

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**“COMPARACIÓN TÉCNICO Y ECONÓMICO DE
PAVIMENTOS OPTIMIZADOS (TCP) Y PAVIMENTOS
RÍGIDOS (AASHTO 93), DE ACUERDO CON LAS
CONDICIONES LOCALES DE JAÉN”**

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

**Autor (es) : Bach. Keyla Madeleine Díaz Zamora
Bach. Tito Hoyos Fernández**

Asesor (es) : Dr. Ing. Oswaldo Hurtado Zamora

JAÉN – PERÚ, OCTUBRE, 2019



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

Ley de Creación N° 29304

Universidad Licenciada con Resolución del Consejo Directivo N° 002-2018-SUNEDU/CD

ACTA DE SUSTENTACIÓN

En la ciudad de Jaén, el día 19 de NOVIEMBRE del año 2019, siendo las 12:00 horas, se reunieron los integrantes del Jurado:

Presidente: ING. WILMER ROJAS PINTADO

Secretario: ING. CÉSAR JESÚS DÍAZ CORONEL

Vocal: ING. JOAQUÍN FLORENTINO FACUNDO FRÍAS, para evaluar la Sustentación de:

- () Trabajo de Investigación
- () Tesis
- () Trabajo de Suficiencia Profesional

Titulado:

COMPARACIÓN TÉCNICO Y ECONÓMICO DE PAVIMENTOS OPTIMIZADOS (TCP) Y PAVIMENTOS RIÉIDOS (AASHTO93), DE ACUERDO CON LAS CONDICIONES LOCALES DE JAÉN.

presentado por Estudiante /Egresado o Bachiller BACH. KEYLA MADELEINE DÍAZ ZAHORA & BACH. TITO HOYOS FERNÁNDEZ.

de la Carrera Profesional de INGENIERÍA CIVIL de la Universidad Nacional de Jaén.

Después de la sustentación y defensa, el Jurado acuerda:

() Aprobar () Desaprobar () Unanimidad () Mayoría

Con la siguiente mención:

- | | | |
|----------------|------------|---------------|
| a) Excelente | 18, 19, 20 | () |
| b) Muy bueno | 16, 17 | () |
| c) Bueno | 14, 15 | (<u>15</u>) |
| d) Regular | 13 | () |
| e) Desaprobado | 12 ó menos | () |

Siendo las 13:15 horas del mismo día, el Jurado concluye el acto de sustentación confirmando su participación con la suscripción de la presente.



Presidente



Secretario



Vocal

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Planteamiento del problema.....	1
1.2. Justificación de la investigación	2
1.3. Formulación de la hipótesis	2
1.4. Antecedentes de la investigación	2
1.4.1. A nivel internacional	2
1.4.2. A nivel nacional.....	3
1.4.3. A nivel local.....	3
1.5. Base teórica.....	4
1.5.1. Pavimentos Rígidos	4
1.5.2. Metodología de diseño AASHTO93	4
1.5.3. Metodología de diseño TCPavements®:.....	5
1.5.4. Sub rasante.....	7
1.5.5. Pavimento	7
1.5.6. Capa de Rodadura.....	7
1.5.7. Base	7
1.5.8. Subbase.....	7
1.5.9. Trafico Vial.....	8
1.5.10. Clima	8
1.5.11. Pavimento Rígido	8
1.5.12. American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO).....	8
1.5.13. Thin Concrete Pavement (TCP)	9
1.5.14. Ensayos de laboratorio para determinar las características del suelo	9

1.6.	Fatiga del concreto.....	11
1.7.	Relación de esfuerzos	12
1.8.	Repeticiones de carga	12
1.9.	Método de la PCA.....	13
1.9.1.	Modelos de análisis de fatiga.....	13
1.10.	Modelos de elementos finitos EverFE 2.25	14
1.11.	Funciones de transferencia PCA	15
II.	OBJETIVOS.....	16
2.1.	Objetivo General.....	16
2.2.	Objetivos Específicos.....	16
III.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	17
3.1.	Ubicación de la zona de estudio.....	17
3.2.	Población y muestra.....	18
3.2.1.	Población	18
3.2.2.	Muestra	18
3.3.	Variables	18
3.3.1.	Variable dependiente	18
3.3.2.	Variables independientes.....	18
3.4.	Tipo de investigación.....	18
3.4.1.	Según su enfoque.....	18
3.4.2.	Según su alcance.....	18
3.4.3.	Línea de investigación	19
3.5.	Métodos.....	19
3.5.1.	Deductivo.....	19
3.6.	Técnicas	19
3.6.1.	Observación directa	19
3.6.2.	Análisis documental	19

3.6.3.	Análisis de datos.....	19
3.7.	Instrumentos.....	20
3.7.1.	Equipos	20
3.7.2.	Instrumentos	20
3.8.	Proceso de recolección de datos	20
3.8.1.	ETAPA 1: Trabajo en campo	20
3.8.2.	ETAPA 2: Trabajo en Laboratorio de Mecánica de Suelos y Concreto.....	24
3.8.3.	ETAPA 3: Trabajo en Gabinete.....	25
IV.	RESULTADOS	34
4.1.	Resultados del Diseño	34
4.1.1.	Diseño realizado de pavimento tipo TCP en programa Optipave 2.0.2.....	34
4.1.2.	Diseño realizado de pavimento por el Método AASHTO93	35
4.2.	Resultados del Análisis Técnico.....	36
4.2.1.	Análisis por fatiga, Método PCA	36
4.3.	Resultados del Análisis Económico	37
V.	DISCUSIÓN.....	40
VI.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	42
6.1.	Conclusiones	42
6.2.	Recomendaciones	43
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44
	AGRADECIMIENTO	47
	DEDICATORIA.....	48
	ANEXOS	49
	ANEXO 1: ENSAYOS DE LABORATORIO	50
	ANEXO 2: ESTUDIO DE TRAFICO	57
	ANEXO 3: DISEÑO MÉTODO AASHTO93	66
	ANEXO 4: DISEÑO MÉTODO TCP – SOFTWARE OPTIPAVE 2.0.2	74

ANEXO 5: ANÁLISIS POR FATIGA DE PAVIMENTO TCP y AASHTO93, SOFTWARE EVERFE 2.25	77
ANEXO 6: PRESUPUESTO GENERAL S10	95
ANEXO 7: PANEL FOTOGRÁFICO.....	103

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Clasificación de suelos según tamaño de partículas.....	9
Tabla 2: Factor de corrección para límite líquido.....	10
Tabla 3: Estimados de precisión.....	11
Tabla 4: Factores de corrección promedio para vehículos (2000-2010). Estación Pucará..	22
Tabla 5: Relación de Cargas por Eje para determinar Ejes Equivalentes para Afirmados, Pavimentos Flexibles y Semirígidos.....	23
Tabla 6: Niveles de Confiabilidad	25
Tabla 7: Desviaciones Estándar normal según el índice de confiabilidad	26
Tabla 8: Desviación Estándar Combinado según el tipo de pavimento y tipo de construcción.....	26
Tabla 9: Índice de Serviciabilidad Final.....	27
Tabla 10: Valores recomendados del coeficiente de drenaje (Cd) para el diseño.	27
Tabla 11: Coeficiente de transferencia de carga (J)	28
Tabla 12: Vida de Diseño Recomendado según clasificación del Pavimento.....	29
Tabla 13: Tipos de Borde y su efecto en términos de soporte y circulación del tráfico.....	29
Tabla 14: Valores Recomendados de Porcentaje Máximo Admisible de Losas Agrietadas según la Clasificación de La Vía.	30
Tabla 15: Confiabilidad según la clasificación de la vía.	31
Tabla 16: Esfuerzos máximos obtenidos por el software por elementos finitos EverFE 2.25	36
Tabla 17: Relación de esfuerzos.....	36
Tabla 18: Cálculo de las repeticiones de carga permisibles y daño por fatiga.	36
Tabla 19: Cuadro comparativo de resultados de acuerdo a los Métodos de diseño de Pavimentos Rígidos.	38
Tabla 20: Resumen diario de conteo vehicular.	64

Tabla 21: Promedio semanal de conteo vehicular.	64
Tabla 22: Índice Medio Diario Anual (IMDA), para Vehículos Ligeros.	64
Tabla 23: Índice Medio Diario Anual (IMDA), para Vehículos Pesados.	65
Tabla 24: Cálculo del Factor de Carga, para un camión C2.	65
Tabla 25: Cálculo de Cargas Equivalentes de un solo eje, ESAL.	65
Tabla 26: Características del Suelo	67
Tabla 27: Resumen de factores de diseño, método AASHTO93.	71

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1: Ubicación de la Calle Unión, Cdra. 4, 5 y 6, Sector Miraflores - Jaén.	17
Imagen 2: Presupuesto en S10, Método de diseño TCP.	37
Imagen 3: Presupuesto en S10, Método de diseño AASHTO93.	38
Imagen 4: Diferencia de costos entre los dos tipos de cálculo para Pavimentos Rígidos. ..	39
Imagen 5: Ábaco para el cálculo del Módulo compuesto de reacción de la subrasante, para una profundidad mayor a 3 m.	68
Imagen 6: Ábaco para el cálculo del Módulo compuesto de reacción de la subrasante, para una profundidad menor a 3 m.	69
Imagen 7: Ábaco para la corrección del Módulo Efectivo de reacción de la subrasante por la pérdida de apoyo de subbase.	70
Imagen 8: Abaco para el diseño del espesor de pavimentos rígidos.	72
Imagen 9: Abaco para el diseño del espesor de pavimentos rígidos.	73
Imagen 10: Ventana de ingreso de datos generales del proyecto.	74
Imagen 11: Ventana de ingreso de datos del suelo del proyecto.	75
Imagen 12: Ventana de ingreso de datos sobre el clima, del lugar donde se ubica el proyecto.	75
Imagen 13: Ventana donde se muestran los resultados del diseño en el software, de acuerdo a las variables y parámetros de diseño del proyecto.	76
Imagen 14: Datos ingresado de las características geométricas de la losa.	77
Imagen 15: Datos ingresados de las características de los materiales usado en el diseño. .	78
Imagen 16: Datos ingresados de las características y posición de carga vehicular.	78
Imagen 17: Deformación del pavimento TCP debido a la carga vehicular en el centro de la losa, plano X-Y.	79
Imagen 18: Resultados tensiones en el plano X-Y, carga en el centro de las losas.	80

Imagen 19: Tensiones en el paño más esforzado en el plano X-Y, carga en el centro de las losas.	80
Imagen 20: Datos ingresados de las características y posición de carga.	81
Imagen 21: Deformación del pavimento TCP debido a la carga vehicular en el costado de la losa, plano X-Y.	82
Imagen 22: Resultados tensiones en el plano X-Y, carga al costado de la losa.	82
Imagen 23: Tensiones en el paño más esforzado en el plano X-Y, carga al costado de la losa.	83
Imagen 24: Datos ingresados de las características y posición de carga.	83
Imagen 25: Deformación del pavimento TCP debido a la carga vehicular en la esquina de la losa, plano X-Y.	84
Imagen 26: Resultados tensiones en el plano X-Y, carga en la esquina de las losas.	85
Imagen 27: Tensiones en el paño más esforzado en el plano X-Y, carga en la esquina de las losas.	85
Imagen 28: Datos ingresado de las características geométricas de la losa.	86
Imagen 29: Datos ingresados de las características de los materiales usado en el diseño. .	87
Imagen 30: Datos ingresados de las características y posición de carga vehicular.	87
Imagen 31: Deformación del pavimento AASHTO, debido a la carga vehicular en el centro de la losa, plano X-Y.	88
Imagen 32: Resultados tensiones en el plano X-Y, carga en el centro de la losa.	89
Imagen 33: Tensiones en el paño más esforzado en el plano X-Y, carga en el centro de la losa.	89
Imagen 34: Datos ingresados de las características y posición de carga.	90
Imagen 35: Deformación del pavimento AASHTO, debido a la carga vehicular en el costado de la losa, plano X-Y.	91
Imagen 36: Resultados tensiones en el plano X-Y, carga ubicada al costado de la losa.	91
Imagen 37: Tensiones en el paño más esforzado en el plano X-Y, carga ubicada al costado de la losa.	92
Imagen 38: Datos ingresados de las características y posición de carga.	92
Imagen 39: Deformación del pavimento AASHTO, debido a la carga vehicular en la esquina de la losa, plano X-Y.	93
Imagen 40: Resultados tensiones en el plano X-Y, carga ubicada en la esquina de la losa.	94

Imagen 41: Tensiones en el paño más esforzado en el plano X-Y, carga ubicada en la esquina de la losa.....	94
Imagen 42 e Imagen 43: Calicata C-01, ubicado en la calle Unión, cuadra 4.....	103
Imagen 44 e Imagen 45: Trabajo en Laboratorio de Suelos UNJ, ensayos de clasificación de suelos.	103
Imagen 46 e Imagen 47: Ensayos para clasificación del suelo y obtención del CBR.	104
Imagen 48 e Imagen 49: Estación de conteo vehicular, ubicado en la calle Unión, cuadra 4.	104
Imagen 50 e Imagen 51: Vehículos livianos, recurrentes en el área de estudio.	104

RESUMEN

Los pavimentos de la ciudad de Jaén presentan problemas de agrietamiento, asentamientos y baches, que van acentuando el deterioro y disminuyendo el servicio óptimo del pavimento, relacionado a los malos diseños. La hipótesis planteada fue que la metodología TCP, tiene mejores ventajas técnicas y económicas para la construcción de pavimentos rígidos, comparada con la metodología AASHTO93, considerando las condiciones locales de Jaén. La investigación se realizó en la calle Unión Cuadra 04, 05 y 06, sector Miraflores, en la ciudad de Jaén. Del Expediente Técnico de esta calle, se obtuvo el CBR y Ejes Equivalentes (EE), corroborados mediante ensayos en Laboratorio de Mecánica de Suelos y un estudio de tráfico. Con estos datos se realizó el diseño del pavimento rígido AASHTO93 en Excel 2017 y TCP en el *software* Optipave 2.0.2, cálculo de tensiones máximas en *software* EverFE 2.25 y análisis de costos correspondiente a cada diseño con el programa S10. Del análisis técnico el daño obtenido para el AASHTO93 y TCP es de 0.7442 y 0.0205 respectivamente; el análisis económico mostró que el costo del pavimento TCP difiere en s/.24.50 del AASHTO93, lo que equivale a un 15.04% de ahorro en cuanto al costo para la ejecución del proyecto.

PALABRAS CLAVES: Pavimento, Esfuerzos, Diseño, Análisis, Fatiga

ABSTRACT

The pavements of the city of Jaen present problems of cracking, settlements and potholes, which are accentuating the deterioration and diminishing the optimal service of the pavement, related to bad designs. The hypothesis was that the TCP methodology has better technical and economic advantages for the construction of rigid pavements, compared to the AASHTO93 methodology, considering the local conditions of Jaen. The investigation was carried out in Unión Cuadra 04, 05 and 06, Miraflores sector, in the city of Jaen. From the Technical File of this street, the CBR and Equivalent Axes (EE) were obtained, corroborated by tests in the Soil Mechanics Laboratory and a traffic study. With this data, the design of the rigid pavement AASHTO93 in Excel 2017 and TCP in the Optipave 2.0.2 software, calculation of maximum stresses in EverFE 2.25 software and cost analysis corresponding to each design with the S10 program was performed. From the technical analysis the damage obtained for the AASHTO93 and TCP is 0.7442 and 0.0205 respectively; The economic analysis showed that the cost of the TCP pavement differs by s / .24.50 from the AASHTO93, which is equivalent to a 15.04% saving in terms of the cost for the execution of the project.

KEY WORDS: Pavement, Efforts, Design, Analysis, Fatigue

I. INTRODUCCIÓN

En el Perú, los pavimentos se diseñan siguiendo la metodología tradicional AASHTO93, normada por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Esta metodología, para losas de pavimentos de concreto, recomienda dimensiones de 3.6 m de ancho por 4.5 m de longitud con espesores de losa de entre 15 a 35 cm, dependiendo del nivel de tráfico, el clima y materiales (American Association of Highway and Transportation [AASHTO],2007). La aplicación actual de esta metodología de diseño genera estructuras que presentan fallas debido a la longitud de las losas, considerando que a mayor dimensión de la losa mayor será el número de eje de ruedas que reciban, por lo que tendrán mayores tensiones y por ende requieren de un mayor espesor para poder resistir dichas tensiones.

Lo que se busca con la investigación, es evaluar, bajo las condiciones locales de la ciudad, la metodología de diseño de pavimentos rígidos más óptima técnica y económicamente, aplicable en la ciudad de Jaén.

1.1. Planteamiento del problema

En la ciudad de Jaén los pavimentos predominantes son los pavimentos rígidos, los cuales se diseñan siguiendo la metodología AASHTO93, normada por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones para el diseño de pavimentos en el Perú. En su mayoría, los pavimentos de la ciudad de Jaén presentan problemas de agrietamiento, asentamientos y baches, que van acentuando el deterioro y disminuyendo el servicio óptimo del pavimento, y brindan poca seguridad a los usuarios.

La aplicación actual de esta metodología de diseño, AASHTO93, genera estructuras que presentan fallas debido a la longitud de las losas, considerando que a mayor dimensión de la losa mayor será el número de eje de ruedas que reciban, por lo que tendrán mayores tensiones y por ende requieren de un mayor espesor para poder resistir dichas tensiones, por lo mismo que presentan altos costos de ejecución.

Una alternativa de solución es el diseño de pavimentos delgados TCP, el cual se caracteriza en tener longitudes de menor dimensión, por lo que se reducirán los alabeos, y consecuentemente se reducirán las tensiones, ocasionando la reducción de espesores y longitudes. La metodología de diseño TCPavements se está empleando recientemente en nuestro país, y está dando buenos resultados técnicos y económicos.

1.2. Justificación de la investigación

Teniendo en consideración que los pavimentos de la ciudad de Jaén presentan en su mayoría problemas de fisuración; surge la necesidad de implementar el uso de una nueva metodología de diseño, pavimentos delgados TCP, el cual considera mejores condiciones de diseño tanto en espesores como en dimensiones de la losa, obteniendo una mejor distribución de las tensiones generadas por el tránsito vehicular. Todo ello, conlleva a una optimización de recursos, en materiales, costos, mano de obra, entre otros.

Lo que se busca con la investigación, es evaluar, bajo las condiciones locales de la ciudad, la metodología de diseño de pavimentos rígidos más óptima técnica y económicamente, aplicable en la ciudad de Jaén.

1.3. Formulación de la hipótesis

Los pavimentos optimizados (TCP) son técnica y económicamente óptimos en comparación con los pavimentos rígidos (AASHTO93), de acuerdo con las condiciones locales de Jaén.

1.4. Antecedentes de la investigación

1.4.1. A nivel internacional

Sánchez (2014) mediante su investigación llegó a obtener como resultado que los esfuerzos por combinación de carga y cambios de temperatura son menores en las losas de dimensiones optimizadas respecto a los generados por las losas de pavimentación tradicional, cumpliendo los criterios de vida para un periodo de diseño de 20 años. El aporte del trabajo de investigación es haber determinado que las condiciones geométricas para losas de dimensiones superficiales optimizadas, se cumple para dimensiones menores de 2.2x2.2 metros.

Ordoñez (2015) de la evaluación realizada concluyó que la construcción de pavimentos de concreto con losas de dimensiones optimizadas o losas cortas tiene incidencia a nivel

económico, principalmente por la disminución en el espesor de las losas de concreto y la menor exigencia de capas de apoyo en la construcción. Al comparar las losas de concreto convencionales diseñadas por AASHTO y las losas con dimensiones optimizadas (losas cortas), pudo observar que se puede alcanzar una reducción de espesores de 4 a 10cm, reduciendo el costo en 20% aproximadamente, teniendo en cuenta que cada estructura de pavimento varía dependiendo de las características propias del proyecto.

1.4.2. A nivel nacional

Guzmán y Soncco (2014) concluyeron mediante su investigación que la metodología TCP cumple con el parámetro de periodo de diseño para 20 años, y resistencia para EE de (160,000). La contribución mediante su trabajo es comprobar que el diseño de pavimento mediante losas TCP reducen su espesor en 41 % y son 19.64 % más económicas respecto al pavimento rígido tradicional.

Mendoza (2015) obtuvo como resultado que las losas de concreto tradicional son capaces de soportar las tensiones por punzonamiento, comparadas con las losas cortas (TCP), que necesitan una sub base con la suficiente rigidez para absorber parte de las cargas de los vehículos, recomendando materiales para la sub base ($CBR \geq 80 \%$) para la transferencia de estas cargas. El aporte al trabajo de investigación es comprobar que el pavimento tradicional debido a su espesor absorbe las cargas dinámicas, sin embargo, las losas cortas (TCP) no son capaces de soportar estas cargas generadas por el paso vehicular, por lo que se tiene que mejorar capacidad de soporte del paquete estructural.

1.4.3. A nivel local

Montenegro (2014) mediante su investigación concluyó que las patologías predominantes en los pavimentos intertrabados en estudio, son: ahuellamiento, desgaste superficial, depresiones, fracturamiento de confinamientos internos, vegetación en la calzada, escalonamiento entre adoquín y confinamiento, pérdida de arena y abultamiento; destacando con mayor participación el ahuellamiento, presente en cinco calles del estudio. La cuantificación de deterioros que afectan al pavimento, arrojó resultados de ICE (Índice de Condición Estructural) entre 83 y 98, y el valor del ICF (Índice de Condición Funcional) entre 83 y 99.

1.5. Base teórica

1.5.1. Pavimentos Rígidos

Los pavimentos de concreto son denominados rígidos, debido a la naturaleza de la losa de concreto que la constituye, por lo que los esfuerzos generados por las cargas dinámicas del tránsito vehicular son absorbidos casi por completo, compartiendo parte de los esfuerzos en menor intensidad a la capa inferior y a la sub rasante (Ministerio de Transportes y Comunicaciones [MTC], 2014).

1.5.2. Metodología de diseño AASHTO93

El diseño de pavimento rígido de acuerdo a la Metodología AASHTO93, considera dimensiones típicas, que se modifican de acuerdo con el tránsito vehicular, el clima y el material.

Referente al espesor de diseño está definido por las cargas vehiculares en EE (ejes Equivalentes) y el aporte estructural del concreto, donde se asume el valor empírico del ancho hasta 3.6 m y se incorpora al diseño definitivo (AASHTO, 2007).

El alabeo de las losas genera una condición de tensiones desfavorable cuando estas se cargan en sus extremos, condición que se da con el tránsito de camiones en losas de dimensiones que permitan ser cargadas por un eje delantero y uno trasero a la vez, o por ambas ruedas de un mismo eje. Con el fin de reducir los efectos de la interacción de la carga con la losa alabeada, se origina la idea de las losas de geometría optimizada, que se basa en diseñar las losas con una geometría tal que no permita que haya más de una rueda o set de ruedas por losa a la vez, reduciendo así las tensiones que se generan en losas con dimensiones tradicionales (Covarrubias, 2012).

Según el Manual de Carreteras Sección Suelos y Pavimentos del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, el método AASHTO 93 determina que para una infraestructura vial nueva su nivel de servicio es alto, el cual disminuye debido a las repeticiones de carga en un determinado tiempo (MTC, 2014).

La metodología establece un nivel de servicio final que debe de conservarse hasta finalizar el periodo de diseño.

El diseño se realiza mediante un proceso iterativo, que finaliza cuando de la ecuación de AASHTO93 se obtienen resultados equilibrados; el espesor de diseño, resultado de este proceso iterativo debe mantenerse en condiciones óptimas de servicio durante el periodo de diseño, soportando el tráfico vehicular sin que se genere deterioro del pavimento (MTC, 2014).

Ecuación de AASHTO:

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

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

Donde:

- W8.2 = número previsto de ejes equivalentes de 8.2 toneladas métricas, a lo largo del período de diseño
- ZR = desviación normal estándar
- SO = error estándar combinado en la predicción del tránsito y en la variación del comportamiento esperado del pavimento
- D = espesor de pavimento de concreto, en milímetros
- ΔPSI= diferencia entre los índices de servicio inicial y final Pt = índice de serviciabilidad o servicio final
- Mr = resistencia media del concreto (en Mpa) a flexo tracción a los 28 días (método de carga en los tercios de luz)
- Cd = coeficiente de drenaje
- J = coeficiente de transmisión de carga en las juntas
- Ec = módulo de elasticidad del concreto, en Mpa
- K = módulo de reacción, dado en Mpa/m de la superficie (base, subbase o subrasante) en la que se apoya el pavimento de concreto.

1.5.3. Metodología de diseño TCPavements®:

La tecnología de las losas cortas, busca mediante una modificación en las dimensiones de las losas que reduce su tamaño de forma tal que las mismas nunca sean cargadas por más de

un set de ruedas del camión, logrando con esto disminuir significativamente las tensiones en dicha losa (Covarrubias, 2012).

De acuerdo con la tecnología Thin Concrete Pavements (TCP, 2007), mediante la aplicación de la metodología TCP se logra reducir el espesor del pavimento de concreto; considerando la relación directa entre la posición de las cargas del tránsito vehicular y la geometría de pavimento rígido, donde cada losa reciba las cargas de solo un set de ruedas.

El diseño, así como la construcción de este tipo de losas, son dimensionadas de tal manera que no se cargue por más de un set de ruedas, generando la disminución considerable del efecto de las tensiones, obteniendo losas cortas y de menor espesor (TCP, 2007). A partir de ello se ha desarrollado un *software* de diseño mecánico empírico denominado *Optipave*, para entender el comportamiento estructural de esta nueva metodología de diseño se calibraron secciones a gran escala en la Universidad de Illinois, permitiendo obtener resultados que garanticen el periodo de diseño y servicio del pavimento, se detalla a continuación:

- Como consecuencia de la optimización de las dimensiones del pavimento se ha incrementado el número de juntas de contracción, disminuyendo los esfuerzos contracción, por lo que se recomienda realizar cortes mediante sierras de 2 a 2.5 mm, disminuyendo su despostillamiento y omitiendo el sellado.
- Para evitar que este tipo de pavimento sufra escalonamiento debido al lavado de los finos por el ingreso de agua por las juntas, se recomienda un material para base con menos de 8% de finos pasante de malla N°200.
- Se debe considerar el uso de un geotextil que actúe como una capa de separación entre el suelo de fundación y la base, protegiendo la contaminación del porcentaje de finos (8%) de la base por el material fino de la subrasante.
- El material de base debe tener un CBR mayor al 50%.

El menor ancho en las juntas de contracción contribuye a una mayor transferencia de cargas entre losas, por lo que este tipo de diseño no requiere el uso de acero de transferencia de cargas, sin embargo, como parte del procedimiento constructivo se generan juntas de construcción, que pueden ser transversales donde incrementan la transferencia de carga o en longitudinales donde actúan como elementos de amarre para evitar desplazamientos laterales de las losas (TCP, 2007).

1.5.4. Sub rasante

Es la superficie terminada de la carretera a nivel de movimiento de tierras (corte y relleno), sobre la cual se coloca la estructura del pavimento o afirmado (MTC, 2014).

1.5.5. Pavimento

Es una estructura de pavimento compuesta específicamente por una capa de subbase granular, no obstante, esta capa puede ser de base granular, o puede ser estabilizada con cemento, asfalto o cal, y una capa de rodadura de losa de concreto de cemento hidráulico como aglomerante, agregados y de ser el caso aditivo (Sistema Nacional de Inversión Pública [SNIP], 2015).

1.5.6. Capa de Rodadura

Es la parte superior de un pavimento, que puede ser de tipo bituminoso (flexible) o de concreto de cemento Portland (rígido) o de adoquines, cuya función es sostener directamente el tránsito (MTC, 2014).

1.5.7. Base

La base es la capa situada debajo de la carpeta. Su función es eminentemente ser resistente, absorbiendo la mayor parte de los esfuerzos verticales y su rigidez o su resistencia a la deformación bajo las sollicitaciones repetidas del tránsito suele corresponder a la intensidad del tránsito pesado. Así, para tránsito medio y ligero se emplean las tradicionales bases granulares, pero para tránsito pesado se emplean ya materiales granulares tratados con un cementante (Rebolledo, 2010).

La capacidad de soporte de esta capa debe ser de material granular drenante con $CBR \geq 80\%$.

1.5.8. Subbase

Es una capa de material especificado y con un espesor de diseño, el cual soporta a la base y a la carpeta. Además, se utiliza como capa de drenaje y controlador de la capilaridad del agua (MTC, 2014). Dependiendo del tipo de diseño esta capa se podría omitirse, la capacidad de soporte de este tipo de material debe ser $CBR \geq 40\%$.

1.5.9. Trafico Vial

La necesidad de información del tráfico se define desde dos puntos de vista: el diseño estructural del pavimento y el de la capacidad de los tramos viales para conocer hasta que límites de volúmenes de tráfico puede estimarse crecerá la demanda que afectará a la estructura vial durante el período del análisis vial adoptado para un estudio (MTC, 2014).

El efecto del tránsito se mide en la unidad definida, por American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO, 2017), como Ejes Equivalentes (EE) acumulados durante el periodo de diseño tomado en el análisis. AASHTO definió como un EE, al efecto de deterioro causado sobre el pavimento por un eje simple de dos ruedas convencionales cargado con 8.2 tn. de peso, con neumáticos a la presión de 80 lbs/pulg². Los Ejes Equivalentes (EE) son factores de equivalencia que representan el factor destructivo de las distintas cargas, por tipo de eje que conforman cada tipo de vehículo pesado, sobre la estructura del pavimento (SNIP, 2015, págs. 22-23).

1.5.10. Clima

Según se menciona en el Manual de Carreteras del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, dos son los factores que influyen el diseño y comportamiento de los pavimentos: la temperatura y las precipitaciones de lluvia o sus similares como son las precipitaciones de nevadas escasas (MTC, 2014).

1.5.11. Pavimento Rígido

Clasificación por comportamiento de los pavimentos de concreto de cemento hidráulico en cualquiera de sus formas o modalidades (losas de concreto simple con juntas, losas de concreto reforzado con juntas, suelo-cemento, concreto compactado con rodillo, etc.) (Reglamento Nacional de Edificaciones [RNE], 2014).

1.5.12. American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)

La guía AASHTO (2007) proporciona para el diseño de estructuras de pavimentos, un grupo completo de procedimientos, los cuales puede ser usados para el diseño y rehabilitación de pavimentos: rígidos (superficie de concreto de cemento Portland), flexibles (superficie de concreto asfáltico) y superficies de agregado para caminos de bajo volumen de tránsito.

1.5.13. Thin Concrete Pavement (TCP)

Empresa Chilena creadora de la metodología de diseño de pavimentos delgados de concreto, actualmente en Perú este método de diseño se encuentra registrado en INDECOPI N° 5940 como patente de invención.

1.5.14. Ensayos de laboratorio para determinar las características del suelo

a. Ensayo de Análisis Granulométrico de Suelos por Tamizado (MTC E 107)

Representa la distribución de los tamaños que posee el agregado mediante el tamizado según especificaciones técnicas. A partir de la cual se puede estimar, con mayor o menor aproximación, las demás propiedades que pueden interesar. El análisis granulométrico de un suelo tiene por finalidad determinar los porcentajes de suelo que pasan por los distintos tamices de la serie empleada en el ensayo, hasta el de 74 mm (N° 200) (MTC, 2016, pág. 44).

Tabla 1: Clasificación de suelos según tamaño de partículas

Tipo de Material	Tamaño de Partículas
Grava	75 mm – 4,75 mm
Arena:	
Arena Gruesa	4,75 mm – 2,0 mm
Arena Media	2,00 mm – 0,425 mm
Arena Fina	0,425 mm – 0,075 mm
Material Fino:	
Limo	0,075 mm – 0,005 mm
Arcilla	< a 0,005 mm

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014, pág. 31.

b. Ensayo de Determinación del Contenido de Humedad de un Suelo (MTC E 108)

La humedad o contenido de humedad de un suelo es la relación, expresada como porcentaje, del peso de agua en una masa dada de suelo, al peso de las partículas sólidas. Este Modo Operativo determina el peso de agua eliminada, secando el suelo húmedo hasta un peso constante en un horno controlado a 110 ± 5 °C*. El peso del suelo que permanece del secado en horno es usado como el peso de las partículas sólidas. La pérdida de peso debido al secado es considerada como el peso del agua (MTC, 2016, pág. 49).

c. Ensayo de Determinación del Límite Líquido de los Suelos (MTC E 110)

Cuando el suelo pasa del estado semilíquido a un estado plástico y puede moldearse. Arbitrariamente se designa como el contenido de humedad al cual el surco separador de dos

mitades de una pasta de suelo se cierra a lo largo de su fondo en una distancia de 13 mm (1/2 pulg) cuando se deja caer la copa 25 veces desde una altura de 1 cm a razón de dos caídas por segundo (MTC, 2016, pág. 67).

