOLDE 02		MOLDE 03	
N° DE GOLPES POR CAPA	56		25		10	
SOBRECARGA (g)	4530		4530		4530	
Peso del suelo húmedo + molde (g)	11960		11700		11450	
Peso del molde (g)	7555		7555		7555	
Peso del suelo húmedo (g)	4405		4145		3895	
Volumen del molde (cm ³)	2119		3119		2119	
Volumen del disco espaciador (cm ³)	1085		1085		1085	
Densidad húmeda (g/cm ³)	2.078		1.957		1.838	
CONTENIDO DE HUMEDAD						
Peso del suelo húmedo + cápsula (g)	95.68		101.74		89.45	
Peso del suelo seco + cápsula (g)	87.04		93.53		81.64	
Peso del agua (g)	8.64		9.33		7.81	

Peso de la cápsula	(g)	10.63	10.40	10.18
Peso del suelo seco	(g)	76.41	83.13	71.47
% de humedad	(%)	11.31	11.33	10.93
Densidad de Suelo Seco	(g/cm ³)	1.87	1.76	1.66

ENSAYO DE EXPANSION

TIEMPO	LECTURA EXPANSION			LECTURA EXPANSION			LECTURA EXPANSION		
	DIAL	mm	%	DIAL	mm	%	DIAL	mm	%
0 hrs	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
24 hrs	2.39	2.39	1.883	2.153	2.153	1.695	2.098	2.098	1.652
48 hrs	2.536	2.54	1.997	2.262	2.262	1.781	2.189	2.189	1.724
72 hrs	2.554	2.55	2.011	2.28	2.28	1.796	2.207	2.207	1.738
96 hrs	2.554	2.55	2.011	2.28	2.28	1.796	2.207	2.207	1.738

ENSAYO DE CARGA PENETRACIÓN

ENSAYO DE CARGA PENETRACIÓN	LECTURA DIAL	MOLDE 56		MOLDE 35		MOLDE 10			
		1	56	2	35	3	10		
		lbs	lbs/pulg ²	lbs	lbs/pulg ²	lbs	lbs/pulg ²		
0.025	15	161.90	54.00	9.00	103.10	34.40	5.00	78.00	26.00
0.050	28	262.60	87.50	18.00	178.60	59.50	9.00	103.10	34.40
0.075	39	354.90	118.30	26.00	245.80	81.90	15.00	153.50	51.20
0.100	50	447.50	149.20	36.00	329.70	109.90	22.00	212.20	70.70
0.125	61	539.70	179.90	44.00	396.90	132.30	29.00	270.90	90.30
0.150	71	623.80	207.90	52.00	464.10	154.70	37.00	338.10	112.70
0.200	87	758.30	252.80	65.00	573.30	191.10	50.00	447.30	149.10
0.300	107	926.60	308.90	84.00	733.10	244.40	69.00	607.00	202.30
0.400	119	1027.70	342.60	95.00	825.60	275.20	80.00	699.50	233.20
0.500	124	1069.80	356.60	100.00	867.70	289.20	84.00	733.10	244.40

Nota. Se puede observar que el ensayo de CBR se hizo en 3 moldes en estado saturado y sin saturar, asimismo también el ensayo de expansión se hizo en el tiempo de 0 hasta 96 horas y, por otro lado, el ensayo de carga de penetración se hizo de 0.025 hasta 0.500

Resultado del estudio de suelos de acuerdo con el tercer objetivo específico
 “Determinar el análisis comparativo en cuanto a los criterios de aceptación del pavimento

rígido mediante métodos AASHTO Y PCA en la av. Independencia - provincia de Trujillo – 2022”. Es por esta misma razón que se determinó lo siguiente:

➤ **Diseño del pavimento rígido con la metodología AASHTO 93**

A. Periodo de diseño

Tabla 24: *Periodo de diseño, Metodología AASHTO 93, para Pavimentos rígidos*

TIPO DE CARRETERA	PERIODO DE DISEÑO
Urbana con altos volúmenes de tránsito	30 - 50 años
Interurbana con altos volúmenes de tránsito	30 -50 años
Pavimentada con bajos volúmenes de tránsito	15 - 25 años
Revestidas con bajos volúmenes de tránsito	10 - 30 años
T=	20 años

Nota. Se ha elegido un periodo de diseño de 20 años

B. Espesor de pavimento

Para poder determinar el espesor del pavimento se tiene en cuenta los ejes equivalentes de un vehículo, lo cual el método AASHTO 93 recomienda 8.3 Toneladas lo que significa que se debe asumir un espesor de losa de 20 centímetros y así poder determinar el número de ejes equivalentes.

C. Índices de Serviciabilidad

Tabla 25: *Determinación de los índices de serviciabilidad*

INDICE DE SERVICIABILIDAD INICIAL	INDICE DE SERVICIABILIDAD FINAL
Po = 4.5 para alto volumen de tránsito	Pt = 2.0 para caminos de tránsito menor
Po = 4.1 para bajo volumen de tránsito	Pt = 3.0 para caminos muy importantes
ΔPSI = Po - Pt =	2.1

Nota. Se ha elegido una serviciabilidad inicial y final

D. Factor de Dirección de Ida y Vuelta

Tabla 26: *Determinación del factor de distribución por dirección*

Número de carriles en ambas direcciones	LD 10
2	0.50
4	0.45
6 o más	0.40

Nota. Se ha elegido el número de carriles en ambas direcciones $D = 0.50$

E. Número de Carriles

Tabla 27: *Determinación del factor de distribución por dirección*

Número de carriles en cada Sentido	Porcentaje de W18 por dirección en el carril
1	100
2	80-100
3	60-80
4 o mas	50-75

L=	1.00	un carril en cada sentido
-----------	-------------	---------------------------

Nota. Se ha elegido el porcentaje 100 W18 en el carril de diseño

F. Código de eje cargado

Tabla 28: *Cálculo del Código de eje cargado.*

L2 = 1	eje simple
L2 = 2	eje tándem
L2 = 3	eje trídem

Nota. L2: Este valor depende del tipo de eje en contacto con el pavimento.

G. Cálculo del número de ejes equivalentes

Tabla 29: Cálculo de ejes equivalentes

CALCULO DEL ESAL PARA PAVIMENTO RIGIDO (METODO AASHTO)

PROYECTO: ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO RÍGIDO MEDIANTE MÉTODOS AASHTO Y PCA EN LA AV. INDEPENDENCIA - PROVINCIA DE TRUJILLO –2022
 UBICACIÓN: AV. INDEPENDENCIA

DATOS: T= 20 años
 esp = 200 mm
 Pt = 2.00 seveciabilidad final
 D = 0.5 factor de direccion ida y vuelta
 L = 1 un carril en cada sentido => W18 = 100%

FORMULA DEL ESAL PARA PAVIMENTO RIGIDO METODO DEL AASHTO

$$Fec = - \frac{W_{t18}}{W_{tx}}$$

$$\log \frac{W_{tx}}{W_{t18}} = 4.62 \log (18+1) - 4.62 \log (L_x + L_2) + 3.28 \log (L_2) + \frac{G_1}{\beta_x} - \frac{G_1}{\beta_{18}}$$

$$G_1 = \log \frac{4.5 - Pt}{4.5 - 1.5} \quad \beta_x = 1 + \frac{3.63 (L_x + L_2)^{5.20}}{(D + 1)^{8.46} (L_2)^{3.52}}$$

En Donde:
 W_{tx} = # Aplicaciones de carga definida al final del tiempo t
 W_{t18} = # Aplicaciones de carga equivalente al final del tiempo t

FACTOR DE CRECIMIENTO:
 $G \cdot Y = \frac{(1+r)^Y - 1}{r}$

ESAL = ni = (no)i (G) (D) (L) (365) (Y)

Tipo de Vehículo	VEHICULOS LIGEROS								BUS				CAMIONES UNITARIOS								SEMITRAILER											
	Autos		Pick up		C. Rural		Micros		2E		3E		2E		3E		4E		2S1/2S2		2S3		3S1/3S2			>=3S3						
	delant.	post.	delant.	post.	delant.	post.	delant.	post.	delant.	post.	delant.	post.	delant.	post.	delant.	post.	delant.	post.	delant.	centr.	post.	delant.	centr.	post.	delant.	centr.	post.	delant.	centr.	post.		
CARGA	1	0.8	1.2	1.5	1.5	2	2	3	7	11	7	16	7	11	7	18	7	23	7	11	18	7	11	25	7	18	18	7	18	25		
Lx (kips)	2.2059	1.7647	2.6471	3.3089	3.3089	4.4118	4.4118	6.6177	15.441	24.265	15.441	35.294	15.441	24.265	15.441	39.706	15.441	50.736	15.441	24.265	39.706	15.441	24.265	55.148	15.441	39.706	39.706	15.441	39.706	55.148		
no	2756	2756	95	95	22	22	3	3	7	7	2	2	15	15	4	4	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1		
r%	0.045	0.045	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.045	0.045	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03		
Gt	-0.079	-0.079	-0.079	-0.079	-0.079	-0.079	-0.079	-0.079	-0.079	-0.079	-0.079	-0.079	-0.079	-0.079	-0.079	-0.079	-0.079	-0.079	-0.079	-0.079	-0.079	-0.079	-0.079	-0.079	-0.079	-0.079	-0.079	-0.079	-0.079	-0.079		
L2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	2	1	3	1	1	2	1	1	3	1	2	2	1	2	3		
B18	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
Bx	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
log(Wtx/Wt)	3.5704	3.8674	3.3117	2.9771	2.9771	2.5198	2.5198	1.8338	0.2902	-0.572	0.2902	-0.366	0.2902	-0.572	0.2902	-0.59	0.2902	-0.521	0.2902	-0.572	-0.59	0.2902	-0.572	-0.679	0.2902	-0.59	-0.59	0.2902	-0.59	-0.679		
G = Wt/Wtx	0.0003	0.0001	0.0005	0.0011	0.0011	0.003	0.003	0.0147	0.5126	3.7307	0.5126	2.3215	0.5126	3.7307	0.5126	3.8914	0.5126	3.3191	0.5126	3.7307	3.8914	0.5126	3.7307	4.779	0.5126	3.8914	3.8914	0.5126	3.8914	4.779		
G Y	31.371	31.371	29.778	29.778	26.87	26.87	26.87	26.87	26.87	26.87	26.87	26.87	26.87	26.87	26.87	31.371	31.371	29.778	29.778	26.87	26.87	26.87	26.87	26.87	26.87	26.87	26.87	26.87	26.87	26.87		
ESAL	4243.5	2141.2	251.9	544.24	113.73	325.95	44.448	215.7	17596	128063	5027.5	22769	37706	274421	11739	89118	2785.8	18037	2513.7	18295	19083	2513.7	18295	23435	0	0	0	2513.7	19083	23435		
PARCIAL	7880.7								173456				433807				129167															
TOTAL	744311																															

Nota. se determinó el cálculo de ejes equivalentes

H. Niveles de confiabilidad

Tabla 30: Niveles de confiabilidad

TIPO DE CARRETERA	NIVELES DE CONFIABILIDAD (R)	
	Suburbanas	Rurales
Autopista Regional	85 - 99.9	80 - 99.9
Troncales	80 - 99	75 - 95
Colectoras	80 - 95	50 - 80
R =	80	%

Nota. se determinó el nivel de confiabilidad R con un 80%

I. Desviación estándar normal y error estándar combinado

Tabla 31: Desviación estándar normal

DESVIACION ESTANDAR NORMAL, VALORES QUE CORRESPONDEN A LOS NIVELES SELECCIONADOS DE CONFIABILIDAD		
CONFIABILIDAD R (%)	(ZR)	(So)
50	0.000	0.350
60	-0.353	0.350
70	-0.534	0.340
75	-0.647	0.340
80	-0.841	0.330
85	-1.037	0.330
90	-1.383	0.310
91	-1.340	0.310
93	-1.405	0.300
93	-1.476	0.300
94	-1.555	0.300
95	-1.645	0.300
96	-1.751	0.390
97	-1.881	0.390
98	-3.054	0.390
99	-3.337	0.390
99.9	-3.090	0.390
99.99	-3.750	0.390
ZR =	-0.841	
So =	0.33	

