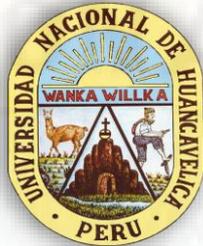


UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCABELICA

(Creado por ley N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL HUANCABELICA



TESIS:

**“INFLUENCIA DEL TRÁFICO VEHICULAR EN EL DESEMPEÑO
DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO RÍGIDO EN LA CIUDAD
DE HUANCABELICA 2021”**

LINEA DE INVESTIGACIÓN:

TRANSPORTES

PRESENTADO POR:

Bach. MANCHA TUNQUE, Pool Franklin Oliver

Bach. QUISPE VENTURA, Yeferson

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

HUANCABELICA, PERÚ

2021



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA

FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA

ACTA DE SUSTENTACIÓN VIRTUAL DE TESIS

En la ciudad de Huancavelica, a los veintisiete días (27) del mes de octubre del año 2021, siendo las dieciséis horas (16:00), se reunieron los miembros del Jurado Calificador conformado por los docentes: M.Sc. Marco Antonio López Barrantes (Presidente), Ing. Omar Caballero Sánchez (Secretario), Arq. Abdón Dante Olivera Quintanilla (Asesor), designados con Resolución de Decano N° 259-2021-FCI-UNH, de fecha 01 de octubre del 2021, a fin de proceder con la sustentación y calificación virtual mediante el aplicativo MEET del informe final de tesis titulado: "INFLUENCIA DEL TRÁFICO VEHICULAR EN EL DESEMPEÑO DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO RÍGIDO EN LA CIUDAD DE HUANCAVELICA 2021", presentado por los Bachilleres Yeferson QUISPE VENTURA y Pool Franklin Oliver MANCHA TUNQUE, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil. Finalizada la sustentación virtual a horas...5:30 p.m.; se comunicó a los sustentantes y al público en general que los Miembros del Jurado abandonará el aula virtual para deliberar el resultado:

Yeferson QUISPE VENTURA

APROBADO POR UNANIMIDAD

DESAPROBADO

Pool Franklin Oliver MANCHA TUNQUE

APROBADO POR UNANIMIDAD

DESAPROBADO

En señal de conformidad, firmamos a continuación:



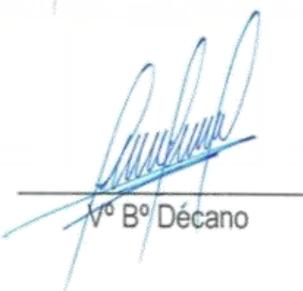
Presidente



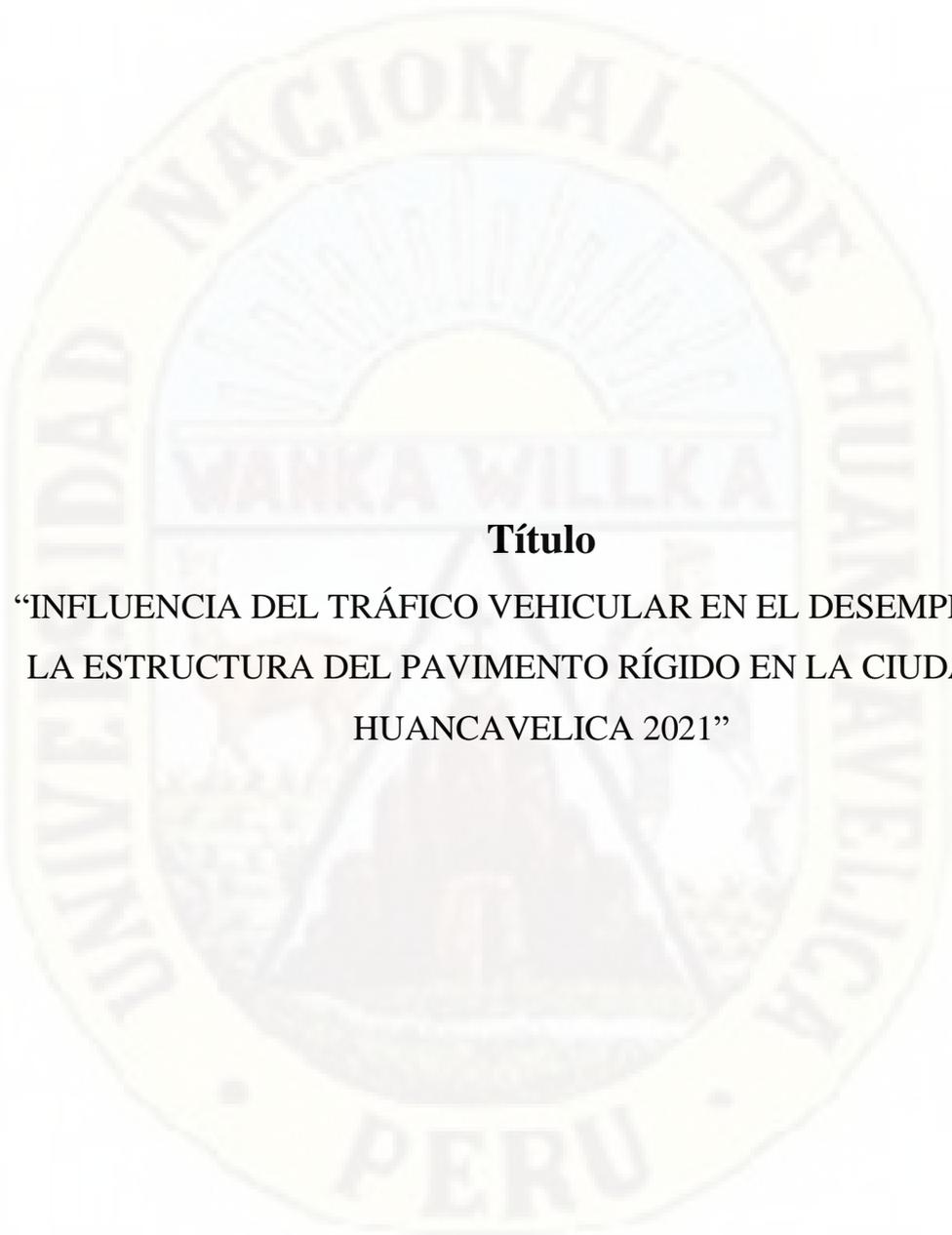
Secretario



Asesor

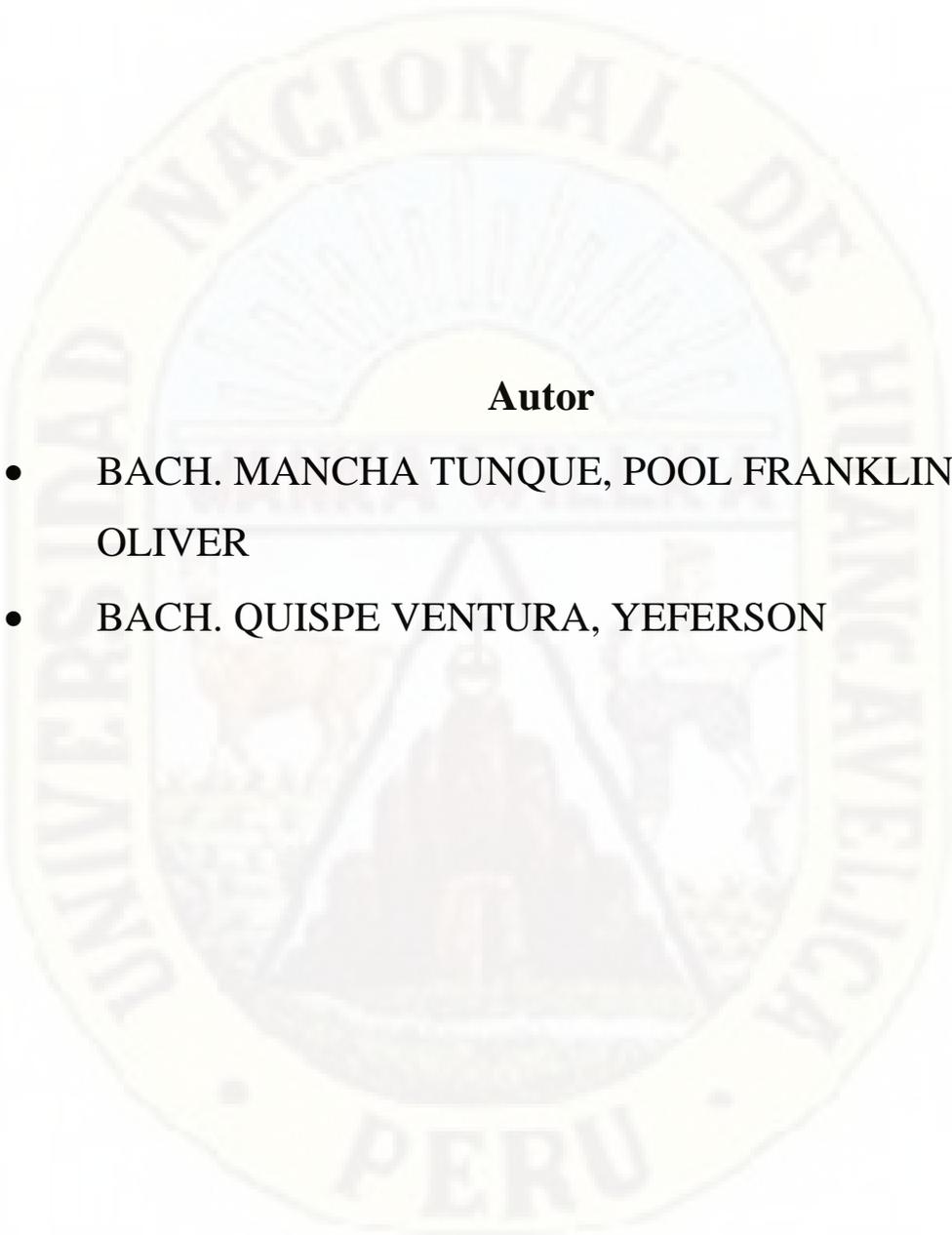


Vº Bº Decano



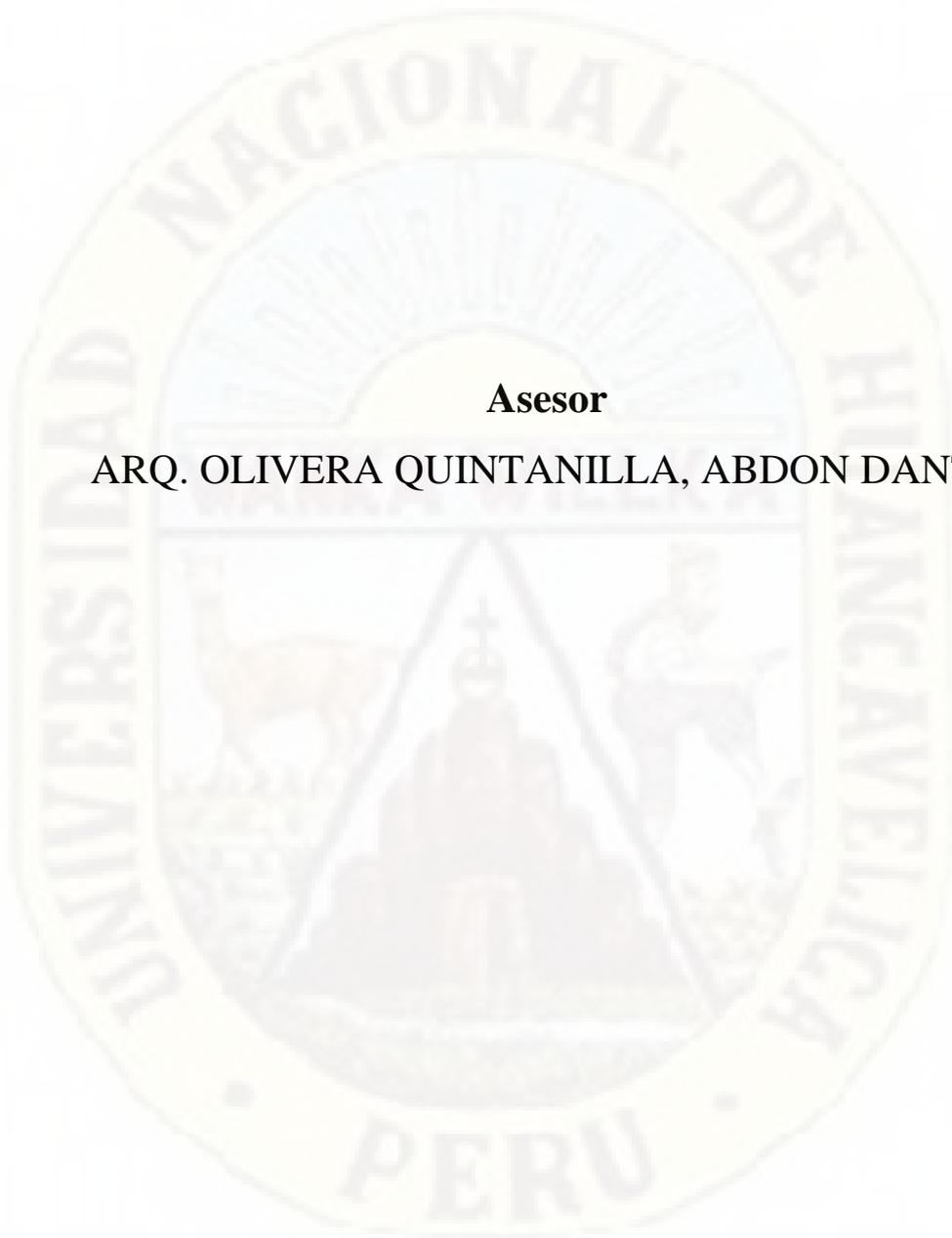
Título

“INFLUENCIA DEL TRÁFICO VEHICULAR EN EL DESEMPEÑO DE
LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO RÍGIDO EN LA CIUDAD DE
HUANCAVELICA 2021”



Autor

- BACH. MANCHA TUNQUE, POOL FRANKLIN OLIVER
- BACH. QUISPE VENTURA, YEFERSON



Asesor

ARQ. OLIVERA QUINTANILLA, ABDON DANTE

Agradecimientos

A Dios por inspirarnos y fortalecer nuestro carácter día a día nuestros Padres por habernos guiado siempre por el camino correcto, para alcanzar nuestras metas. A nuestros familiares por el apoyo incondicional. A nuestros queridos docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, a los Técnicos de Laboratorio y al personal administrativo por su entera disposición a ayudarnos, orientarnos y corregirnos con sus conocimientos y su valiosa experiencia a lo largo de nuestro desarrollo como profesionales. A nuestro asesor, Arq. Abdon Dante Olivera Quintanilla por guiarnos, aconsejarnos y compartir sus conocimientos en la realización de la presente investigación. A la Municipalidad Provincial de Ascensión por habernos facilitados los permisos, documentación necesaria y facilidades en sus instalaciones para la coordinación de la realización de la presente investigación.