El límite líquido para cada espécimen para contenido de humedad se determina usando una de las siguientes ecuaciones:

$$LL = W^n \left(\frac{N}{25}\right)^{0.121} \text{ ó, } LL = k \cdot W^n \quad (2)$$

Donde:

- N = Número de golpes requeridos para cerrar la ranura para el contenido de humedad.
- Wn = Contenido de humedad del suelo.
- K = Factor dado en la *Tabla 2*

Tabla 2: *Factor de corrección para límite líquido*

N (Número de golpes)	K (Factor para Límite Líquido)
20	0,974
21	0,979
22	0,985
23	0,990
24	0,995
25	1,000
26	1,005
27	1,009
28	1,014
29	1,018
30	1,022

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014, pág. 71.

d. Ensayo de Determinación del Límite plástico (L.P.) de los Suelos e Índice de Plasticidad (I.P.) (MTC E 111)

Se denomina límite plástico (L.P.) a la humedad más baja con la que pueden formarse barritas de suelo de unos 3,2 mm (1/8") de diámetro, rodando dicho suelo entre la palma de la mano y una superficie lisa (vidrio esmerilado), sin que dichas barritas se desmoronen (MTC, 2016, pág. 72).

Para determinar el límite plástico se debe calcular el promedio de dos contenidos de humedad. Repetir el ensayo si la diferencia entre los dos contenidos de humedad es mayor

que el rango aceptable para los dos resultados listados en la *Tabla 3* para la precisión de un operador.

Tabla 3: *Estimados de precisión.*

Índice de precisión y tipo de ensayo	Desviación estándar	Rango aceptable de dos resultados
Precisión de un operador simple		
Límite Plástico	0,9	2,6
Precisión Multilaboratorio		
Límite Plástico	3,7	10,6

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014, pág. 73.

El límite plástico es el promedio de las humedades de ambas determinaciones. Se expresa como porcentaje de humedad, con aproximación a un entero y se calcula así:

$$Límite Plástico = \frac{Peso\ de\ agua}{Peso\ de\ suelo\ secado\ al\ horno} \times 100 \quad (3)$$

e. **Ensayo de Proctor Modificado (MTC E 115)**

Este ensayo abarca los procedimientos de compactación usados en Laboratorio, para determinar la relación entre el Contenido de Agua y Peso Unitario Seco de los suelos (curva de compactación) compactados en un molde de 101,6 ó 152,4 mm (4 ó 6 pulg) de diámetro con un pisón de 44,5 N (10 lbf) que cae de una altura de 457 mm (18 pulg), produciendo una Energía de Compactación de (2 700 kN-m/m³ (5 6000 pie-lbf/pie)) (MTC, 2016, pág. 105).

f. **Ensayo CBR de Suelos (Laboratorio) (MTC E 132)**

Describe el procedimiento de ensayo para la determinación de un índice de resistencia de los suelos denominado valor de la relación de soporte, que es muy conocido, como CBR (California Bearing Ratio). Es el valor que estará referido al 100% de la MDS (Máxima Densidad Seca) y a una penetración de carga de 1'' (2.54 mm.) (MTC, 2016, pág. 248).

1.6. **Fatiga del concreto**

La falla por fatiga ocurre ante la acción repetitiva de cargas dinámicas sobre el concreto, causando esfuerzos que forman micro fisuras en el material y que luego lo llevan a la ruptura. Entre los factores que afectan en los pavimentos hidráulicos se encuentran el número de aplicaciones de carga, la resistencia y módulo de ruptura, el espesor de la losa de concreto, el espaciamiento entre juntas transversales, apoyo en el borde de las losas, apoyo de la subrasante, aditivos, tiempo de curado y edad del concreto (Anguas, Gómez y Sesna, 2002).

La fatiga en el concreto puede causar tanto agrietamientos transversales como longitudinales. Las primeras usualmente inician en la orilla del pavimento en medio de las juntas transversales, hasta proyectarse hasta la otra margen; las segundas en medio de las huellas de los vehículos.

“Experimentalmente se ha definido la fatiga como el número de ciclos necesarias para que el módulo de elasticidad inicial del material se disminuya en un 50% al aplicarse carga dinámica sobre una viga sometida a flexión. Por lo tanto, la vida de fatiga se define como el número de ciclos aplicados al espécimen para reducir su módulo en un 50%, durante el ensayo de fatiga” (Austroads, 2012).

1.7. Relación de esfuerzos

El número de ciclos de carga y descarga que un concreto puede llegar a resistir antes de la falla depende del nivel de esfuerzos aplicado. Esta relación de esfuerzos SR, es la relación entre el esfuerzo máximo aplicado a la losa y el módulo de ruptura del concreto (Rao & Roesler, 2005).

$$SR = \frac{\sigma}{MR} \quad (4)$$

El esfuerzo de tensión máxima que se alcanza en la fibra extrema sometida a tensión se conoce como módulo de ruptura (MR) del concreto, que se obtiene mediante ensayos de resistencia a la flexión a 28 días en los tercios medios de la viga, aunque también se puede realizar el ensayo cargando la viga en su punto central. El ensayo consiste en someter la viga a flexión pura y registrar la carga máxima que soportó el elemento antes de fallar.

1.8. Repeticiones de carga

El orden de aplicaciones de carga tiene un efecto significativo sobre el valor final del daño por fatiga; o sea que el número total de ciclos de carga aplicados está influenciado por la secuencia de aplicación (Anguas et al., 2002). Se consideran las variables para montar el ensayo de fatiga de acuerdo con el reporte técnico “*Preliminary Investigation of the Influence of Micro-cracking on Fatigue Life of Cemented Materials*” (Austroads, 2012).

Cuando los vehículos transitan sobre la estructura de pavimento, someten las losas a esfuerzos de tensión, más no ocurre el efecto contrario, no hay compresión, por esto la carga debe aplicarse solamente en un sentido.

1.9. Método de la PCA

El procedimiento de diseño de espesores de la Portland Cement Association (PCA) para carreteras y calles de concreto se publicó en 1984, reemplazando al publicado en 1966 (Huang, 2004). Se empleó un programa informático de elementos finitos llamado JSLAB para calcular los esfuerzos y deflexiones críticas, que luego se utilizaron junto con algunos criterios de diseño para desarrollar las tablas y cartas de diseño. Los criterios de diseño se basan en el diseño general del pavimento, el desempeño y la experiencia de investigación, incluidas las relaciones del desempeño de los pavimentos en la prueba de carretera AASHTO con los estudios de fallas en el pavimento. Los problemas de diseño pueden resolverse a mano con tablas y gráficos, con la ayuda de hojas de cálculo o software disponibles.

1.9.1. Modelos de análisis de fatiga

Los modelos mecanicistas de fatiga utilizan el concepto de daño acumulativo en la losa para determinar la falla por fatiga. La ecuación de daño acumulado, publicada por Miner (Rao & Roesler, 2005) ha sido ampliamente utilizada para la evaluación y diseño de pavimentos.

La fatiga del concreto depende de varios factores, incluyendo la magnitud y posición de las cargas que producen los esfuerzos críticos; el concepto de daño acumulativo, se usa para el análisis de fatiga, el cual contempla la suma del daño por fatiga causado por cargas de distinta magnitud y aplicadas bajo condiciones variables, sin embargo, asume que el daño se incrementa linealmente. La siguiente ecuación se conoce como Ley de Miner, la cual es considerada también por la PCA para el cálculo del daño acumulado:

$$\text{Daño por fatiga} = \sum \frac{n_i}{N_i} \quad (5)$$

Donde:

n_i = Número de repeticiones de carga aplicadas bajo la condición i

N_i = Número de repeticiones de carga permisibles hasta la falla por fatiga bajo la condición i

De acuerdo con la Ley de Miner, los materiales deberían fallar cuando el daño por fatiga sea igual a la unidad, sin embargo, debido a la variabilidad del concreto y a los diversos factores que rigen la falla por fatiga, la fractura puede presentarse para valores menores o mayores que uno.

Es así que, el daño ocurre cuando la suma de las relaciones de daño alcanza el valor de 1.00 o del 100% si se considera como porcentaje, pero debido a las variabilidades del concreto y a los diversos factores que rigen la falla por fatiga, el daño no ocurrirá de una vez cuando la proporción alcance exactamente el valor del 100%. Si se usan valores medios de parámetros para el diseño, una relación de daños del 100% indica que la probabilidad de falla es del 50%, es decir, que el 50% del área experimentará agrietamiento por fatiga.

1.10. Modelos de elementos finitos EverFE 2.25

Los modelos de elementos finitos con el modelador tridimensional elástico EverFE 2.25 fueron validados con el método analítico Westergaard 1948. Las Figs. 2, 3, 4 y 5 muestran los elementos finitos que emplea el software (Davids, Wang, Turkiyyah, Mahoney & Bush, 2003). El EverFE 2.25 trabaja con mallados de distintos grados de refinamiento y se compone de seis interfaces que realizan diferentes funciones:

- a) **Geometry**, contiene una herramienta CAD que permite construir un modelo geométrico e introducir los datos característicos de las capas y definir las fronteras del dominio del modelo.
- b) **Material**, almacena los parámetros de rigidez de cada material, densidades, coeficiente de expansión térmica del concreto hidráulico y las condiciones de liga entre capas.
- c) **Loading**, almacena los parámetros de carga, tipo de eje, lado y ancho del contacto de rueda (área de contacto rectangular), ubicación sobre el plano x-y de la(s) losa(s) y carga por temperatura.
- d) **Dowel**, contiene los parámetros de rigidez y geometría de las dovelas y barras de amarre, además, condiciones de liga entre dovelas y el concreto hidráulico de la(s) losa(s).
- e) **Interlock**, almacena abertura de las juntas con su respectiva rigidez, acompañado de la opción de modelo lineal a no lineal.
- f) **Meshing**, determina los parámetros de mallado.
- g) **Solver**, ejecuta el solucionador de elementos finitos.
- h) **Results**, permite obtener los resultados del análisis.

Los pasos típicos del procedimiento de análisis de un problema con EverFE 2.25, son: ingresar los datos de dimensionamiento, número de capas, condiciones de frontera, espesores y parámetros de rigidez (módulos elásticos, reacción y de Poisson), otros factores inherentes

al material (densidades y coeficiente de expansión térmica del concreto hidráulico), carga, ancho y largo del área de contacto (el programa trabaja con área de contacto rectangular) espaciamiento de las llantas, carga por temperatura, dovelas y barras de amarre con sus propiedades geométricas, de rigidez y liga con el concreto hidráulico, rigidez y abertura de las juntas, elegir combinación de mallado, ejecutar el solucionador y obtener resultados (Davids, 2000).

1.11. Funciones de transferencia PCA

Las funciones de transferencia de la Portland Cement Association (PCA) (Packard & Tayabji, 1985), son usadas para el cálculo del número de repeticiones de carga permitidas con las expresiones (6), (7) y (8).

$$N_f = 10^{11.737 - 12.077 \left(\frac{\sigma}{S_c}\right)} \text{ para } \frac{\sigma}{S_c} \geq 0.55 \quad (6)$$

$$N_f = \left(\frac{4.2577}{\frac{\sigma}{S_c} - 0.4325} \right)^{3.268} \text{ para } 0.45 < \frac{\sigma}{S_c} < 0.55 \quad (7)$$

$$N_f = \text{Sin límite para } \frac{\sigma}{S_c} \leq 0.45 \quad (8)$$

Donde N_f número de repeticiones de carga permitidos, σ esfuerzo de tensión aplicado, S_c módulo de rotura del concreto y $\frac{\sigma}{S_c}$ relación de esfuerzo.

II. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

- Comparar técnica y económicamente pavimentos optimizados (TCP) y pavimentos rígidos (AASHTO93).

2.2. Objetivos Específicos

- Desarrollar un diseño de pavimentos optimizados (TCP) y pavimentos rígidos (AASHTO93).
- Comparar técnicamente los resultados de diseño de pavimentos optimizados (TCP) y pavimentos rígidos (AASHTO93).
- Contrastar costos en S10, de pavimentos optimizados (TCP) y pavimentos rígidos (AASHTO93).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación de la zona de estudio

Esta investigación se realizó en la calle Unión Cuadra 04, 05 y 06, sector Miraflores, de la zona urbana de la ciudad de Jaén, de acuerdo con el Expediente Técnico “CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTO Y VEREDA; EN EL (LA) CALLE UNIÓN CDRA 04, 05, 06; CALLE REVOLUCIÓN CDRA 03 Y PASAJE 28 DE JULIO, SECTOR MIRAFLORES DISTRITO DE JAÉN, PROVINCIA JAÉN, DEPARTAMENTO CAJAMARCA”.

El sector de Miraflores se encuentra en la parte alta de la ciudad de Jaén (noreste de la ciudad); algunas de sus calles a la fecha cuentan con calzada y veredas en mal estado, estas calles se encuentran sin pavimento en terreno natural, presentando baches, tornándose intransitables en épocas de lluvia como también generando gran cantidad de polvo en épocas de verano.

En la siguiente imagen la línea roja muestra las calles que se consideraron para el presente trabajo de investigación:



Imagen 1: Ubicación de la Calle Unión, Cdra. 4, 5 y 6, Sector Miraflores - Jaén.

Fuente: Google Maps

3.2. Población y muestra

3.2.1. Población

La población de la investigación estuvo conformada por la infraestructura vial del Distrito de Jaén, Provincia de Jaén, Región Cajamarca.

3.2.2. Muestra

La muestra se tomó en la calle Unión Cuadra 04, 05 y 06, sector Miraflores, distrito de Jaén, provincia Jaén, departamento Cajamarca.

3.3. Variables

3.3.1. Variable dependiente

- Espesores, dimensiones y costos de pavimentos rígidos.

3.3.2. Variables independientes

- Pavimentos delgados de concreto (TCP)
- Pavimentos rígidos (AASHTO 93)

3.4. Tipo de investigación

3.4.1. Según su enfoque

Tiene un enfoque cuantitativo, porque se evaluaron los costos de diseño y espesores de losa, obtenidos para cada una de las metodologías de diseño estructural de pavimentos rígidos, AASHTO93 y TCP; así mismo, se realizó una evaluación de las tensiones generales en las losas, para cada uno de los diseños obtenidos según las metodologías planteadas en el estudio, ante la carga de diseño para un camión C2, mediante el uso del *software* EverFE 2.25.

3.4.2. Según su alcance

Tiene un alcance descriptivo, ya que se buscó especificar los parámetros y características del proceso de diseño estructural de un pavimento rígido, sometido a un análisis de dos tipos de metodología de diseño, AASHTO93 y TCP, para representar en función de las variables de estudio, cuál de las dos metodologías de diseño es mejor técnica y económicamente.

3.4.3. Línea de investigación

Pavimentos.

3.5. Métodos

3.5.1. Deductivo

Porque se han definido las variables independientes y la variable dependiente y sus respectivos indicadores, luego se planteó la hipótesis de que los pavimentos (TCP) son técnica y económicamente óptimos en comparación con los pavimentos rígidos (AASHTO93), de acuerdo con las condiciones locales de Jaén. La comprobación de la hipótesis planteada estuvo en función de los parámetros obtenidos del desarrollo de ambas metodologías de diseño, como es el espesor de la losa, el costo de diseño y los resultados del análisis por fatiga a los que se sometió ambos diseños.

3.6. Técnicas

3.6.1. Observación directa

Se basó en las observaciones realizadas en la zona de trabajo, durante el desarrollo de los trabajos de ingeniería básica y las recomendaciones del “Manual para Estudio de Tráfico”, dichos trabajos consistieron en conteos de tránsito vehicular, para posteriormente determinar los EE (Ejes Equivalentes), que forma parte de los parámetros de diseño a considerar para el pavimento.

3.6.2. Análisis documental

Esta técnica se consideró para el proceso de obtención de parámetros de diseño del pavimento mediante la Metodología AASHTO93 y Metodología TCP. Así mismo, para el desarrollo de los procedimientos a seguir para los diferentes ensayos realizados en el Laboratorio de Mecánica de Suelos, para la clasificación del suelo y la obtención del CBR.

3.6.3. Análisis de datos

Esta técnica se consideró para el procesamiento y análisis de los datos obtenidos mediante la aplicación del *software* EverFE 2.25 mediante el cual se sometió a ambos diseños de pavimentos en estudio, a un análisis por fatiga.

3.7. Instrumentos

3.7.1. Equipos

- Equipo para ensayo de Análisis Granulométrico
- Equipo para ensayo de Contenido de Humedad
- Equipo para ensayo de Límites de Atterberg
- Equipo para ensayo de Próctor
- Equipo para ensayo de CBR

3.7.2. Instrumentos

- *Software* OPTIPAVE 2.0.2
- *Software* EverFE 2.25
- Guía de diseño OPTIPAVE 2.0.2
- Manual de diseño AASHTO93
- Expediente Técnico
- Hojas de registro
- Word 2017
- Excel 2017
- S10 2005

3.8. Proceso de recolección de datos

3.8.1. ETAPA 1: Trabajo en campo

a) Calicata C-01, Calle Unión Cuadra 04

En esta etapa se realizó la ejecución de la Calicata C-01 en calle Unión Cuadra 04, de la cual se obtuvo muestras alteradas para los ensayos en laboratorio de Mecánica de Suelos y Concreto de la Universidad Nacional de Jaén. Estos ensayos se realizaron con la finalidad de validar los datos de clasificación de suelos y CBR del Expediente Técnico que se consideró para la investigación. El valor de CBR estimado en el diseño estructural de los pavimentos fue el obtenido de los ensayos en laboratorio correspondiente a la Calicata C-01, ya que se comprobó que era afín a los resultados obtenidos en el Expediente Técnico en cuestión.

b) Estudio de tráfico

El tránsito vehicular existente en la Calle Unión, ubicada en el Distrito de Jaén, Provincia Jaén – Cajamarca, está compuesto en su mayoría por el paso de vehículos ligeros: Motos lineales, Mototaxis, Autos, camionetas.

El flujo vehicular en esta vía es principalmente de pasajeros que se movilizan en mototaxis, autos, que tienen sus horas variables por lo general en las mañanas, y el tránsito pesado es en menor escala.

El desarrollo normal del estudio, contempló las siguientes etapas:

- Etapa de recopilación de la información.
- Etapa de tabulación de la información.
- Etapa de análisis de la información y obtención de resultados.

b.1) Recopilación de la Información

× Trabajo de Gabinete

Consistió en el diseño de los formatos para el conteo de tráfico, a ser utilizados en las estaciones de control preestablecidas en el trabajo de campo.

El Formato del Conteo Volumétrico de Tráfico considera la identificación de los requisitos para la toma de información en las estaciones de control establecidas. Tales requisitos son la estación de conteo, el tramo correspondiente, las características de los vehículos, la fecha y hora del conteo.

× Trabajo de Campo

El conteo volumétrico se realizó en 01 estación previamente identificada y seleccionada, durante un periodo de siete (07) días consecutivos de la semana y durante las 7.00 am hasta las 7.00 pm, horas en que se produce el tráfico crítico del día, desde el 15 hasta el 21 de agosto del 2019. El conteo se efectuó a todos los vehículos (en ambos sentidos), en forma simultánea y continua.

Para el siguiente estudio se ha considerado una estación ubicada en la Ca. Unión, cdra N° 4.

b.2) Análisis de la Información y Obtención de Resultados

Los conteos realizados tienen por objeto conocer los volúmenes de tráfico que soporta la superficie de la calle en estudio, así como la composición vehicular, y variación diaria y horaria. Para convertir el volumen de tráfico obtenido del conteo en índice Medio Diario Anual (IMD) se utilizó la siguiente fórmula:

$$IMDA = \frac{(V_{dl1} + V_{dl2} + V_{dl3} + V_{dl4} + V_{dl5} + V_{dSab} + V_{dDom})}{7} \times F.C.E. \quad (9)$$

Donde:

$V_{dl1} + V_{dl2} + V_{dl3} + \dots$	Volúmenes de tráfico registrados en los días laborables
V_{dSab}	Volumen de tráfico registrado sábado
V_{dDom}	Volumen de tráfico registrado domingo
F.C.E.	Factor de corrección estacional
IMD Anual	Índice Medio Diario Anual

Luego de consolidar y dar consistencia a la información obtenida del conteo en la estación, se obtuvo los resultados de los volúmenes de tráfico en la vía por tipo de vehículo.

× Factor de Corrección Estacional

Considerando que los volúmenes de tráfico varían cada mes de acuerdo a las épocas de cosecha, lluvias, ferias semanales, estaciones del año, vacaciones, festividades, etc., es necesario afectar los valores obtenidos durante un periodo de tiempo, por un factor de corrección que lleve a estos valores al índice Medio Diario Anual.

Este factor fue estimado relacionando el IMD del mes de julio, para lo cual se tomó como base la información existente en Provias Nacional correspondiente al peaje de Pucará (localizado en el distrito de Pomahuaca) el más próximo de la zona de estudio.

Tabla 4: Factores de corrección promedio para vehículos (2000-2010). Estación Pucará.

Mes	Ligeros	Pesados
Enero	0.9296631	1.0674410
Febrero	0.96891222	1.0579530
Marzo	1.08197395	1.1161250
Abril	1.10689494	1.0513190
Mayo	1.11822623	1.0668380

Junio	1.06081011	1.0045070
Julio	0.92335252	0.9513600
Agosto	0.90988279	0.9461140
Septiembre	1.03651314	0.9726680
Octubre	1.07122651	1.0033900
Noviembre	1.03033096	0.9700480
Diciembre	0.93750106	0.9593830

Fuente: Unidades Peaje PVN

✖ Índice Medio Diario Anual (IMDA)

El Índice Medio Diario Anual (IMDA), se obtiene multiplicando el promedio diario de la semana (obtenido del aforo en campo), por el factor de corrección de julio (mes en el que se realizó el trabajo de campo).

✖ Factores de Carga

Para el cálculo del factor se consideró el vehículo más pesado que se registró en la vía, carga para un camión C2.

El peso total del camión C2 = 18 T

Pesos del eje delantero simple de rueda simple (EE_{s1}) = 7.00 T

Peso del eje posterior simple de rueda doble (EE_{s2}) = 11.00T

Se aplicó las ecuaciones para un pavimento rígido establecidas en el manual de diseño AASHTO, correspondiente a Eje Simple de ruedas simples (EE_{S1}) y Eje Simple de ruedas dobles (EE_{S2}).

Tabla 5: Relación de Cargas por Eje para determinar Ejes Equivalentes para Afirmados, Pavimentos Flexibles y Semirígidos.

Tipo de Eje	Eje Equivalente ($EE_{8.2tn}$)
Eje Simple de ruedas simples (EE_{S1})	$EE_{S1}=[P/6.6]^{4.0}$
Eje Simple de ruedas dobles (EE_{S2})	$EE_{S2}=[P/8.2]^{4.0}$
Eje Tandem (1 eje ruedas dobles + 1 eje rueda simple) (EE_{TA1})	$EE_{TA1}=[P/14.8]^{4.0}$
Eje Tandem (2 ejes de ruedas dobles) (EE_{TA2})	$EE_{TA2}=[P/15.1]^{4.0}$
Eje Tridem (2 ejes ruedas dobles + 1 eje rueda simple) (EE_{TR1})	$EE_{TR1}=[P/20.7]^{3.9}$
Eje Tridem (3 ejes de ruedas dobles) (EE_{TR2})	$EE_{TR2}=[P/21.8]^{3.9}$
P = peso real por eje en toneladas	

Fuente: Elaboración Propia, en base a correlaciones con los valores de las tablas del apéndice D de la Guía AASHTO93.

✦ Cargas Equivalentes de un solo Eje

Para el cálculo de los Ejes Equivalentes (EE), se consideró la siguiente ecuación:

$$EE = N^{\circ} \text{ Vehículos según tipo} \times \text{Factor de Carga} \times \text{Factor de Presión de Llantas} \quad (10)$$

✦ Factor de Crecimiento del Tráfico (r)

El factor de crecimiento del tráfico es un parámetro que se considera en el diseño de pavimentos, los años de periodo de diseño más un número de años adicionales debidos al crecimiento propio de la vía. La guía AASHTO recomienda un mínimo de 20 años de vida útil, para pavimentos rígidos.

$$r = \frac{(1+g)^n - 1}{g} \quad (11)$$

Donde:

g: tasa de crecimiento

n: Años de vida útil

✦ Ejes Equivalentes (ESAL)

Se determina mediante la siguiente ecuación:

$$ESAL = EE \times 365 \times Dd \times Fc \times r \quad (12)$$

Donde:

EE = Cargas Equivalentes de un solo Eje

Dd = Factor Direccional

Fc = Factor Carril

r = Factor de Crecimiento del Tráfico

3.8.2. ETAPA 2: Trabajo en Laboratorio de Mecánica de Suelos y Concreto

Los ensayos que se realizaron en el laboratorio de la Universidad Nacional de Jaén, para los propósitos concernientes a la investigación fueron los siguientes:

- a. Análisis Granulométrico por Tamizado (MTC E 107)
- b. Contenido de Humedad (MTC E 108)

- c. Límites de Atterberg (MTC E 110 – MTC E 111)
- d. Proctor modificado (MTC E 115)
- e. Ensayo de CBR (MTC E 132)

3.8.3. ETAPA 3: Trabajo en Gabinete

Esta etapa consistió en el diseño del pavimento mediante las dos metodologías en cuestión, Metodología de diseño AASHTO93 y Metodología de diseño TCP.

a) Parámetros de diseño, Metodología AASHTO93

Para el diseño AASHTO93 se consideró el manual de diseño AASHTO (1993). De acuerdo a este, se obtuvieron los parámetros de diseño los cuales fueron procesados en el programa Excel 2017, mediante el cual se obtuvo el espesor de losa del pavimento. Luego de ello, se procedió a realizar el presupuesto y análisis de precios unitarios para el diseño, en el programa S10.

Proceso de obtención de variables de diseño:

✓ **Confiabilidad (R%)**

En la Tabla 6 se dan niveles de confiabilidad aconsejados por la AASHTO. Para la presente investigación se consideró tipo de vía colectora, zona urbana para lo cual se asumió un promedio de factores recomendados.

Tabla 6: *Niveles de Confiabilidad*

Tipo de camino	Zona Urbana	Zona Rural
Rutas interestatales y autopistas	85 – 99.9	80 – 99.9
Arterias principales	80 – 99	75 – 99
Colectoras	80 – 95	75 – 95
Locales	50 – 80	50 – 80

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

✓ **Desviación Estándar Normal**

En el presente estudio la desviación estándar normal se asumió según el nivel de confiabilidad seleccionado en la Tabla 6.

Tabla 7: *Desviaciones Estándar normal según el índice de confiabilidad*

Confiabilidad R, %	Desviación normal estándar, Zr	Confiabilidad R, %	Desviación normal estándar, Zr
50	0.000	93	-1.476
60	-0.253	94	-1.555
70	-0.524	95	-1.645
75	-0.674	96	-1.751
80	-0.841	97	-1.881
85	-1.037	98	-2.054
90	-1.282	99	-2.327
91	-1.340	99.9	-3.090
92	-1.405	99.99	-3.750

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

✓ **Error Estándar Combinado (So)**

Representa la desviación estándar conjunta que conjuga la desviación estándar de la ley de predicción del tránsito en el periodo de diseño con la desviación estándar de la ley de predicción del comportamiento del pavimento. Es decir, el número de ejes que puede soportar al pavimento hasta que su índice descienda por debajo de un determinado valor Pt.

Tabla 8: *Desviación Estándar Combinado según el tipo de pavimento y tipo de construcción.*

Tipo de pavimento	Rangos	Construcción nueva	Sobre Capas
Pavimento Rígido	0.30 – 0.40	0.35	0.40
Pavimento Flexible	0.40 – 0.50	0.45	0.50

Fuente: Elaboración propia en base a los valores de la Guía AASHTO93.

Para el proyecto se consideró el diseño de un pavimento rígido nuevo por lo tanto el valor desviación estándar combinado es 0.35.

✓ **Serviciabilidad (Δ PSI)**

La pérdida de serviciabilidad se define como la diferencia entre el índice de servicio inicial y final.

$$\Delta\text{PSI} = P_0 - P_t \quad (13)$$

✓ **Índice de Serviciabilidad Inicial (P0)**

El índice de serviciabilidad inicial (P_0) se establece como la condición original del pavimento inmediatamente después de su construcción o rehabilitación. AASHTO estableció para pavimentos rígidos un valor inicial deseable de 4.5 la misma que se asumió para el presente proyecto.

✓ **Índice de Serviabilidad Final (Pt)**

Ocurre cuando la superficie del pavimento ya no cumple con las expectativas de comodidad y seguridad exigidas por el usuario. Para la calle en estudio tipo colectora, se consideró el valor correspondiente Pt indicados en la Tabla 9.

Tabla 9: *Índice de Serviabilidad Final*

Pt	Clasificación
3.00	Autopistas
2.50	Colectores
2.25	Calles comerciales e industriales

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

Por lo tanto, para el presente estudio se consideró una pérdida de serviabilidad de 2.50.

✓ **Módulo de Ruptura (Mr)**

El módulo de rotura se determinó a través de la siguiente ecuación:

$$Mr = 8 - 10\sqrt{f'c} \quad (14)$$

Donde: F’c: resistencia del concreto a la compresión en PSI.

Mr: módulo de ruptura en PSI.

✓ **Coefficiente de Drenaje (Cd)**

La Guía de diseño AASHTO proporciona los valores recomendados para el coeficiente de drenaje Cd, que depende de la propiedad con que cuentan las capas que constituyen la estructura del pavimento para liberar el agua libre entre sus granos, en función del tiempo durante el cual la estructura del pavimento está expuesta normalmente expuesta a niveles de humedad próximos a la saturación.

Tabla 10: *Valores recomendados del coeficiente de drenaje (Cd) para el diseño.*

Cd	Tiempo transcurrido para que el suelo libere el 50 % de su agua libre	Porcentaje de tiempo en que la estructura del pavimento está expuesta a niveles de humedad cercanas a la saturación.			
		< 1%	1 – 5	5 – 25 %	> 25 %
Calificación					
Excelente	2 horas	1.25 – 1.20	1.20 – 1.15	1.15 – 1.10	1.10
Bueno	1 día	1.20 – 1.15	1.15 – 1.10	1.10 – 1.00	1.00
Regular	1 semana	1.15 – 1.10	1.10 – 1.00	1.00 – 0.90	0.90
Pobre	1 mes	1.10 – 1.00	1.00 – 0.90	0.90 – 0.80	0.80
Muy pobre	Nunca	1.00 – 0.90	0.90 – 0.80	0.80 – 0.70	0.70

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

Para el presente estudio se consideró una calidad de drenaje bueno para un porcentaje de saturación entre 5- 25 % cuyo valor equivale a 1.00.

✓ **Coefficiente de Transferencia de Carga (J)**

Tabla 11: *Coefficiente de transferencia de carga (J)*

Tipo de pavimento	Hombro			
	Elemento de transmisión de carga			
	Concreto Asfáltico		Concreto Hidráulico	
	si	no	si	no
No reforzado o reforzado con juntas	3.2	3.8 – 4.4	2.5 – 3.1	3.6 – 4.2
Reforzado continuo	2.9 – 3.2	2.3 - 2.9

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

Para el presente estudio se consideró un coeficiente de transferencia de carga para pavimento no reforzado con concreto hidráulico, de 3.1.

✓ **Diseño método grafico**

Con los parámetros obtenidos se usaron los ábacos de diseño de pavimento AASHTO93 para el cálculo del espesor del pavimento rígido.

b) Parámetros de diseño, Metodología TCP

Para el diseño TCP, se trabajó con la guía de diseño OPTIPAVE 2.0.2, de donde se obtuvieron los parámetros de diseño, mismos que se procesaron en el *software* OPTIPAVE 2.0.2, obteniendo el diseño del espesor de losa. Posterior a ello se desarrolló el presupuesto y análisis de precios unitarios en el programa S10.

Los parámetros de diseño se pueden dividir en cinco categorías:

- Parámetros de Diseño del Tipo de Pavimento
- Parámetros de Diseño del Tráfico
- Propiedades del Hormigón
- Parámetros del Suelo
- Clima

b.1) Parámetros de Diseño del Tipo de Pavimento

✓ **Vida de Diseño**

La vida de diseño se seleccionó de acuerdo a la clasificación de la vía:

Tabla 12: Vida de Diseño Recomendado según clasificación del Pavimento.