Nota. Se determinó la desviación estándar normal con un factor de ZR=-0.841

Tabla 32: Error estándar combinado

TIPO	(So)
Pavimentos Rígidos	0.30 - 0.40

Construcción Nueva	0.350
En Sobre Capas	0.400
So =	0.350

Nota. Se determino el error estándar combinado de $S_o=0.35$

J. Determinación del módulo de reacción METODO EMPIRICO O MECANISTICO

DATOS DE LA BASE:

CBR = **14.92** %

Ecuación Guía Mecánica Empírica NCHRP (2002)

$$MR = 2555 (CBR)^{0.64}$$

$$MR = 14407.975 \quad \text{psi} = 99.42 \text{ Mpa}$$

Ecuación de Kentucky

(regresión exponencial)

$$MR = 1910 (CBR)^{0.68}$$

$$MR = 12000.412 \quad \text{psi} = 82.80 \text{ Mpa}$$

(regresión polinómica 2°)

$$MR = -7.5 CBR^2 + 800 CBR + 1820$$

$$MR = 12384.852 \quad \text{psi} = 85.46 \text{ Mpa}$$

**Solo para CBR
< 55 %**

Mínimo: ME = 82.80 Mpa

**DATOS DEL SUELO DE FUNDACION
O SUBRASANTE:**

CBR = **14.92** %

Ecuación Guía Mecánica Empírica NCHRP (2002)

$$MR = 2555 (CBR)^{0.64}$$

$$MR = 14407.975 \quad \text{psi} = 99.42 \text{ Mpa}$$

Ecuación de After Van Til et al

(regresión exponencial)

$$MR = 5490 (CBR)^{0.30}$$

$$MR = 12351.025 \quad \text{psi} = 85.22 \quad \text{Mpa}$$

$$\text{Mínimo: } MR = 85.22 \quad \text{Mpa}$$

Tabla 33: Módulos de Elasticidad de Materiales de Pavimentos

CARACTERIZACION DE MATERIALES DE BASE Y SUBBASE GRANULAR CON FINES DE DISEÑO DE PAVIMENTOS		
VALORES TIPICOS DE MODULOS DE ELASTICIDAD DE MATERIALES DE PAVIMENTOS		
Material	Rango (Kg/cm2)	Típico (Kg/cm2)
Concreto Hidráulico	200000-550000	300000
Concreto Asfáltico	15000-35000	30000
Base tratada con asfalto	5000-30000	10000
Base tratada con cemento	35000-70000	50000
Concreto Pobre	100000-300000	200000
Base Granular	1000-3500	2000
Subbase Granular	800-2000	1200
Suelo granular	500-1500	1000
Suelo fino	200-500	300

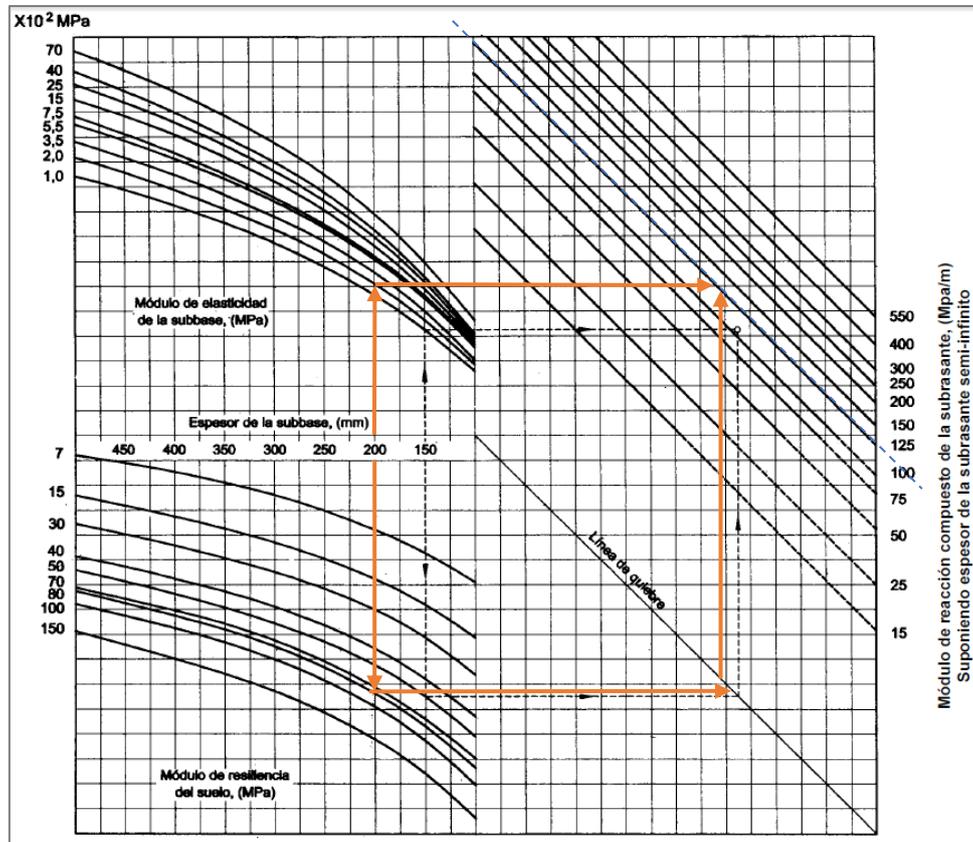
1 kg/cm2= 0.1MPa=14.3 Psi

Fuente. Guía AASHTO “Diseño de estructuras de pavimentos, 1993

En el monograma

1. Estimamos el espesor de la sub base como dato preliminar
2. Proyectamos con las flechas y obtenemos el módulo de reacción compuesto

Figura 9: Monograma para determinar el módulo de reacción compuesto de la subrasante, suponiendo una profundidad infinita



Nota. Se determino el $K=125$ Mpa/m

• **METODO AASHTO**

**DATOS DE LA
BASE:**

CBR = **14.92** % Espesor: **20.00** cm

Si $CBR \leq 10$

$$K = 2.55 + 52.5 \text{ LOG (CBR)}$$

Si $CBR > 10\%$

$$K = 46 + 9.08(\text{LOG}(\text{CBR}))^{4.34}$$

$$K = 64.20 \text{ MPa/m}$$

**DATOS DE LA
SUBRASANTE:**

CBR = **14.92** %

Si $CBR \leq 10$

$$K = 2.55 + 52.5 \text{ LOG (CBR)}$$

Si CBR > 10

$$K = 46 + 9.08(\text{LOG}(\text{CBR}))^{4.34}$$

$$K = 64.20 \text{ Mpa/m}$$

**MODULO DE REACCION COMPUESTO DE LA
SUBRASANTE (K) =**

64.20 Mpa/m

k. Determinación De la Perdida de Serviabilidad

Tabla 34: Perdida de Serviabilidad

INDICE DE SERVICIABILIDAD INICIAL	INDICE DE SERVICIABILIDAD FINAL
Po = 4.5 para alto volumen de tránsito	Pt = 2.0 para caminos de tránsito menor
Po = 4.1 para bajo volumen de tránsito	Pt = 3.0 para caminos muy importantes
$\Delta\text{PSI} = \text{Po} - \text{Pt} =$	2.1

Fuente. Guía AASHTO “Diseño de estructuras de pavimentos, 1993

Tabla 35: Drenaje

CALIDAD DEL DRENAJE	TIEMPO QUE TARDA EL AGUA EN SER EVACUADA
Excelente	3 horas
Bueno	1 día
Mediano	1 semana
Malo	1 mes
Muy malo	el agua no evacua

Fuente. Guía AASHTO “Diseño de estructuras de pavimentos, 1993

Tabla 36: Calidad de Drenaje

Calidad del drenaje	Porcentaje del tiempo en que la estructura del pavimento está expuesta a niveles de humedad próximos a la saturación			
	Menos de 1%	1 % - 5 %	5 % - 25 %	más del 25%
Excelente	1.35 - 1.30	1.30 - 1.15	1.15 - 1.10	1.1
Bueno	1.30 - 1.15	1.15 - 1.10	1.10 - 1.00	1
Mediano	1.15 - 1.10	1.10 - 1.00	1.00 - 0.90	0.9
Malo	1.10 - 1.00	1.00 - 0.90	0.90 - 0.80	0.8
Muy malo	1.00 - 0.90	0.90 - 0.80	0.80 - 0.70	0.7

Fuente. Guía AASHTO “Diseño de estructuras de pavimentos, 1993

$$\underline{\underline{Cd = 0.900}}$$

Tabla 37: *Coefficiente de Transmisión de Carga*

Tipo de Pavimento	Elemento de transmisión de carga (J)			
	Con. Asfáltico		Con. Hidráulico	
	SI (con pasadores)	NO (sin pasadores)	SI (con pasadores)	NO (sin pasadores)
Valores J	3.2	3.8 - 4.4	2.8	3.6-4.2

Fuente. Guía AASHTO “Diseño de estructuras de pavimentos, 1993

$$\underline{\underline{J = 2.80}}$$

- **MODULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO**

Concreto $f'c = 280.00$ kg/cm²

$$Ec = 57000 (f'c)^{0.5}$$

$$Ec = 3597120.02 \text{ psi} = 24801.26 \text{ Mpa}$$

- **MODULO DE ROTURA DEL CONCRETO**

Concreto $f'c = 280.00$ kg/cm²

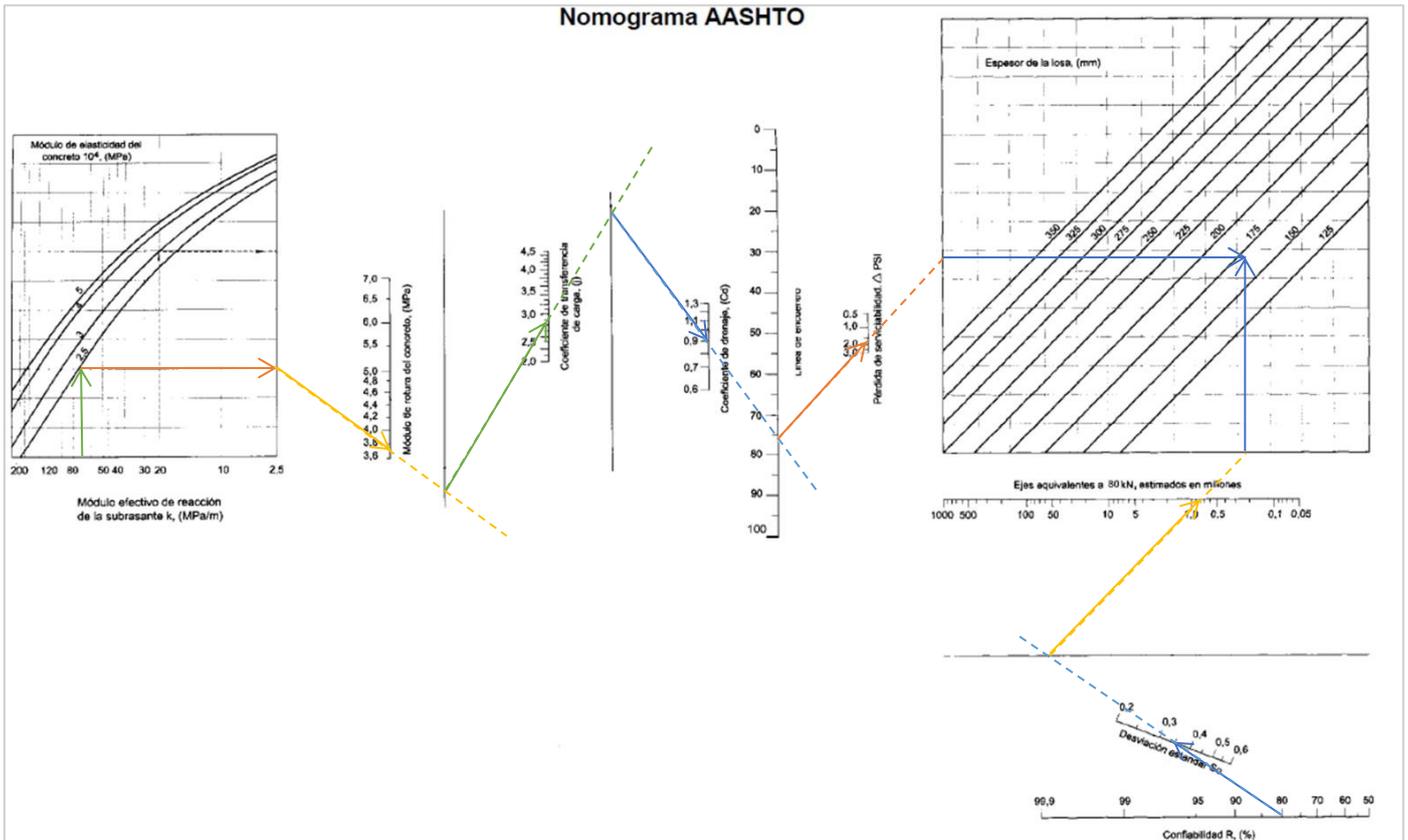
$$S'c = 32 (f'c)^{0.5}$$

$$S'c = 535.46 \text{ psi} = 3.69 \text{ Mpa}$$

Espesor del pavimento

A través de los valores brindados por el nomograma de AASHTO se determinará el espesor del pavimento rígido de la av. Independencia.