Los tesisistas

Tabla de Contenido

Portada	i
Acta de Sustentación	ii
Título	iii
Autor	iv
Asesor	v
Agradecimientos	vi
Tabla de Contenido	vii
Índice de Tablas	xi
Índice de Gráficos	xiii
Resumen	xvii
Abstract	xviii
Introducción	xix
CAPÍTULO I	21
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	21
1.1. Descripción del Problema.....	21
1.2. Formulación del problema.....	23
1.2.1. Problema General:.....	23
1.3. Objetivos: General y Específico.....	24
1.3.1. Objetivo General:.....	24
1.4. Justificación.....	24
CAPÍTULO II	26
MARCO TEÓRICO	26
2.1. Antecedentes.....	26
2.1.1. A Nivel Internacional:.....	26

2.1.2.	A Nivel Nacional:	29
2.1.3.	A Nivel Local:.....	33
2.2.	Bases teóricas	34
2.2.1.	Tráfico vehicular	34
2.2.2.	Transito	36
2.2.3.	Cargas.....	37
2.2.4.	Ejes.....	37
2.2.5.	Esal.....	39
2.2.6.	Evaluación de Pavimento.....	39
2.2.7.	Evaluación estructural.....	39
2.2.8.	Pavimento Rígido.....	40
2.2.9.	Subrasante	40
2.2.10.	Subbase.....	41
2.2.11.	Loza	42
2.2.12.	Método de diseño ASSTHO 93.....	48
2.2.13.	Método de diseño por PCA	49
2.2.14.	Elementos Finitos	56
2.2.15.	Discretización.....	56
2.2.16.	EverFe.....	57
2.3.	Hipótesis.....	57
2.3.1.	Hipótesis General:.....	57
2.3.2.	Hipótesis Específicos:	57
2.4.	Definición de términos	58
2.5.	Definición operativa de variables.....	59
CAPÍTULO III.....		60
MATERIALES Y MÉTODOS.....		60