Clasificación de la Vía	Vida de Diseño (Años)
Ruta Locales y Calles	15-20
Calles Principales y vías de mediano tráfico <15*10⁶ EE	20
Carreteras Interurbanas y Vías de Alto Tráfico >15*10⁶ EE	20-40

Fuente: Documentación y Guía de Diseño Optipave 2.0.2

Para el proyecto, se consideró una vía de mediano tráfico <15*10⁶ EE, asumiendo un tiempo de diseño de 20 años.

✓ **Largo de losa**

Según la Guía OptiPave 2.0.2, el largo de la losa debe ser de entre 1,4 y 2,3 m y en caso de tener tráfico en más de una dirección (intersecciones o pavimentos industriales), se debe reducir a no más de 1,75 m para evitar que más de un set de ruedas cargue la losa de forma diagonal. Mencionado esto, para el proyecto se tomó un largo de losa de 1,75 m, ya que la vía en estudio tiene tráfico en ambas direcciones.

✓ **Espesor de losa de concreto**

Según la Guía OptiPave 2.0.2, se expresa en milímetros y puede ir de 60mm a 250mm. Para el proyecto, el valor del espesor de losa se calculó mediante el *software* OptiPave 2.0.2, el cual mediante procesos iterativos permite obtener un espesor mínimo que cumpla con el diseño especificado.

✓ **Tipo de borde**

Se definieron cuatro tipos de borde que se muestran en la Tabla 13:

Tabla 13: Tipos de Borde y su efecto en términos de soporte y circulación del tráfico.

Tipo de Borde	Soporte a la Estructura	¿Aleja el tráfico del Borde?
Borde Libre	Nulo	No
Berma Granular / Asfáltica	Muy Leve	No
Berma de Hormigón	Leve	No
Vereda	Mediano	Sí

Fuente: Documentación y Guía de Diseño Optipave 2.0.2

De los cuatro tipos de borde mostrados, para el proyecto se consideró un tipo de borde libre.

✓ **IRI inicial de diseño**

En general el valor máximo recomendado es de 1,8 m/km para Chile, la misma que se consideró para el presente diseño.

✓ **Porcentaje de Losas Agrietadas**

El nivel de daño máximo admisible depende de la importancia de la vía. En la siguiente tabla se muestran valores recomendados según el tipo de vía:

Tabla 14: *Valores Recomendados de Porcentaje Máximo Admisible de Losas Agrietadas según la Clasificación de La Vía.*

Clasificación de la Vía	Porcentaje Máximo Admisible de Losas Agrietadas
Ruta Locales y Calles	30% - 50%
Calles Principales y vías de mediano tráfico <15*10⁶ ESALS	10% - 30%
Carreteras Interurbanas y Vías de Alto Tráfico >15*10⁶ EE	10%

Fuente: Documentación y Guía de Diseño Optipave 2.0.2

El nivel de daño máximo admisible de acuerdo a la vía que se consideró en el diseño, vía de mediano tráfico <15*10⁶ ESALS, es de 20%.

✓ **IRI final de diseño**

IRI máximo admisible que deberá cumplir el pavimento. En general el valor máximo permitido es de 3,5 m/km para Chile, la misma que se consideró para el presente diseño.

✓ **Escalonamiento Promedio Final de diseño**

En general el valor promedio máximo permitido es de 5 mm para Chile, lugar donde esta patentada esta nueva metodología de diseño en pavimentos y otras construcciones de usos semejantes. Para el proyecto se consideró un escalonamiento máximo admisible de 5 mm.

✓ **Confiabilidad**

Está asociado al nivel de confianza de la distribución normal (Z_r) y de la desviación normal del error combinado (S_e) de todos los parámetros que intervienen en el comportamiento del pavimento. Los valores recomendados según la clasificación de la vía, se muestra en la Tabla 15.

Tabla 15: *Confiabilidad según la clasificación de la vía.*

Clasificación de la Vía	Urbanas	Rurales
Carreteras Interurbanas y Vías de Alta Tráfico	85% - 97%	80% - 95%
Calles Principales y Vías de Mediano Tráfico	80% - 95%	75% - 90%
Calles de Bajo Tráfico	75% - 85%	70% - 80%
Pasaje	50% - 75%	50% - 75%

Fuente: Documentación y Guía de Diseño Optipave 2.0.2

b.2) Parámetros de Diseño del Tráfico

✓ Tráfico

El programa permite ingresar el tráfico como parámetro de diseño, a través de dos variables: Tráfico por Ejes Equivalentes y Tráfico por Espectro de Carga; para el presente proyecto se consideró en el diseño el tráfico por Ejes Equivalentes que circularán por el pavimento desde la apertura al tráfico hasta el final de la vida de diseño, correspondiente a un valor de EE = 420067,15.

✓ Tasa de Crecimiento

Estuvo referido al valor del crecimiento anual promedio del tráfico, calculado en base al crecimiento que experimentará el pavimento durante su vida, el cual tiene un valor de 3% de tasa de crecimiento.

b.3) Propiedades del concreto

✓ Resistencia del Concreto

La resistencia a la compresión característica del concreto en este tipo de construcción, y la que se asumió en el diseño es de $f^c = 210 \text{ kg/cm}^2$.

✓ Confiabilidad de la mezcla de concreto

Generalmente se utiliza 80%, por tanto, en el diseño se utilizó este valor.

✓ Desviación Estándar de Diseño del Concreto

Desviación que tiene el proceso de fabricación del hormigón. El valor que se tomó en el diseño es de 0,4 Mpa, valor recomendado.

✓ **Aumento de la Resistencia 28-90 días**

Corresponde al incremento porcentual en la resistencia a la Flexo tracción que ocurre desde el día 28 al día 90 en las losas de hormigón. El valor de este depende de cada mezcla, pero se recomienda utilizar por defecto un valor de 1.1 (10%), valor que se consideró en el diseño del proyecto en esta metodología.

✓ **Módulo de Elasticidad del Concreto**

Se realizó el cálculo de este valor, mediante el uso de la siguiente fórmula que correlaciona la resistencia a la compresión con el módulo de elasticidad.

$$E_c = 57.600 * \sqrt{f'_c} \quad (15)$$

Dónde:

E_c : Módulo de Elasticidad (Psi)

f'_c : Resistencia a la Compresión Cilíndrica (Psi)

El valor del módulo de elasticidad del concreto, calculado para las condiciones del proyecto, es de 3 115 158,21.

✓ **Peso específico del Hormigón**

Es el peso de la mezcla de hormigón por unidad de volumen. Se recomienda un valor de 2.400 Kg/m³, valor que se consideró en el diseño.

✓ **Módulo de Poisson**

Es la razón entre la deformación unitaria lateral y la deformación unitaria axial, causada por una carga en el sentido axial. Su valor por defecto es de 0,15 y varía entre 0,1 y 0,25. Para el presente proyecto el valor que se consideró es de 0.15.

✓ **Coefficiente de Expansión Térmico**

Es la medida de la expansión o contracción de un material al ser sometido a cambios de temperatura. Se utilizó un valor de $1 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ recomendado por la guía Optipave 2.0.2, ya que no se determinó el valor por ensayo de laboratorio.

✓ **Retracción del Concreto a 365 días**

Por defecto la Retracción a 365 días se determina aumentando en un 30% este valor final. Se utilizó por defecto 0,0007 (700 $\mu\epsilon$).

✓ **Diseño mediante el *software* Optipave 2.0.2**

Con los parámetros obtenidos, se realizó el diseño del pavimento TCP para obtener el espesor del pavimento.

c) Análisis de tensiones, por fatiga

Con las características de los materiales considerados y la geometría del pavimento obtenidos de los diseños TCP y AASHTO93 se realizó la modelación en el *Software* EverFE 2.25, de donde se obtuvieron las tensiones máximas generadas por el efecto de cargas vehiculares.

Con las tensiones máximas se procedió a calcular la relación de esfuerzos de cada uno de los pavimentos, los que fueron necesarios para aplicar el método de la PCA y calcular el número de repeticiones de carga permisibles, para finalmente verificar el daño que sufrirá cada pavimento para el periodo de diseño calculado.

IV. RESULTADOS

4.1. Resultados del Diseño

4.1.1. Diseño realizado de pavimento tipo TCP en programa Optipave 2.0.2

A) Parámetros de Diseño

Se presentan los datos a considerar para ser utilizados en la nueva metodología de diseño TCP.

- Periodo de diseño: 20 años
- Largo de losa: 1.75 m (Recomendado por TCP)
- Tipo de borde: Libre
- IRI final: 3.5 m/km (Recomendado por TCP)
- Porcentaje de losas agrietadas: 20% (Recomendado por TCP)
- Escalonamiento Promedio: 5 mm (Recomendado por TCP)
- Confiabilidad: 80% (Recomendado por TCP)
- Tráfico: 420 067, 15 EE
- Propiedades del concreto:
 - × Confiabilidad: 80% (Recomendado por TCP)
 - × Desviación Estándar: 0.4 Mpa (Recomendado por TCP)
 - × Aumento de Resistencia 28-90 días: 1.1 (10%) (Recomendado por TCP)
 - × Módulo de elasticidad (E) = 3 115 158,21 Psi
 - × Sin fibra metálica
 - × Peso específico del concreto: 2400 kg/m³
 - × Módulo de Poisson = 0.15 (Recomendado por TCP)
 - × MR = 38.5 kg/cm²
 - × Retracción a 365 días (m/m) = 0.0007 (Recomendado por TCP)
- Suelo:
 - × CBR: 10.20%

- ✘ Clasificación AASHTO: A-2-6
- Clima:
 - ✘ Húmedo – No heladizo
 - ✘ Gradiente de construcción: -10%
 - ✘ Temperatura media anual: 25.9 °C
- Sello de Juntas: NO REQUIERE
- Barra de amarre: AL EJE CENTRAL
- Confinamiento lateral: BERMAS DE CONCRETO, VEREDA.

B) Espesor Determinado

El espesor determinado por el programa Optipave 2.0.2 es de 14 cm.

4.1.2. Diseño realizado de pavimento por el Método AASHTO93

A) Parámetros de Diseño

Del procedimiento de diseño utilizado y valores de los parámetros de diseño; el procedimiento utilizado corresponde a la metodología establecida por la AASHTO. Los valores de los parámetros de diseño se comentan a continuación:

- Periodo de diseño: 20 años
- Trafico: 420 067.15 EE
- Factor De Sentido (Fs): 0.50
- Factor Carril (Fe): 0.80.
- Confiabilidad (Ro/o): 90 o/o
- Desviación Estándar (Zr): -1.282
- Error Estándar Combinado (So): 0.35
- Serviciabilidad (ó PSI): 2.5
- Módulo de Roptura (Mr): 548 psi
- Drenaje (Cd): 1.00
- Coeficiente de Transferencia de carga (J): 3.1
- Módulo de Elasticidad del Concreto (Ec): 3 115 158.21 psi
- Módulo de Reacción de la Sub rasante (k): 22

B) Espesor determinado

El espesor determinado mediante el Método AASHTO93 es de 20 cm.

4.2. Resultados del Análisis Técnico

4.2.1. Análisis por fatiga, Método PCA

Se muestran resultados de esfuerzos máximos, obtenidos de la modelación en el *software* EverFE 2.25, para cada uno de los diseños de pavimentos, TCP y AASHTO93.

Tabla 16: *Esfuerzos máximos obtenidos por el software por elementos finitos EverFE 2.25*

Ubicación de Carga	Parámetro Esfuerzo	Elementos finitos 3d EverFE 2.25	
		AAHSTO93	TCP
CENTRO DE LOSA	σ_I (Mpa)	0.274	0.545
ESQUINA DE LOSA	σ_E (Mpa)	1.95	1.76
BORDE DE LOSA	σ_B (Mpa)	0.757	1.26
MAX	σ_M (Mpa)	1.95	1.76

Fuente: Elaboración propia.

Teniendo en cuenta los esfuerzos máximos obtenidos en la Tabla 16, y el módulo de ruptura del concreto de 3.85 MPa, se calculó la relación de esfuerzos para cada diseño de pavimento, mostrado en la siguiente tabla.

Tabla 17: *Relación de esfuerzos.*

Relación de esfuerzos (MPa)	Pavimento TCP	Pavimento AASHTO93
σ/S_c	0.457	0.51

Fuente: Elaboración propia.

El cálculo del número de repeticiones de carga permisibles, se determinó de acuerdo a la ecuación (6), debido a que la relación de esfuerzos, mostrados en la Tabla 17, se encuentran entre $0.45 < \sigma/S_c < 0.55$. Así mismo, el daño por fatiga, se calculó de acuerdo a la ecuación (5).

Tabla 18: *Cálculo de las repeticiones de carga permisibles y daño por fatiga.*

Diseño de Pavimento	Numero de Repeticiones de Carga Permisibles	ESAL de diseño	Daño
AASHTO93	564442	420067.15	0.7442
TCP	20516237	420067.15	0.0205

Fuente: Elaboración propia.

Según la PCA, si el daño es igual a la unidad o 100%, el riesgo de falla es del 50% por lo tanto:

- Probabilidad de falla de diseño AASHTO93 = 37.21%
- Probabilidad de falla de diseño TCP = 1.025%

4.3. Resultados del Análisis Económico

A) Evaluación Económica, Pavimento TCP

Se desarrolló el presupuesto para pavimentos tipo TCP, teniendo como referencia los costos obtenidos en el Estudio de Mercado (Cotizaciones).

S10		Página		1	
Presupuesto					
Presupuesto	0403003	"CONSTRUCCION DE PAVIMENTO Y VEREDA; EN EL (LA) CALLE UNION CDRA 04, 05, 06; CALLE REVOLUCION CDRA 03 Y PASAJE 28 DE JULIO, SECTOR MIRAFLORES DISTRITO DE JAÉN, PROVINCIA JAÉN, DEPARTAMENTO CAJAMARCA" CUI N°2440099.			
Subpresupuesto	001	PAVIMENTO TCP			
Cliente	MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE LA CIUDAD DE JAEN			Costo al	14/09/2019
Lugar	CAJAMARCA - JAEN - JAEN				
Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.
1	PAVIMENTOS TCP				138.41
1.01	TRABAJOS PRELIMINARES				1.51
1.01.001	TRAZON, NIVELACION Y REPLANTEO PRELIMINAR	m2	1.00	1.51	1.51
1.02	MOVIMIENTO DE TIERRAS				12.60
1.02.001	BASE RELLENO CON MATERIAL DE AFIRMADO	m3	0.15	59.02	8.85
1.02.002	CORTE A NIVEL DE SUBRASANTE CON MAQUINARIA	m3	0.15	4.03	0.60
1.02.003	PERFILADO Y COMPACTACION SUB-RASANTES ZONAS CORTE	m2	0.10	3.56	0.36
1.02.005	ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE DM=10 km	m3	0.19	14.71	2.79
1.03	LOSA DE CONCRETO (PAVIMENTO RIGIDO)				124.30
1.03.001	CORTE DE JUNTAS DE 2.00 mm	m	1.00	16.75	16.75
1.03.002	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO PARA PAVIMENTO RIGIDO	m2	1.00	47.24	47.24
1.03.003	CONCRETO f'c=210 kg/cm2 ,LOSA DE RODADURA	m3	0.15	389.84	58.48
1.03.004	CURADO DE CONCRETO CON ADITIVO	m2	1.00	1.83	1.83
	COSTO DIRECTO				138.41

Imagen 2: Presupuesto en S10, Método de diseño TCP.

B) Evaluación Económica, Pavimento AASHTO93

Se desarrolló el presupuesto para pavimentos tipo AASHTO93, teniendo como referencia los costos obtenidos en el Estudio de Mercado (Cotizaciones).

S10				Página	1
UNJ					
Presupuesto					
Presupuesto	0403003	TESIS: "COMPARACIÓN TÉCNICO Y ECONÓMICO DE PAVIMENTOS OPTIMIZADOS (TCP) Y PAVIMENTOS RÍGIDOS (AASHTO 93), DE ACUERDO CON LAS CONDICIONES LOCALES DE JAÉN"			
Cliente	UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN			Costo al	14/09/2019
Lugar	CAJAMARCA - JAEN - JAEN				
Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.
1	PAVIMENTOS AASHTO				162.91
1.01	TRABAJOS PRELIMINARES				1.51
1.01.001	TRAZON, NIVELACION Y REPLANTEO PRELIMINAR	m2	1.00	1.51	1.51
1.02	MOVIMIENTO DE TIERRAS				16.90
1.02.001	CORTE A NIVEL DE SUBRASANTE CON MAQUINARIA	m3	0.20	4.03	0.81
1.02.002	PERFILADO Y COMPACTACION SUB-RASANTES ZONAS CORTE	m2	1.00	3.56	3.56
1.02.003	BASE MATERIAL GRANULAR(AFIRMADO) E=20 cm	m3	0.15	59.02	8.85
1.02.004	ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE DM=10 km	m3	0.25	14.71	3.68
1.03	LOSA DE CONCRETO (PAVIMENTO RIGIDO)				144.50
1.03.001	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO PARA PAVIMENTO RIGIDO	m2	1.00	47.24	47.24
1.03.002	CONCRETO f'c=210 kg/cm2 .LOSA DE RODADURA	m3	0.21	389.84	81.87
1.03.003	CURADO DE CONCRETO CON ADITIVO	m2	1.00	1.83	1.83
1.03.004	JUNTAS DE CONSTRUCCION Y/O DILATACION	m	1.20	11.30	13.56
	COSTO DIRECTO				162.91

Imagen 3: Presupuesto en S10, Método de diseño AASHTO93.

C) Cuadro resumen de resultados

En la Tabla 19, se presentan los resultados de la evaluación de los diseños según la Metodología AASHTO93 y Metodología TCP, de acuerdo a las condiciones locales de la ciudad de Jaén.

Tabla 19: Cuadro comparativo de resultados de acuerdo a los Métodos de diseño de Pavimentos Rígidos.

N°	MÉTODO DE PAVIMENTACIÓN	ESPESOR DE LOSA	DIMENSIONES DE LOSA	COSTO x m ²
01	Método TCP	E = 0.14 m	L = 1.75 m	s/. 138.41
02	Método AASHTO93	E = 0.20 m	L = 3.50 m	s/. 162.91
	DIFERENCIA	E = 0.06 m	----	s/. 24.50

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede apreciar en la Tabla 19, la diferencia de costos entre los dos tipos de Metodología para el cálculo de pavimentos rígidos difiere en s/. 24.50, lo que equivale a un 15.04% de diferencia porcentual de Ahorro en cuanto al costo para la ejecución del proyecto.



Imagen 4: Diferencia de costos entre los dos tipos de cálculo para Pavimentos Rígidos.

Fuente: Elaboración propia.

V. DISCUSIÓN

En los resultados obtenidos en la Tabla 19, se puede apreciar que el largo y espesor de losa, para el diseño por TCP, son de 1.75 m y $e = 0.14$ m, los cuales cumplen con lo indicado en la guía de diseño TCP, que recomienda el largo de losa entre 1,4 y 2,3 m y en caso de tener tráfico en más de una dirección (intersecciones o pavimentos industriales), reducir a no más de 1,75 m para evitar que más de un set de ruedas cargue la losa de forma diagonal; y un espesor de la losa de concreto soportante, que será la carpeta de rodadura, que puede ir de 60 mm a 250 mm, espesor mínimo que cumple con el umbral de diseño especificado.

Por el método AASHTO93, la Tabla 19 de resultados, da muestra de que se obtuvo un ancho de losa de 3.5 m y un espesor de $e = 0.20$ m. Esta metodología, para losas de pavimentos de concreto, recomienda dimensiones máximas de 3.6 m de ancho por 4.5 m de longitud con espesores de losa de entre 15 a 35 cm, dependiendo del nivel de tráfico, el clima y materiales. Por lo tanto, los resultados de nuestro diseño están dentro de los parámetros requeridos por la guía de diseño AASHTO93.

Se determinó un daño por fatiga de 0.7442 para el diseño AASHTO93 y 0.0205 para el diseño TCP, los cuales indican que ambos diseños son técnicamente adecuados, ya que, de acuerdo con el análisis de fatiga por el Método de la PCA, el daño ocurre cuando la suma de las relaciones de daño alcanza el valor de 1.00 o del 100%. Sin embargo, el diseño TCP, sobresale técnicamente ya que, de acuerdo con el análisis realizado, se hace notar que el daño calculado para TCP es 97.25% menor que el obtenido para el diseño AASHTO93.

Dentro de la ingeniería civil las obras se basan en un principio económico, por lo tanto, según los resultados obtenidos en costos, mediante el análisis en el programa S10, para el diseño TCP se obtuvo un costo total de s/. 138.41, y para el diseño AASHTO93 un costo de s/. 162.91, obteniendo un ahorro significativo porcentual de 15.04%, en cuanto al costo para la ejecución del proyecto, siendo la metodología TCP la más económica.

De acuerdo a los resultados mostrados en la Tabla 19 y lo argumentado en las discusiones anteriores, se puede indicar que la hipótesis planteada es verdadera, ya que, del análisis por fatiga realizado, se obtuvo que el pavimento TCP presentaría menos daño y probabilidad de falla que el pavimento AASHTO93, siendo técnicamente mejor; y del análisis de costos unitarios se determinó que el pavimento TCP requiere de un costo de ejecución menor al del AASHTO93, siendo más económico.

VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

Del diseño por TCP se obtuvo un espesor de 14 cm y dimensiones de losa de 1.75 x 1.65 m; del diseño AASHTO93 se determinó un espesor de 20 cm y dimensiones de losa de 3.5 x 3.5 m. El espesor de losa del pavimento TCP difiere en 6 cm del AASHTO93, lo que representa el 30 % menos en espesor.

Las tensiones obtenidas para el pavimento TCP son menores a las del pavimento AASHTO93.

El daño calculado para TCP es 97.25% menos que el obtenido para el diseño AASHTO93, según el análisis por fatiga por el método de la PCA.

La probabilidad de falla calculada para el diseño AASHTO93 es de 37.21%, y para TCP de 1.03%. Por lo tanto, siendo ambas probabilidades de falla calculadas menores al 50%, se concluye que existe menos probabilidad de que los pavimentos se agrieten por fatiga, por lo que técnicamente, ambos son adecuados.

La tecnología de pavimentación TCP de acuerdo a las condiciones de diseño particulares en la investigación, presenta una reducción en el costo en relación con el pavimento rígido tradicional AASHTO93 del 15.04 %, por lo tanto, la hipótesis es aceptada.

Debido a que las losas de los pavimentos TCP son más cortas, las condiciones climáticas son menos importantes ya que el alabeo es menor y la transferencia de carga aumenta en comparación con las losas convencionales de 3,5 m de largo. Por lo tanto, el desempeño de las losas cortas en condiciones climáticas extremas es mejor que en las convencionales.

6.2. Recomendaciones

Para obtener un mejor desempeño del pavimento TCP, se recomienda tomar en cuenta el dimensionamiento de los ejes del vehículo de diseño y ancho de los carriles.

Se recomienda el empleo del diseño de losas cortas TCP como una alternativa de aplicación en vías principales y de menor importancia, permitiendo el estudio de su comportamiento y confiabilidad para su masificación.

Como otros temas afines a la investigación, se recomienda evaluar el uso del diseño TCP para rehabilitación y mantenimiento de vías frente a otras alternativas.

Se recomienda realizar un estudio del progreso del deterioro de pavimentos construidos con losas de dimensiones menores a las convencionales para poder determinar la funcionalidad de estos en la práctica.

Se recomienda construir un tramo de prueba, para recopilar la mayor cantidad de datos posibles que aporten a mejorar la aplicación de los pavimentos de geometría optimizada TCP.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- American Association of Highway and Transportation. (1993). *Diseño de estructuras de Pavimentos*. Recuperado de http://www.biblioteca.udep.edu.pe/bibvirudep/tesis/pdf/1_102_181_62_936.pdf
- American Association of Highway and Transportation. (2007). *Guie for desing of Pavement Structures*. Washington, Estados Unidos.
- Anguas, P., Gómez, J., y Sisma, J. (2002). *Mecánica de materiales para pavientos. Querétaro: Instituto Mexicano del Transporte*.
- Austroroads. (2012). Preliminary Investigacion of the Influence of Micro-cracking on Fatigue Life on Cemented Materials. *Sidney: Austroroads Ltd*.
- Covarrubias, J. P. (11 de diciembre de 2012). Diseño de losas de hormigón con geometría optimizada/Design of concrete pavement with optimized slab geometry. *Ingeniería de Construcción*, 27(3), 181-197.
- Davids, W. G. (2000). Foundation Modeling for Jointed Concrete Pavements. *Transportation Research Record. Journal of the Transportation Research Board*, 1730(1), 34-42.
- Davids, W. G., Wang, Z. M., Turkiyyah, G., Mahoney, J., & Bush, D. (2003). Finite Element Analysis of Jointed Plain Concrete Pavement with EVERFE 2.2.” *Transportation Research Record 1853: Journal of the Transportation Research Board*, TRB, National Research Council. *United States of American*, 92-99.
- Guzmán, J. P., y Soncco, A. (2014). *Aplicación de la Tecnología de Pavimento TCP en el Barrio de Santa Rosa, Distrito de Lirzay – Angaraes* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Huancavelica, Huancavelica, Perú.
- Huang, Y.H. (2nd Ed.). (2004). *Pavement analysis and desing*. Upper Saddle River, NJ: Pearson/Prentice Hall.

- Mendoza, H. (2015). *Evaluación del Diseño de Losas Cortas (TCP) en Pavimentos según Tensiones* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Ayacucho, Perú.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2013). *Manual de “Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos” en su Sección de Suelos y Pavimentos*. Recuperado de http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/P_recientes/4515.pdf
- Montenegro, C. I. (2014). *Evaluación de las Patologías de los Pavimentos Intertrabados de la Ciudad de Jaén-Cajamarca* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Cajamarca, Jaén, Perú.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2016). *Manual de Ensayo de Materiales*. Recuperado de https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/Manual%20Ensayo%20de%20Materiales.pdf
- Packard, R. G., & Tayabji, S. D. (1985). *New PCA thickness design procedure for concrete highway and street pavements*. The Third International Conference on Concrete Pavement Design and Rehabilitation, Purdue University, West Lafayette, United States of American.
- Rao, S., & Roesler, J. (2005). Cumulative fatigue damage analysis of concrete pavement using accelerated pavement testing results. University of Illinois.
- Rebolledo, R. J. (2010). *Deterioros en Pavimentos Flexibles y Rígidos* (Tesis de pregrado). Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.
- Reglamento Nacional de Edificaciones. (2014). Norma CE. 010 Pavimentos Urbanos. En Reglamento Nacional de Edificaciones. Lima, Perú: Departamento Editorial ICG.
- Sánchez, E. (2014). *Método de Diseño de Losas de Dimensiones Superficiales Optimizadas, en Pavimentos de Concreto Hidráulico* (Tesis de pregrado). Universidad de El Salvador, San Salvador, El Salvador.
- Sistema Nacional de Inversión Pública. (2015). *Pautas metodológicas para el desarrollo de alternativas de pavimentos en la formulación y evaluación social de proyectos de inversión pública de carreteras*. Recuperado de

https://www.mef.gob.pe/contenidos/inv_publica/docs/normas/normasv/2015/RD003-2015/Pautas_Pavimentos.pdf

Thin Concrete Pavement. (2007). *Documentación y Guía de Diseño Optipave 2.0.2*. Chile.

Ordoñez, J. D. (2015). *Pavimentos de Losas Cortas de Concreto para Vías Tercias en Colombia* (Especialización en Ingeniería de Pavimentos). Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia.

AGRADECIMIENTO

A Dios, por guiarnos y acompañarnos en el desarrollo del presente trabajo de investigación, permitiéndonos cumplir con una meta más, y avanzar en nuestro proceso de formación profesional y personal.

A nuestros padres, por ser el pilar en nuestras vidas, por sus enseñanzas, valores inculcados y, sobre todo, por el apoyo incondicional para cumplir con cada una de nuestras metas; a nuestros hermanos y familia, por el apoyo emocional en todo momento.

A nuestro centro de formación profesional, Universidad Nacional de Jaén, por todos los conocimientos brindados, por las experiencias vividas, por prepararnos con capacidades y aptitudes para afrontar todo tipo de dificultades a nivel profesional y personal.

A nuestro asesor, el Ingeniero Oswaldo Hurtado Zamora, por asumir el compromiso de acompañarnos y guiarnos en este proceso, y por estar siempre dispuesto y capaz a aportar en la consolidación de nuevos conocimientos.

Al Ingeniero Wilmer Rojas Pintado, por el apoyo desinteresado y por los aportes a este proyecto.

DEDICATORIA

A Dios, por la fuerza para ser perseverantes y lograr con esta meta, por brindarnos salud y por ser quien nos acompaña en cada paso que damos.

A nuestros padres, hermanos y familia por el apoyo desinteresado e incondicional, y por contribuir a que seamos mejores personas cada día.

A nuestro centro de estudios, Universidad Nacional de Jaén, por acogernos en el proceso de esta etapa de nuestra vida.

A cada uno de nuestros docentes, por haber aportado con sus conocimientos, valores y experiencias para ser profesionales capaces y seguros de afrontar todo tipo de dificultad durante nuestra vida profesional.