Figura 10: *Espesor o altura del pavimento de Nomograma AASHTO*



Nota. Se determino el espesor del pavimento según el Nomograma AASHTO es de 16.5 cm.

Mediante la fórmula AASHTO 93 se comprobó y se calculó un espesor más exacto de 16 cm., lo cual se apreciará en el siguiente gráfico:

Figura 11: *Representación del espesor de la losa por método AASHTO*



Nota. Se determinó que el espesor de pavimento es de 16cm con una subbase de 20cm.

➤ **Diseño de Juntas AASHTO**

Teniendo en cuenta para un espesor de losa de 16 cm, se considera mínimo un diámetro de 1”, teniendo un espaciamiento de 40cm.

Fierro Liso de 1" Long.: 0.50m @ 0.40m

➤ **Juntas Transversales de Construcción**

- **Espaciamiento del Pasador ≤ 0.75 m**

Teniendo en cuenta un espesor de losa de 16 cm, a través de la ecuación se tendrá con un espaciamiento de 60 cm considerando 1 varilla corrugada de 5/8”.

- **LONGITUD DE ACERO DEL PASADOR**

Según el RNC, $u = 23.19$ g/cm², determinando a través de la ecuación una longitud de $b = 30$ cm y una longitud total de 60 cm.

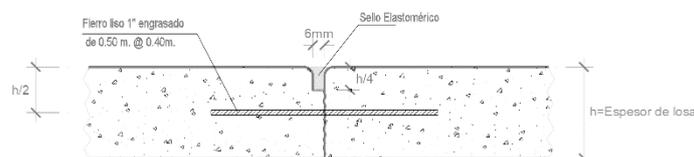
Por lo tanto, se tendrá:

Fierro Corrugado de 5/8" Long.: 0.60 m @ 0.60 m

- **ANCHO Y PROFUNDIDAD DE JUNTA**

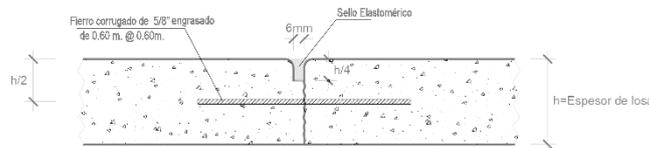
Teniendo un espesor de 16 cm, considerando un $D/4$. Donde “D” es el espesor del pavimento en (cm). Obteniendo, así una profundidad de la junta de 4 cm.

Figura 12: Representación de Junta Transversal



Nota. Se realizó en AutoCAD la sección de junta Transversal de Contracción

Figura 13: Junta Longitudinal de Construcción



Nota. Se realizó en AutoCAD la sección de junta Longitudinal de construcción

➤ **Diseño del pavimento rígido con la metodología PCA**

En este punto se muestra el diseño del pavimento rígido a través de la metodología PCA, el pavimento a diseñar es la AV. Independencia de 2.88 km del distrito del porvenir – provincia de Trujillo.

A. Estudio de Trafico

Tabla 38: Resumen de conteo vehicular de la Av. Independencia.

Tipo de vehículo	Cantidad de vehículos							PROMEDIO	%
	lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo		
Automóviles	1577	1466	1493	1487	1644	1645	1661	1568	85.03
Station Wagon	172	160	160	140	130	140	164	153	8.30
Camioneta pick-up	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
Camioneta panel	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
Camioneta rural	11	118	118	60	152	146	130	105	5.69
Camión C2	11	2	11	11	8	4	7	8	0.4
Ómnibus B2	20	3	0	0	20	20	4	10	0.54
TOTAL	1791	1749	1782	1698	1954	1955	1966		
TRANSITO PROMEDIO DIARIO SEMANAL (TPDS):								1844	100.0

Nota. Resumen del conteo vehicular de la Av. Independencia.

Ecuación 8: Transito Promedio Diario Anual

$$TPDA = TPDS \pm A$$

$$A = KE$$

Donde:

A = Máxima diferencia entre el TPDA y el TPDS

K = Numero de desviaciones estándar correspondiente al nivel de confiabilidad deseado

E = Error estándar de la media.

Nota. El valor A, define el intervalo de confianza dentro del cual se encuentra el TPDA. Para un determinado nivel de confiabilidad.

Ecuación 9: Error Estándar de la Media

$$E = \sigma' = \frac{s}{\sqrt{n}} \left\{ \sqrt{\frac{N-n}{N-1}} \right\}$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (TDi - TPDS)^2}{n-1}}$$

Donde:

E = Error estándar de la media.

S = Desviación Estándar de la Distribución de los volúmenes de tránsito

n = Tamaño de la muestra en número de días de conteo

N = Tamaño de la población en número de días del año

TDi = Volumen de Tránsito del Día i

Fuente. PCA

TPDA:	1907 Vehic. /Día
--------------	-------------------------

B. Tráfico Vehicular Proyectado

Ecuación 10: Factor de Crecimiento

$$F = (1 + T_c)^t$$

Donde:

t= Período de diseño del Pavimento en años

tc= Tasa anual de crecimiento de tránsito (no porcentaje)

Fuente. PCA

Tabla 39: Período de Diseño

PERÍODO DE DISEÑO	20 años
TASA ANUAL DE CRECIMIENTO	3.10%
F.C.	1.84

Nota. Se ha elegido un período de diseño de 20 años y el factor crecimiento es de 1.84

Ecuación 11: Índice Medio Futuro (IMDF)

$$IMDF = TPDA * F.C$$

IMDF:	3512
--------------	-------------

Nota. Realizando el cálculo se obtuvo un Índice Medio Futuro de 3512.

Tabla 40: Cálculo de Diseño

Número de carriles en cada Sentido	Porcentaje de tránsito en la pista de diseño
1	100
2	80-100
3	60-80
4 o mas	50-75

Nota. Se considero un porcentaje de tránsito en la pista de diseño de 100

Tabla 41: Carga de Diseño

CARGA POR EJE (TON.)			
VEHICULO	EJE DELANTERO	CARGA POR EJE O CONJUNTO POSTERIOR	PESO BRUTO MAX.
CAMIONETA	2	2	4
CAMION C2	7	11	18
BUS B2	7	11	18

Nota. Se realizo la identificación de carga por eje en TON

Tabla 42: Factor de Seguridad

Tipo de Obra	Factor de Seguridad por Carga (FSC)	Espesor en (cm)
Carreteras de primer orden autopistas y otras y gran volumen de vehículos	1.20	30 a 40
Carreteras y avenidas con volumen moderado de vehículos pesados	1.10	25 a 35
Carreteras y calles residenciales y otros con volúmenes pequeñas de vehículos pesados	1.00	20 a 30

Nota. Se considero carretera con volúmenes pequeños de vehículos pesados teniendo un Factor de seguridad de 1.00, adoptando como un valor inicial de espesor de losa de 20 cm como mínimo

Tabla 43: Tránsito de Diseño.

VEHICULO	TPDF	DD	DP	PERIODO DISEÑO	AÑO (DIAS)	REPETICIONES DE CARGA
CAMIONETAS	199.97831	0.5	1.0	20	365	729921
CAMION C2	15.236443	0.5	1.0	20	365	55614
BUS B2	19.045553	0.5	1.0	20	365	69517
Total						855052

Nota. A menos que existan consideraciones especiales, la distribución direccional (DD) asigna un 50% del tránsito a cada dirección. Y adoptando un valor de 100% para Distribución de Pista (DP)

C. Determinación del Valor de Soporte de la subrasante

Ecuación 12: Determinación del Valor de Soporte de la Subrasante

$$k = 2.1366 * \ln(X) + 0.47.91 \text{ para } CBR \leq 18\% \quad (I)$$

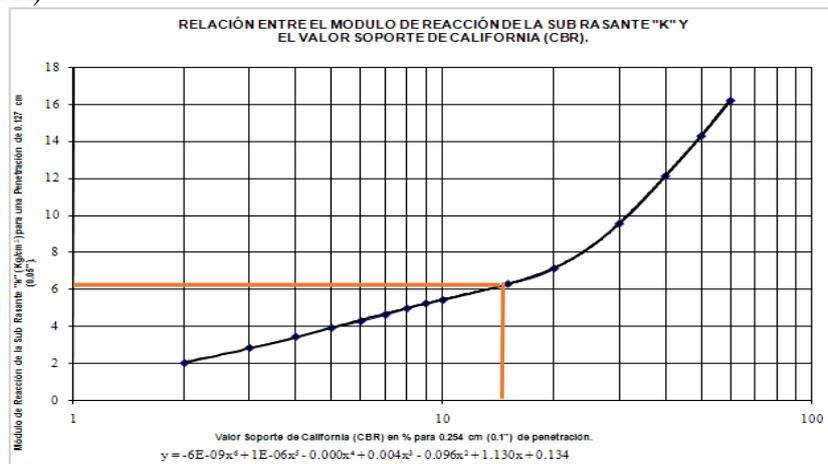
$$k = -0.0009 * X^2 + 0.2985 * X + 1.4950 \text{ para } CBR > 18\% \quad (II)$$

Nota. Teniendo un CBR de 14.92% determinámanos el Valor de Soporte con la primera ecuación (I).

$$\underline{\underline{K = 6.25 \text{ Kg/cm}^3}}$$

Se determino el módulo de reacción “K” de la Subrasante, teniendo en cuenta la formula un CBR de 14.92%. Haciendo del es uso del ábaco o las ecuaciones se puede ver en la siguiente gráfica:

Figura 14: Relación entre el Módulo de Reacción de Sub Rasante "K" y el Valor Soporte de California (CBR)



Nota. Teniendo un CBR de 14.92% interceptamos con el módulo de reacción $K=6.25 \text{ kg/cm}^3$

D. Verificación de la Construcción de una Base

Tabla 44: *Influencia de las Bases no tratadas en los Valores "K"*

Influencia de las bases no tratadas en los valores de "K"						
"K" Kg/cm³ subrasante	Valor de "K" (kg/cm³) sobre la base de espesor					
	10cm	15cm	20cm	22.5cm	25cm	30cm
1.40	1.80	2.10	2.30	2.40	2.63	3.10
2.10	2.70	3.00	3.27	3.40	3.67	4.20
2.80	3.60	3.90	4.23	4.40	4.70	5.30
5.50	6.10	6.40	7.13	7.50	7.97	8.90
8.30	8.90	9.10	9.90	10.30	10.83	11.90

Nota. Se determino el $K=6.25 \text{ kg/cm}^3$, y se consideró un espesor de base de 20 cm. Para estimar el valor exacto se hace una interpolación

$$\underline{\underline{K_c = 7.90 \text{ Kg/cm}^3}}$$

De igual forma, para una Base Granular se utilizará la siguiente formula:

Ecuación 13: Modulo de Reacción Combinado para Base Granular

$$K_c = K + 0.02 * \left(1.2 * e + \frac{e^2}{12} \right)$$

Fuente. PCA

$$\underline{\underline{K_c = 7.40 \text{ Kg/cm}^3}}$$

E. Módulo de Rotura del Concreto (MR)

Ecuación 14: Modulo de Rotura de Concreto (MR)

$$\underline{\underline{MR = 0.19 * f'_c}}$$

Fuente. PCA

$$\underline{\underline{MR = 53.2 \text{ kg/cm}^2}}$$

Nota. Se determino una $f'_c=280 \text{ kg/cm}^2$, obteniendo un módulo de rotura de 53.2 kg/cm^2

F. Análisis por Fatiga

Se considero una losa de concreto de 20 cm, pavimento sin berma. Determinando los valores en la siguiente tabla:

Tabla 45: Módulo de Reacción de Subrasante por Fatiga

Espesor Losa (cm)	k-Modulo de Reacción de Sub-Rasante (kg/cm ³)															
	2		4		6		8		10		15		20			
	Eje Simple	Eje Tandem	Eje Simple	Eje Tandem	Eje Simple	Eje Tandem	Eje Simple	Eje Tandem	Eje Simple	Eje Tandem	Eje Simple	Eje Tandem	Eje Simple	Eje Tandem		
12	43.00	35.60	37.80	30.10	35.10	28.10	33.10	26.80	31.70	25.70	29.10	24.30	27.40	23.50		
13	38.40	32.30	33.80	27.30	31.40	25.30	29.70	24.00	28.40	23.00	26.10	21.60	24.60	20.80		
14	34.60	29.60	30.50	24.90	28.30	22.90	26.80	21.60	25.60	20.80	23.70	19.40	22.30	18.50		
15	31.40	27.20	27.70	22.90	25.70	20.90	24.40	19.70	23.30	18.80	21.60	17.50	20.40	16.70		
16	28.70	25.20	25.30	21.20	23.50	19.30	22.30	18.10	21.30	17.30	19.70	16.00	18.70	15.20		
17	26.30	23.50	23.30	19.70	21.60	17.90	20.50	16.70	19.60	16.00	18.10	14.70	17.20	13.90		
18	24.30	22.00	21.50	18.40	19.90	16.60	18.90	15.50	18.10	14.80	16.80	13.60	15.90	12.80		
19	22.50	20.70	19.90	17.20	18.50	15.60	17.50	14.50	16.80	13.80	15.60	12.60	14.80	11.90		
20	21.00	19.50	18.50	16.20	17.20	14.60	16.40	13.60	15.60	12.90	14.50	11.80	13.80	11.10		
21	19.60	18.50	17.30	15.30	16.10	13.80	15.20	12.90	14.60	12.20	13.60	11.10	12.80	10.40		
22	18.30	17.50	16.20	14.50	15.00	13.10	14.20	12.20	13.70	11.50	12.80	10.50	12.00	9.80		
23	17.20	16.70	15.20	13.80	14.10	12.40	13.30	11.50	12.80	10.90	12.00	9.90	11.30	9.20		
24	16.20	15.90	14.30	13.10	13.30	11.80	12.50	11.00	12.10	10.40	11.30	9.40	10.70	8.80		
25	15.30	15.20	13.50	12.50	12.63	11.80	11.90	10.50	11.40	9.90	10.70	8.90	10.10	8.30		
26	14.50	14.50	12.80	12.00	11.90	10.70	11.30	10.00	10.80	9.40	10.10	8.50	9.50	8.00		
27	13.80	13.90	12.10	11.85	11.30	10.30	10.70	9.50	10.30	9.00	9.50	8.10	9.00	7.60		
28	13.10	13.40	11.50	11.00	10.70	9.90	10.20	9.10	9.80	8.60	9.00	7.80	8.60	7.30		
29	12.50	12.90	11.00	10.60	10.20	9.50	9.70	8.80	9.30	8.30	8.60	7.50	8.20	6.90		
30	11.90	12.40	10.50	10.20	9.70	9.10	9.20	8.20	8.90	8.00	8.20	7.20	7.80	6.60		
31	11.30	12.00	10.00	9.90	9.30	8.80	8.80	8.10	8.40	7.70	7.80	6.90	7.40	6.40		
32	10.90	11.60	9.60	9.50	8.90	8.50	8.40	7.80	8.00	7.40	7.50	6.70	7.10	6.20		
33	10.40	11.20	9.20	9.20	8.50	8.20	8.00	7.60	7.70	7.10	7.20	6.40	6.80	6.00		
34	10.00	10.80	8.80	8.90	8.10	7.90	7.70	7.30	7.30	6.90	6.90	6.20	6.60	5.80		

Fuente. PCA

Esfuerzo Equivalente	16.64 kg/cm²
---------------------------------	--------------------------------

Nota. Se determino un $k_c=7.40$ kg/cm³, interpolando entre los valores. Tenemos un esfuerzo equivalente a 16.44 kg/cm²

G. Relación de Esfuerzos

Se considera la relación de esfuerzos, esfuerzo equivalente entre módulo de ruptura.

Relación de Esfuerzos	0.31
----------------------------------	-------------

H. Análisis por Erosión

Tabla 46: *Módulo de Reacción de Sub Rasante por Erosión*

Espesor Losa (cm)	k-Modulo de Reacción de Sub-Rasante (kg/cm ³)															
	2		4		6		8		10		15		20			
	Eje Simple	Eje Tandem	Eje Simple	Eje Tandem	Eje Simple	Eje Tandem	Eje Simple	Eje Tandem	Eje Simple	Eje Tandem	Eje Simple	Eje Tandem	Eje Simple	Eje Tandem		
12	3.51	3.61	3.50	3.57	3.49	3.54	3.48	3.52	3.48	3.51	3.47	3.49	3.45	3.47		
13	3.41	3.53	3.39	3.48	3.39	3.45	3.38	3.43	3.38	3.41	3.37	3.39	3.35	3.37		
14	3.32	3.45	3.30	3.39	3.29	3.36	3.28	3.34	3.28	3.33	3.27	3.30	3.25	3.28		
15	3.23	3.37	3.21	3.31	3.20	3.28	3.19	3.26	3.19	3.24	3.18	3.22	3.16	3.20		
16	3.15	3.30	3.12	3.24	3.12	3.21	3.10	3.18	3.10	3.17	3.09	3.14	3.08	3.12		
17	3.07	3.24	3.05	3.17	3.04	3.14	3.02	3.11	3.02	3.10	3.01	3.07	3.00	3.04		
18	2.99	3.18	2.97	3.11	2.96	3.07	2.95	3.05	2.94	3.03	2.93	3.00	2.92	2.97		
19	2.93	3.12	2.90	3.05	2.89	3.01	2.88	2.98	2.87	2.97	2.86	2.93	2.85	2.91		
20	2.86	3.06	2.83	3.00	2.83	2.95	2.81	2.92	2.80	2.91	2.79	2.87	2.79	2.84		
21	2.80	3.01	2.77	2.93	2.76	2.89	2.74	2.86	2.74	2.85	2.73	2.81	2.72	2.78		
22	2.74	2.96	2.71	2.88	2.70	2.84	2.68	2.81	2.68	2.80	2.67	2.76	2.66	2.73		
23	2.68	2.91	2.65	2.83	2.64	2.79	2.62	2.76	2.62	2.74	2.61	2.70	2.59	2.67		
24	2.63	2.87	2.60	2.78	2.59	2.74	2.57	2.71	2.56	2.69	2.55	2.65	2.54	2.62		
25	2.58	2.83	2.54	2.74	2.54	2.69	2.52	2.67	2.51	2.65	2.50	2.60	2.49	2.57		
26	2.53	2.79	2.50	2.70	2.49	2.65	2.47	2.62	2.46	2.61	2.45	2.56	2.44	2.53		
27	2.48	2.75	2.45	2.66	2.44	2.61	2.42	2.58	2.41	2.57	2.40	2.52	2.33	2.49		
28	2.43	2.72	2.40	2.63	2.39	2.57	2.37	2.54	2.37	2.53	2.35	2.48	2.34	2.45		
29	2.39	2.69	2.36	2.59	2.35	2.54	2.33	2.51	2.32	2.49	2.31	2.44	2.30	2.41		
30	2.34	2.65	2.31	2.56	2.30	2.50	2.28	2.47	2.28	2.45	2.26	2.41	2.25	2.37		
31	2.30	2.62	2.27	2.52	2.26	2.47	2.24	2.43	2.24	2.42	2.22	2.37	2.21	2.34		
32	2.26	2.59	2.23	2.49	2.22	2.43	2.20	2.40	2.19	2.38	2.18	2.33	2.17	2.30		
33	2.22	2.56	2.19	2.46	2.18	2.40	2.16	2.37	2.15	2.35	2.14	2.30	2.13	2.27		
34	2.18	2.53	2.15	2.43	2.14	2.37	2.12	2.33	2.12	2.32	2.10	2.27	2.09	2.24		

Nota. Se determino un $k_c=7.90$ kg/cm³, interpolando entre los valores. Tenemos un factor erosión de 2.82

I. Ábacos

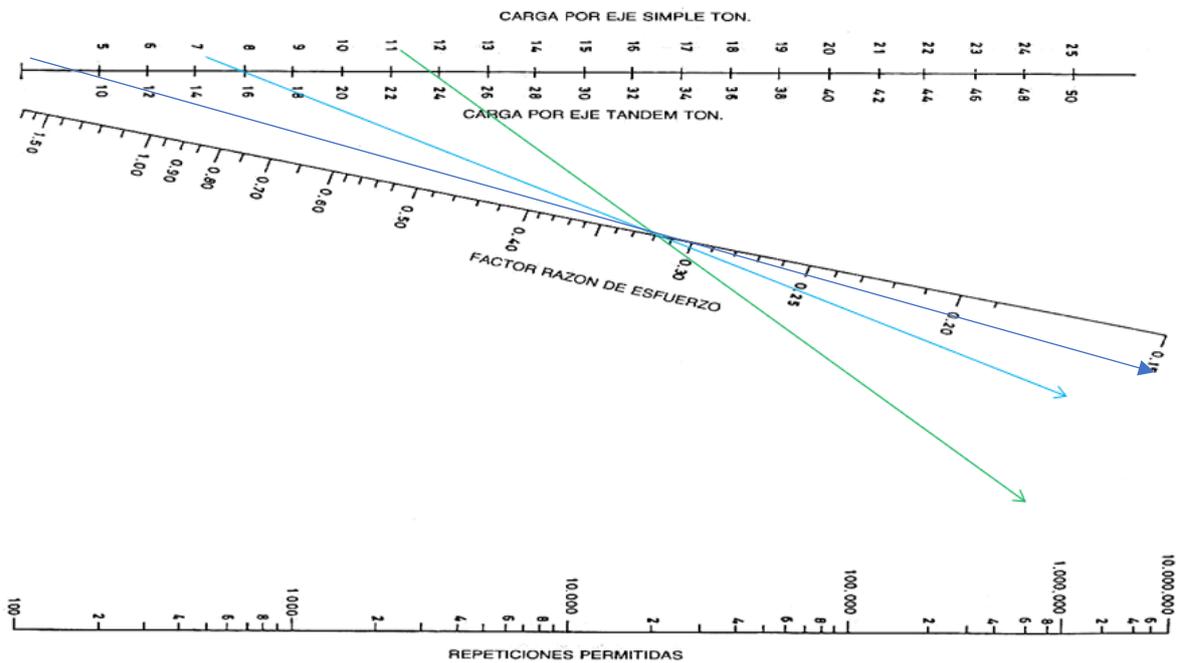
Con los datos anteriores, considerando un tipo de berma (Sin pavimentar) hacemos los ábacos respectivos:

Tabla 47: *Resumen de Cargas por Ejes*

VEHICULO	EJE DELANTERO (TON)	EJE TRASERO (TON)
CAMIONETA	2	2
CAMION C2	7	11
BUS B2	7	11

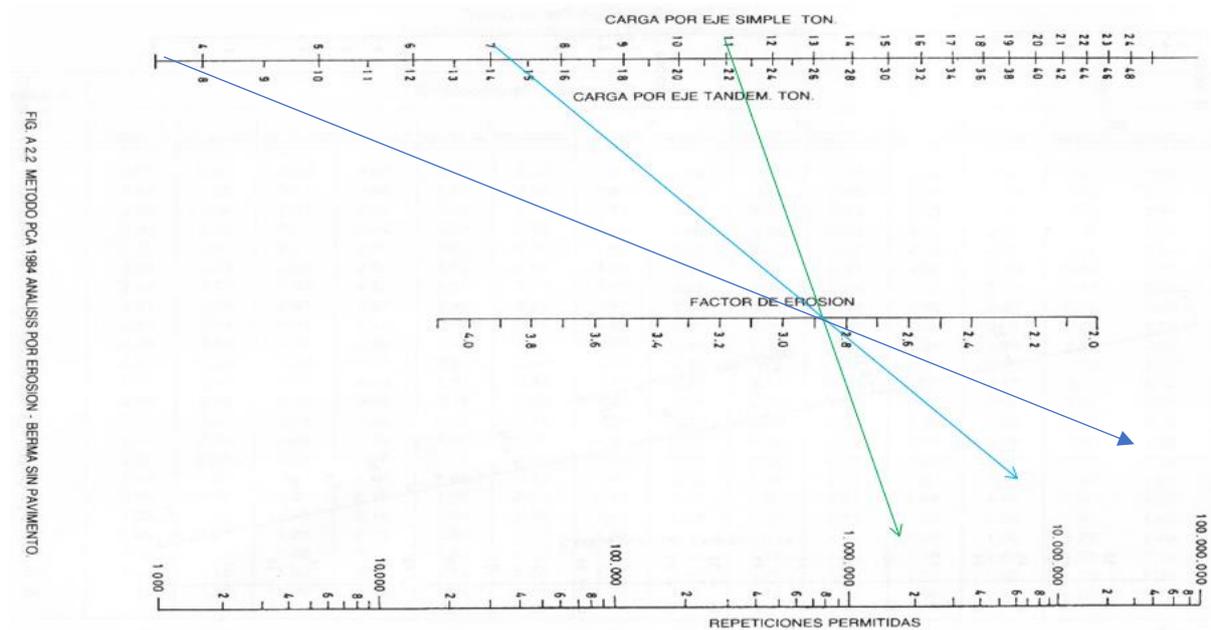
RELACION DE ESFUERZO:	0.31
FACTOR DE EROSION	2.82

Figura 15: *Factor Razón de Esfuerzo*



Fuente. PCA

Figura 16: Factor Erosión



Fuente. PCA

J. Cálculo del espesor del Pavimento

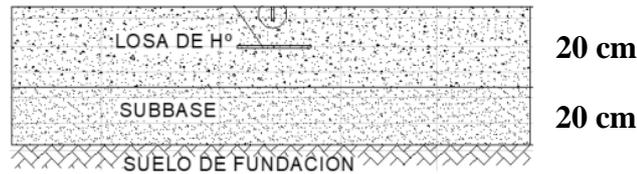
Tabla 48:

Espesor de Pavimento (PCA)

CARGA DEL EJE (TON)	REPETICIONES ESPERADAS	ANALISIS POR FATIGA		ANALISIS POR EROSION	
		REPETICIONES PERMITIDAS	% DE FATIGA	REPETICIONES PERMITIDAS	% DE DAÑO
2	729921	ILIMITADAS		ILIMITADAS	
2	729921	ILIMITADAS		ILIMITADAS	
7	55614	ILIMITADAS		11000000	0.51
11	55614	1000000	5.56	2000000	2.78
7	69517	ILIMITADAS		11000000	0.63
11	69517	1000000	6.95	2000000	3.48
		TOTAL	12.51	TOTAL	7.39

Nota. Cuando la sumatoria de esfuerzos no supera el 100 % se considera como satisfactorio, si el resultado es muy bajo, se puede considerar como sobredimensionado. (se considera ideal cuando la sumatoria es cercana al 100 %).

Figura 17: Representación del espesor de la losa por método PCA



Nota. Se determino el espesor del pavimento para el método PCA

➤ **Diseño de Juntas PCA**

Las juntas longitudinales y transversales se instalan para controlar la fisuración y el agrietamiento que sufre la losa. Para junta longitudinal su ubicación coincide con el eje de la vía, su ubicación no debe ser mayor que 4.50 m o 1.25 veces el ancho. Según RNC, el diámetro mínimo del acero liso será de 1”.

Fierro Liso de 1" Long.: 0.50m @ 0.40m

➤ **Juntas Transversales de Construcción**

- **Espaciamiento del Pasador ≤ 0.75 m**

Teniendo en cuenta un espesor de losa de 20 cm, a través de la ecuación se tendrá con un espaciamiento de 60 cm considerando 1 varilla corrugada de 5/8”.

- **LONGITUD DE ACERO DEL PASADOR**

Según el RNC, $u = 23.19$ g/cm², determinando a través de la ecuación una longitud de $b = 30$ cm y una longitud total de 60 cm.

Por lo tanto, se tendrá:

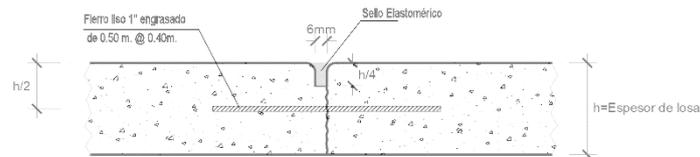
Fierro Corrugado de 5/8" Long.: 0.60 m @ 0.60 m

- **ANCHO Y PROFUNDIDAD DE JUNTA**

Teniendo un espesor de 20 cm, considerando un $D/4$. Donde “D” es el espesor del pavimento en (cm). Obteniendo, así una profundidad de la junta de 5 cm.

Figura 18:

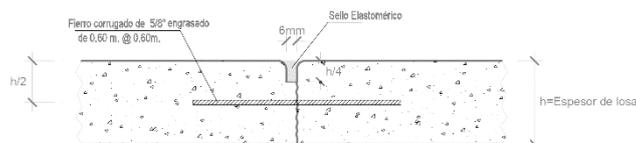
Representación de Junta Transversal PCA



Nota. Se realizo en AutoCAD la sección de junta Transversal de Contracción

Figura 19:

Junta Longitudinal de Construcción PCA



Nota. Se realizo en AutoCAD la sección de junta Longitudinal de construcción

Resultado del estudio de suelos de acuerdo con el cuarto objetivo específico “Determinar el análisis comparativo en cuanto a costo beneficio del pavimento rígido mediante métodos AASHTO Y PCA en la av. Independencia - provincia de Trujillo –2022”. Es por esta misma razón que se determinó lo siguiente:

Tabla 49: Precios de la subbase granular

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS DE LA SUBBASE GRANULAR DE LA METODOLOGÍA AASHTO Y PCA					
Partida	1.01 CORTE DE TERRENO HASTA NIVEL DE SUB RASANTE				
a	Rendimiento m3/DIA MO. 70.0000 EQ. 70.0000 Costo unitario directo por: m3 3.45				
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra					
CAPATAZ	hh	0.1000	0.0011	31.09	0.03
PEON	hh	1.0000	0.0114	18.68	0.21
					0.25
Equipos					
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	0.23	0.01
EXCAVADORA S/ORUGAS 200HP	hm	1.0000	0.0114	280.00	3.20
					3.21
Partida	1.02 ACARREO DE MATERIAL EXCEDENTE				
a	Rendimiento m3/DIA MO. 450.0000 EQ. 450.0000 Costo unitario directo por: m3 14.49				
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra					
CAPATAZ	hh	0.0150	0.0003	31.09	0.01
PEON	hh	1.0000	0.0178	18.68	0.33
					0.34
Equipos					
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		5.0000	0.32	0.02
CAMION VOLQUETE	hm	2.5000	0.0444	180.00	7.99
CARGADOR RETROEXCAVADOR 62 HP 1 yd3	hm	1.0000	0.0178	180.00	3.20
CAMION VOLQUETE	hm	1.0000	0.0178	165.00	2.94
					14.15
Partida	1.03 CONFORMACION DE SUB RASANTE				
a	Rendimiento m2/DIA MO. 1500.0000 EQ. 1500.0000 Costo unitario directo por: m2 3.05				
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra					
CAPATAZ	hh	0.1000	0.0005	31.09	0.02
OPERARIO	hh	1.0000	0.0053	26.23	0.14
PEON	hh	4.0000	0.0213	18.68	0.40

0.56					
Materiales					
AGUA PUESTA EN OBRA	m3		0.0100	10.00	0.10
0.10					
Equipos					
CAMION VOLQUETE	%MO		5.0000	0.52	0.03
MOTONIVELADORA	dm	1.0000	0.0053	280.00	1.48
RODILLO VIBRATORIO 10 TON	hm	0.5000	0.0027	230.00	0.62
PRUEBAS DE COMPACTACIÓN	hm		0.0040	65.00	0.26
2.39					
Partid a	1.04 SUB-BASE GRANULAR DE 20 CM				
Rendimiento m2/DIA MO. 1500.0000 EQ. 1500.0000 Costo unitario directo por:					16.55
m2					
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrill a	Cantida d	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra					
CAPATAZ	hh	0.1000	0.0005	31.09	0.02
OPERARIO	hh	1.0000	0.0053	26.23	0.14
PEON	hh	4.0000	0.0213	18.68	0.40
0.56					
Materiales					
AGUA	m3		0.0188	10.00	0.19
MATERIAL DE MEJORAMIENTO	m3		0.2500	37.50	9.38
9.56					
Equipos					
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	0.52	0.02
RODILLO LISO VIBRATORIO	hm	1.0000	0.0053	230.00	1.22
MOTONIVELADORA 125HP	hm	1.0000	0.0053	280.00	1.48
CAMION CISTERNA 4 X 2 (AGUA) 122 HP 1,500 gl	hm	1.0000	0.0229	162.18	3.71
6.43					

Nota. Se determinó los precios de la base granular

En la tabla 49 se pudo determinar el costo unitario por m2 de la sub base, teniendo en cuenta que en el diseño por la metodología AASHTO y PCA la sub base es de 20 centímetros para ambos métodos, además se está considerando el rendimiento en metros cúbicos y metros cuadrados por día. Finalmente, el costo unitario parcial por m2 es de S/. 27.38 para el método AASHTO y para el método PCA obtuvimos S/. 28.24.

Tabla 50: Cuadro comparativo del Análisis de Precios Unitarios de pavimento del método AASHTO Y PCA

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS DEL PAVIMENTO DE LA METODOLOGÍA AASHTO						ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS DEL PAVIMENTO DE LA METODOLOGÍA PCA					
Partida	2.01 ENCOFRADO Y DESENCOFRADO EN JUNTAS DE CONSTRUCCION					Partida	2.01 ENCOFRADO Y DESENCOFRADO EN JUNTAS DE CONSTRUCCION				
	Rendimiento m2/DIA MO. 40.0000 EQ. 40.0000 Costo unitario directo por: m2						Rendimiento m2/DIA MO. 40.0000 EQ. 40.0000 Costo unitario directo por: m2				
					30.47						30.47
Descripción Insumo	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	Descripción Insumo	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra						Mano de Obra					
OPERARIO	hh	1.0000	0.2000	26.23	5.25	OPERARIO	hh	1.0000	0.2000	26.23	5.25
PEON	hh	3.0000	0.6000	18.68	11.21	PEON	hh	3.0000	0.6000	18.68	11.21
					16.45						16.45
Materiales						Materiales					
ALAMBRE NEGRO RECOCIDO # 8	kg		0.0800	6.11	0.49	ALAMBRE NEGRO RECOCIDO # 8	kg		0.0800	6.11	0.49
CLAVOS PARA MADERA CON CABEZA DE 3"	kg		0.0060	5.00	0.03	CLAVOS PARA MADERA CON CABEZA DE 3"	kg		0.0060	5.00	0.03
MADERA TORNILLO INCLUYE CORTE PARA ENCOFRADO	p2		1.3000	10.00	13.00	MADERA TORNILLO INCLUYE CORTE PARA ENCOFRADO	p2		1.3000	10.00	13.00
					13.52						13.52
Equipos						Equipos					
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	16.45	0.49	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	16.45	0.49
					0.49						0.49
Partida	2.02 ACERO LISO DE JUNTA TRANSVERSAL ø 1" LONG. 50cm @40cm					Partida	2.02 ACERO LISO DE JUNTA TRANSVERSAL ø 1" LONG. 50cm @40cm				
	Rendimiento ml/DIA MO. 250.0000 EQ. 250.0000 Costo unitario directo por: ml						Rendimiento ml/DIA MO. 250.0000 EQ. 250.0000 Costo unitario directo por: ml				
					57.56						57.56
Descripción Insumo	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	Descripción Insumo	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra						Mano de Obra					
OPERARIO	hh	1.0000	0.0320	26.23	0.84	OPERARIO	hh	1.0000	0.0320	26.23	0.84
PEON	hh	1.0000	0.0320	18.68	0.60	PEON	hh	1.0000	0.0320	18.68	0.60
					1.44						1.44
Materiales						Materiales					
ACERO LISO	kg		5.7013	4.50	25.66	ACERO LISO	kg		5.7013	4.50	25.66
ACERO PARA CANASTILLA	kg		3.5100	4.50	15.80	ACERO PARA CANASTILLA	kg		3.5100	4.50	15.80
SOLDADURA ELECTROSOLDADA	und		1.0000	3.10	3.10	SOLDADURA ELECTROSOLDADA	und		1.0000	3.10	3.10
					44.55						44.55
Equipos						Equipos					
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		5.0000	1.44	0.07	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		5.0000	1.44	0.07
SOLDADORA ELECTRICA TRIFASICA 400 A	hm		1.0000	11.50	11.50	SOLDADORA ELECTRICA TRIFASICA 400 A	hm		1.0000	11.50	11.50