2.6.	Ámbito de Estudios	60
2.7.	Tipo y Nivel de Investigación	63
2.7.1.	Tipo de Investigación.....	63
2.7.2.	Nivel de Investigación.....	63
2.8.	Método de Investigación	64
2.8.1.	Método general.....	64
2.8.2.	Método específico:.....	64
2.9.	Diseño de investigación.....	64
2.10.	Población y muestra.....	65
2.10.1.	Población.....	65
2.10.2.	Muestra	66
2.11.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	66
2.11.1.	Técnicas.....	66
2.11.2.	Instrumentos	67
2.12.	Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....	67
2.13.	Esquema Metodológico	67
CAPÍTULO IV		71
DISCUSIÓN DE RESULTADOS		71
4.1.	Desarrollo del trabajo de la tesis	71
3.1.1.	Estudio de Trafico.....	72
3.1.2.	Geometría y Parámetros del Pavimento.....	86
3.1.3.	Módulo de Rotura	92
3.1.4.	Esfuerzos y Deformaciones máximos para distintas cargas y ubicaciones.....	97
3.1.5.	Análisis de desempeño por fatiga	136
3.1.6.	Análisis de desempeño por erosión.....	140

Conclusiones	147
Recomendaciones	148
Referencias Bibliográficas	149
Apéndice	154



Índice de Tablas

Tabla 1	Definición operativa de variables e indicadores	59
Tabla 2	Tipos de Tráfico Pesado según ejes equivalentes	71
Tabla 3	Determinación de Factor Correccional	72
Tabla 4	Tasa de Crecimiento.....	73
Tabla 5	Tráfico Vehicular Promedio Actual de la Zona de Estudio	77
Tabla 6	Trafico Promedio Diario proyectado al año 2031.....	78
Tabla 7	Factor direccional y Factor carril por tipo de vía.....	81
Tabla 8	Repeticiones esperadas por eje.....	83
Tabla 9	Geometría del Pavimento.....	86
Tabla 10	Valores Referenciales de Coeficiente de Expansión.....	87
Tabla 11	Parámetros de losa.....	87
Tabla 12	Diámetros y Longitudes recomendados en pasadores	88
Tabla 13	Diámetros y Longitudes recomendados en Barres de Amarre.....	88
Tabla 14	Valores Típicos Poisson de las Capas.....	89
Tabla 15	Parámetros de Subbase y Subrasante	90
Tabla 16	Categorías de Subrasante	90
Tabla 17	CBR mínimos recomendados para Subbase Granular de Pavimentos Rígidos según Intensidad de Tráfico expresado en EE	91
Tabla 18	Coeficiente de reacción de la subrasante	91
Tabla 19	Esfuerzos máximos por carga en una losa	97
Tabla 20	Desplazamientos máximos por carga en una losa.....	97
Tabla 21	Esfuerzos máximos por carga en dos losas	110
Tabla 22	Desplazamientos máximos por carga en dos losas	110
Tabla 23	Esfuerzos máximos por carga en cuatro losas.....	123
Tabla 24	Desplazamientos máximos por carga en cuatro losas	123
Tabla 25	Análisis de desempeño por fatiga en el borde de una losa.....	136
Tabla 26	Análisis de desempeño por fatiga en el centro de una losa.....	136
Tabla 27	Análisis de desempeño por fatiga en la esquina de una losa.....	137
Tabla 28	Análisis de desempeño por fatiga en la junta de una losa.....	137
Tabla 29	Análisis de desempeño por fatiga en el borde de dos losas	137

Tabla 30	Análisis de desempeño por fatiga en el centro de dos losas	138
Tabla 31	Análisis de desempeño por fatiga en la esquina de dos losas	138
Tabla 32	Análisis de desempeño por fatiga en la junta de dos losas	139
Tabla 33	Análisis de desempeño por fatiga en el borde de cuatro losas.....	139
Tabla 34	Análisis de desempeño por fatiga en el centro de cuatro losas.....	139
Tabla 35	Análisis de desempeño por fatiga en el esquina de cuatro losas.....	140
Tabla 36	Análisis de desempeño por fatiga en la junta de cuatro losas	140
Tabla 37	Análisis de desempeño por erosión en el borde de una losa.....	141
Tabla 38	Análisis de desempeño por erosión en el centro de una losa.....	141
Tabla 39	Análisis de desempeño por erosión en la esquina de una losa.....	142
Tabla 40	Análisis de desempeño por erosión en la junta de una losa	142
Tabla 41	Análisis de desempeño por erosión en el borde de dos losas.....	143
Tabla 42	Análisis de desempeño por erosión en el centro de dos losas.....	143
Tabla 43	Análisis de desempeño por erosión en la esquina de dos losas.....	143
Tabla 44	Análisis de desempeño por erosión en la junta de dos losas.....	144
Tabla 45	Análisis de desempeño por erosión en el borde de cuatro losas	144
Tabla 46	Análisis de desempeño por erosión en el centro de cuatro losas	145
Tabla 47	Análisis de desempeño por erosión en la esquina de cuatro losas	145
Tabla 48	Análisis de desempeño por erosión en la junta de cuatro losas	145