ANEXOS

ANEXO 1: ENSAYOS DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN
 FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO MECANICA DE SUELOS Y CONCRETO - UNJ



CONTENIDO DE HUMEDAD DEL SUELO
MTC E 108 – 2000

PROYECTO	“COMPARACIÓN TÉCNICO Y ECONÓMICO DE PAVIMENTOS OPTIMIZADOS (TCP) Y PAVIMENTOS RÍGIDOS (AASHTO 93), DE ACUERDO CON LAS CONDICIONES LOCALES DE JAÉN”
UBICACIÓN	: JAÉN - CAJAMARCA
SOLICITADO	: TESISTAS
CALICATA	. C-01
PROFUNDIDAD	: 1.50
FECHA DE MUESTREO	: 14/08/2019

ENSAYO

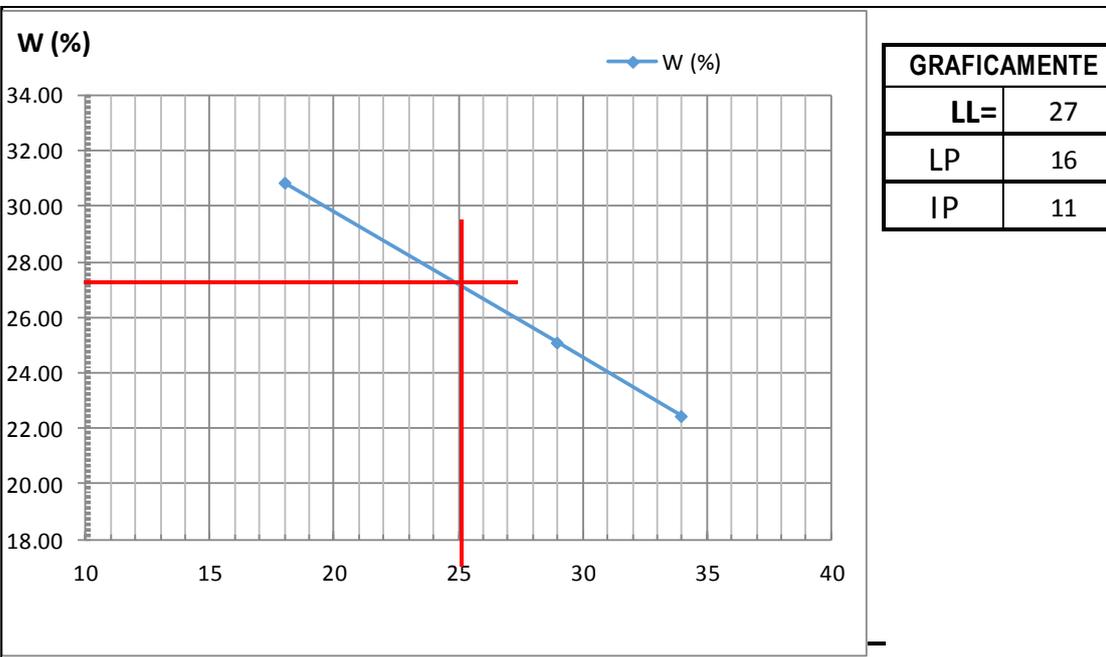
NUMERO DE ENSAYO	1	2	3
CONTENEDOR N°	1	2	7
PARÁMETROS			
Peso del contenedor más suelo húmedo (gr) Mcws=	1582		
Peso del contenedor más suelo Seco (gr) Mcs=	1499.67		
Peso del contenedor (gr) Mc=	72		
CÁLCULOS			
Peso del agua (gr) Mw =	82.33		
Peso de partículas sólidas (gr) Ms =	1427.67		
Contenido de Humedad (%) W =	5.77		



LIMITES DE CONSISTENCIA O DE ATTERBERG
MTC E 110 -111 – 2000

PROYECTO : "COMPARACIÓN TÉCNICO Y ECONÓMICO DE PAVIMENTOS OPTIMIZADOS (TCP) Y PAVIMENTOS RÍGIDOS (AASHTO 93), DE ACUERDO CON LAS CONDICIONES LOCALES DE JAÉN"
SOLICITADO : TESISTAS
CALICATA : C-01
PROFUNDIDAD : 1.50 m
FECHA DE MUESTREO : 16/08/2019

ENSAYO	LIMITE LÍQUIDO			LIMITE PLÁSTICO	
	I	II	III	I	II
NUMERO DE ENSAYO					
CONTENEDOR N°	P2	P3	P1	P4	P5
N° DE GOLPES	18	29	34		
Peso del contenedor (gr) Mc=	38.24	39.92	42.20	41.04	38.51
Peso del contenedor más suelo húmedo (gr) Mcws=	54.15	53.68	52.84	45.85	43.25
Peso del contenedor más suelo Seco (gr) Mcs=	50.4	50.92	50.89	45.2	42.58
Peso del agua (gr) Mw =	3.75	2.76	1.95	0.65	0.67
Peso de partículas sólidas (gr) Ms =	12.16	11	8.69	4.16	4.07
Contenido de Humedad (%) W =	30.84	25.09	22.44	15.63	16.46





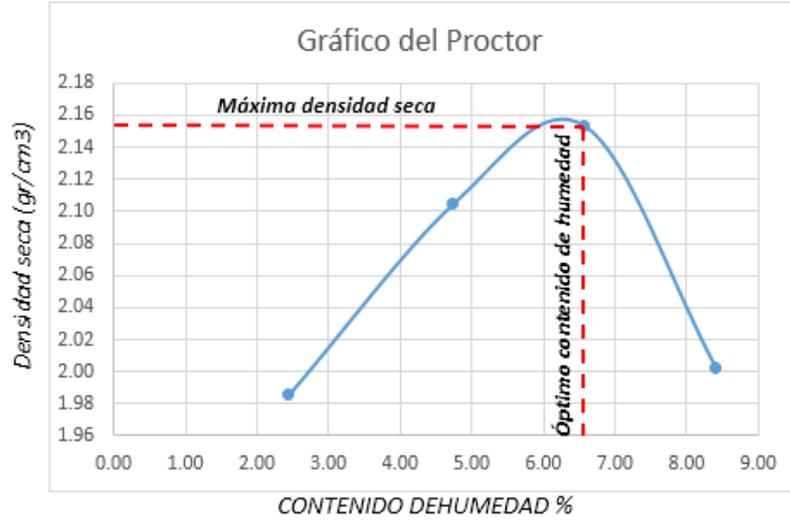
PROCTOR MODIFICADO
MTC E 115 - 2000

PROYECTO : "COMPARACIÓN TÉCNICO Y ECONÓMICO DE PAVIMENTOS OPTIMIZADOS (TCP) Y PAVIMENTOS RÍGIDOS (AASHTO 93), DE ACUERDO CON LAS
SOLICITADO : TESISTAS
CALICATA : C-01
PROFUNDIDAD : 1.50 m
FECHA DE MUESTREO : 16/08/2019

ENSAYO				
Número de ensayo	I	II	III	IV
Número de molde	1	1	1	1
Peso del molde (g)	6272	6272	6272	6272
Volumen del molde	2130	2130	2130	2130
Peso del suelo compactado + molde	10605	10968	11160	10896
Peso del suelo compactado	4333.00	4696.00	4888.00	4624.00

HUMEDAD				
CONTENEDOR N°	P1	P2	P3	P4
Peso del contenedor más suelo húmedo (gr)	377.41	441.64	415.54	381.31
Peso del contenedor más suelo Seco (gr)	369.7	423.50	392.45	356
Peso del contenedor (gr)	53.55	40.65	40.73	54.77
Peso del agua (gr)	7.71	18.14	23.09	25.31
Peso de partículas sólidas (gr)	316.15	382.85	351.72	301.23
Contenido de Humedad (%)	2.44	4.74	6.56	8.40

PESOS VOLUMÉTRICOS				
Peso volumétrico húmedo	2.03	2.20	2.29	2.17
Peso volumétrico seco	1.99	2.10	2.15	2.00
Máxima densidad seca:	2.16 gr/cm³	Óptimo contenido de Humedad:		6.25 %





UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN
 FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO MECANICA DE SUELOS Y CONCRETO - UNJ



PROYECTO:	"COMPARACIÓN TÉCNICO Y ECONÓMICO DE PAVIMENTOS OPTIMIZADOS (TCP) Y PAVIMENTOS RÍGIDOS (AASHTO 93), DE ACUERDO CON LAS CONDICIONES LOCALES DE JAÉN"			FECHA:	20/08/2019
UBICACIÓN:	JAÉN - CAJAMARCA				
CALICATA:	C-01	PROFUNDIDAD:	1.50 m	TIPO DE MUESTRA:	ALTERADA

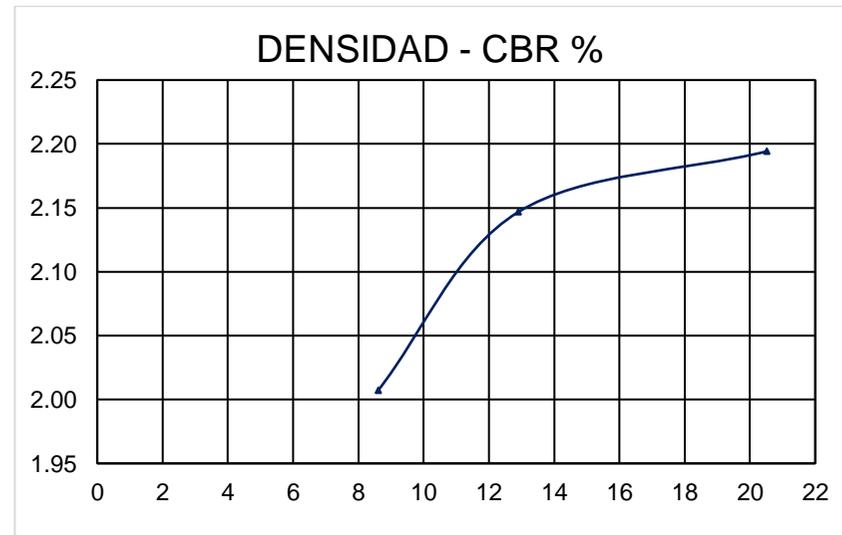
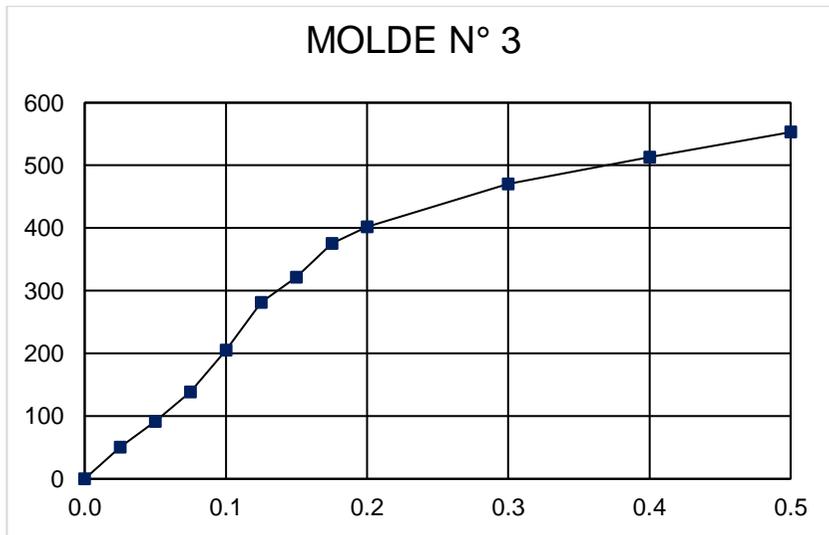
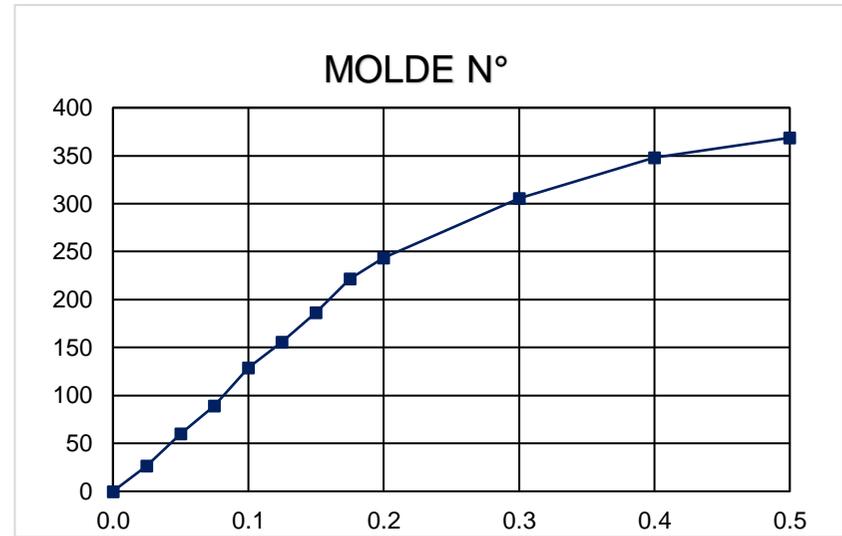
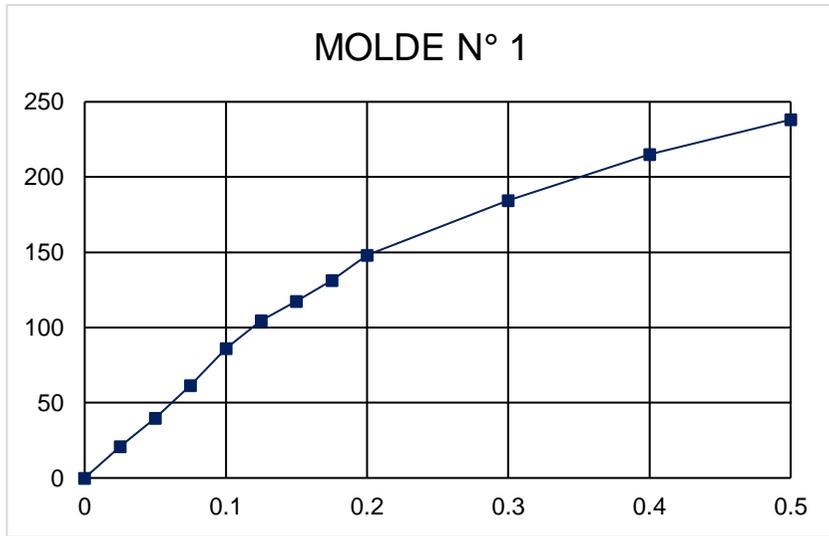
**METODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR LA RELACION SOPORTE EN MUESTRAS COMPACTADAS DE SUELOS EN LABORATORIO (C.B.R.)
 MTC E 132 – 2016 ASTM 1883**

COMPACTACIÓN									
NUMERO DE ENSAYO	1			2			3		
Numero de capas	5			5			5		
Numero de capas	12			25			56		
Condicion de Muestra	Antes		Despues	Antes		Despues	Antes		Despues
Peso del suelo compactado + molde (gr.)	12124		12272	11870		12065	11876		12076
Peso del suelo compactado	4594		4742	4864		5059	4869		5069
Peso de molde (gr.)	7530		7530	7006		7006	7007		7007
Volumen del molde (gr.)	2131		2131	2167		2167	2145		2145
Densidad Húmeda (gr/cm3)	2.16		2.23	2.24		2.33	2.27		2.36
HÚMEDAD									
N° contenedor	1	2	3	4	5	6	7	8	9
P. cont. + suelo húmeda (gr.)	143.56	154.34	123.45	130.89	146.78	134.8	141.34	128.78	131.25
P. cont. + suelo seca (gr.)	136.45	146.32	113.76	124.35	138.98	125.94	133.98	122.01	123.65
Peso del contenedor (gr.)	25.3	24.6	24.63	24.78	23.45	24.67	23.40	23.67	25.01
Peso del suelo húmedo (gr.)	118.26	129.74	98.82	106.11	123.33	110.13	117.94	105.11	106.24
Peso del suelo seco (gr.)	111.15	121.72	89.13	99.57	115.53	101.27	110.58	98.34	98.64
peso del agua	7.11	8.02	9.69	6.54	7.80	8.86	7.36	6.77	7.60
Contenido de humedad %	6.40	6.59	10.87	6.57	6.75	8.75	6.66	6.88	7.70
Contenido de humedad prom. %	6.49		10.87	6.66		8.75	6.77		7.70
Densidad seca (gr/cm3)	2.02		2.01	2.10		2.15	2.13		2.19

EXPANSIÓN										
TIEMPO		N° Molde			N° Molde			N° Molde		
Horas	Dias	lectura expan.	mm.	%	lectura expan.	mm.	%	lectura expan.	mm.	%
0	0									
24	1									
48	2									
72	3									
96	4									

ENSAYO DE ESFUERZO - PENETRACIÓN										
PENETRACIÓN		N° de Molde			N° de Molde			N° de Molde		
mm.	Pulg	Carga	ESFUERZO		Carga	ESFUERZO		Carga	ESFUERZO	
		Kg.	Kg/Cm2	Lib/Pulg2	Kg.	Kg/Cm2	Lib/Pulg2	Kg.	Kg/Cm2	Lib/Pulg2
0.00	0.000	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00
0.64	0.025	27	1.45	20.74	35	1.88	26.88	66	3.55	50.69
1.27	0.050	52	2.80	39.94	78	4.19	59.91	119	6.40	91.40
1.91	0.075	80	4.30	61.44	116	6.24	89.09	181	9.73	139.02
2.54	0.100	112	6.02	86.02	168	9.03	129.03	267	14.35	205.07
3.18	0.125	136	7.31	104.45	203	10.91	155.91	367	19.73	281.87
3.81	0.150	153	8.23	117.51	243	13.06	186.64	419	22.53	321.81
4.45	0.175	171	9.19	131.34	289	15.54	221.97	489	26.29	375.58
5.08	0.200	193	10.38	148.23	317	17.04	243.47	523	28.12	401.69
7.62	0.300	240	12.90	184.33	398	21.40	305.68	613	32.96	470.81
10.16	0.400	280	15.05	215.05	453	24.35	347.93	668	35.91	513.06
12.70	0.500	310	16.67	238.10	480	25.81	368.66	720	38.71	553.00

N° ensayo	Penetración	Esfuerzo Corregido	C.B.R	Densidad seca	C.B.R. para el 95% de M.D.S. (0.1")	C.B.R. (%)
	Pulg.	Lib/Pulg2	%	gr/cm3		10.20%
1	0.1	86.02	8.60215054	2.01		
2	0.1	129.03	12.9032258	2.15		
3	0.1	205.07	20.5069124	2.19		





CLASIFICACIÓN DE SUELOS - MÉTODO AASHTO

LL =	27%	%PASA #10 =	36%
LP =	16%	%PASA #40 =	22%
IP =	11%	%PASA #200 =	9%

SUELO: A-2-6

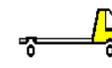
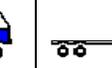
Clasificación general	Material Granular (35% o menos del total pasa No.200)						
	A -1		A - 3	A - 2			
	A - 1 - a	A - 1 - b		A - 2 - 4	A - 2 - 5	A - 2 - 6	A - 2 - 7
Análisis de tamices (porcentaje que pasa)							
No. 10	50 max.						
No. 40	30 max.	50 máx.	51 min.				
No. 200	15 max.	25 max.	10 max.	35 max.	35 max.	35 max.	35 max.
Características de la fracción que pasa No.40							
Limite liquido				40 max.	41 min.	40 max.	41 min.
Indice de plasticidad	6 max.		NP	10 max.	10 max.	11 min.	11 min.
Tipos usuales de materiales que consta	Fragmentos pétreos, grava, y arena		Arena fina	Limos o gravas arcillosas y arena			
Valoración general del subgrupo	Excelente a bueno						

2. CONTEO VEHICULAR

LUGAR : Calle Unión FECHA : 16/08/2019

ESTACIÓN : Calle Unión cuadra n°04 SENTIDO :  

TESISTAS : Bach. Keyla Madeleine Díaz Zamora y Bach. Tito Hoyos Fernández

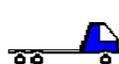
PERIODO		MOTO LINEAL	MOTO TAXI	AUTO	COMBI MINUBUS	CAMIONETAS			CAMIONES	SUB TOTAL	TOTAL
INICIO	SENTIDO										
07:00:00	----->	5	11	2	0	1	0	1	0	20	39
08:00:00	<-----	4	10	3	1	0	0	1	0	19	
08:00:00	----->	3	7	0	2	0	0	0	0	12	22
09:00:00	<-----	2	6	2	0	0	0	0	0	10	
09:00:00	----->	2	2	2	0	1	0	0	1	8	15
10:00:00	<-----	0	5	2	0	0	0	0	0	7	
10:00:00	----->	0	1	1	1	0	0	0	0	3	9
11:00:00	<-----	2	2	2	0	0	0	0	0	6	
11:00:00	----->	1	5	0	1	0	0	0	0	7	15
12:00:00	<-----	2	3	1	0	1	0	1	0	8	
12:00:00	----->	6	7	0	0	0	0	0	0	13	24
13:00:00	<-----	4	6	1	0	0	0	0	0	11	
13:00:00	----->	10	6	0	1	0	0	0	0	17	35
14:00:00	<-----	13	3	0	1	0	0	1	0	18	
14:00:00	----->	3	2	0	0	0	0	0	0	5	9
15:00:00	<-----	1	1	0	0	1	0	0	1	4	
15:00:00	----->	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
16:00:00	<-----	1	2	0	2	0	0	0	0	5	
16:00:00	----->	0	1	0	1	0	0	0	0	2	6
17:00:00	<-----	1	1	1	1	0	0	0	0	4	
17:00:00	----->	0	4	1	0	0	0	0	1	6	9
18:00:00	<-----	0	1	0	0	1	1	0	0	3	
18:00:00	----->	0	2	0	1	0	0	0	0	3	7
19:00:00	<-----	2	1	0	1	0	0	0	0	4	
TOTAL		62	89	18	13	5	1	4	3	195	195

3. CONTEO VEHICULAR

LUGAR : Calle Unión FECHA : 17/08/2019

ESTACIÓN : Calle Unión cuadra n°04 SENTIDO :  

TESISTAS : Bach. Keyla Madeleine Díaz Zamora y Bach. Tito Hoyos Fernández

PERIODO		MOTO LINEAL	MOTO TAXI	AUTO	COMBI MINIBUS	CAMIONETAS			CAMIONES	SUB TOTAL	TOTAL
INICIO	SENTIDO					PICK UP 	PANEL 	RURAL Combi 	2 E 		
07:00:00	----->	2	10	0	1	0	0	1	0	14	31
08:00:00	<-----	6	9	1	0	0	0	1	0	17	
08:00:00	----->	3	7	2	1	0	0	0	0	13	22
09:00:00	<-----	1	5	1	1	1	0	0	0	9	
09:00:00	----->	0	3	0	0	0	0	1	0	4	7
10:00:00	<-----	2	1	0	0	0	0	0	0	3	
10:00:00	----->	1	2	1	0	0	0	0	1	5	11
11:00:00	<-----	2	0	2	1	0	0	1	0	6	
11:00:00	----->	3	5	0	0	0	0	0	0	8	17
12:00:00	<-----	5	1	1	1	0	0	0	1	9	
12:00:00	----->	4	6	1	0	0	0	0	0	11	29
13:00:00	<-----	9	9	0	0	0	0	0	0	18	
13:00:00	----->	2	6	0	1	0	0	2	0	11	20
14:00:00	<-----	5	3	0	1	0	0	0		9	
14:00:00	----->	0	0	0	1	0	0	0		1	5
15:00:00	<-----	3	1	0	0	0	0	0	0	4	
15:00:00	----->	1	1	1	1	1	0	0	0	5	7
16:00:00	<-----	0	2	0	0	0	0	0	0	2	
16:00:00	----->	0	0	0	0	0	0	0	1	1	4
17:00:00	<-----	1	0	1	1	0	0	0	0	3	
17:00:00	----->	0	3	0	0	0	0	0	0	3	6
18:00:00	<-----	0	3	0	0	0	0	0	0	3	
18:00:00	----->	4	2	0	0	0	0	0	0	6	11
19:00:00	<-----	0	1	1	1	2	0	0	0	5	
TOTAL		54	80	12	11	4	0	6	3	170	170

4. CONTEO VEHICULAR

LUGAR : Calle Unión FECHA : 18/08/2019

ESTACIÓN : Calle Unión cuadra n°04 SENTIDO :  

TESISTAS : Bach. Keyla Madeleine Díaz Zamora y Bach. Tito Hoyos Fernández

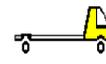
PERIODO		MOTO LINEAL	MOTO TAXI	AUTO	COMBI MINUBUS	CAMIONETAS			CAMIONES	SUB TOTAL	TOTAL	
INICIO	SENTIDO					PICK UP	PANEL	RURAL Combi	2 E			
07:00:00	----->	5	5	1	0	0	0	1	0			
08:00:00	<-----	3	7	1	1	0	0	1	0			
08:00:00	----->	4	6	0	0	0	0	0	0			
09:00:00	<-----	5	5	0	1	0	0	0	0			
09:00:00	----->	1	1	0	0	0	0	0	0			
10:00:00	<-----	1	2	2	0	0	0	0	0			
10:00:00	----->	2	4	0	0	0	0	0	0			
11:00:00	<-----	1	1	2	0	0	0	0	0			
11:00:00	----->	0	2	1	1	0	0	0	0			
12:00:00	<-----	4	2	0	0	0	0	0	0			
12:00:00	----->	5	6	1	0	1	0	0	0			
13:00:00	<-----	7	8	1	0	0	0	0	0			
13:00:00	----->	6	7	0	1	0	0	0	0			
14:00:00	<-----	4	5	1	1	0	1	0	0			
14:00:00	----->	1	3	0	0	0	0	1	0			
15:00:00	<-----	1	0	1	1	0	0	0	1			
15:00:00	----->	2	1	0	0	0	0	0	0			
16:00:00	<-----	1	1	0	1	0	0	0	0			
16:00:00	----->	2	2	1	0	1	0	0	0			
17:00:00	<-----	1	1	1	1	0	0	0	0			
17:00:00	----->	1	1	0	0	0	0	0	0			
18:00:00	<-----	0	2	0	0	0	0	0	0			
18:00:00	----->	0	1	0	0	0	0	0	1			
19:00:00	<-----	1	1	1	1	0	0	0	0			
TOTAL		58	74	14	9	2	1	3	2			163

5. CONTEO VEHICULAR

LUGAR : Calle Unión FECHA : 19/08/2019

ESTACIÓN : Calle Unión cuadra n°04 SENTIDO :  

TESISTAS : Bach. Keyla Madeleine Díaz Zamora y Bach. Tito Hoyos Fernández

HORA	PERIODO		MOTO LINEAL	MOTO TAXI	AUTO	COMBI MINIBUS	CAMIONETAS			CAMIONES	TOTAL	SUB TOTAL
	INICIO	SENTIDO					PICK UP	PANEL	RURAL Combi	2 E		
												
1	07:00:00	----->	2	5	1	0	1	0	1	1	11	26
	08:00:00	<-----	4	8	2	0	1	0	0	0	15	
2	08:00:00	----->	3	7	0	2	0	1	0	0	13	25
	09:00:00	<-----	1	4	3	2	2	0	0	0	12	
3	09:00:00	----->	1	1	1	0	1	0	1	0	5	13
	10:00:00	<-----	2	2	0	1	1	0	0	2	8	
4	10:00:00	----->	1	3	1	0	0	0	0	0	5	11
	11:00:00	<-----	1	1	3	1	0	0	0	0	6	
5	11:00:00	----->	3	2	2	0	0	0	0	0	7	15
	12:00:00	<-----	5	1	1	1	0	0	0	0	8	
6	12:00:00	----->	5	5	1	1	1	0	0	1	14	26
	13:00:00	<-----	5	6	0	1	0	0	0	0	12	
7	13:00:00	----->	6	9	0	0	0	0	0	0	15	27
	14:00:00	<-----	4	6	0	1	1	0	0	0	12	
8	14:00:00	----->	1	4	1	0	0	0	1	0	7	12
	15:00:00	<-----	1	1	1	1	1	0	0	0	5	
9	15:00:00	----->	2	1	0	0	0	0	0	0	3	7
	16:00:00	<-----	1	3	0	0	0	0	0	0	4	
10	16:00:00	----->	1	0	2	0	0	0	0	0	3	7
	17:00:00	<-----	1	1	0	1	0	0	0	1	4	
11	17:00:00	----->	1	3	0	0	0	0	0	0	4	9
	18:00:00	<-----	0	1	2	1	1	0	0	0	5	
12	18:00:00	----->	1	0	0	0	2	0	0	0	3	10
	19:00:00	<-----	1	3	0	0	0	0	1	2	7	
TOTAL	TOTAL		53	77	21	13	12	1	4	7	188	188

6. CONTEO VEHICULAR

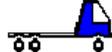
LUGAR : Calle Unión

FECHA : 20/08/2019

ESTACIÓN : Calle Unión cuadra n°04

SENTIDO :  

TESISTAS : Bach. Keyla Madeleine Díaz Zamora y Bach. Tito Hoyos Fernández

HORA	PERIODO		MOTO LINEAL	MOTO TAXI	AUTO	COMBI MINIBUS	CAMIONETAS			CAMIONES	SUB TOTAL	SUB TOTAL
	INICIO	SENTIDO					PICK UP	PANEL	RURAL Combi	2 E		
												
1	07:00:00	---->	2	3	1	1	0	0	3	0	10	22
	08:00:00	<----	4	6	0	2	0	0	0	0	12	
2	08:00:00	---->	5	4	0	0	0	0	0	0	9	20
	09:00:00	<----	3	6	0	1	0	0	1	0	11	
3	09:00:00	---->	1	2	1	0	0	0	0	0	4	6
	10:00:00	<----	1	1	0	0	0	0	0	0	2	
4	10:00:00	---->	0	3	1	0	0	0	0	1	5	10
	11:00:00	<----	1	2	1	0	1	0	0	0	5	
5	11:00:00	---->	2	1	0	0	0	0	0	0	3	12
	12:00:00	<----	3	4	0	1	0	0	1	0	9	
6	12:00:00	---->	5	6	0	1	1	0	0	0	13	25
	13:00:00	<----	6	4	1	1	0	0	0	0	12	
7	13:00:00	---->	4	7	0	0	0	0	0	0	11	22
	14:00:00	<----	5	5	0	1	0	0	0	0	11	
8	14:00:00	---->	2	2	1	1	1	0	0	0	7	9
	15:00:00	<----	0	2	0	0	0	0	0	0	2	
9	15:00:00	---->	1	0	0	0	0	0	0	0	1	5
	16:00:00	<----	1	2	0	1	0	0	0	0	4	
10	16:00:00	---->	2	1	1	0	0	0	0	0	4	7
	17:00:00	<----	1	1	0	1	0	0	0	0	3	
11	17:00:00	---->	1	2	0	0	0	0	0	0	3	7
	18:00:00	<----	0	3	1	0	0	0	0	0	4	
12	18:00:00	---->	2	11	0	0	0	0	0	0	13	19
	19:00:00	<----	2	1	1	0	0	0	1	1	6	
TOTAL	TOTAL		54	79	9	11	3	0	6	2	164	164

7. CONTEO VEHICULAR

LUGAR : Calle Unión

FECHA : 20/08/2019

ESTACIÓN : Calle Unión cuadra n°04

SENTIDO :  

TESISTAS : Bach. Keyla Madeleine Díaz Zamora y Bach. Tito Hoyos Fernández

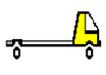
HORA	PERIODO		MOTO LINEAL	MOTO TAXI	AUTO	COMBI MINIBUS	CAMIONETAS			CAMIONES	SUB TOTAL	TOTAL
	INICIO	SENTIDO					PICK UP	PANEL	RURAL Combi	2 E		
PERIODO 1HORA												
1	07:00:00	----->	4	2	0	1	0	0	1	0	8	18
	08:00:00	<-----	5	4	0	0	0	0	1	0	10	
2	08:00:00	----->	2	1	1	0	0	0	0	0	4	5
	09:00:00	<-----	0	1	0	0	0	0	0	0	1	
3	09:00:00	----->	1	3	0	0	2	0	0	0	6	11
	10:00:00	<-----	1	4	0	0	0	0	0	0	5	
4	10:00:00	----->	2	3	0	0	0	0	0	1	6	11
	11:00:00	<-----	1	3	1	0	0	0	0	0	5	
5	11:00:00	----->	1	5	1	1	0	0	0	0	8	9
	12:00:00	<-----	0	1	0	0	0	0	0	0	1	
6	12:00:00	----->	2	1	0	0	0	0	0	0	3	8
	13:00:00	<-----	2	3	0	0	0	0	0	0	5	
7	13:00:00	----->	4	2	0	1	0	0	0	0	7	15
	14:00:00	<-----	1	5	1	0	1	0	0	0	8	
8	14:00:00	----->	1	2	0	1	0	0	0	1	5	10
	15:00:00	<-----	1	1	1	1	1	0	0	0	5	
9	15:00:00	----->	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
	16:00:00	<-----	0	3	0	0	0	0	0	0	3	
10	16:00:00	----->	1	0	1	0	0	0	0	1	3	6
	17:00:00	<-----	2	1	0	0	0	0	0	0	3	
11	17:00:00	----->	1	1	0	0	0	0	0	0	2	3
	18:00:00	<-----	1	0	0	0	0	0	0	0	1	
12	18:00:00	----->	1	0	0	1	0	0	0	0	2	7
	19:00:00	<-----	1	1	1	0	0	0	1	1	5	
TOTAL			35	47	7	6	4	0	3	4	106	106

Tabla 20: Resumen diario de conteo vehicular.

DÍA	FECHA	VEHÍCULOS LIVIANOS							VEHÍCULO PESADOS			TOTAL
		MOTO LINEAL	MOTO TAXI	AUTO	COMBI MINIBUS	CAMIONETAS			CAMION			
						PICK UP	PANEL	RURAL Combi	2 E	3 E	4 E	
LUNES	15/08/2019	49	60	11	8	3	1	4	2	0	0	135.5
MARTES	16/08/2019	31	45	9	7	3	1	2	2	0	0	98
MIÉRCOLES	17/08/2019	27	40	6	6	2	0	3	2	0	0	85
JUEVES	18/08/2019	29	37	7	5	1	1	2	1	0	0	82
VIERNES	19/08/2019	27	40	5	6	2	0	3	1	0	0	82
SÁBADO	20/08/2019	27	39	11	7	6	1	2	4	0	0	94
DOMINGO	21/08/2019	18	24	4	3	2	0	2	2	0	0	53
TOTAL		207	282.5	51	39	18	3	17	13	0	0	629
PORCENTAJE					98.01 %					1.99 %		

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 21: Promedio semanal de conteo vehicular.

PROMEDIO SEMANAL										
DÍA	FECHA	MOTO LINEAL	MOTO TAXI	AUTO	COMBI MINIBUS	CAMIONETAS			CAMIÓN	TOTAL
						PICK UP	PANEL	RURAL Combi	2 E	
LUNES	15/08/2019	49	60	11	8	3	1	3.5	2	134
MARTES	16/08/2019	31	45	9	7	3	0.5	2	1.5	96
MIÉRCOLE	17/08/2019	27	40	6	6	2	0	3	1.5	84
JUEVES	18/08/2019	29	37	7	5	1	0.5	1.5	1	81
VIERNES	19/08/2019	27	40	5	6	2	0	3	1	81
SÁBADO	20/08/2019	27	39	11	7	6	0.5	2	3.5	91
DOMINGO	21/08/2019	18	24	4	3	2	0	1.5	2	51
PROMEDIO		30	40	7	6	3	0	2	2	616

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 22: Índice Medio Diario Anual (IMDA), para Vehículos Ligeros.