11.57						11.57						
Partida	2.03 ACERO COARRUGADO EN JUNTA LONGITUDINAL DE CONSTRUCCION ϕ 5/8" LONG. 60cm @60cm					Partida	2.03 ACERO COARRUGADO EN JUNTA LONGITUDINAL DE CONSTRUCCION ϕ 5/8" LONG. 60cm @60cm					
	Rendimiento ml/DIA MO. 250.0000 EQ. 250.0000 Costo unitario directo por: ml					6.05	Rendimiento ml/DIA MO. 250.0000 EQ. 250.0000 Costo unitario directo por: ml					6.05
Descripción Insumo	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	Descripción Insumo	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
Mano de Obra						Mano de Obra						
OPERARIO	hh	1.0000	0.0320	26.23	0.84	OPERARIO	hh	1.0000	0.0320	26.23	0.84	
PEON	hh	1.0000	0.0320	18.68	0.60	PEON	hh	1.0000	0.0320	18.68	0.60	
1.44						1.44						
Materiales						Materiales						
Plancha de Poliestireno Tecnopor 2.40 x 1.20 x 1/2"	kg		1.0437	4.35	4.54	Plancha de Poliestireno Tecnopor 2.40 x 1.20 x 1/2"	kg		1.0437	4.35	4.54	
4.54						4.54						
Equipos						Equipos						
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		5.0000	1.44	0.07	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		5.0000	1.44	0.07	
0.07						0.07						
Partida	2.04 CONCRETO PREMEZCLADO MR=40 KG/CM2 (FC = 280 KG/CM2)					Partida	2.04 CONCRETO PREMEZCLADO MR=40 KG/CM2 (FC = 280 KG/CM2)					
	Rendimiento m2/DIA MO. 500.0000 EQ. 500.0000 Costo unitario directo por: m2					74.31	Rendimiento m2/DIA MO. 500.0000 EQ. 500.0000 Costo unitario directo por: m2					91.95
Descripción Insumo	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	Descripción Insumo	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
Mano de Obra						Mano de Obra						
CAPATAZ	hh	1.0000	0.0160	31.09	0.50	CAPATAZ	hh	1.0000	0.0160	31.09	0.50	
OPERARIO	hh	2.0000	0.0320	26.23	0.84	OPERARIO	hh	2.0000	0.0320	26.23	0.84	
PEON	hh	6.0000	0.0960	18.68	1.79	PEON	hh	6.0000	0.0960	18.68	1.79	
3.13						3.13						
Materiales						Materiales						
CONCRETO PREMEZCLADO MR=40 KG/CM2 TIPO MS	m3		0.1680	420.00	70.56	CONCRETO PREMEZCLADO MR=40 KG/CM2 TIPO MS	m3		0.2100	420.00	88.20	
70.56						88.20						
Equipos						Equipos						
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		5.0000	3.13	0.16	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		5.0000	3.13	0.16	
VIBRADOR DE CONCRETO DE 4HP 1.5"	hm	0.7000	0.0112	17.00	0.19	VIBRADOR DE CONCRETO DE 4HP 1.5"	hm	0.7000	0.0112	17.00	0.19	
REGLA VIBRADORA FLOTANTE - Motor de 1.5 HP	hm	1.0000	0.0160	17.00	0.27	REGLA VIBRADORA FLOTANTE - Motor de 1.5 HP	hm	1.0000	0.0160	17.00	0.27	
0.62						0.62						
Partida	2.05 PLANCHADO (TIPO FROTACHADO) CON ALISADORA SIMPLE C/DISCO					Partida	2.05 PLANCHADO (TIPO FROTACHADO) CON ALISADORA SIMPLE C/DISCO					
	Rendimiento m2/DIA MO. 300.0000 EQ. 300.0000 Costo unitario directo por: m2					1.48	Rendimiento m2/DIA MO. 300.0000 EQ. 300.0000 Costo unitario directo por: m2					1.48
Descripción Insumo	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	Descripción Insumo	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	

Mano de Obra						Mano de Obra					
OPERARIO	hh	1.000 0	0.026 7	26.23	0.70	OPERARIO	hh	1.000 0	0.026 7	26.23	0.70
0.70						0.70					
Equipos						Equipos					
ALISADORA SIMPLE C/DISCO MBW - Motor de 5.5 hp	hm	1.000 0	0.026 7	29.40	0.78	ALISADORA SIMPLE C/DISCO MBW - Motor de 5.5 hp	hm	1.000 0	0.026 7	29.40	0.78
0.78						0.78					
Part ida	2.06 NIVELACION Y TEXTURIZADO DE SUPERFICIE					Parti da	2.06 NIVELACION Y TEXTURIZADO DE SUPERFICIE				
Rendimiento m2/DIA MO. 500.0000 EQ. 500.0000 Costo unitario directo por: m2 3.75						Rendimiento m2/DIA MO. 500.0000 EQ. 500.0000 Costo unitario directo por: m2 3.75					
Descripción Insumo	Unid ad	Cuad rilla	Canti dad	Preci o S/.	Parci al S/.	Descripción Insumo	Unid ad	Cua drill a	Cant idad	Preci o S/.	Parci al S/.
Mano de Obra						Mano de Obra					
OPERARIO	hh	2.000 0	0.030 8	26.23	0.81	OPERARIO	hh	2.000 0	0.030 8	26.23	0.81
PEON	hh	2.000 0	0.030 8	18.68	0.57	PEON	hh	2.000 0	0.030 8	18.68	0.57
1.38						1.38					
Materiales						Materiales					
TEXTURIZADOR - ESCOBRILLA DE FIBRA	und		0.000 2	1500. 00	0.30	TEXTURIZADOR - ESCOBRILLA DE FIBRA	und		0.000 2	1500. 00	0.30
FORMALETA METALICA	und		0.002 0	1000. 00	2.00	FORMALETA METALICA	und		0.002 0	1000. 00	2.00
2.30						2.30					
Equipos						Equipos					
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		5.000 0	1.38	0.07	HERRAMIENTAS MANUALES	%M O		5.000 0	1.38	0.07
0.07						0.07					
Part ida	2.07 CORTE EN FRESCO DE JUNTAS DE CONTRACCION DE 6mm					Parti da	2.07 CORTE EN FRESCO DE JUNTAS DE CONTRACCION DE 6mm				
Rendimiento ml/DIA MO. 300.0000 EQ. 300.0000 Costo unitario directo por: ml 3.94						Rendimiento ml/DIA MO. 300.0000 EQ. 300.0000 Costo unitario directo por: ml 3.94					
Descripción Insumo	Unid ad	Cuad rilla	Canti dad	Preci o S/.	Parci al S/.	Descripción Insumo	Unid ad	Cua drill a	Cant idad	Preci o S/.	Parci al S/.
Mano de Obra						Mano de Obra					
OPERARIO	hh	1.000 0	0.026 7	26.23	0.70	OPERARIO	hh	1.000 0	0.026 7	26.23	0.70
PEON	hh	1.000 0	0.026 7	18.68	0.50	PEON	hh	1.000 0	0.026 7	18.68	0.50
1.20						1.20					
Materiales						Materiales					
DISCO DE 8" DE 3mm PARA SOFF - CUT	und		0.002 5	700.0 0	1.75	DISCO DE 8" DE 3mm PARA SOFF - CUT	und		0.002 5	700.0 0	1.75
1.75						1.75					
Equipos						Equipos					
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.000 0	1.20	0.04	HERRAMIENTAS MANUALES	%M O		3.000 0	1.20	0.04
CORTADORA DE CONCRETO DE 27 HP (SOFF - CUT)	hm	1.000 0	0.026 7	35.80	0.95	CORTADORA DE CONCRETO DE 27 HP (SOFF - CUT)	hm	1.000 0	0.026 7	35.80	0.95
0.99						0.99					
Part ida	2.08 CORTE CONVENCIONAL A PROFUNDIDAD EN JUNTA CONTRACCION DE 6mm					Parti da	2.08 CORTE CONVENCIONAL A PROFUNDIDAD EN JUNTA CONTRACCION DE 6mm				

Rendimiento ml/DIA MO. 300.0000 EQ. 300.0000 Costo unitario directo por: ml						Rendimiento ml/DIA MO. 300.0000 EQ. 300.0000 Costo unitario directo por: ml					
2.63						2.63					
Descripción Insumo	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	Descripción Insumo	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra						Mano de Obra					
OPERARIO	hh	1.0000	0.0267	26.23	0.70	OPERARIO	hh	1.0000	0.0267	26.23	0.70
PEON	hh	1.0000	0.0267	18.68	0.50	PEON	hh	1.0000	0.0267	18.68	0.50
1.20						1.20					
Materiales						Materiales					
DISCO DE 8" DE 3mm PARA SOFF - CUT	und		0.0025	350.00	0.88	DISCO DE 8" DE 3mm PARA SOFF - CUT	und		0.0025	350.00	0.88
AGUA	m3		0.0100	7.00	0.07	AGUA	m3		0.0100	7.00	0.07
0.95						0.95					
Equipos						Equipos					
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	1.20	0.04	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	1.20	0.04
CORTADORA CONVENCIONAL	hm	1.0000	0.0267	17.00	0.45	CORTADORA CONVENCIONAL	hm	1.0000	0.0267	17.00	0.45
0.49						0.49					
Partida 2.09 APLICACIÓN DE CURADOR QUIMICO						Partida 2.09 APLICACIÓN DE CURADOR QUIMICO					
Rendimiento ml/DIA MO. 300.0000 EQ. 300.0000 Costo unitario directo por: ml						Rendimiento ml/DIA MO. 300.0000 EQ. 300.0000 Costo unitario directo por: ml					
4.62						4.62					
Descripción Insumo	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	Descripción Insumo	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra						Mano de Obra					
OPERARIO	hh	1.0000	0.0160	26.23	0.42	OPERARIO	hh	1.0000	0.0160	26.23	0.42
0.42						0.42					
Materiales						Materiales					
ADITIVO CURADOR QUIMICO	und		0.1256	25.00	3.14	ADITIVO CURADOR QUIMICO	und		0.1256	25.00	3.14
3.14						3.14					
Equipos						Equipos					
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		5.0000	0.42	0.02	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		5.0000	0.42	0.02
MOCHILA PULVERIZADORA CLIMAX M00P20	hm	1.0000	0.0160	65.23	1.04	MOCHILA PULVERIZADORA CLIMAX M00P20	hm	1.0000	0.0160	65.23	1.04
1.06						1.06					
Partida 2.10 SELLO DE JUNTAS CON MATERIAL ELASTOMERICO						Partida 2.10 SELLO DE JUNTAS CON MATERIAL ELASTOMERICO					
Rendimiento ml/DIA MO. 300.0000 EQ. 300.0000 Costo unitario directo por: m2						Rendimiento ml/DIA MO. 300.0000 EQ. 300.0000 Costo unitario directo por: m2					
6.01						6.01					
Descripción Insumo	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	Descripción Insumo	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra						Mano de Obra					
OPERARIO	hh	4.0000	0.1067	26.23	2.80	OPERARIO	hh	4.0000	0.1067	26.23	2.80
PEON	hh	1.0000	0.0267	18.68	0.50	PEON	hh	1.0000	0.0267	18.68	0.50
3.30						3.30					
Materiales						Materiales					
IMPRIMANTE PARA SELLANTES JUNTAS	gln		0.0002	225.63	0.05	IMPRIMANTE PARA SELLANTES JUNTAS	gln		0.0002	225.63	0.05