Índice de Gráficos

Figura 1 Configuración de Ejes Vehiculares en el Perú	38
Figura 2 Estructura de Pavimento Rígido	42
Figura 3 Tipos de Pavimentos.....	43
Figura 4 Alabeo de losas debido a la Variación gradual de temperatura.....	44
Figura 5 Posiciones de Análisis de Carga - Westergaard	45
Figura 6 Carga por eje critica por esfuerzos de flexión	55
Figura 7 Cargas por eje para posición crítica para deflexiones	56
Figura 8 Mapa del Perú.....	60
Figura 9 Mapa del Departamento de Huancavelica	61
Figura 10 Mapa de la Provincia de Huancavelica.....	61
Figura 11 Mapa del Distrito de Ascensión.....	62
Figura 12 Zona de Investigación.....	62
Figura 13 Tráfico vehicular del día Lunes.....	73
Figura 14 Tráfico vehicular del día Martes.....	74
Figura 15 Tráfico vehicular del día Miércoles.....	74
Figura 16 Tráfico vehicular del día Jueves.....	75
Figura 17 Tráfico vehicular del día Viernes.....	75
Figura 18 Tráfico vehicular del día Sábado	76
Figura 19 Tráfico vehicular del día Domingo.....	76
Figura 20 Trafico Vehicular Promedio	78
Figura 21 Vehiculos Livianos- Año 2031.....	79
Figura 22 Vehiculos pesados- Año 2031	79
Figura 23 Distribución Porcentual de Vehículos livianos y pesados.....	80
Figura 24 Trafico proyectado al 2031	80
Figura 25 Cantidad y Distribución de ejes por tipo de vehículo.....	82
Figura 26 Repeticiones esperadas para eje simple.....	84
Figura 27 Repeticiones esperadas para eje Tándem	84
Figura 28 Repeticiones esperadas eje Trídem.....	85
Figura 29 Repeticiones esperadas por tipo de eje vehicular	85
Figura 30 Ubicaciones de puntos de extracción de muestras.....	92

Figura 31 Localización de puntos de extracción de muestras para ensayo de módulo de rotura	93
Figura 32 Esquema de Ensayo de módulo de flexión ASTM C-78.....	94
Figura 33 Determinación de Módulo de Rotura del espécimen B.....	95
Figura 34 Determinación de Módulo de Rotura del espécimen C.....	96
Figura 35 Determinación de Módulo de Rotura del espécimen A.....	96
Figura 36 Esfuerzos y desplazamientos en el borde de una losa para 1TN	98
Figura 37 Esfuerzos y desplazamientos en el medio de una losa para 1TN.....	98
Figura 38 Esfuerzos y desplazamientos en la esquina de una losa para 1TN.....	99
Figura 39 Esfuerzos y desplazamientos en la junta transversal de una losa para 1TN	99
Figura 40 Esfuerzos y desplazamientos en el borde una losa para 7TN.....	100
Figura 41 Esfuerzos y desplazamientos en el medio de una losa para 7TN	100
Figura 42 Esfuerzos y desplazamientos en la esquina de una losa para 7TN.....	101
Figura 43 Esfuerzos y desplazamientos en la junta transversal de una losa para 7TN	101
Figura 44 Esfuerzos y desplazamientos en el borde de una losa para 11TN.....	102
Figura 45 Esfuerzos y desplazamientos en el medio de una losa para 11TN	102
Figura 46 Esfuerzos y desplazamientos en la esquina de una losa para 11TN.....	103
Figura 47 Esfuerzos y desplazamientos en la junta transversal de una losa para 11TN	103
Figura 48 Esfuerzos y desplazamientos en el borde transversal de una losa para 16TN	104
Figura 49 Esfuerzos y desplazamientos en el medio de una losa para 16TN	104
Figura 50 Esfuerzos y desplazamientos la esquina de una losa para 16TN.....	105
Figura 51 Esfuerzos y desplazamientos la junta de una losa para 16TN.....	105
Figura 52 Esfuerzos y desplazamientos el borde de una losa para 18TN.....	106
Figura 53 Esfuerzos y desplazamientos el medio de una losa para 18TN.....	106
Figura 54 Esfuerzos y desplazamientos la esquina de una losa para 18TN.....	107
Figura 55 Esfuerzos y desplazamientos la junta de una losa para 18TN.....	107
Figura 56 Esfuerzos y desplazamientos el borde de una losa para 25TN.....	108
Figura 57 Esfuerzos y desplazamientos el medio de una losa para 25TN.....	108

Figura 58	Esfuerzos y desplazamientos la esquina de una losa para 25TN.....	109
Figura 59	Esfuerzos y desplazamientos la junta de una losa para 25TN.....	109
Figura 60	Esfuerzos y desplazamientos en el borde de dos losas para 1TN.....	111
Figura 61	Esfuerzos y desplazamientos en el medio de dos losas para 1TN.....	111
Figura 62	Esfuerzos y desplazamientos en la esquina de dos losas para 1TN.....	112
Figura 63	Esfuerzos y desplazamientos en la junta de dos losas para 1TN.....	112
Figura 64	Esfuerzos y desplazamientos en la junta de dos losas para 7TN.....	113
Figura 65	Esfuerzos y desplazamientos en el medio de dos losas para 7TN.....	113
Figura 66	Esfuerzos y desplazamientos en la esquina de dos losas para 7TN.....	114
Figura 67	Esfuerzos y desplazamientos en la junta de dos losas para 7TN.....	114
Figura 68	Esfuerzos y desplazamientos en el borde de dos losas para 11TN.....	115
Figura 69	Esfuerzos y desplazamientos en el medio de dos losas para 11TN.....	115
Figura 70	Esfuerzos y desplazamientos en la esquina de dos losas para 11TN.....	116
Figura 71	Esfuerzos y desplazamientos en la junta de dos losas para 11TN.....	116
Figura 72	Esfuerzos y desplazamientos en el borde de dos losas para 16TN.....	117
Figura 73	Esfuerzos y desplazamientos en el medio de dos losas para 16TN.....	117
Figura 74	Esfuerzos y desplazamientos en la esquina de dos losas para 16TN.....	118
Figura 75	Esfuerzos y desplazamientos en la junta de dos losas para 16TN.....	118
Figura 76	Esfuerzos y desplazamientos en el borde de dos losas para 18TN.....	119
Figura 77	Esfuerzos y desplazamientos en el medio de dos losas para 18TN.....	119
Figura 78	Esfuerzos y desplazamientos en la esquina de dos losas para 18TN.....	120
Figura 79	Esfuerzos y desplazamientos en la junta de dos losas para 18TN.....	120
Figura 80	Esfuerzos y desplazamientos en el borde de dos losas para 25TN.....	121
Figura 81	Esfuerzos y desplazamientos en el medio de dos losas para 25TN.....	121
Figura 82	Esfuerzos y desplazamientos en la esquina de dos losas para 25TN.....	122
Figura 83	Esfuerzos y desplazamientos en la junta de dos losas para 25TN.....	122
Figura 84	Esfuerzos y desplazamientos en el borde de cuatro losas para 1TN.....	124
Figura 85	Esfuerzos y desplazamientos en el medio de cuatro losas para 1TN.....	124
Figura 86	Esfuerzos y desplazamientos en la esquina de cuatro losas para 1TN.....	125
Figura 87	Esfuerzos y desplazamientos en la junta de cuatro losas para 1TN.....	125
Figura 88	Esfuerzos y desplazamientos en el borde de cuatro losas para 7TN.....	126
Figura 89	Esfuerzos y desplazamientos en el medio de cuatro losas para 7TN.....	126