DÍA	FECHA	MOTO LINEAL	MOTO TAXI	AUTO	COMBI MINIBUS	CAMIONETAS			TOTAL
						PICK UP	PANEL	RURAL Combi	
LUNES	15/08/2019	49	60	11	8	3	1	4	134
MARTES	16/08/2019	31	45	9	7	3	1	2	96
MIÉRCOLE	17/08/2019	27	40	6	6	2	0	3	84
JUEVES	18/08/2019	29	37	7	5	1	1	2	81
VIERNES	19/08/2019	27	40	5	6	2	0	3	81
SÁBADO	20/08/2019	27	39	11	7	6	1	2	91
DOMINGO	21/08/2019	18	24	4	3	2	0	2	51
IMDA		27	37	7	5	2	0	2	81
PORCENTAJE		33.60 %	45.86 %	8.28 %	6.33 %	2.84 %	0.41 %	2.68 %	100

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 23: Índice Medio Diario Anual (IMDA), para Vehículos Pesados.

DÍA	FECHA	CAMIÓN			TOTAL
		2 E	3 E	4 E	
LUNES	15/08/2019	2	0	0	2
MARTES	16/08/2019	1.5	0	0	1.5
MIÉRCOLES	17/08/2019	1.5	0	0	1.5
JUEVES	18/08/2019	1	0	0	1
VIERNES	19/08/2019	1	0	0	1
SÁBADO	20/08/2019	3.5	0	0	3.5
DOMINGO	21/08/2019	2	0	0	2
IMDA		2	0	0	2
PORCENTAJE		100.0 %	0.00 %	0.00 %	100

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 24: Cálculo del Factor de Carga, para un camión C2.

EJE	PESO (TN)	EE	FC
E1 =	7	= 1.265	4.504
E2 =	11	= 3.238	

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 25: Cálculo de Cargas Equivalentes de un solo eje, ESAL.

TIPO DE VEH	IMDa	Fc	FACTOR DE PRESIÓN DE LLANTAS	EE	FACTOR DIRECCIONAL	FACTOR CARRIL	EE dia carril	Fact. Crecimiento	N° rep. EE	
MOTO LINEAL	30	1.1002	1	33.52	0.50	0.80	13.40851517	26.87	131504.68	
MOTO TAXI	42	1.1002	1	45.75	0.50	0.80	18.29906056	26.87	179468.95	
AUTO	8	1.1002	1	8.26	0.50	0.80	3.303547216	26.87	32399.70	
COMBI MINIBUS	6	1.1002	1	6.32	0.50	0.80	2.526241989	26.87	24776.24	
CAMIONETAS	PICK UP	3	1.1002	1	2.83	0.50	0.80	1.133570123	26.87	11117.55
	PANEL	1	1.1002	1	1.10	0.50	0.80	0.44008	26.87	4316.11
	RURALCombi	2	1.1002	1	2.67	0.50	0.80	1.068794687	26.87	10482.26
CAMIÓN	2 E	2	4.5040	1	8.59	0.50	0.80	3.434110189	26.87	33680.21
TOTAL ESAL's =									420067.15	

ANEXO 3: DISEÑO MÉTODO AASHTO93

La ecuación de diseño para pavimentos rígidos que se uso es la que a continuación se presenta.

$$\text{Log } W_{18} = Z_r S_o + 7.35 \log(D+1) - 0.06 + \frac{\log\left(\frac{\Delta\text{PSI}}{4.5-1.5}\right)}{\frac{1.624 \times 10^7}{(D+1)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32P_t) \log \left[\frac{S'_c C_d (D^{0.75} - 1.132)}{215.63 J \left[D^{0.75} - \frac{18.42}{\left[\frac{E_c}{k}\right]^{0.25}} \right]} \right]$$

Donde:

- D = Espesor de la losa del pavimento en (in)
- W18 = Tráfico (Número de ESAL's)
- Zr = Desviación Estándar Normal
- So = Error Estándar Combinado de la predicción del Tráfico
- ΔPSI = Diferencia de Serviciabilidad (Po-Pt)
- Po = Serviciabilidad Inicial
- Pt = Serviciabilidad Final
- S'c = Módulo de Rotura del concreto en (psi).
- Cd = Coeficiente de Drenaje
- J = Coeficiente de Transferencia de Carga
- Ec = Módulo de Elasticidad de concreto
- K = Módulo de Reacción de la Sub Rasante en (psi).

➤ **Espesor(D)**

A continuación, se muestra el espesor de pavimento calculado por el método AASHTO.

$$D = 20 \text{ cm.}$$

- **Confiabilidad R%= 90.00**
- **Desviación Estándar Normal Zr= -1.282**
- **Error estándar combinado So= 0.35**
- **Serviciabilidad (ΔPSI)**

Los datos considerados en la investigación fueron:

- Serviciabilidad inicial (P_0) = 4.5
- Serviciabilidad final (P_t) = 2.5

Obteniendo una serviciabilidad para el diseño de $\Delta PSI = 2.00$

- **Módulo de Ruptura (S_c) = 548 PSI**
- **Coefficiente de Drenaje (C_d) = 1**
- **Coefficiente de Transferencia de Carga (J) = 3.1**
- **Módulo de elasticidad del concreto (E_c)**

Se calculó el módulo de elasticidad para un concreto de $f'c = 210\text{kg/cm}^2$:

$$E_c = 57000 * \sqrt{210 * 14.322}$$

$$E_c = 3\ 115\ 158.21\ \text{PSI}$$

- **Características de Suelo de Fundación**

Tabla 26: *Características del Suelo*

CBR-Sub Rasante (%)	Mr-Sub Rasante (PSI) Mr=4326.Ln(CBR)+241	Esb-Sub Base (PSI)
10.20	10288	15000

Fuente: Elaboración Propia.

- **Módulo de Reacción de la Sub Rasante (K)**

Se utilizó los ábacos para el cálculo del Módulo de Reacción de la Sub Rasante. Considerando un espesor de base recomendado de $e = 6.00$ in.

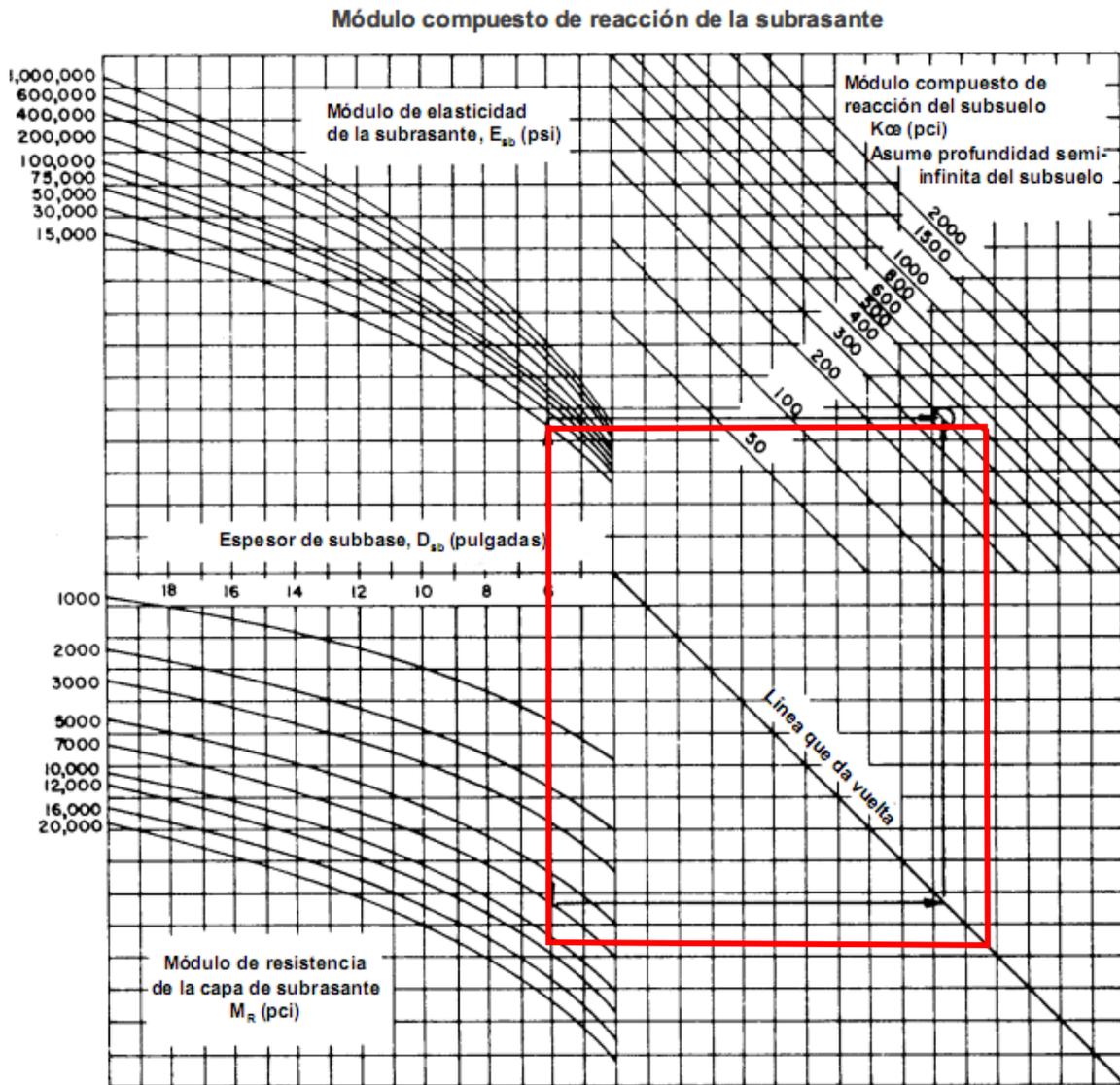


Imagen 5: Ábaco para el cálculo del Módulo compuesto de reacción de la subrasante, para una profundidad mayor a 3 m.

De la Imagen 5, se obtuvo un módulo de reacción compuesta (k_{∞}) de 500 PCI.

Cálculos del Módulo de reacción de la subrasante, para considerar efectos de la fundación rígida cerca de la superficie

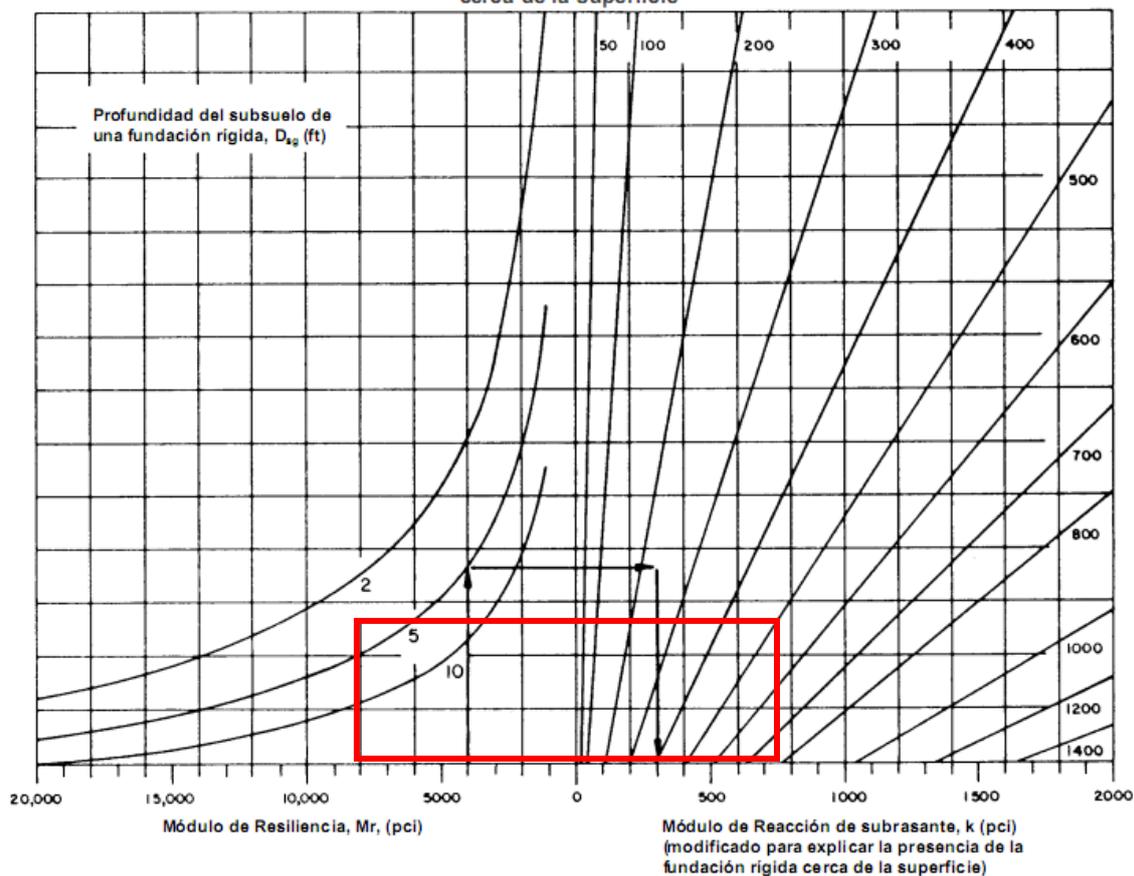


Imagen 6: Ábaco para el cálculo del Módulo compuesto de reacción de la subrasante, para una profundidad menor a 3 m.

De la Imagen 6, se obtuvo un módulo de reacción de la subrasante (k) de 670 PCI.

- **Perdida de Soporte de Materiales (I_s) = 3**
- **Corrección Del Módulo Efectivo De Reacción De La Subrasante**

La corrección del Módulo Efectivo de Reacción de la Subrasante se realizó teniendo en cuenta la pérdida de apoyo de la subbase.

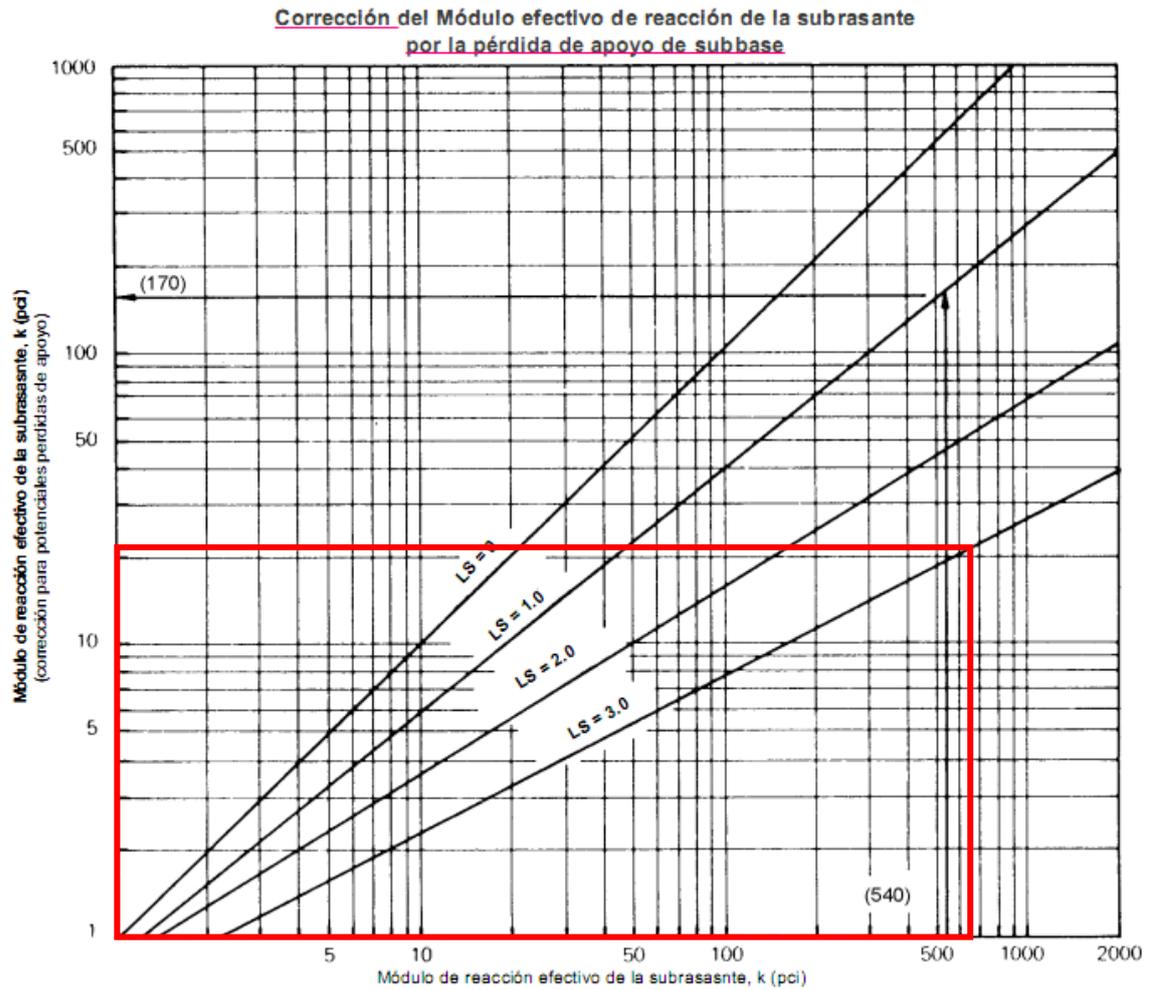


Imagen 7: Ábaco para la corrección del Módulo Efectivo de reacción de la subrasante por la pérdida de apoyo de subbase.

De la Imagen 7, se obtuvo un módulo de reacción de la subrasante (k).

$$K=22$$

➤ **Resumen de datos para el diseño**

Se presenta un resumen con los factores de diseño que se consideran para el calculo del espesor de la losa de concreto.

Tabla 27: Resumen de factores de diseño, método AASHTO93.

Factores de diseño	
ESAL's (ejes equivalentes. 8.2t)	= 420067.15
Serviciabilidad Inicial (pi)	= 4.50
Serviciabilidad Final (pt)	= 2.00
Confiabilidad (R)%	= 90.00
Desviación Estándar Total (So)	= 0.35
Coefficiente de Transferencia de Carga (J)	= 3.10
Resistencia a Compresión C° (f'c) kg/cm²	= 210.00
Coefficiente de Drenaje (Cd)	= 1.00
Módulo Ruptura del concreto (Sc)=8-10*(f'c)^{0.5}	= 548.00
Módulo de Elasticidad Concreto (Ec) (PSI)	= 3115158.21
Diferencia de Serviciosabilidad (Δpsi)	= 2.50
Desviación Estándar Normal (Zr)	= -1.28
Módulo de Reacción Compuesto "Efectivo" de Subrasante (pci)	= 22.00

Fuente: Elaboración Propia.

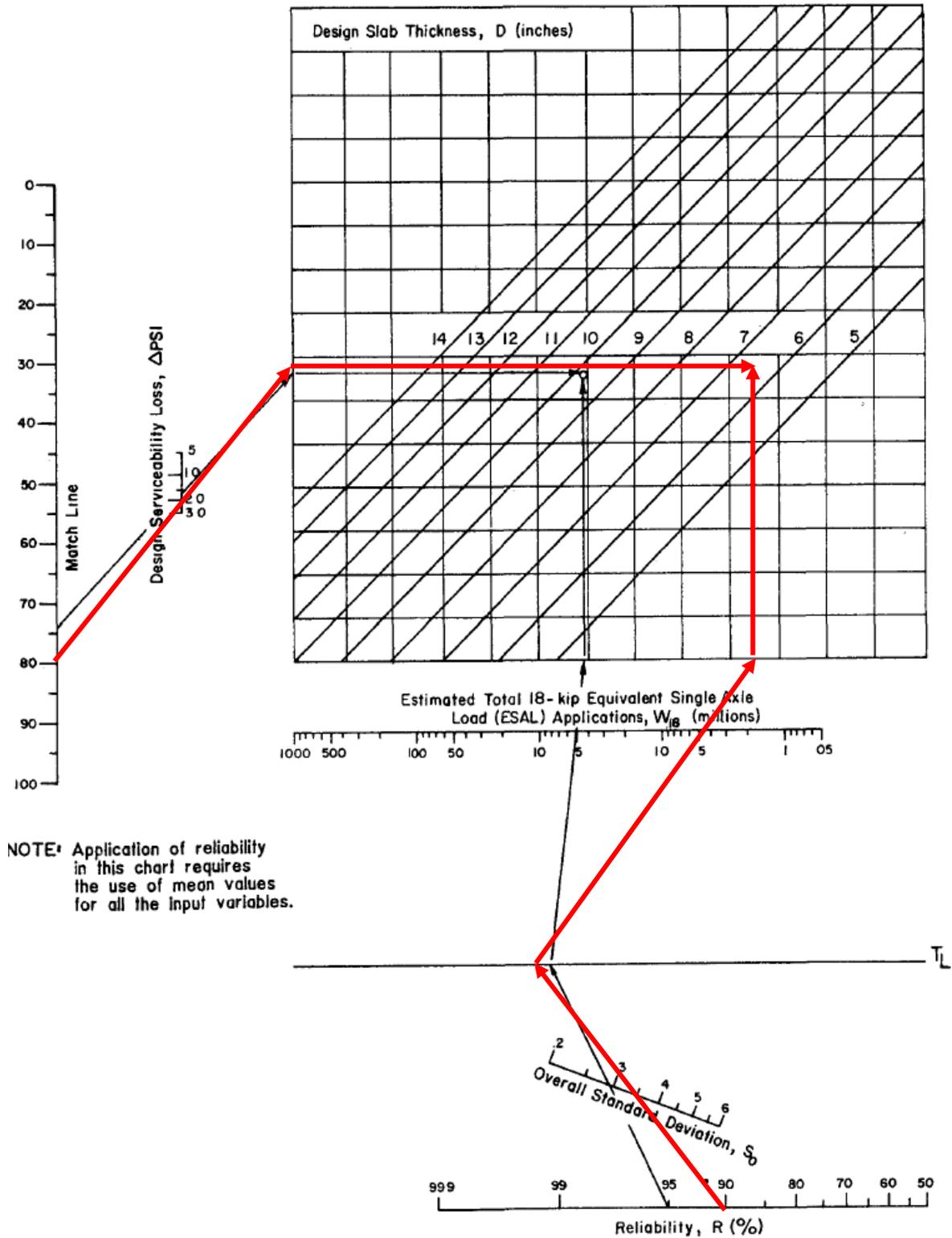


Imagen 9: Abaco para el diseño del espesor de pavimentos rígidos.

ESPESOR (D) ESTIMANDO: 6.30 in (16 cm). Por cuestiones de diseño se adopta un espesor de losa final de 20.00 cm.

ANEXO 4: DISEÑO MÉTODO TCP – SOFTWARE OPTIPAVE 2.0.2

1. Parámetros de diseño

Al iniciar el programa OPTIPAVE2, lo primero que se realizó es ingresar los datos generales del proyecto, posteriormente se ingresó los parámetros de diseño, tales como:

Parámetro	Valor	Unidad
Vida de Diseño	20	(años)
Largo de Losa	1,75	(m)
Espesor Losa	150	(mm)
Calcular Espesor	<input checked="" type="checkbox"/>	
Tipo de Borde	Libre	
Losa Exterior con Sobreancho	No	
Barras de Transferencia de Carga	No	
Interfaz Pavimento-Base	No Adherido	
IRI	1,8	(m/Km)
Umbral Máximo Admisible de Diseño		
Porcentaje de Losas Agrietadas	20	(%)
IRI	3,5	(m/Km)
Escala Promedio	5	(mm)
Confiability	80	(%)

Imagen 10: Ventana de ingreso de datos generales del proyecto.

2. Concreto:

- × Confiabilidad: 80% (Recomendado por TCP)
- × Desviación Estándar: 0.4 Mpa (Recomendado por TCP)
- × Aumento de Resistencia 28-90 días: 1.1 (10%) (Recomendado por TCP)
- × Módulo de elasticidad (E) = 3 115 158.21 Psi
- × Sin fibra metálica
- × Peso específico del concreto: 2300 kg/m³
- × Módulo de Poisson = 0.15
- × MR = 38.5 kg/cm²
- × Retracción a 365 días (m/m) = 0.0007 (Recomendado por TCP)

3. Suelo:

- × CBR: 10.20%
- × Clasificación AASHTO: A-2-6

OptiPave 2

Archivo Configuración Ayuda

Proyecto Diseño Tráfico Hormigón Suelo Clima Resultados

N° de Capas: 2

Tipo de Ensayo: CBR

	Tipo de Suelo	Módulo Resiliente Invierno (MPa)	Módulo Resiliente Verano (MPa)	Módulo de Poisson	Espesor (mm)
Base	A-1-a	300	300	0,35	150
2° Capa	A-1-a	200	200	0,35	300
3° Capa	A-1-a	100	100	0,5	5
4° Capa	A-1-a				
5° Capa	A-1-a				
6° Capa	A-1-a				
Subrasante	A-2-B	78	90	0,35	

Resistencia a la erosión (Capa Bajo el Pavimento): 2 ?

Coeficiente de Fricción Pavimento-Base: 0,65

Material Fino Bajo Malla N° 200 (Capa Bajo el Pavimento): 8 (%)

Ayuda

OptiPave 2
TCPavements

Imagen 11: Ventana de ingreso de datos del suelo del proyecto.

4. Clima:

- × Húmedo – No heladizo

OptiPave 2

Archivo Configuración Ayuda

Proyecto Diseño Tráfico Hormigón Suelo Clima Resultados

País: Perú

Zona: CAJAMARCA

Gradiente Equivalente de Construcción: -10 (°C) ?

Temperatura Media de Invierno: 17 (°C)

Temperatura Media de Verano: 26 (°C)

Temperatura de Fraguado del Hormigón: 35 (°C)

Número de Días al Año con Precipitaciones: 65

Índice de Congelamiento de la Base: 0 (%)

OptiPave 2
TCPavements

Imagen 12: Ventana de ingreso de datos sobre el clima, del lugar donde se ubica el proyecto.

- ✗ Gradiente de construcción: -10%
- ✗ Temperatura media anual: 25.9 °C

5. Resultados:

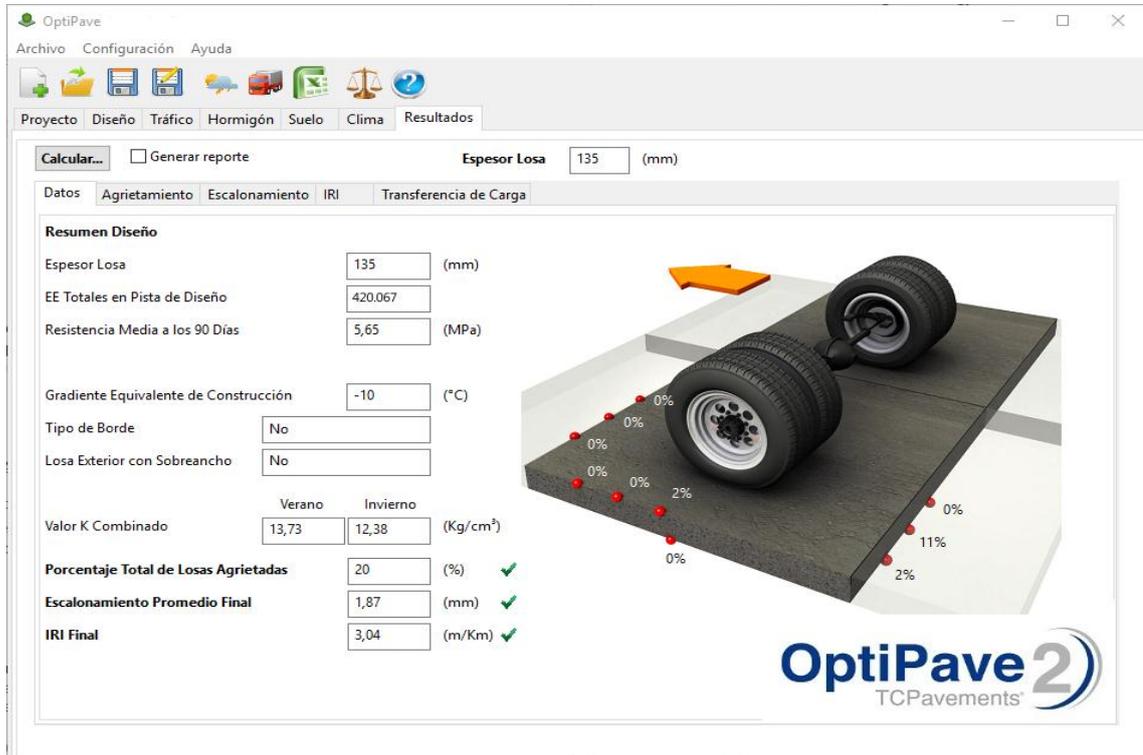


Imagen 13: Ventana donde se muestran los resultados del diseño en el software, de acuerdo a las variables y parámetros de diseño del proyecto.

ANEXO 5: ANÁLISIS POR FATIGA DE PAVIMENTO TCP y AASHTO93, SOFTWARE EVERFE 2.25

1. Análisis por fatiga, pavimento TCP

1.1 Ingreso de datos de diseño

➤ Geometría de pavimento

Al iniciar el programa *EverFE 2.25*, lo primero que se realizó es ingresar los datos de la geometría de la losa obtenidas del diseño.

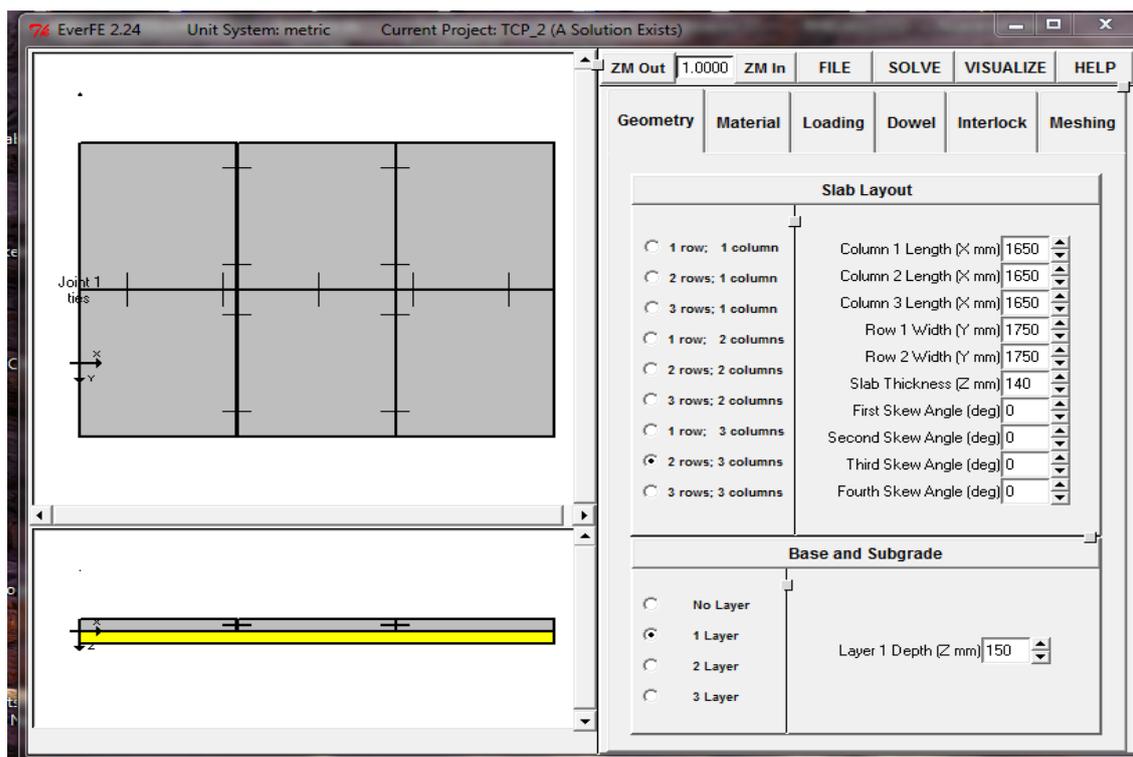


Imagen 14: Datos ingresado de las características geométricas de la losa.

➤ Características de los materiales

Se ingresaron las características de los materiales tanto de la base, como de la losa de concreto.