SELLADOR DE POLIURETANO	gln	0.000 3	160.1 5	0.04	SELLADOR DE POLIURETANO	gln	0.000 3	160.1 5	0.04		
CORDON DE RESPALDO PARA SELLADO - POLIURETANO	ml	1.000 0	0.70	0.70	CORDON DE RESPALDO PARA SELLADO - POLIURETANO	ml	1.000 0	0.70	0.70		
0.79				0.79							
Equipos					Equipos						
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO	5.000 0	3.30	0.16	HERRAMIENTAS MANUALES	%M O	5.000 0	3.30	0.16		
COMPRESORA	hm	1.000 0	0.026 7	66.20	1.77	COMPRESORA	hm	1.000 0	0.026 7	66.20	1.77
1.93				1.93							

Nota. Se determinó los precios unitarios del pavimento rígido.

En la tabla 50, se pudo determinar el costo unitario por m² del pavimento rígido, teniendo en cuenta que en el diseño por la metodología AASHTO el pavimento es de 16 centímetros y para el método PCA es de 20 centímetros. Finalmente pudimos obtener el costo unitario parcial por m², el cuál por el método AASHTO tenemos S/.92.84 y por el método PCA pudimos obtener S/. 110.66.

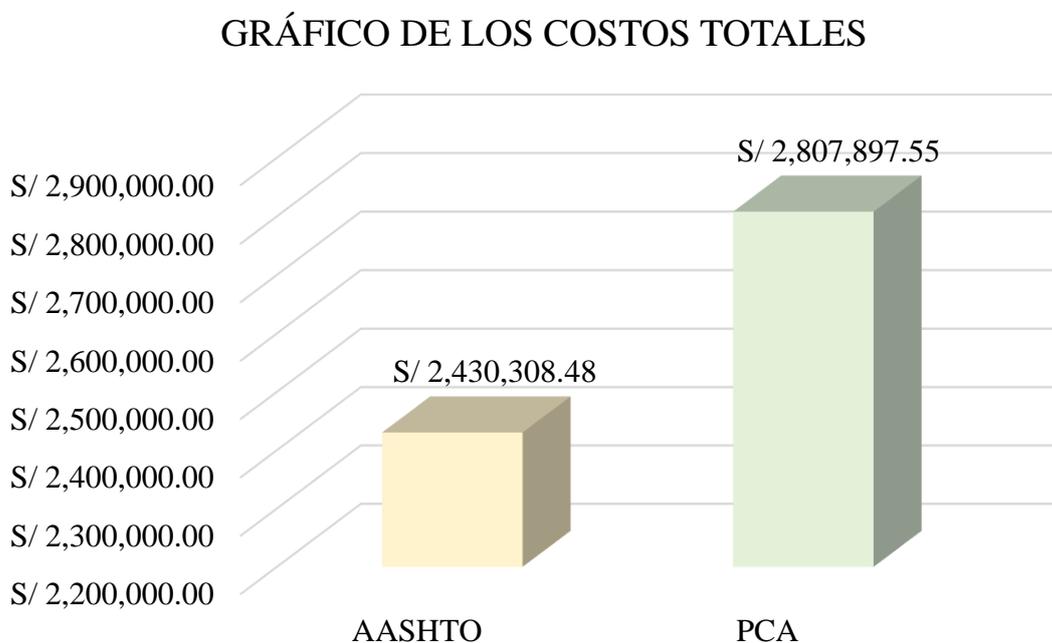
Tabla 51: Cuadro comparativo del Análisis de costo total entre la subbase y el pavimento del método AASHTO Y PCA

DESCRIPCIÓN	Partida	UND	METODO AASHTO			METODO PCA		
			METRADO	PU	TOTAL	METRADO	PU	TOTAL
SUBBASE ESTABILIZADA A GRANULOMÉTRICAMENTE	CORTE DE TERRENO HASTA NIVEL DE SUB RASANTE	m3	7277.76	3.46	S/ 25,155.49	8086.40	3.46	S/ 27,950.54
	ACARREO DE MATERIAL EXCEDENTE	m3	9097.20	14.49	S/ 131,825.09	10108.00	14.49	S/ 146,472.32
	CONFORMACION DE SUB RASANTE	m2	20216.00	3.05	S/ 61,646.61	20216.00	3.05	S/ 61,646.61
	SUB-BASE GRANULAR DE 20 CMS.	m2	20216.00	16.56	S/ 334,809.35	20216.00	16.56	S/ 334,809.35
SUBTOTAL					S/ 553,436.54			S/ 570,878.82
PAVIMENTO DE HORMIGON DE CEMENTO PORTLAND	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO EN JUNTAS DE CONSTRUCCION	m2	464.32	30.47	S/ 14,146.17	580.40	30.47	S/ 17,682.71
	ACERO LISO DE JUNTA TRANSVERSAL ø 1" LONG. 50cm @40cm	ml	14.00	57.56	S/ 805.83	14.00	57.56	S/ 805.83
	ACERO CORRUGADO EN JUNTA LONGITUDINAL DE CONSTRUCCION ø 5/8" LONG. 60cm @60cm	ml	2888.00	6.05	S/ 17,469.72	2888.00	6.05	S/ 17,469.72
	CONCRETO PREMEZCLADO MR=40 KG/CM2 (FC = 280 KG/CM2)	m2	20216.00	74.31	S/ 1,502,230.42	20216.00	91.95	S/ 1,858,840.66
	PLANCHADO (TIPO FROTACHADO) CON ALISADORA SIMPLE C/DISCO	m2	20216.00	1.48	S/ 29,989.76	20216.00	1.48	S/ 29,989.76
	NIVELACION Y TEXTURIZADO DE SUPERFICIE	m2	20216.00	3.75	S/ 75,828.97	20216.00	3.75	S/ 75,828.97
	CORTE EN FRESCO DE JUNTAS DE CONTRACCION DE 6mm	ml	7213.00	3.94	S/ 28,406.20	7213.00	3.94	S/ 28,406.20
	CORTE CONVENCIONAL A PROFUNDIDAD EN JUNTA CONTRACCION DE 6mm	ml	7213.00	2.63	S/ 18,983.62	7213.00	2.63	S/ 18,983.62
APLICACIÓN DE CURADOR QUIMICO	m2	20216.00	4.62	S/ 93,485.74	20216.00	4.62	S/ 93,485.74	
SELLO DE JUNTAS CON MATERIAL ELASTOMERICO	ml	15891.00	6.01	S/ 95,525.52	15891.00	6.01	S/ 95,525.52	
SUBTOTAL					S/ 1,876,871.95			S/ 2,237,018.73
TOTAL:					S/ 2,430,308.48			S/ 2,807,897.55

Nota. Se determinó el costo total de para ambos métodos.

En la tabla 51 se pudo determinar el costo total de la subbase y del pavimento rígido, teniendo en cuenta que en ambos métodos tenemos una subbase de 20 cm, pero en el diseño del pavimento rígido por el método AASHTO obtenemos un espesor de losas de 16 centímetros y para el método PCA es de 20 centímetros. Finalmente pudimos obtener el costo total de S/2,430,308.48 por el método AASHTO y S/2,807,897.55 para el método PCA.

Figura 20: Gráfico comparativo de los costos totales del método AASHTO y PCA



Nota. Se determinó el costo total de para ambos métodos.

CAPITULO IV: DISCUSION Y CONCLUSIONES

• DISCUSIONES

En este trabajo de investigación se ha tomado en cuenta los diferentes puntos topográficos con la finalidad de determinar el estudio topográfico de la av. Independencia - provincia de Trujillo –2022. Según ICG (2012), indica que cuando las personas piensan en el inicio de un proyecto de construcción, a menudo evocan imágenes de estacas clavadas en el suelo y los puntos BM. Sin embargo, antes de que esto pueda suceder, se deben realizar levantamientos topográficos con la finalidad de desempeñar un papel importante en el éxito de un proyecto, por lo que es necesario tener en cuenta para que sirva una topografía. En la presente investigación se hizo la topográfica de la Av. Independencia es de 2.88km, clasificada como ruta urbana, ubicada en la región la libertad, provincia de Trujillo, distrito del porvenir. El proyecto se desarrolla entre 95 a 190 msnm. El levantamiento topográfico de la avenida independencia se desarrolló en un nuevo trazo, mejorando en algunos sectores su alineamiento horizontal, adecuándose a la Manual de Carreteras (Dg. 2018). Asimismo, también se colocó dos puntos de control que están ubicados en dos partes de la avenida tanto al principio como al final de la construcción, donde se encontraba el navegador GPS, lo cual permitió considerar 10 BM a lo largo del eje proyecto. En el estudio de investigación realizado por Señas (2016), en su artículo de investigación, encontró que para saber el estado de deterioro del pavimento es necesario principalmente hacer una topografía del terreno con la finalidad de ver cuáles son los tramos que tienen fallas o fisuras.

Asimismo, para poder diseñar un pavimento rígido mediante el método AASHTO Y PCA fue necesario determinar el análisis de estudio de suelos de la av. Independencia - provincia de Trujillo –2022, según Salinas (2021), indica que la mecánica de suelos en la

ingeniería vial es muy importante para determinar las propiedades físicas, químicas y para estudiar la viabilidad técnica, para clasificar los tipos de materiales de corte, por otro lado también se considera el agua subterránea más conocida como napa freática para que la investigación se pueda hacer correctamente. Encontrar y describir material de cantera. De manera similar, la mecánica del suelo en la ingeniería vial juega un papel crucial tanto en la determinación de las propiedades del suelo como en el diseño de las estructuras del pavimento, lo que nos permite tener un buen desempeño en el sitio y controlar bien las rutas terrestres. En la presente investigación se desarrolló 3 calicatas una por cada kilómetro, la calicata N°01, se obtuvo un límite líquido de 39%, límite plástico de 28% con su respectivo diagrama de fluidez; con un contenido de humedad de 19.93% y un ensayo de CBR se hizo en 3 moldes en estado saturado y sin saturar, asimismo también el ensayo de expansión se hizo en el tiempo de 0 hasta 96 horas y; por otro lado, el ensayo de carga de penetración se hizo de 0.025 hasta 0.500. La calicata N°02, se obtuvo un límite líquido de 27%, límite plástico de 14% con su respectivo diagrama de fluidez; con un contenido de humedad de 22.12% y un ensayo de CBR se hizo en 3 moldes en estado saturado y sin saturar, asimismo también el ensayo de expansión se hizo en el tiempo de 0 hasta 96 horas y; por otro lado, el ensayo de carga de penetración se hizo de 0.025 hasta 0.500. La calicata N°03, se obtuvo un límite líquido de 44%, límite plástico de 29% con su respectivo diagrama de fluidez; con un contenido de humedad de 27.78% y un ensayo de CBR se hizo en 3 moldes en estado saturado y sin saturar, asimismo también el ensayo de expansión se hizo en el tiempo de 0 hasta 96 horas y; por otro lado, el ensayo de carga de penetración se hizo de 0.025 hasta 0.500, Además, una prueba Proctor modificado con un CBR del 14.92%. En el estudio realizado por Giménez & Valverde (2018), en su trabajo de investigación, indico que es importante es importante comparar entre dos secciones flexibles y

rígidas en la sección paria huanca para métodos de AASHTO y PCA, donde la subrasante consistió principalmente de arena arcillosa y grava simple mezclada con arena y arcilla moderadamente plástica.