Figura 90	Esfuerzos y desplazamientos en la esquina de cuatro losas para 7TN ...	127
Figura 91	Esfuerzos y desplazamientos en la junta de cuatro losas para 7TN	127
Figura 92	Esfuerzos y desplazamientos en el borde de cuatro losas para 11TN	128
Figura 93	Esfuerzos y desplazamientos en el medio de cuatro losas para 11TN ...	128
Figura 94	Esfuerzos y desplazamientos en la esquina de cuatro losas para 11TN .	129
Figura 95	Esfuerzos y desplazamientos en la junta de cuatro losas para 11TN	129
Figura 96	Esfuerzos y desplazamientos en el borde de cuatro losas para 16TN	130
Figura 97	Esfuerzos y desplazamientos en el medio de cuatro losas para 16TN ...	130
Figura 98	Esfuerzos y desplazamientos en la esquina de cuatro losas para 16TN .	131
Figura 99	Esfuerzos y desplazamientos en la junta de cuatro losas para 16TN	131
Figura 100	Esfuerzos y desplazamientos en el borde de cuatro losas para 18TN ..	132
Figura 101	Esfuerzos y desplazamientos en el medio de cuatro losas para 18TN .	132
Figura 102	Esfuerzos y desplazamientos en la esquina de cuatro losas para 18TN	133
Figura 103	Esfuerzos y desplazamientos en la junta de cuatro losas para 18TN ...	133
Figura 104	Esfuerzos y desplazamientos en el borde de cuatro losas para 25TN ..	134
Figura 105	Esfuerzos y desplazamientos en el medio de cuatro losas para 25TN .	134
Figura 106	Esfuerzos y desplazamientos en la esquina de cuatro losas para 25TN	135
Figura 107	Esfuerzos y desplazamientos en la junta de cuatro losas para 25TN ...	135

Resumen

El presente trabajo de investigación tiene como propósito establecer el desempeño de la estructura del pavimento rígido frente a la demanda de tráfico vehicular. Para ello se obtuvo esfuerzos y deflexiones máximas mediante el análisis de elementos finitos tridimensional en base a los parámetros del pavimento rígido existente y ensayo de laboratorio. Se analizaron puntos de aplicación de cargas (borde, centro, esquina y junta), en una, dos y cuatro losas, con distintos tipos de ejes encontrados en el estudio de tráfico. Se determinó el desempeño del pavimento como daño acumulado por los criterios de análisis de fatiga y erosión de la Portland Cement Association.

El análisis evidencia la existencia de daños acumulados por fatiga y erosión en el pavimento rígido que se representan como porcentajes que sobrepasan el 100%, con mayor preponderancia en el análisis de dos losas, teniendo mayor incidencia el daño por erosión, en la ubicación de cargas en junta con 340% y daño acumulado por fatiga en ubicación de carga de esquina con 113%.

Palabras claves: Pavimento rígido, Tráfico, PCA, Fatiga, Erosión, Esfuerzos, Deflexiones, Elementos Finitos Tridimensional.

Abstract

The purpose of this research work is to establish the performance of the rigid pavement structure against the demand of vehicular traffic. For this, maximum stresses and deflections were obtained through the analysis of three-dimensional finite elements based on the parameters of the existing rigid pavement and laboratory testing. Load application points were analyzed (edge, center, corner and joint), in one, two and four slabs, with different types of axes found in the traffic study. The performance of the pavement as accumulated damage was determined by the fatigue and erosion analysis criteria of the Portland Cement Association.

The analysis shows the existence of accumulated damage due to fatigue and erosion in the rigid pavement, which are represented as percentages that exceed 100%, with a greater preponderance in the analysis of two slabs, with erosion damage having a greater incidence in the location of loads. joint with 340% and cumulative fatigue damage at corner load location with 113%.

Keywords: Rigid pavement, Traffic, PCA, Fatigue, Erosion, Stresses, Deflections, Three-dimensional Finite Elements.

Introducción

En la actualidad, en la construcción de pavimento rígidos para obtener un buen rendimiento y garantizar su funcionalidad, se emplean distintas metodologías de diseño, que están desfasadas en cuanto a las condiciones viales, naturales y propias de nuestra región. La elección de pavimentos rígidos es la más utilizada en zonas urbanas, su desempeño y su aprovechamiento de manera adecuada están relacionadas al diseño y al proceso constructivo con la cual son hechos. Un pavimento rígido con buen diseño y proceso constructivo optimo garantiza la máxima ventaja en cuanto a durabilidad, impacto de daños y facilidad de mantenimiento.

El presente trabajo de investigación presentado refiere al tema de la Influencia del tráfico vehicular en el desempeño de la estructura del pavimento rígido. Que será analizado empleando los fundamentos de la metodología de diseño PCA(portland cement association), teniendo como elemento de estudio el análisis cuantitativo del volumen de tránsito vehicular, que debido al crecimiento poblacional y la cantidad de vehículos por habitante tiene una tasa de crecimiento evidente en el distrito de Ascensión. Por lo que algunas zonas viales se encuentran en una situación crítica ya que hay una acumulación excesiva de daños en la infraestructura vial que genera malestar en los ciudadanos y conductores.