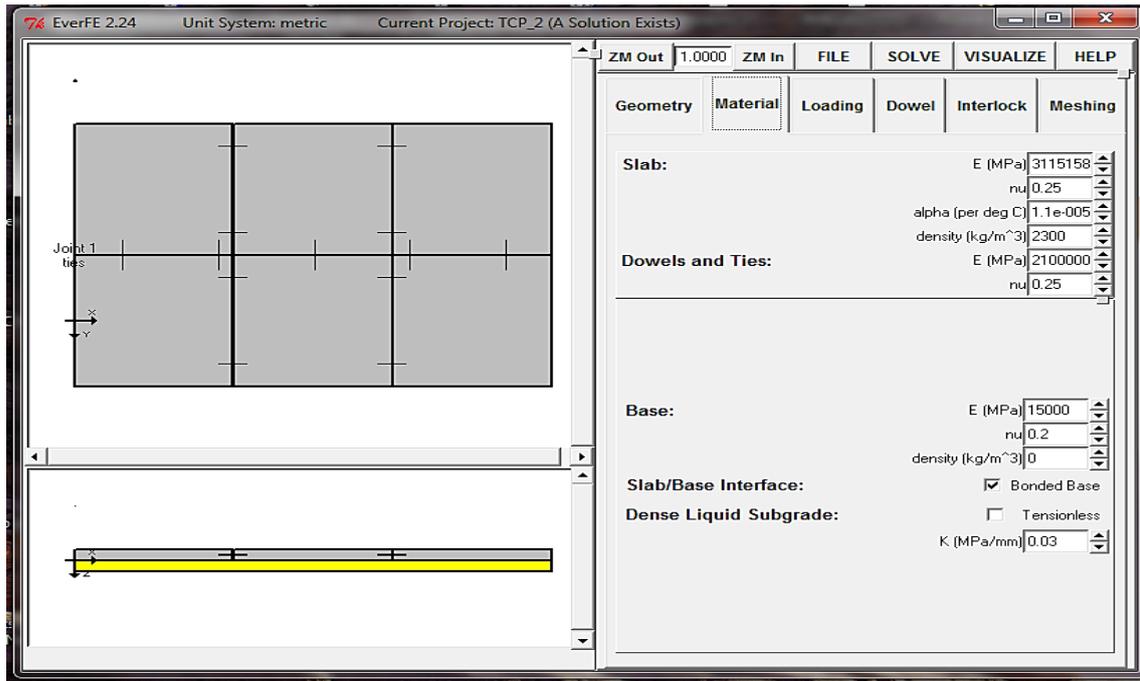


Imagen 15: Datos ingresados de las características de los materiales usado en el diseño.

1.2 Resultados de análisis, en el centro de las losas

1.2.1 Posición de la carga (Centro de las losas)

Se introdujo la carga para del eje equivalente posterior de un camion tipo C2 en el centro de las losas .

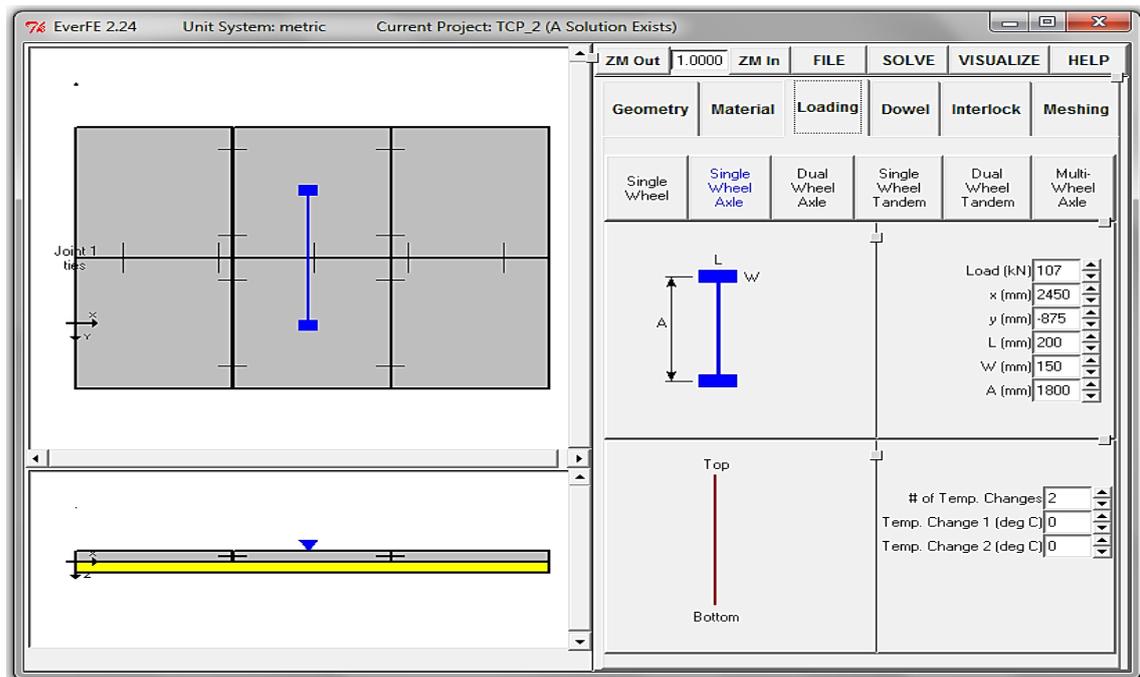


Imagen 16: Datos ingresados de las características y posición de carga vehicular.

1.2.2 Deformación de losas

Muestra un modelo de deformación en el pavimento TCP, cuando la carga vehicular se encuentra en el centro de las losas.

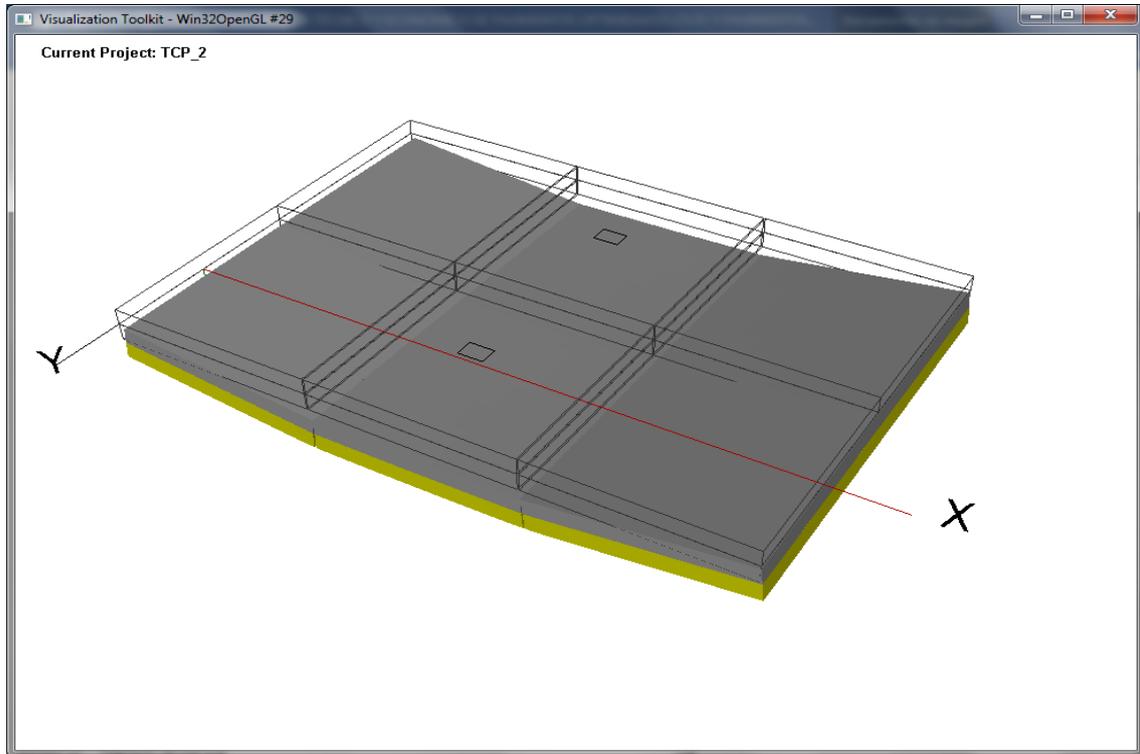


Imagen 17: Deformación del pavimento TCP debido a la carga vehicular en el centro de la losa, plano X-Y.

1.2.3 Tensiones máximas

Se presenta el resultado del modelo de elementos finitos EverFE 2.25, la cual muestra resultados de tensiones en la losa, las áreas de color rojo representan la tensión máxima.

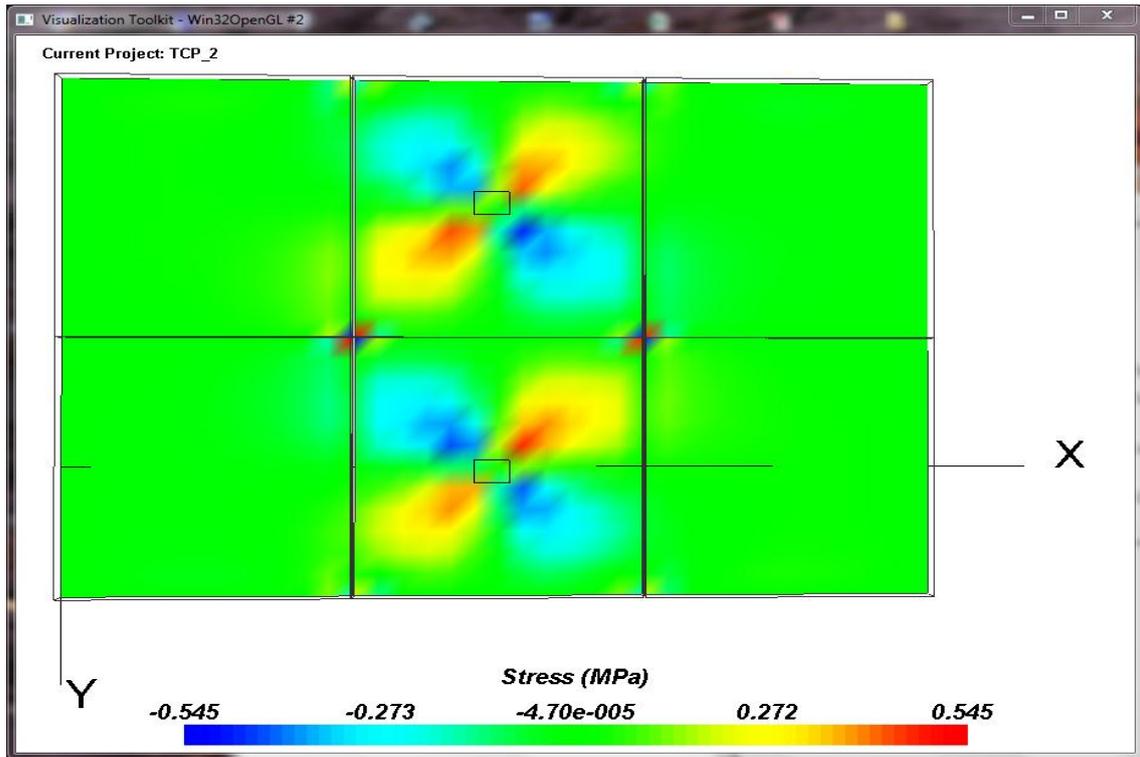


Imagen 18: Resultados tensiones en el plano X-Y, carga en el centro de las losas.

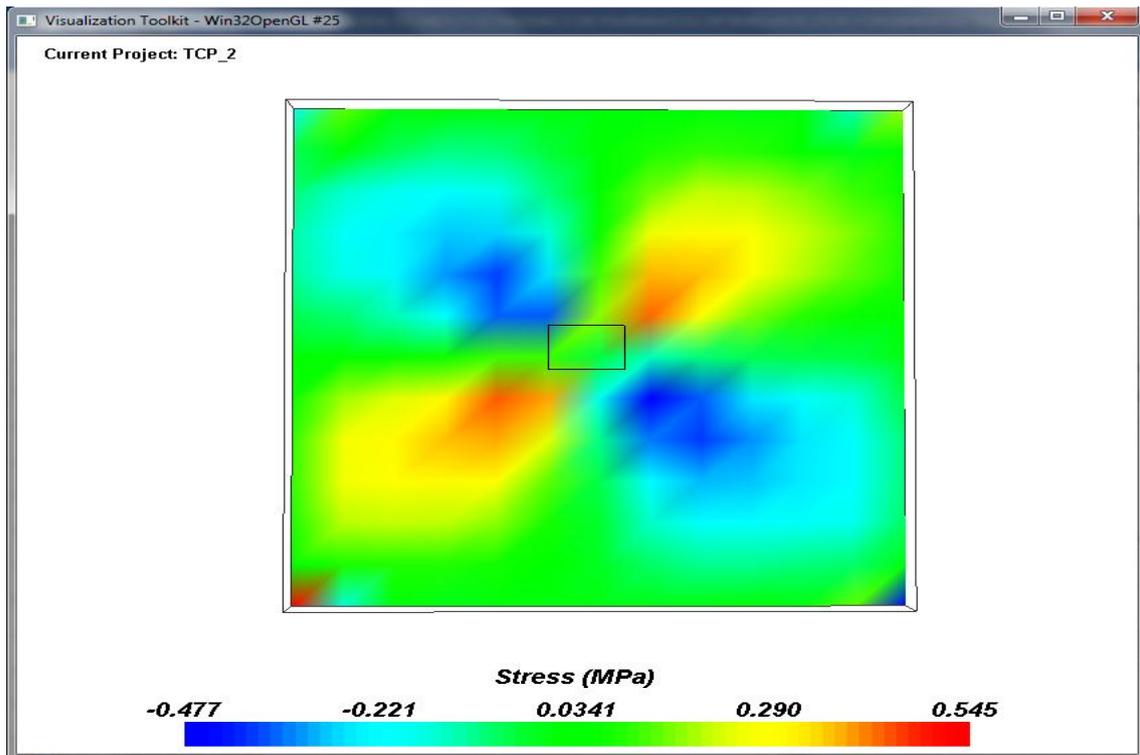


Imagen 19: Tensiones en el paño más esforzado en el plano X-Y, carga en el centro de las losas.

1.3 Resultados de análisis en el costado de las losas

1.3.1 Posición de la carga (Costado de las losas)

Se introdujo la carga para el eje equivalente posterior de un camión tipo C2, en el costado de las losas.

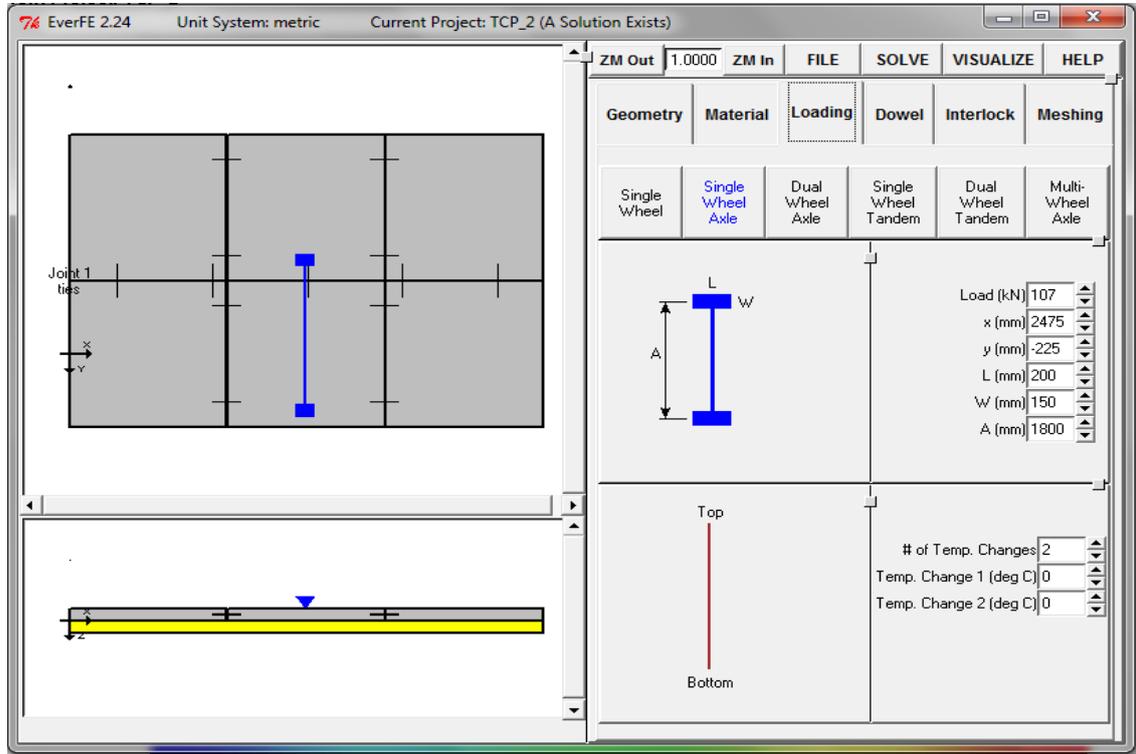


Imagen 20: Datos ingresados de las características y posición de carga.

1.3.2 Deformación de losas

Muestra un modelo de deformación en el pavimento TCP cuando la carga vehicular se encuentra en el costado de las losas.

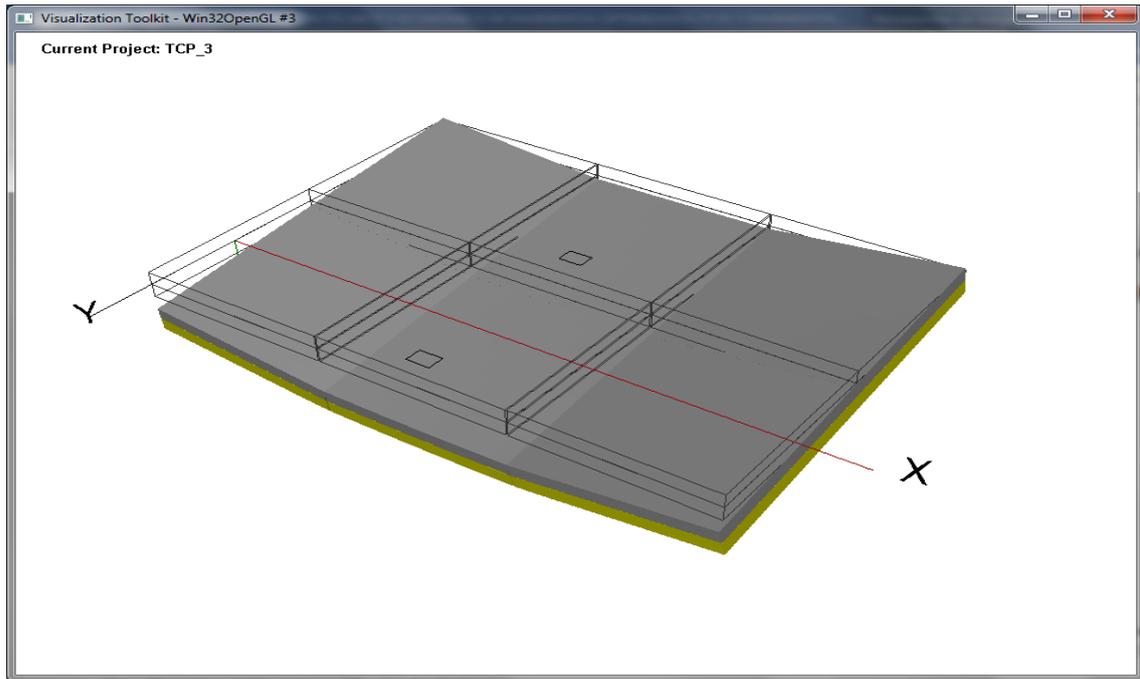


Imagen 21: Deformación del pavimento TCP debido a la carga vehicular en el costado de la losa, plano X-Y.

1.3.3 Tensiones máximas

Se presenta el resultado del modelo de elementos finitos EverFE 2.25, la cual muestra resultados de tensiones en la losa, expuesta a cargas en el costado de las losas, el área de color rojo representa la tensión máxima.

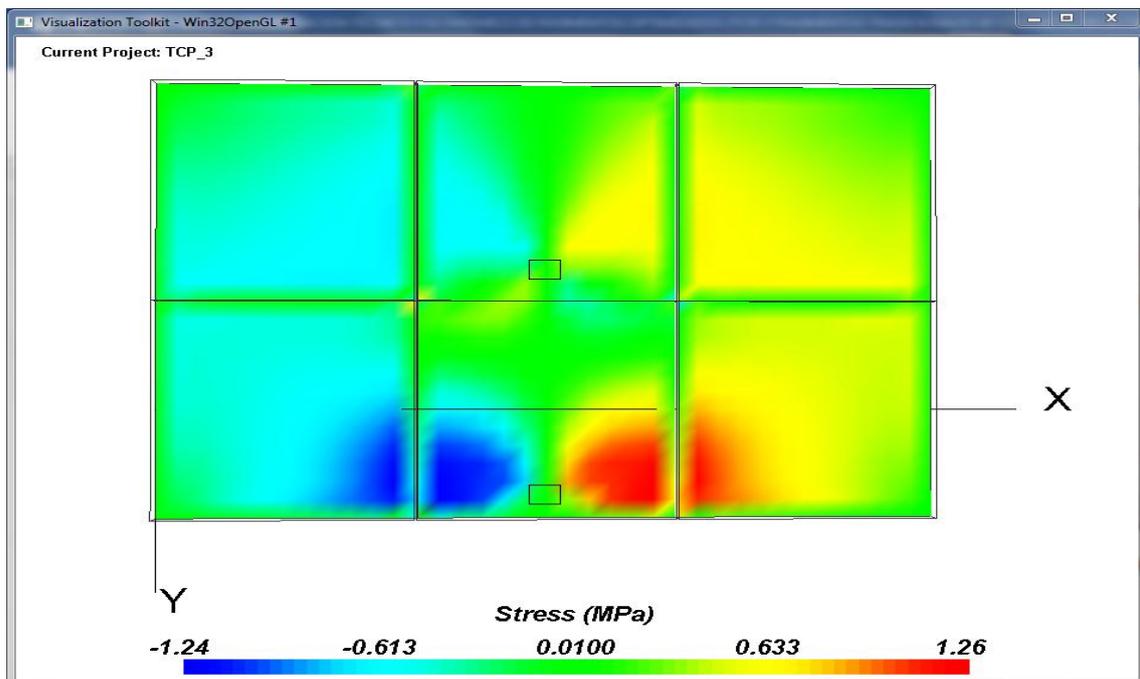


Imagen 22: Resultados tensiones en el plano X-Y, carga al costado de la losa.

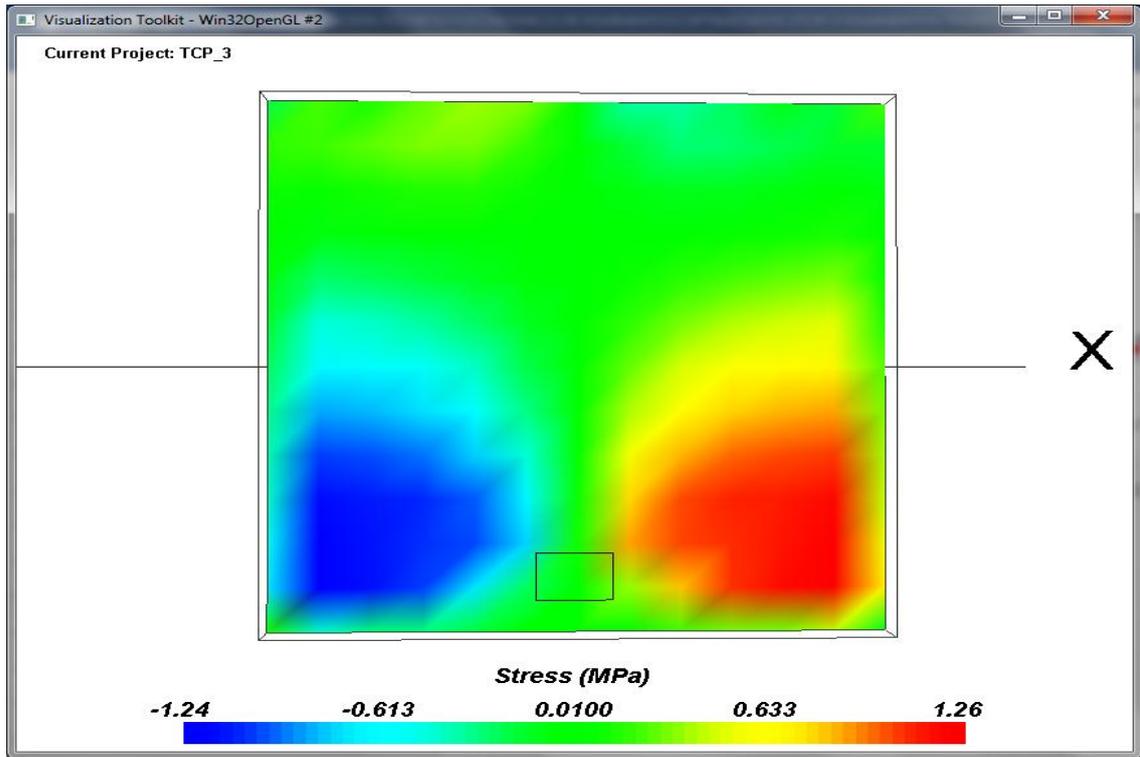


Imagen 23: Tensiones en el paño más esforzado en el plano X-Y, carga al costado de la losa.

1.4 Resultados de análisis en la esquina de las losas

1.4.1 Posición de la carga (Esquina de las losas)

Se introdujo la carga para el eje equivalente posterior de un camión tipo C2, en la esquina de las losas.

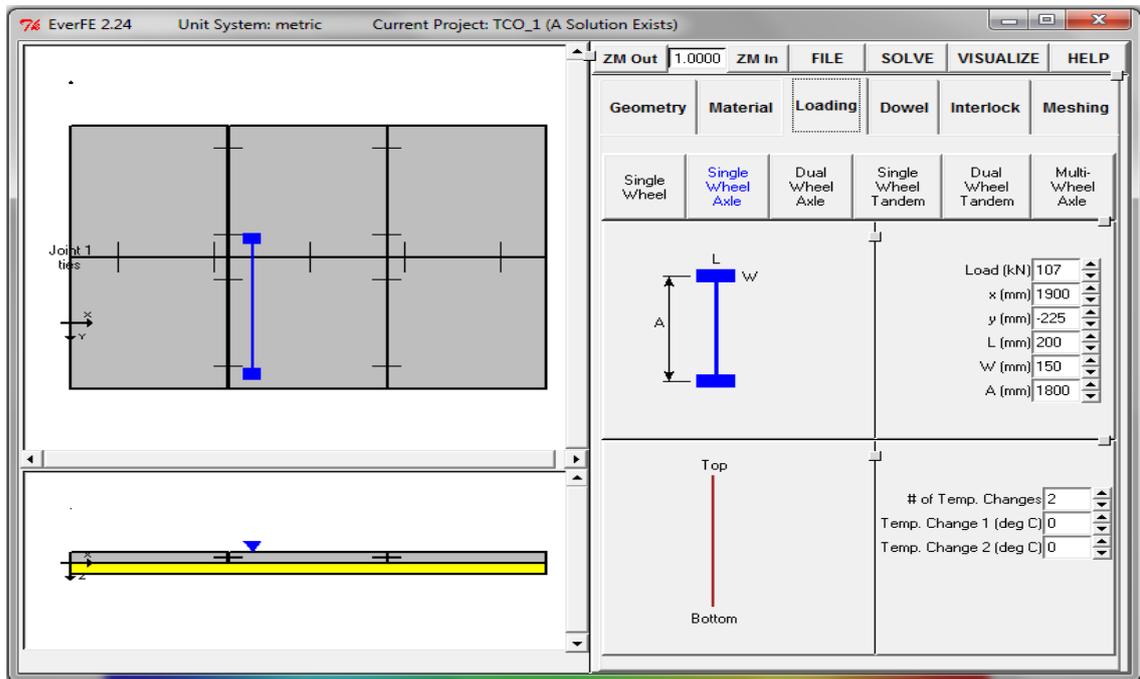


Imagen 24: Datos ingresados de las características y posición de carga.

1.4.2 Deformación de losas

Muestra un modelo de deformación en el pavimento TCP cuando la carga vehicular se encuentra en la esquina de las losas.

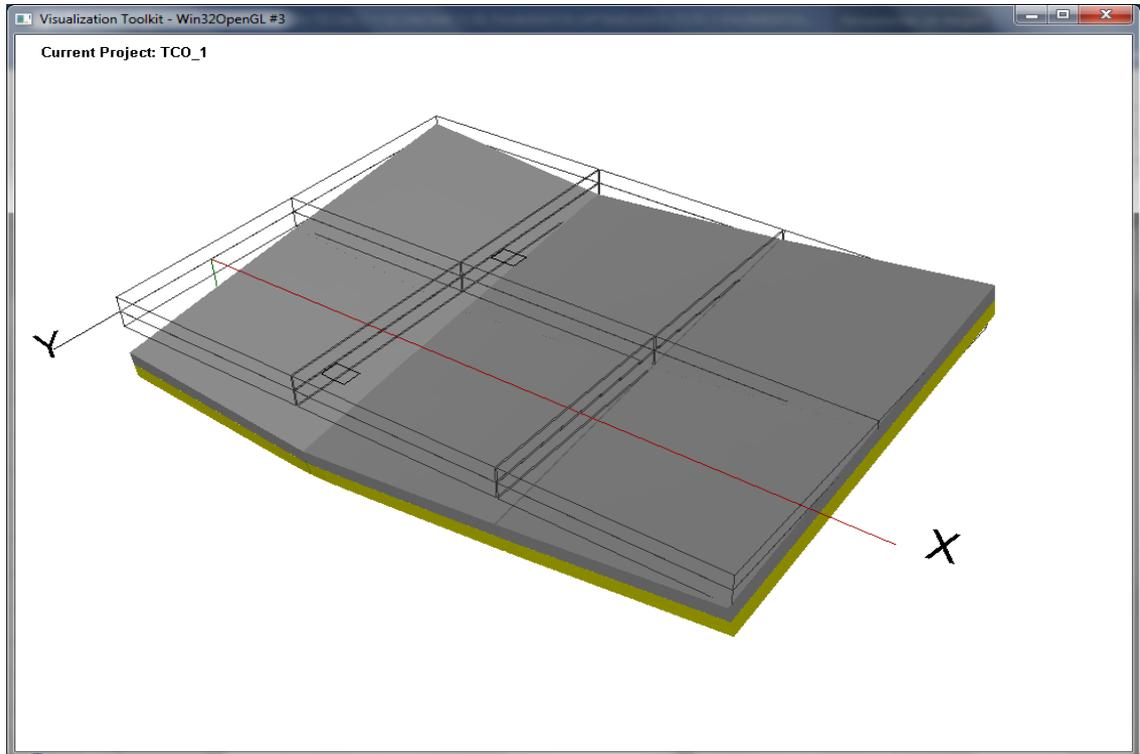


Imagen 25: Deformación del pavimento TCP debido a la carga vehicular en la esquina de la losa, plano X-Y.

1.4.3 Tensiones máximas

Se presenta el resultado del modelo de elementos finitos EverFE 2.25, la cual muestra resultados de tensiones en la losa, cuando la carga se encuentra ubicada en una esquina de las losas, el área de color rojo representa la tensión máxima.

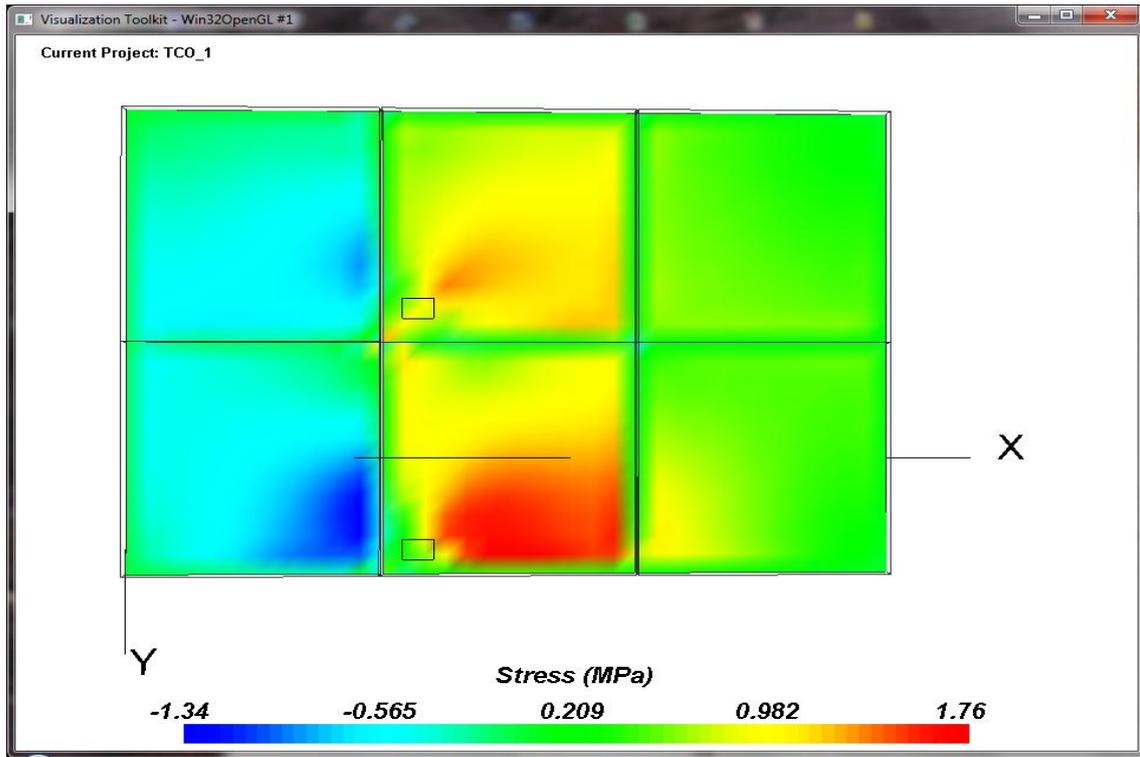


Imagen 26: Resultados tensiones en el plano X-Y, carga en la esquina de las losas.