Además, se ha diseñado un pavimento rígido mediante dos métodos, con la finalidad de determinar el diseño del pavimento rígido a través de la metodología AASHTO 93, el pavimento a diseñar es la AV. Independencia de 2.88km del distrito del porvenir – provincia de Trujillo - 2022. Según el ICG (2012), indica que el método AASHTO, desarrollado en los EE. UU en la década de 1960, tuvo en cuenta varios ensayos grandes durante un período de 2 años para desarrollar tablas, fórmulas y gráficos. Por otro lado, en la versión de 1986 mejoraron algunos conceptos relacionados con la estructura del pavimento, y luego en 1993 desarrollaron los conceptos básicos del pavimento rígido, tales como cimentaciones, rellenos, losas de concreto, lechadas, juntas y fallas del pavimento. Esto muestra nuevamente que el método PCA fue desarrollado en los EE. UU en la década de 1966 para diseñar pavimentos rígidos considerados y el espesor de la losa de concreto y los conceptos básicos de tráfico y fatiga. Por otro lado, en 1988 se actualizó el método de cálculo de pavimento rígido y se cambió el método de ensayo, basado en la teoría de Westergaard, Pickett y Ray, complementado con el concepto básico de elementos finitos. En el presente proyecto se ha diseñado un pavimento rígido con el método AASHTO teniendo en cuenta los estudios básicos de topografía y estudio de suelos, el periodo de diseño que se ha considerado entre 15 a 25 años, no obstante según el reglamento nacional de edificaciones tenemos un mínimo de 20 años el espesor inicial de 20 cm de la sub base, el índice de serviciabilidad inicial de $P_o = 4.1$ para bajo volumen de tránsito y la serviciabilidad final de $p_t = 2.0$ para caminos de tránsito menor, determinación del factor de distribución por carril se ha considerado uno en cada sentido, el cálculo del eje cargado es $L_2=2$

eje tándem, se calculó los ejes equivalentes de vehículos ligeros, bus, camiones y semi trailers; nivel de confiabilidad de 80%, desviación estándar de $ZR = -0.841$, error estándar de $S_o = 0.35$, Modulo de reacción compuesto de la subrasante $K = 64.20$ Mpa/m, perdida de serviciabilidad $\Delta PSI = 2.1$, coeficiente de drenaje de $C_d = 0.90$ y coeficiente de transmisión de carga de $J = 2.80$ y una resistencia mínima a la compresión del concreto de $f'_c = 280$ kg/cm², teniendo como Modulo de rotura de concreto de 3.69 Mpa y finalmente el espesor de losa de 16 cm y 20 cm de subbase. En el diseño del pavimento rígido por el método PCA se consideró los estudios básicos y periodo de diseño de 15 a 25 años y el módulo de k subrasante de $K_c = 7.90$ Kg/cm³ considerando una berma sin pavimentar y finalmente el espesor de losa de pavimento rígido es 20 cm y 20 cm de subbase. Según Minchan (2019), en su trabajo de investigación, ha concluido que en el caso de presentarse fallos en el terreno natural se recomendó realizar la excavación y remplazo de material defectuoso con el material de buenas características como material tipo afirmado.

Asimismo, se ha diseñado un pavimento rígido mediante dos métodos, con la finalidad de determinar el análisis comparativo en cuanto a costo beneficio del pavimento rígido mediante métodos AASHTO Y PCA en la av. Independencia - provincia de Trujillo –2022. Según Montejo (2010), indica que un presupuesto de construcción de un pavimento rígido, también llamado presupuesto de obra es un documento que contiene una estimación preliminar y detallada del precio de construcción de la obra, lo cual incluye todo los cotos y gastos que el proyecto debe cubrir, si bien es cierto el presupuesto varía en función al tipo de pavimento. En el presente proyecto se ha comparado los costos de la subbase y del pavimento rígido mediante el diseño de los métodos AASHTO Y PCA teniendo en cuenta que la subbase es de 20 centímetros para ambos métodos, el cual para el método AASHTO tenemos un costo unitario

por metro cuadrado de S/27.38 y un costo total de S/553,436.53; por otro lado por el método PCA obtuvimos un costo unitario por metro cuadrado de S/28.24 y un costo total de S/570,878.82, teniendo una diferencia de S/17,442.29 para la subbase. Por otra parte, en el pavimento rígido por el método AASHTO se consideró un espesor de pavimento de 16cm, el cual pudimos obtener un costo unitario por metro cuadrado de S/92.84 y un costo total de S/1,876,871.94; sin embargo, en el método PCA conseguimos un costo unitario por metro cuadrado de S/110.66 y un costo total de S/2,237,018.73, teniendo un resto de S/360,146.78 para el pavimento. Según Chávez (2018), en su trabajo de investigación, ha concluido que se determinó el análisis de manera comparativa en el aspecto técnico y económico de un pavimento flexible y rígido. La segunda conclusión fue que el tipo de metodología fue aplicada, teniendo como población y muestra se concentró en el tramo de Matucana a Chavín Huaraz 2018. La tercera conclusión fue que la técnica de recolección de datos fue observación directa, donde obtuvieron resultados que determinaron que el proyecto se eleva al realizarse a través de un diseño de pavimento rígido con un costo de S/1,913,036.95 soles. Por lo tanto, se determinó que el autor ha concluido que el diseño de un pavimento rígido en el tramo de Mullaca a Chavín Huaraz supera en rentabilidad y durabilidad a diferencia del pavimento flexible, pero económicamente un buen proyecto de pavimento rígido con todos sus estudios básicos sale muy costoso.

- **CONCLUSIONES**

Tenemos como conclusión general haber realizado el análisis comparativo afirmando con certeza la hipótesis que por el método AASHTO obtuvimos un menor espesor de pavimento, y a su vez, un menor costo para su ejecución a diferencia del método PCA. Por otro lado, al realizar un análisis de su estructura en base al tipo de diseño de pavimento a lo

largo de su vida útil, determinamos que no implicaría con los criterios del análisis de fatiga y erosión que se muestra en PCA. Optando para un mejor costo-beneficio la metodología AASHTO.

Dado a esto, se puede considerar que la topografía es muy importante en un proyecto vial porque permite tener los puntos topográficos del terreno lo cual es plasmado en un plano donde se podrá observar las curvas de nivel, los Bms, los desniveles, la descripción, el norte, el este y la altitud.

Se considera que los estudios de mecánica de suelos son muy importantes en el diseño de un pavimento rígido porque te permite trabajar en campo y en gabinete se evalúa de manera detallada el Análisis Granulométrico por Tamizado, MTC E107, límite Líquido, MTC E 110, Límite Plástico, MTC E 111, Contenido de Humedad, MTC E 108, Clasificación SUCS ASTM D-3487, dise, Contenido de Cloruros D-513, Contenido de Sales Solubles Totales MTC E 219, Clasificación AASHTO M-145, California Bearing Ratio MTC E 133, o Módulo resiliente de suelos de sub rasante, MTC E138 y Proctor modificado, MTC E 115.

Según el diseño de ambas metodologías, obtenemos que en el espesor del pavimento rígido según el método AASHTO es de 16cm, en cambio para el método PCA tenemos que es de 20cm, obteniendo así una diferencia de 4cm de espesor de pavimento rígido. En vista de esto, se considera conveniente utilizar un módulo de ruptura mayor para producir un esfuerzo equivalente bajo, que permita diseñar el espesor mínimo de la losa.

Se determinó que el método más adecuado tanto económico como técnico es mediante diseño del método AASTHO, teniendo en cuenta que la diferencia del costo total para la elaboración de la construcción investigada es de S/377,589.07 y con una diferencia de 4cm de

espesor de pavimento. Esto se da, debido a que como pudimos observar en los análisis y el cálculo de ambos métodos, por el diseño AASHTO son estudios y resultados más complejos y exactos, tanto para los nomogramas como para las fórmulas implementadas.

Teniendo como recomendación, para poder realizar un mejor análisis y obtener un presupuesto más exacto se puede utilizar la revista costos y presupuestos, la cual incluye fichas técnicas, precio de insumos, APUS, entre otros. Que nos introduce a una variedad de información relevante para diversos proyectos.

Para tener un mejor diseño de juntas se recomienda realizar un plano de diseño geométrico; para así tener una mejor simetría, ya que en campo se consideran buzones, martillos, sardineles, jardineras, etc. Las cuales deben estar alineadas y evitar ángulos agudos.

Teniendo como limitante, en nuestro proyecto siendo parte de los estudios básicos que comprende los estudios de suelos, nos limitó debido a que el laboratorio de nuestra casa de estudios estuvo ocupado, debido a que superó la capacidad máxima y reduciendo el aforo por la coyuntura producida por la pandemia. No obstante, por esta razón se tuvo que realizar de manera particular teniendo satisfactoriamente los resultados correspondientes.

Como implicancia, en el diseño de juntas se recolectó información de distintas investigaciones, la cual algunas tenían ventajas y desventajas, lo que nos implicó indagar en diversas normas aplicando un criterio para nuestro proyecto. El cual en nuestro caso se realizará cortes en el pavimento para posteriormente emplear un imprimante sellante de juntas, luego se utilizará cordón de respaldo para sellado de poliuretano y por último el sellador de poliuretano elastomérico.

REFERENCIAS

1. American Association of State Highway and Transportation (1993). *Guide for Design of Pavements Structures*. Washington: AASHTO.
2. Burgos, B. (2014). *Análisis comparativo entre un pavimento rígido y un pavimento flexible para la ruta s/r: Santa Elvira – El arenal, en la comuna de Valdivia*. (Tesis de Titulación). Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.
3. Cornejo A., Velásquez J. (2014). *Análisis comparativo entre métodos de diseño de estructuras de pavimento rígido* (Tesis de titulación). Universidad Centroamericana José Simeón Cañas, el Salvador.
4. Instituto Colombiano de Productores de Cemento (1996). *Pavimentos de Concreto, Manual de Diseño*. Medellín: Piloto Ltda.
5. Instituto de la Construcción y Gerencia (2012). *Ingeniería de Pavimentos: Materiales, diseño y conservación*. (3. a ed.). Perú: ICG
6. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto (2002). *Pavimentos de concreto para carreteras*. México: IMCYC.
7. Leon, B. (2013). *Análisis comparativo entre un pavimento rígido y un pavimento flexible para la ruta s/r: Santa Elvira – El arenal, en la comuna de Valdivia*. (Tesis de Titulación). Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.
8. Minchán, C. K. (2019). *Análisis comparativo de estructuras de pavimento rígido mediante métodos de diseño AASHTO y PCA aplicado en una vía pública, Cajamarca - 2019* (Tesis

de licenciatura). Repositorio de la Universidad Privada del Norte. Recuperado de <http://hdl.handle.net/11537/22273>

9. Montejo F. A. (2010). *Ingeniería de Pavimentos: Fundamentos, estudios básicos y diseño. (3.ª ed.)*. Colombia: Universidad Católica de Colombia.
10. Párraga, J., Sánchez, A. (2002). *Estudio comparativo sobre los costes de mantenimiento y rentabilidad económica, social y deportiva entre campos de fútbol con pavimentos de césped natural y artificial en el ámbito universitario*. Revista Motricidad, pp 22-46.
11. Portland Cement Association of the United States of North America (1995). *Diseño Pavimentos Método PCA*.
12. Rico Rodríguez A, Del Castillo H. (2016). *La ingeniería de los suelos en las vías terrestres: Carreteras, Ferrocarriles y Aeropistas*. México: Limusa.
13. Rondón H., Reyes F. (2015). *Pavimentos: Materiales, construcción y diseño*. Bogotá: ECOE Ediciones.
14. Ruano R. (2012). *Análisis comparativo de costos entre el pavimento flexible y el pavimento rígido*” (Tesis de Titulación). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
15. Torres, R. (2007). *Análisis comparativo de costos entre el pavimento flexible y el pavimento rígido*” (Tesis de Titulación). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.