Por consiguiente, Establecer la relación de la capacidad estructural o funcional del pavimento rígido y con el flujo vehicular de la ciudad, nos permitirá afrontar las cuestiones relacionadas con el mantenimiento, diseño adecuado y el uso práctico de nuestras vías.

Por lo descrito párrafos arriba nace el interés del análisis de esta problemática en el distrito de Ascensión, provincia y región de Huancavelica. Los resultados obtenidos tanto técnicos como científicos darán garantía a vías urbanas más confortables y duraderas, que faciliten las actividades económicas y sociales que promuevan armonía a la comunidad.

De esta manera se brindará a la población del distrito de Ascensión una contribución invaluable para el diseño, construcción y mantenimiento de sus vías, creando un espacio vial sostenible en distintos niveles del desarrollo distrital.



CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción del Problema

En las ciudades del mundo en vías de desarrollo, los tiempos empleados en transporte son generalmente altos y los vehículos dañan prematuramente las vías por las cuales circulan. La integración de una ciudad en todos sus niveles económico es influida directamente por el estado de su infraestructura vial.

En la actualidad, la ingeniería vial viene avanzando a grandes pasos a nivel de investigación y aplicación de nuevas tecnologías y justo a ello el desarrollo de proyectos de infraestructura que buscan dar acceso a la población al transporte competitivo y sostenible, que permite que los diferentes centros urbanos y rurales se integren logrando el progreso de nuestro país (ASOCEM, 2016, párrafo primero).

“De acuerdo a las proyecciones del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), la Red vial Nacional estará pavimentada al 100% en el 2021” (DIGAMMA, 2018, p. 56). Los pavimentos rígidos son ampliamente utilizados en las ciudades de radio urbano del mundo, en respuesta a los beneficios que proporcionan que son: La durabilidad, capacidad de reparto de cargas y calidad para el rodamiento. Sin embargo, estos beneficios decaen con la utilización de los mismos y pueden quedar parcial o totalmente fuera de servicio debido a las condiciones adversas a la que son expuestas, las cuales generan desgaste en su estructura. García y Ruiz (2018) afirman “En los últimos años se ha evidenciado sobre la estructura en estudio un acelerado incremento de daños y lesiones en las losas de su pavimento relacionadas con fisuras, fricción, entre otras fallas superficiales” (p. 13).

Los pavimentos rígidos son una alternativa de infraestructura viable presente en Latinoamérica. Para garantizar su excelencia funcional y perdurabilidad, es necesario implementar normas de diseño y metodología adecuada para evitar averías

y daños, que desencadenarían interrupciones viales, deterioro de vehículos y accidentes de tránsito.

La implementación de pavimentos rígidos en el país es una propuesta relativamente nueva, por lo que falta acumular experiencia en la construcción de los mismos, lo que constituye un factor determinante, para que se produzcan deterioros severos en sus estructuras. Por lo tanto, es necesario regirse de manera estricta a las normas tanto de diseño como de mantenimiento de los pavimentos rígidos, con el fin de evitar y disminuir procesos de deterioro (Ruiz, 2011, p. 235).

Se debe considerar que una carretera o ruta es una vía de dominio y uso público, proyectada y construida fundamentalmente para la circulación de vehículos livianos y pesados. La importancia de las carreteras radica en que son la columna vertebral del transporte, y su construcción y mantenimiento se pueden volverse estratégicos (Burgos, 2014, p. 4).

Los elementos de análisis de diseño de los pavimentos rígidos son: la calidad de suelos de la sub rasante, la calidad de suelos para la construcción de la base, la calidad de la resistencia del concreto hidráulico para las losas y el tránsito vehicular , el énfasis en este último elemento es notorio debido a su naturaleza creciente e influencia directa para realizar un correcto diseño, que conjuntamente con una evaluación periódica posterior, afianzan la infraestructura vial sin ningún desfase funcional. Ruiz(2011) “Es recomendable evaluar las vías frecuentemente, estableciendo el grado de severidad de los deterioros, con el fin de implementar reparaciones técnicas adecuadas, garantizando así la vida útil de la estructura del pavimento” (p. 213).

Miranda (2010) afirma: “Aún no se toma verdadera conciencia de que hacer mantención o conservación de pavimentación es mucho más barato que reparar el mismo pavimento” (p. 75). Por tanto, una correcta evaluación del desempeño de un pavimento nos entrega las condiciones actuales y futuras, para establecer un

mantenimiento adecuado a lo largo de su vida útil, así mismo nos proporcionan parámetros de análisis que mejoran el diseño posterior de pavimentos en condiciones similares.

Los caminos pavimentados se ven sometidos desde su puesta en servicio y a lo largo de toda su vida útil, a diversos procesos de deterioro y fallas tales como ahuellamiento, grietas e incluso baches. Es por esto, y dada la necesidad de optimizar los recursos que se emplean en el diseño, ejecución y conservación de los mismos (Burgos, 2014, p. 4)

Estas premisas hacen necesario conocer, identificar y evaluar el desempeño de los pavimentos rígidos de nuestra ciudad para contrarrestar la creciente situación de daños en infraestructura vial y el mal estado actual en el que se encuentran algunos pavimentos rígidos en Huancavelica, lo que genera malestar para el libre tránsito y un deterioro precoz e inevitable en las vías principales, sino se toma las medidas correspondientes. Ante esta situación presentada nos formulamos el siguiente problema.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema General:

¿Cuál es la influencia del nivel de tráfico vehicular en el desempeño de la estructura del pavimento rígido en la ciudad de Huancavelica 2021?