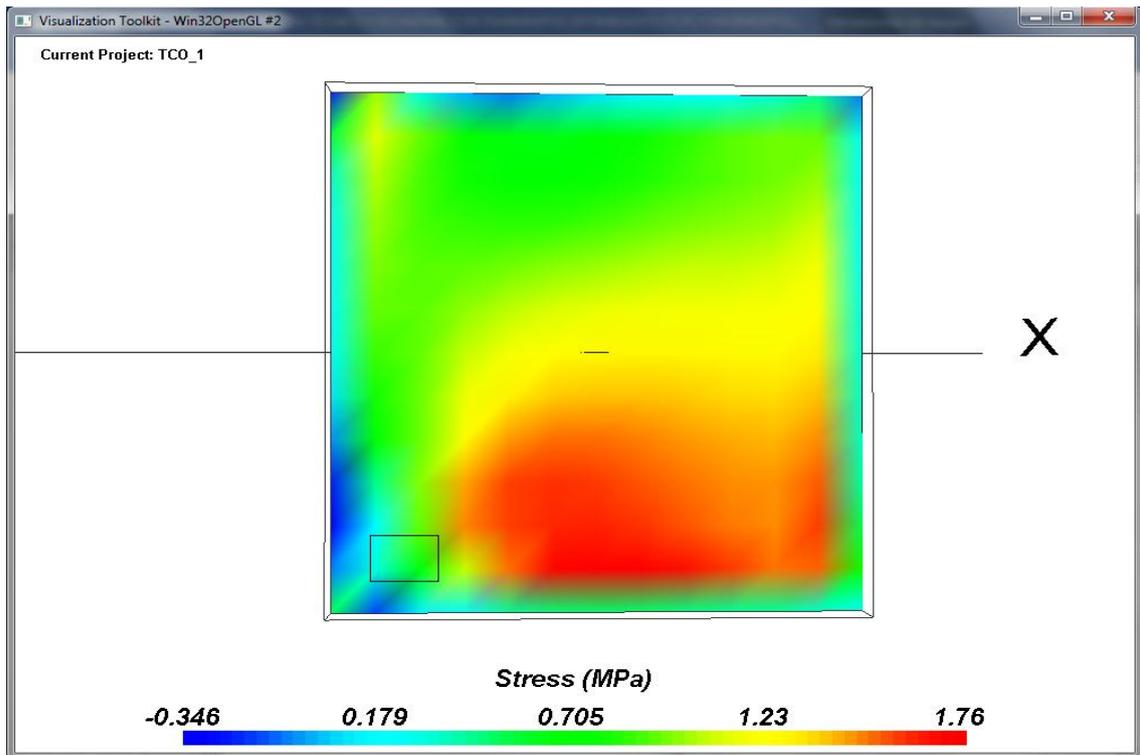


Imagen 27: Tensiones en el paño más esforzado en el plano X-Y, carga en la esquina de las losas.

2. Análisis por fatiga, pavimento AASHTO93

2.1 Ingreso de datos de diseño

➤ Geometría de pavimento

Al iniciar el programa *EverFE 2.25*, lo primero que se realizó es ingresar los datos de la geometría de la losa obtenidas del diseño.

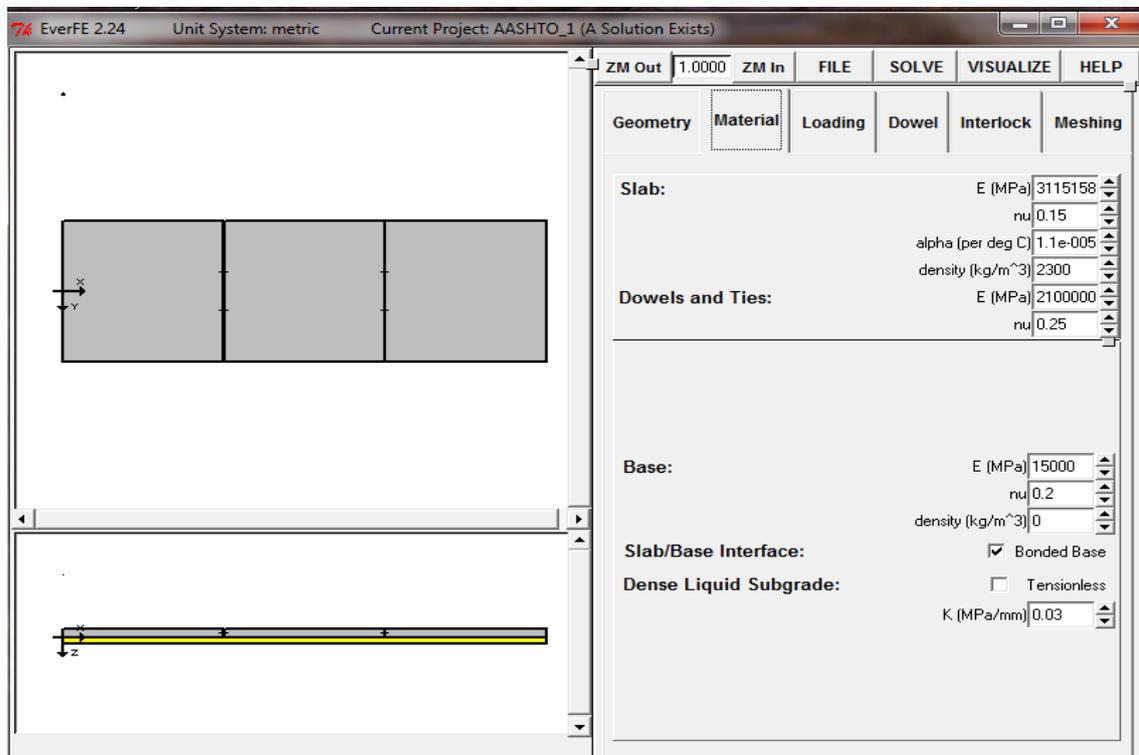


Imagen 28: Datos ingresado de las características geométricas de la losa.

➤ Características de los materiales

Se ingresaron las características de los materiales tanto de la base, como de la losa de concreto.

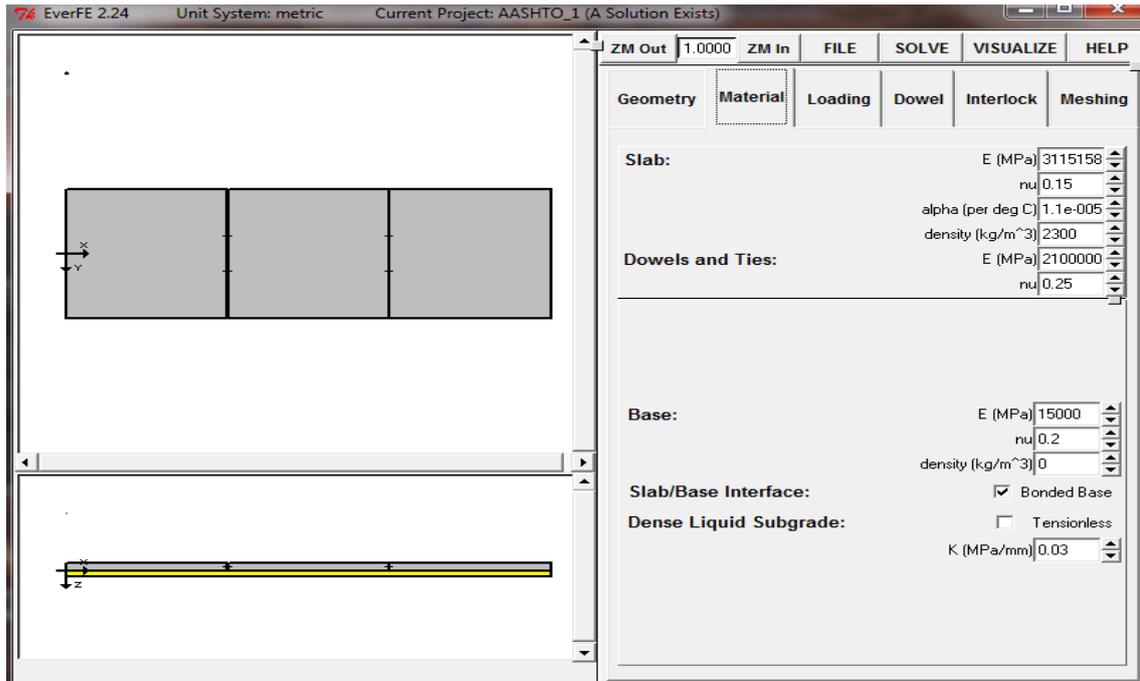


Imagen 29: Datos ingresados de las características de los materiales usado en el diseño.

2.2 Resultados de análisis en el centro de las losas

2.2.1 Posición de la carga (Centro de las losas)

Se introdujo la carga para el eje equivalente posterior de un camion tipo C2, en el centro de las losas.

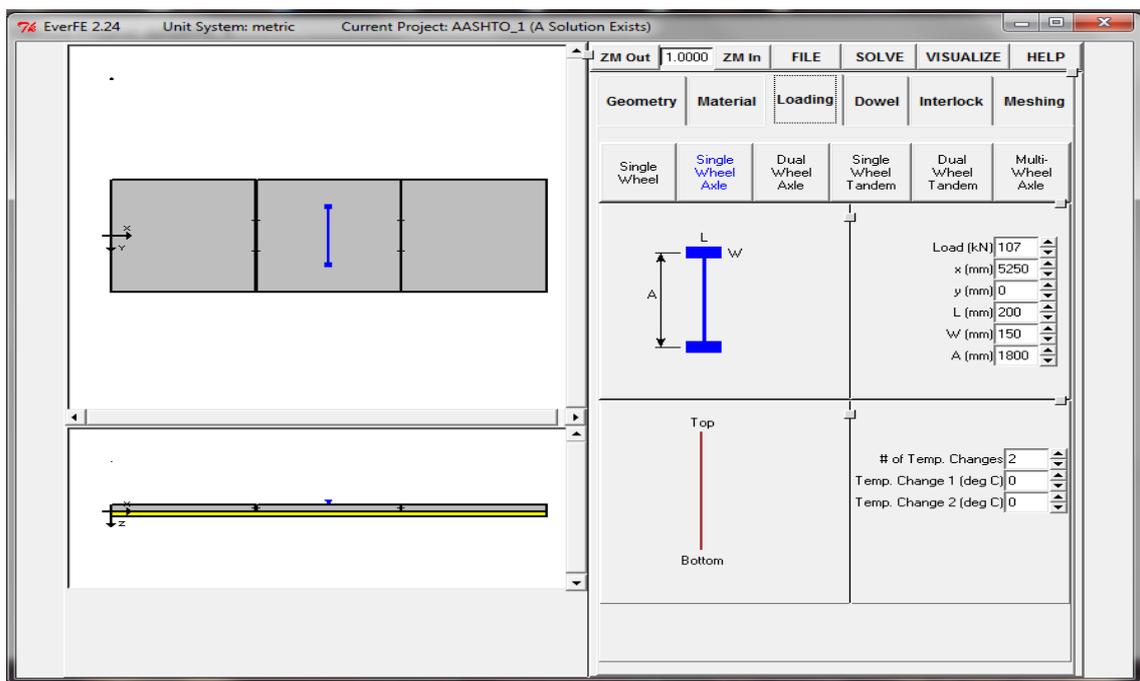


Imagen 30: Datos ingresados de las características y posición de carga vehicular.

2.2.2 Deformación de losas

Muestra un modelo de deformación en el pavimento AASHTO93, cuando la carga vehicular se encuentra en el centro de las losas.

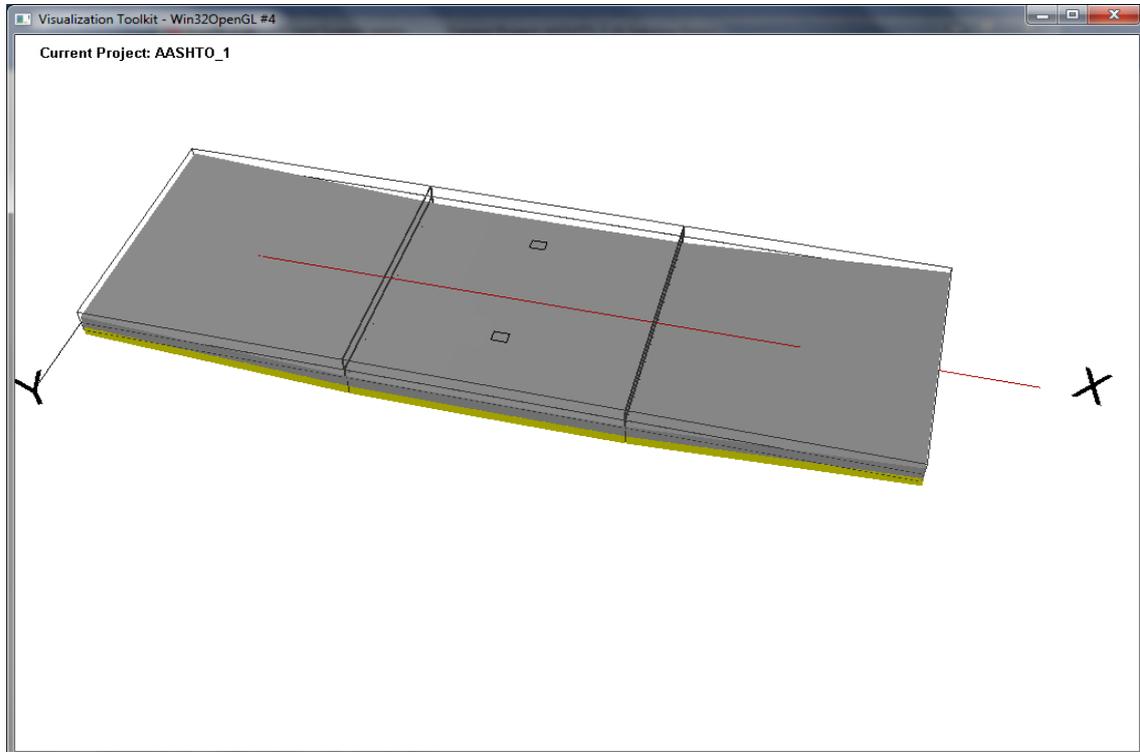


Imagen 31: Deformación del pavimento AASHTO, debido a la carga vehicular en el centro de la losa, plano X-Y.

➤ Tensiones máximas

Se presenta el resultado del modelo de elementos finitos EverFE 2.25, la cual muestra resultados de tensiones en la losa, cuando la carga vehicular se encuentra ubicada en el centro de la losa; el área de color rojo representa la tensión máxima.

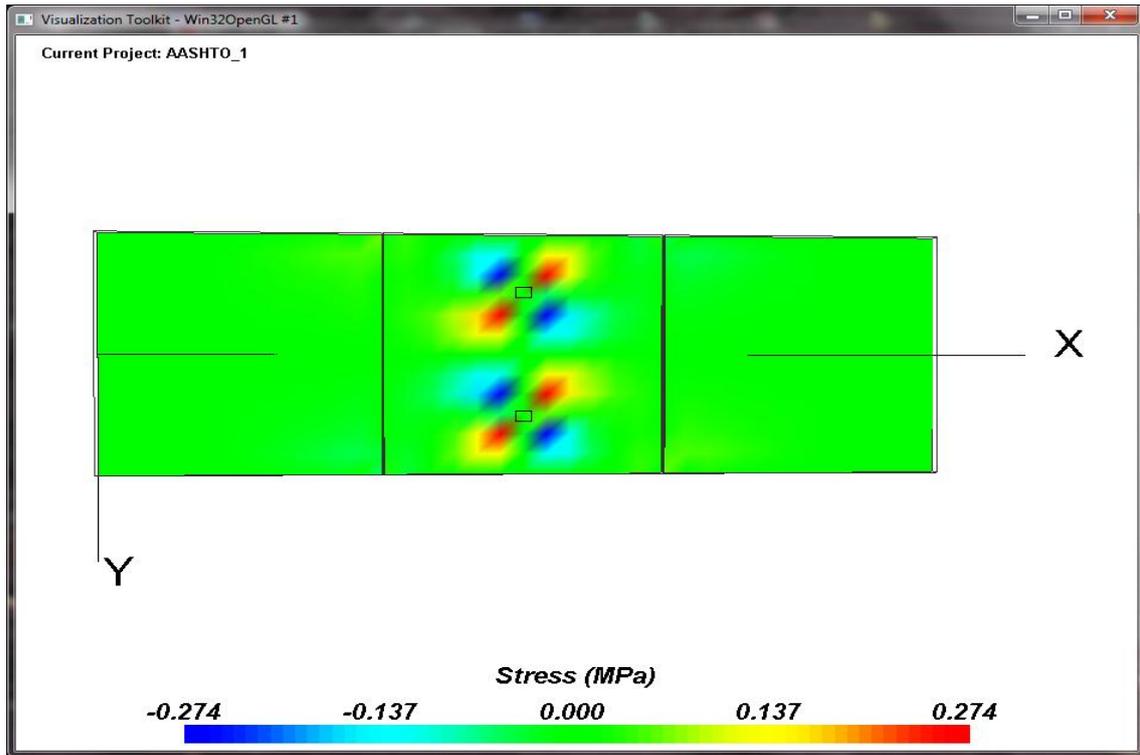


Imagen 32: Resultados tensiones en el plano X-Y, carga en el centro de la losa.

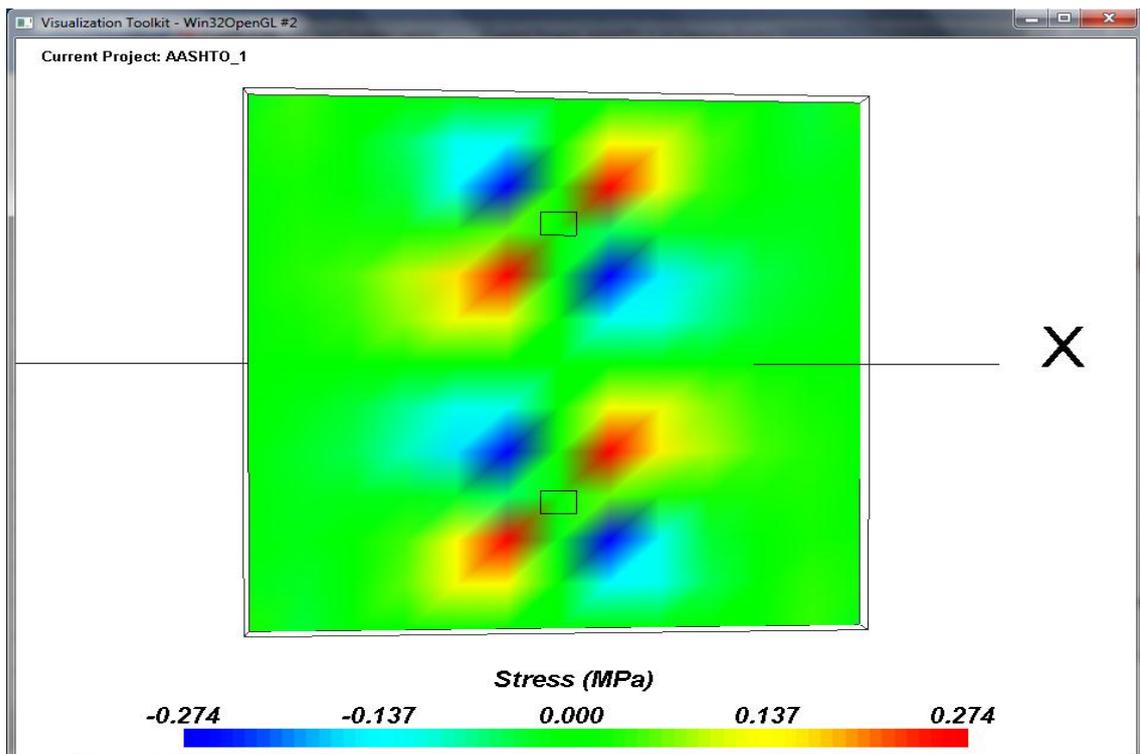


Imagen 33: Tensiones en el paño más esforzado en el plano X-Y, carga en el centro de la losa.

2.3 Resultados de análisis en el costado de la losa

2.3.1 Posición de carga (Costado de la losa)

Se introdujo la carga para el eje equivalente posterior de un camión tipo C2, ubicado en el costado de la losa.

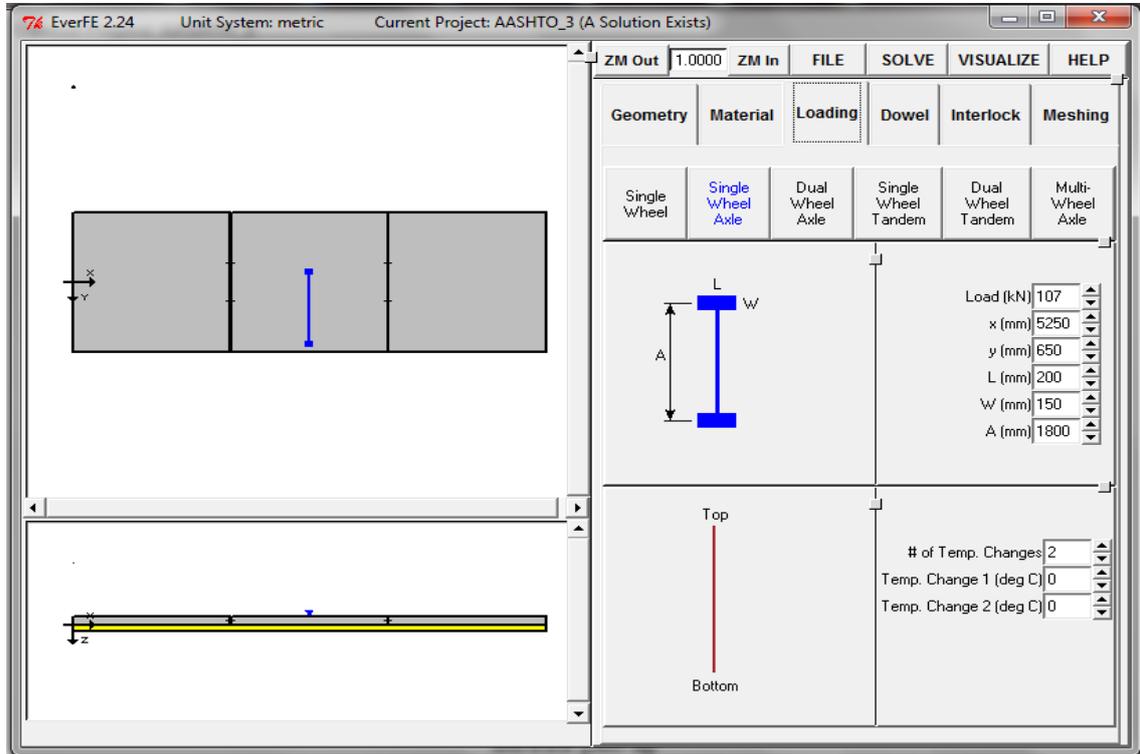


Imagen 34: Datos ingresados de las características y posición de carga.

2.3.2 Deformación de losa

Muestra un modelo de deformación en el pavimento AASHTO93, cuando la carga vehicular se encuentra posicionada al costado de la losa.

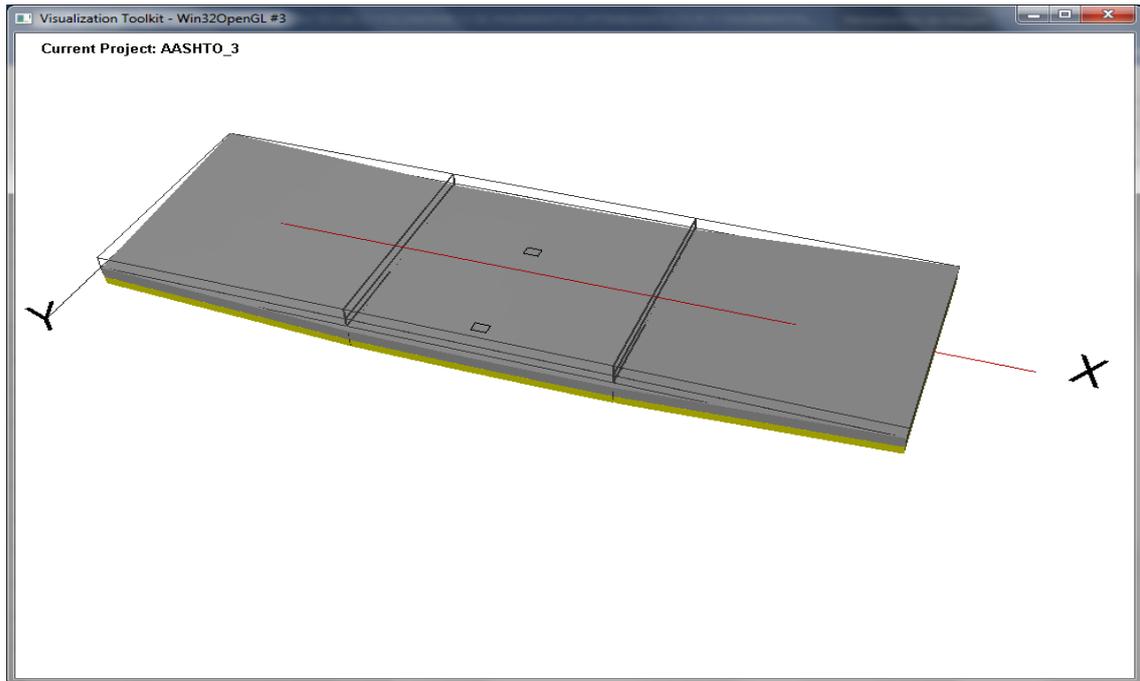


Imagen 35: Deformación del pavimento AASHTO, debido a la carga vehicular en el costado de la losa, plano X-Y.

➤ **Tensiones máximas**

Se presenta el resultado del modelo de elementos finitos EverFE 2.25, la cual muestra resultados de tensiones en la losa, cuando la carga se encuentra posicionada al costado de la losa; el área de color rojo representa la tensión máxima.

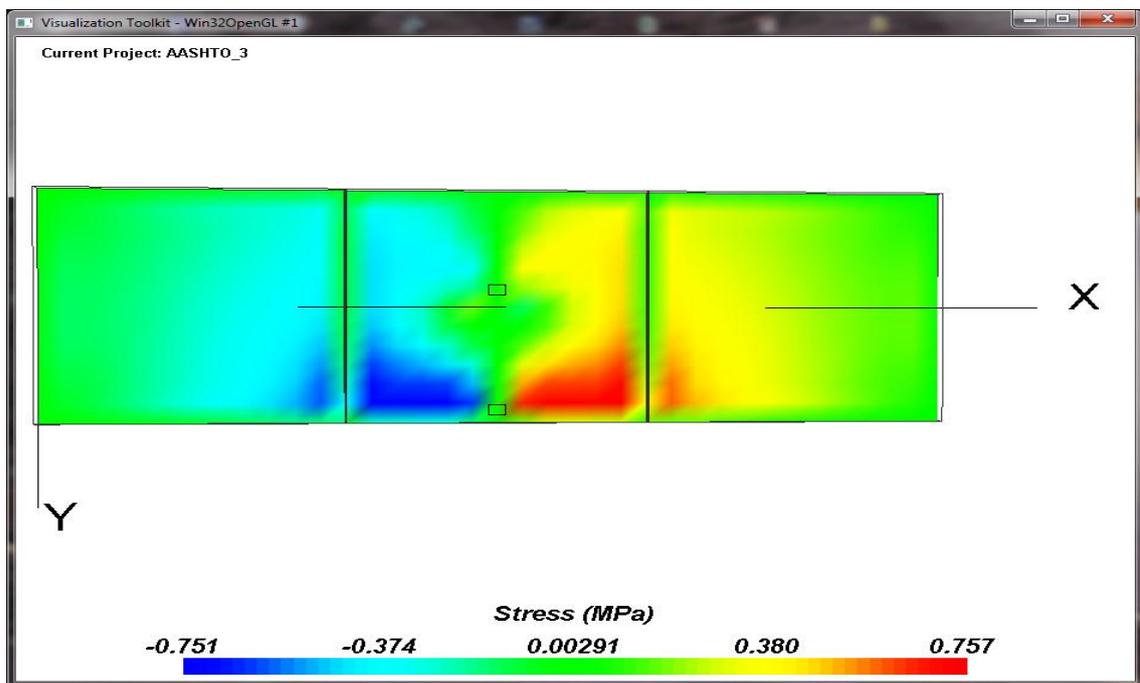


Imagen 36: Resultados tensiones en el plano X-Y, carga ubicada al costado de la losa.

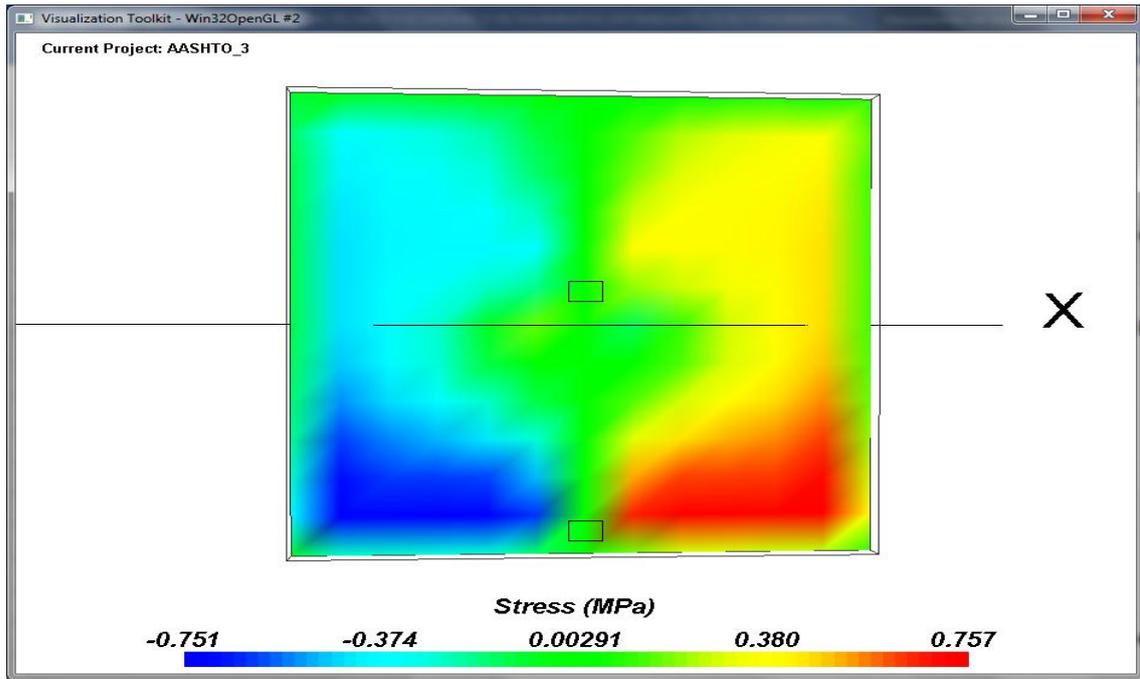


Imagen 37: Tensiones en el paño más esforzado en el plano X-Y, carga ubicada al costado de la losa.

2.4 Resultados de análisis en la esquina de la losa

2.4.1 Posición de carga (Esquina de la losa)

Se introdujo la carga del eje equivalente posterior de un camion tipo C2, posicionada en la esquina de la losa.

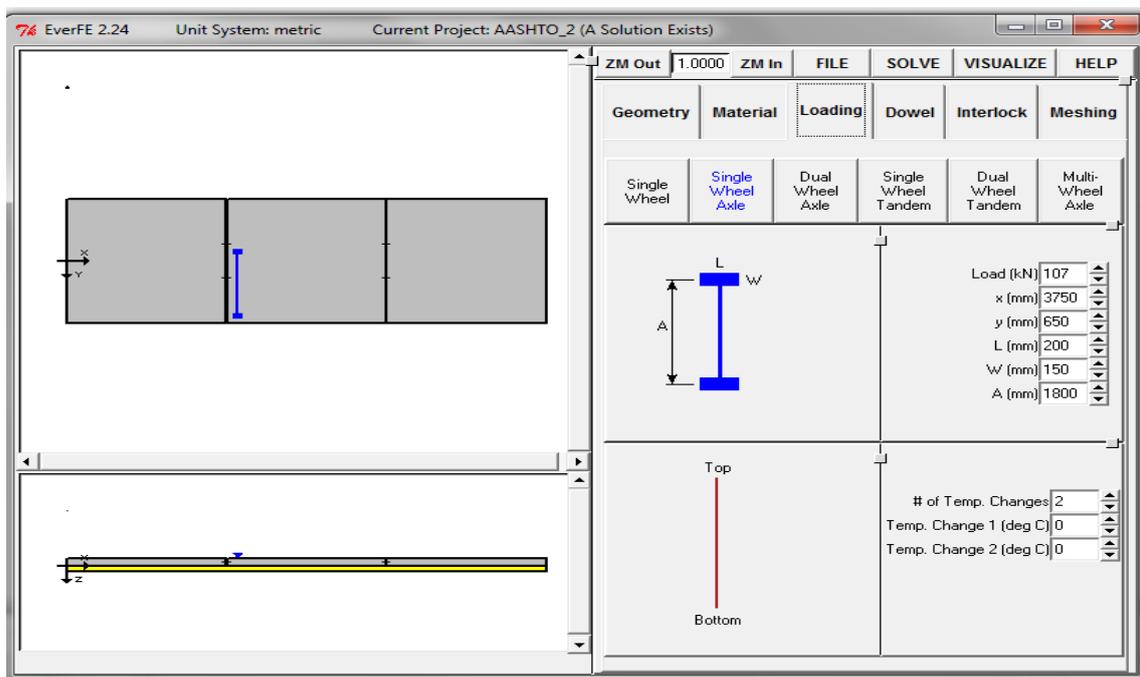


Imagen 38: Datos ingresados de las características y posición de carga.

2.4.2 Deformación de losas

Muestra un modelo de deformación en el pavimento AASHTO93, cuando la carga vehicular se encuentra en la esquina de la losa.

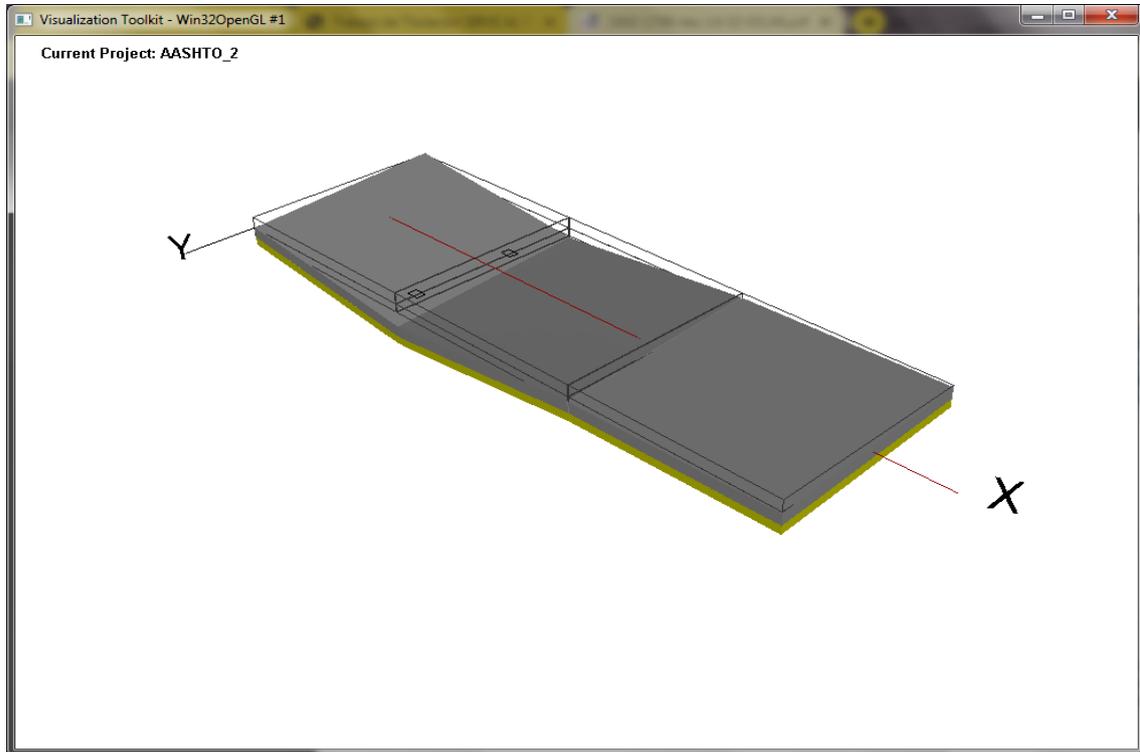


Imagen 39: Deformación del pavimento AASHTO, debido a la carga vehicular en la esquina de la losa, plano X-Y.

2.4.3 Tensiones máximas

Se presenta el resultado del modelo de elementos finitos EverFE 2.25, la cual muestra resultados de tensiones en la losa, cuando la carga se encuentra posicionada en la esquina de la losa; el área de color rojo representa la tensión máxima.

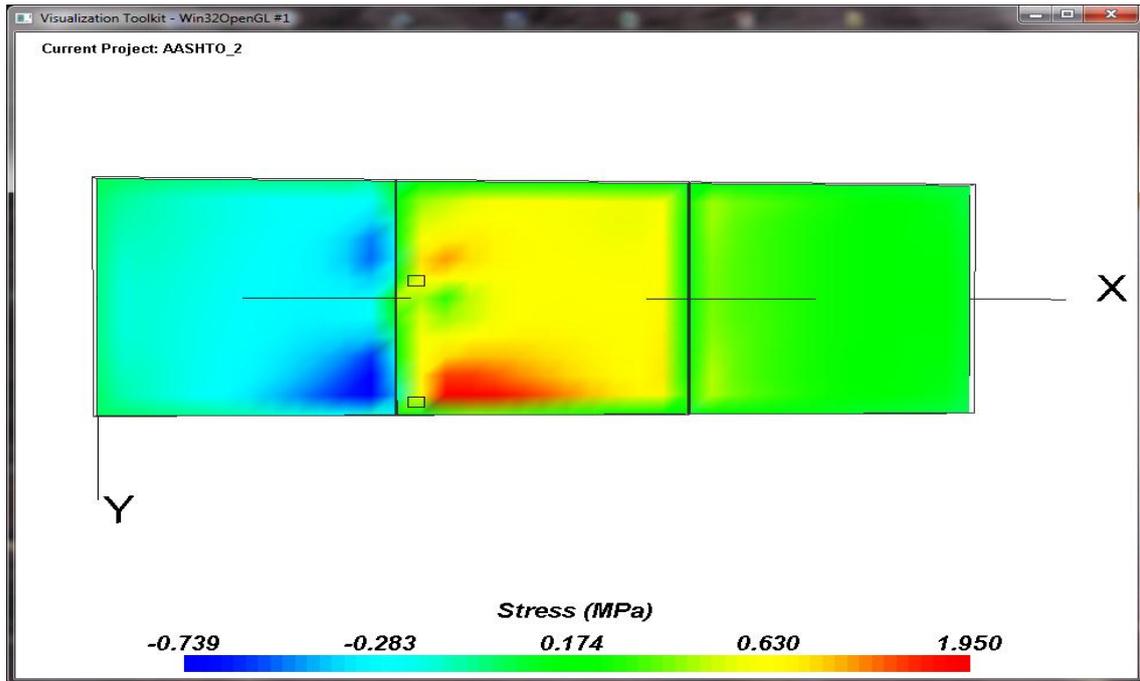


Imagen 40: Resultados tensiones en el plano X-Y, carga ubicada en la esquina de la losa.

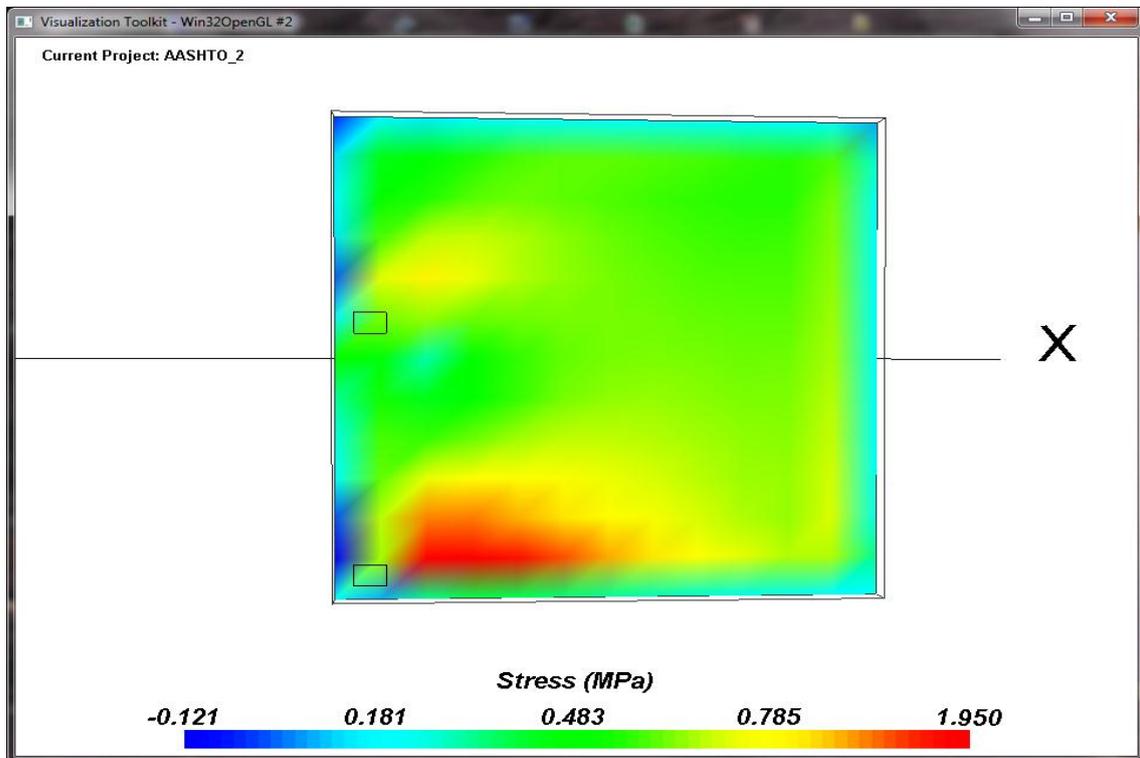


Imagen 41: Tensiones en el paño más esforzado en el plano X-Y, carga ubicada en la esquina de la losa.

ANEXO 6: PRESUPUESTO GENERAL S10

a) Diseño de Pavimento por Método AASHTO93

S10
UNJ

Página 1

Presupuesto

Presupuesto 0403003 TESIS: "COMPARACIÓN TÉCNICO Y ECONÓMICO DE PAVIMENTOS OPTIMIZADOS (TCP) Y PAVIMENTOS RÍGIDOS (AASHTO 93), DE ACUERDO CON LAS CONDICIONES LOCALES DE JAÉN"
 Cliente UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN Costo al 14/09/2019
 Lugar CAJAMARCA - JAEN - JAEN

Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.
1	PAVIMENTOS AASHTO				162.91
1.01	TRABAJOS PRELIMINARES				1.61
1.01.001	TRAZON, NIVELACION Y REPLANTEO PRELIMINAR	m2	1.00	1.51	1.51
1.02	MOVIMIENTO DE TIERRAS				16.90
1.02.001	CORTE A NIVEL DE SUBRASANTE CON MAQUINARIA	m3	0.20	4.03	0.81
1.02.002	PERFILADO Y COMPACTACION SUB-RASANTES ZONAS CORTE	m2	1.00	3.56	3.56
1.02.003	BASE MATERIAL GRANULAR(AFIRMADO) E=20 cm	m3	0.15	59.02	8.85
1.02.004	ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE DM=10 km	m3	0.25	14.71	3.68
1.03	LOSA DE CONCRETO (PAVIMENTO RIGIDO)				144.60
1.03.001	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO PARA PAVIMENTO RIGIDO	m2	1.00	47.24	47.24
1.03.002	CONCRETO f'c=210 kg/cm2 ,LOSA DE RODADURA	m3	0.21	389.84	81.87
1.03.003	CURADO DE CONCRETO CON ADITIVO	m2	1.00	1.83	1.83
1.03.004	JUNTAS DE CONSTRUCCION Y/O DILATACION	m	1.20	11.30	13.56
	COSTO DIRECTO				162.91

Fecha : 14/09/2019 11:02:27a.m.

Análisis de precios unitarios

Presupuesto 0403003 TESIS: "COMPARACIÓN TÉCNICO Y ECONÓMICO DE PAVIMENTOS OPTIMIZADOS (TCP) Y PAVIMENTOS RÍGIDOS (AASHTO 93)

Partida	1.01.001	(900602090106-0403003-01)	TRAZO Y REPLANTEO INICAL	Costo unitario directo por:			m2	1.51
Código	Descripción Recurso		Unidad	Cantidad	Precio \$/	Parcial \$/		
Mano de Obra								
0147010004	PEON		hh	0.0320	15.82	0.51		
0147010005	TOPOGRAFO		hh	0.0160	27.40	0.44		
0.96								
Materiales								
0202010024	CLAVOS PARA MADERA CON CABEZA 1", 1 1/2", 2", 2 1/2", 3"		kg	0.0050	3.90	0.02		
0229060006	YESO BOLSA 10 kg		bis	0.0250	2.50	0.06		
0243040000	MADERA TORNILLO		p2	0.0264	5.50	0.15		
0254190003	PINTURA ESMALTE		gal	0.0020	42.00	0.08		
0.31								
Equipos								
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES		%MO		0.03	0.03		
0337540016	MIRAS		d	0.0020	10.00	0.02		
0349190005	NIVEL TOPOGRAFICO		d	0.0020	50.00	0.10		
0349880018	TEODOLITO		d	0.0020	50.00	0.10		
0.26								
Partida	1.02.001	(909701020166-0403003-01)	CORTE A NIVEL DE SUBRASANTE CON MAQUINARIA (INCLUYE CUNETAS)	Costo unitario directo por:			m3	4.03
Código	Descripción Recurso		Unidad	Cantidad	Precio \$/	Parcial \$/		
Mano de Obra								
0147010004	PEON		hh	0.0267	15.82	0.42		
0.42								
Equipos								
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES		%MO		0.02	0.02		
0349040034	TRACTOR DE ORUGAS DE 190-240 HP		hm	0.0133	270.00	3.59		
3.61								
Partida	1.02.002	(900604011011-0403003-01)	PERFILADO Y COMPACTACION SUB-RASANTES ZONAS CORTE	Costo unitario directo por:			m2	3.56
Código	Descripción Recurso		Unidad	Cantidad	Precio \$/	Parcial \$/		
Mano de Obra								
0147010004	PEON		hh	0.0133	15.82	0.21		
0.21								
Materiales								
0239050000	AGUA		m3	0.0125	5.00	0.06		
0.06								
Equipos								
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES		%MO		0.01	0.01		
0348110005	CAMION CISTERNA 4X2(AGUA) 122HP 2000GL		hm	0.0067	120.00	0.80		
0349030013	RODILLO LISO VIBRATORIO AUTOPROPULSADO 70-100 HP 7-9 ton		hm	0.0067	190.00	1.27		
0349090003	MOTONIVELADORA DE 130-135 HP		hm	0.0067	180.00	1.21		
3.29								

Fecha: 14/09/2019 11:03:01a.m.

Análisis de precios unitarios

Presupuesto 0403003 TESIS: "COMPARACIÓN TÉCNICO Y ECONÓMICO DE PAVIMENTOS OPTIMIZADOS (TCP) Y PAVIMENTOS RÍGIDOS (AASHTO 93)

Partida	1.02.003	(901102020104-0403003-01)	BASE RELLENO CON MATERIAL DE AFIRMADO	Costo unitario directo por:		m3	59.02
Código	Descripción Recurso			Unidad	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.
Mano de Obra							
0147010002	OPERARIO			hh	0.0033	21.91	0.07
0147010004	PEON			hh	0.0333	15.82	0.53
0.60							
Materiales							
0205000039	MATERIAL GRANULAR			m3	1.2000	35.00	42.00
0239050000	AGUA			m3	0.0200	5.00	0.10
42.10							
Equipos							
0348110005	CAMION CISTERNA 4X2(AGUA) 122HP 2000GL			hm	0.0333	120.00	4.00
0349030013	RODILLO LISO VIBRATORIO AUTOPROPULSADO 70-100 HP 7-9 Ton			hm	0.0333	190.00	6.33
0349090003	MOTONIVELADORA DE 130-135 HP			hm	0.0333	180.00	5.99
16.32							

Partida	1.02.004	(901101010365-0403003-01)	ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE DM=10 km	Costo unitario directo por:		m3	14.71
Código	Descripción Recurso			Unidad	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.
Mano de Obra							
0147010002	OPERARIO			hh	0.0021	21.91	0.05
0147010004	PEON			hh	0.0211	15.82	0.33
0.38							
Equipos							
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES			%MO		0.01	0.01
0348110004	CAMION VOLQUETE DE 10 m3			hm	0.0842	120.00	10.10
0349040091	CARGADOR FRONTAL			hm	0.0211	200.00	4.22
14.33							

Partida	1.03.001	(900306140203-0403003-01)	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	Costo unitario directo por:		m2	47.24
Código	Descripción Recurso			Unidad	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.
Mano de Obra							
0147010002	OPERARIO			hh	0.5000	21.91	10.96
0147010003	OFICIAL			hh	0.5000	17.55	8.78
0147010004	PEON			hh	0.2500	15.82	3.96
23.70							
Materiales							
0202000007	ALAMBRE NEGRO RECOCIDO # 16			kq	0.3000	4.70	1.41
0202010024	CLAVOS PARA MADERA CON CABEZA 1", 1 1/2", 2", 2 1/2", 3"			kq	0.1500	3.90	0.59
0243040000	MADERA TORNILLO			p2	3.7000	5.50	20.35
22.36							
Equipos							
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES			%MO		1.19	1.19
1.19							

Fecha: 14/09/2019 11:03:01a.m.

Análisis de precios unitarios

Presupuesto 0403003 TESIS: "COMPARACIÓN TÉCNICO Y ECONÓMICO DE PAVIMENTOS OPTIMIZADOS (TCP) Y PAVIMENTOS RÍGIDOS (AASHTO 93)

Partida	1.03.002	(900610010603-0403003-01)	CONCRETO f'c=210 kg/cm2	Costo unitario directo por:			m3	389.84
Código	Descripción Recurso		Unidad	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.		
Mano de Obra								
0147010002	OPERARIO		hh	0.8889	21.91	19.48		
0147010004	PEON		hh	4.4444	15.82	70.31		
89.79								
Materiales								
0205000004	PIEDRA CHANCADA DE 3/4"		m3	0.7200	45.00	32.40		
0205010004	ARENA GRUESA		m3	0.6200	40.00	24.80		
0221000094	CEMENTO PORTLAND TIPO I (42.5 kg)		bls	9.0200	24.80	223.70		
0239050000	AGUA		m3	0.1800	5.00	0.90		
281.80								
Equipos								
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES		%MO		2.69	2.69		
0348010088	MEZCLADORA DE CONCRETO 11 P3 (23 HP)		hm	0.4444	20.00	8.89		
0349070051	VIBRADOR DE CONCRETO 4 HP 1.25"		hm	0.4444	15.00	6.67		
18.25								

Partida	1.03.003	(901103010103-0403003-01)	CURADO DE CONCRETO	Costo unitario directo por:			m2	1.83
Código	Descripción Recurso		Unidad	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.		
Mano de Obra								
0147010004	PEON		hh	0.0229	15.82	0.36		
0.36								
Materiales								
0229010100	CURADOR PARA CONCRETO		gal	0.0560	26.00	1.46		
1.46								
Equipos								
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES		%MO		0.01	0.01		
0.01								

Partida	1.03.004	(901162010105-0403003-04)	JUNTA DE CONSTRUCCION	Costo unitario directo por:			m	11.30
Código	Descripción Recurso		Unidad	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.		
Mano de Obra								
0147010002	OPERARIO		hh	0.1333	21.91	2.92		
0147010004	PEON		hh	0.0667	15.82	1.06		
3.98								
Materiales								
0230700084	ESPUMA DE POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD 1"		m	1.0000	3.10	3.10		
0230990066	LJJA PARA FIERRO		u	0.1200	3.15	0.38		
0243040003	TECNOFOR DE 1"X4X8'		pl	0.0800	11.50	0.92		
0254450005	IMPRIMANTE PARA SELLANTE DE JUNTA		gal	0.0040	80.00	0.32		
0254610052	SELLADOR ELASTICO DE POLIURETANO		kg	0.0150	165.00	2.48		
7.20								
Equipos								
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES		%MO		0.12	0.12		
0.12								

Fecha : 14/09/2019 11:03:01a.m.

b) Diseño de Pavimento por Método TCP

S10

Página

1

Presupuesto

Presupuesto 0403003 "CONSTRUCCION DE PAVIMENTO Y VEREDA; EN EL (LA) CALLE UNION CDRA 04, 05, 06; CALLE REVOLUCION CDRA 03 Y PASAJE 28 DE JULIO, SECTOR MIRAFLORES DISTRITO DE JAÉN, PROVINCIA JAÉN, DEPARTAMENTO CAJAMARCA" CUI N°2440099.

Subpresupuesto 001 PAVIMENTO TCP

Cliente MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE LA CIUDAD DE JAEN

Lugar CAJAMARCA - JAEN - JAEN

Costo al 14/09/2019

Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio \$/.	Parcial \$/.
1	PAVIMENTOS TCP				138.41
1.01	TRABAJOS PRELIMINARES				1.51
1.01.001	TRAZON, NIVELACION Y REPLANTEO PRELIMINAR	m2	1.00	1.51	1.51
1.02	MOVIMIENTO DE TIERRAS				12.60
1.02.001	BASE RELLENO CON MATERIAL DE AFIRMADO	m3	0.15	59.02	8.85
1.02.002	CORTE A NIVEL DE SUBRASANTE CON MAQUINARIA	m3	0.15	4.03	0.60
1.02.003	PERFILADO Y COMPACTACION SUB-RASANTES ZONAS CORTE	m2	0.10	3.56	0.36
1.02.005	ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE DM=10 km	m3	0.19	14.71	2.79
1.03	LOSA DE CONCRETO (PAVIMENTO RIGIDO)				124.30
1.03.001	CORTE DE JUNTAS DE 2.00 mm	m	1.00	16.75	16.75
1.03.002	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO PARA PAVIMENTO RIGIDO	m2	1.00	47.24	47.24
1.03.003	CONCRETO f'c=210 kg/cm2 .LOSA DE RODADURA	m3	0.15	389.84	58.48
1.03.004	CURADO DE CONCRETO CON ADITIVO	m2	1.00	1.83	1.83
	COSTO DIRECTO				138.41

Fecha : 14/09/2019 10:59:45a.m

Análisis de precios unitarios

Presupuesto 0403003 TESIS: "COMPARACIÓN TÉCNICO Y ECONÓMICO DE PAVIMENTOS OPTIMIZADOS (TCP) Y PAVIMENTOS RÍGIDOS (AASHTO 93)
Subpresupuesto 001 PAVIMENTO TCP

Partida	1.01.001	(900602090106-0403003-01)	TRAZO Y REPLANTEO INICAL	Costo unitario directo por:			m2	1.51
Código	Descripción Recurso		Unidad	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.		
Mano de Obra								
0147010004	PEON		hh	0.0320	15.82	0.51		
0147010005	TOPOGRAFO		hh	0.0160	27.40	0.44		
0.96								
Materiales								
0202010024	CLAVOS PARA MADERA CON CABEZA 1", 1 1/2", 2", 2 1/2", 3"		kg	0.0050	3.90	0.02		
0229060006	YESO BOLSA 10 kg		bls	0.0250	2.50	0.06		
0243040000	MADERA TORNILLO		p2	0.0264	5.50	0.15		
0254190003	PINTURA ESMALTE		gal	0.0020	42.00	0.08		
0.31								
Equipos								
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES		%MO		0.03	0.03		
0337540016	MIRAS		d	0.0020	10.00	0.02		
0349190005	NIVEL TOPOGRAFICO		d	0.0020	50.00	0.10		
0349890018	TEODOLITO		d	0.0020	50.00	0.10		
0.26								

Partida	1.02.001	(901102020104-0403003-01)	BASE RELLENO CON MATERIAL DE AFIRMADO	Costo unitario directo por:			m3	59.02
Código	Descripción Recurso		Unidad	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.		
Mano de Obra								
0147010002	OPERARIO		hh	0.0033	21.91	0.07		
0147010004	PEON		hh	0.0333	15.82	0.53		
0.60								
Materiales								
0205000039	MATERIAL GRANULAR		m3	1.2000	35.00	42.00		
0239050000	AGUA		m3	0.0200	5.00	0.10		
42.10								
Equipos								
0348110005	CAMION CISTERNA 4X2(AGUA) 122HP 2000GL		hm	0.0333	120.00	4.00		
0349030013	RODILLO LISO VIBRATORIO AUTOPROPULSADO 70-100 HP 7-9 ton		hm	0.0333	190.00	6.33		
0349090003	MOTONIVELADORA DE 130-135 HP		hm	0.0333	180.00	5.99		
16.32								

Partida	1.02.002	(909701020166-0403003-01)	CORTE A NIVEL DE SUBRASANTE CON MAQUINARIA (INCLUYE CUNETAS)	Costo unitario directo por:			m3	4.03
Código	Descripción Recurso		Unidad	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.		
Mano de Obra								
0147010004	PEON		hh	0.0267	15.82	0.42		
0.42								
Equipos								
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES		%MO		0.02	0.02		
0349040034	TRACTOR DE ORUGAS DE 190-240 HP		hm	0.0133	270.00	3.59		
3.61								

Fecha : 14/09/2019 11:00:17a.m.

Análisis de precios unitarios

Presupuesto 0403003 TESIS: "COMPARACIÓN TÉCNICO Y ECONÓMICO DE PAVIMENTOS OPTIMIZADOS (TCP) Y PAVIMENTOS RÍGIDOS (AASHTO 93)
Subpresupuesto 001 PAVIMENTO TCP

Partida	1.02.003	(900604011011-0403003-01)	PERFILADO Y COMPACTACION SUB-RASANTES ZONAS CORTE	Costo unitario directo por:			m2	3.56
Código	Descripción Recurso			Unidad	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.	
Mano de Obra								
0147010004	PEON			hh	0.0133	15.82	0.21	
Materiales								
0239050000	AGUA			m3	0.0125	5.00	0.06	
Equipos								
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES			%MO		0.01	0.01	
0348110005	CAMION CISTERNA 4X2(AGUA) 122HP 2000GL			hm	0.0067	120.00	0.80	
0349030013	RODILLO LISO VIBRATORIO AUTOPROPULSADO 70-100 HP 7-9 ton			hm	0.0067	190.00	1.27	
0349090003	MOTONIVELADORA DE 130-135 HP			hm	0.0067	180.00	1.21	
3.29								

Partida	1.02.006	(901101010366-0403003-01)	ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE DM=10 km	Costo unitario directo por:			m3	14.71
Código	Descripción Recurso			Unidad	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.	
Mano de Obra								
0147010002	OPERARIO			hh	0.0021	21.91	0.05	
0147010004	PEON			hh	0.0211	15.82	0.33	
Equipos								
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES			%MO		0.01	0.01	
0348110004	CAMION VOLQUETE DE 10 m3			hm	0.0842	120.00	10.10	
0349040091	CARGADOR FRONTAL			hm	0.0211	200.00	4.22	
14.33								

Partida	1.03.001	(901162010107-0403003-01)	CORTE DE JUNTAS DE 2.00 mm	Costo unitario directo por:			m	16.75
Código	Descripción Recurso			Unidad	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.	
Mano de Obra								
0147010002	OPERARIO			hh	0.0178	21.91	0.39	
Materiales								
0254150007	CORTE CON DISCO EN JUNTAS			m	1.0000	0.67	0.67	
Equipos								
0337600013	DISCOS DE CORTE DE 1/8"			pza	3.0000	5.23	15.69	
16.69								

Partida	1.03.002	(900305140203-0403003-01)	ENCOFRADO Y DEENCOFRADO	Costo unitario directo por:			m2	47.24
Código	Descripción Recurso			Unidad	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.	
Mano de Obra								
0147010002	OPERARIO			hh	0.5000	21.91	10.96	
0147010003	OFICIAL			hh	0.5000	17.55	8.78	
0147010004	PEON			hh	0.2500	15.82	3.96	
23.70								
Materiales								
0202000007	ALAMBRE NEGRO RECOCIDO # 16			kg	0.3000	4.70	1.41	
0202010024	CLAVOS PARA MADERA CON CABEZA 1", 1 1/2", 2", 2 1/2", 3"			kg	0.1500	3.90	0.59	
0243040000	MADERA TORNILLO			p2	3.7000	5.50	20.35	
22.36								
Equipos								
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES			%MO		1.19	1.19	
1.19								

Fecha: 14/09/2019 11:00:17a.m.

Análisis de precios unitarios

Presupuesto 0403003 TESIS: "COMPARACIÓN TÉCNICO Y ECONÓMICO DE PAVIMENTOS OPTIMIZADOS (TCP) Y PAVIMENTOS RÍGIDOS (AASHTO 93)
Subpresupuesto 001 PAVIMENTO TCP

Partida	1.03.003	(900510010603-0403003-01)	CONCRETO f'c=210 kg/cm2	Costo unitario directo por:		m3	389.84
Código	Descripción Recurso		Unidad	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.	
Mano de Obra							
0147010002	OPERARIO		hh	0.8889	21.91	19.48	
0147010004	PEON		hh	4.4444	15.82	70.31	
89.79							
Materiales							
0205000004	PIEDRA CHANCADA DE 3/4"		m3	0.7200	45.00	32.40	
0205010004	ARENA GRUESA		m3	0.6200	40.00	24.80	
0221000094	CEMENTO PORTLAND TIPO I (42.5 kg)		bis	9.0200	24.80	223.70	
0239050000	AGUA		m3	0.1800	5.00	0.90	
281.80							
Equipos							
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES		%MO		2.69	2.69	
0348010088	MEZCLADORA DE CONCRETO 11 P3 (23 HP)		hm	0.4444	20.00	8.89	
0349070051	VIBRADOR DE CONCRETO 4 HP 1.25"		hm	0.4444	15.00	6.67	
18.25							

Partida	1.03.004	(901103010103-0403003-01)	CURADO DE CONCRETO	Costo unitario directo por:		m2	1.83
Código	Descripción Recurso		Unidad	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.	
Mano de Obra							
0147010004	PEON		hh	0.0229	15.82	0.36	
0.36							
Materiales							
0229010100	CURADOR PARA CONCRETO		gal	0.0560	26.00	1.46	
1.46							
Equipos							
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES		%MO		0.01	0.01	
0.01							

Fecha : 14/09/2019 11:00:17a.m.

ANEXO 7: PANEL FOTOGRÁFICO



Imagen 42 e Imagen 43: Calicata C-01, ubicado en la calle Unión, cuadra 4.



Imagen 44 e Imagen 45: Trabajo en Laboratorio de Suelos UNJ, ensayos de clasificación de suelos.



Imagen 46 e Imagen 47: Ensayos para clasificación del suelo y obtención del CBR.



Imagen 48 e Imagen 49: Estación de conteo vehicular, ubicado en la calle Unión, cuadra 4.



Imagen 50 e Imagen 51: Vehículos livianos, recurrentes en el área de estudio.