1.2.1.1. Problemas Específicos:

- ¿Cuál es la influencia del nivel de tráfico vehicular en la erosión del pavimento rígido en la ciudad de Huancavelica 2021?
- ¿Cuál es la influencia del nivel de tráfico vehicular en la fatiga del pavimento rígido en la ciudad de Huancavelica 2021?

1.3. Objetivos: General y Específico

1.3.1. Objetivo General:

Determinar la influencia del nivel de tráfico vehicular en el desempeño de la estructura del pavimento rígido en la ciudad de Huancavelica 2021.

1.3.1.1. Objetivos Específicos:

- Determinar la influencia del nivel de tráfico vehicular en la erosión del pavimento rígido en la ciudad de Huancavelica 2021.
- Determinar la influencia del nivel de tráfico vehicular en la fatiga del pavimento rígido en la ciudad de Huancavelica 2021.

1.4. Justificación

El área de estudio que pertenece al distrito, departamento y región de Huancavelica, es una zona de congestión vehicular recurrente con tendencia a un aumento vehicular debido a su crecimiento poblacional, por lo cual es importante conocer el aumento y la influencia del tráfico vehicular para estimar y formular una respuesta vial efectiva ante este factor para garantizar el funcionamiento óptimo de nuestra vía de transporte local.

La presente investigación es sustancial, porque buscamos conocer el desempeño de los pavimentos sometidos a mayor carga vehicular que deterioran nuestra infraestructura vial de forma prematura.

De esta manera, mediante la investigación se evaluará con una metodología sofisticada orientada al análisis de los riesgos de deterioro y desfase funcional que pueden producirse en los pavimentos rígidos de nuestra ciudad y es así que se tomarán las precauciones y procedimientos necesarios. Para lo cual, será esencial realizar una observación exhaustiva, verídica y científica de los parámetros asociados a ello.

Los beneficiarios de la investigación serán los pobladores y conductores del distrito de Ascensión, ya que la evaluación correcta de las vías promoverá un mantenimiento adecuado y una circulación vehicular más funcional e ininterrumpida. Por lo tanto, esta investigación permitirá mejorar las condiciones viales del distrito.



CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. A Nivel Internacional:

Lituma (2018), realizó la tesis de grado denominado “*Análisis de respuestas mecánicas de los pavimentos rígidos colocados en vías urbanas del cantón Cuenca*” de la Universidad de Cuenca. La investigación desarrollada es de nivel explicativo llegando a las siguientes conclusiones:

- En el desarrollo de las ecuaciones PCA, tomando el valor de los esfuerzos y deformaciones hallado en el modelo, se concluyó: las dimensiones de espesor de losa estimado para tolerar las cargas de tránsito vehicular son 22.0 cm, 20.5 cm y 19 cm que corresponde a vías arteriales, vías colectoras y vías locales respectivamente. En la comparación de los espesores de obtenidos en el diseño (22.0 cm para vías arteriales, 21.0, 20.0 y 19.0cm para vías colectoras y 17.0 y 16.0 cm para vías locales) se aprecia una diferencia apreciable en las vías locales. También se determinó que tráfico estimado en vías colectoras y locales, rige el diseño del pavimento para esfuerzos y deterioro para fatiga, en el cual el módulo de rotura del pavimento es vital, para dicha estimación.
- El análisis de sensibilidad precisa un aumento gradual de 1.0 cm en la dimensión de la losa, se logra una disminución promedio del 7.59%, y 4.65% en los esfuerzo de borde y las deformaciones junta longitudinal-junta transversal respectivamente.

- La respuesta mecánica de las losas de pavimento producto de la modelación concluyo que, los máximos esfuerzos y deformaciones, son ocasionado por las cargas que se encuentran en los bordes de la losa (Alrededor del bordillo, en la cual hay una mínima eficiencia en la transmisión de cargas $LTE=0$), todo ello para para diferentes ubicaciones de las cargas de tráfico, La magnitud de los esfuerzos y deformaciones de las cargas se reduce drásticamente en tanto se apartan del bordillo.
- Los esfuerzos de borde no exceden el 50% del valor del módulo de rotura y al aplicar las consideraciones del criterio de la PCA, se concluye que no hay un daño por fatiga; por lo cual, es indispensable conocer la localización y la distribución lateral de las cargas, para definir las estructuras laterales de confinamiento adecuadas en vías urbanas, y que eviten que las cargas circulen cerca al bordillo, lo cual podría generar esfuerzos y deformaciones críticos en puntos sensibles loa cuales son los ejes ubicados sobre las juntas longitudinales de construcción, que ocasionarían agrietamiento transversal y deterioros por erosión; asimismo se nota que los ejes de carga ubicados en el centro de las losas sobre la junta transversal, ocasionarían agrietamiento longitudinal.
- La eficiencia en la transmisión de carga es importante en la determinación dimensional de las respuestas mecánicas recibidas. Los mayores esfuerzos producidos son aquellos ocasionados por un eje simple dual de 11.0 toneladas, los cuales se encuentran en el borde y en la esquina, para las cargas que pasan por encima de las juntas longitudinales del pavimento.

Cogollo y Silva (2018), realizaron la tesis de grado denominado “*Modelación numérica de pavimentos rígidos mediante modulación convencional y de losas cortas*”

de la Universidad Católica de Colombia. La investigación desarrollada es de nivel explicativo llegando a las siguientes conclusiones:

- El método de diseño perfecciona las dimensiones de las losas cortas para reducir el espesor requerido, la tensión máxima se reduce considerablemente, debido a que solo un eje de ruedas se encuentra cargando y acomodado en una losa, la introducción de la metodología de diseño de losas cortas se puede realizar con espesores de apenas 8 cm de espesor sobre el análisis de la base granular.
- La disminución del espesor de losa 8 y 22 cm de losas cortas cotejadas con el diseño por el método AASHTO habitual, presenta una reducción de costo de construcción del costo inicial en un 20% más o menos, con una vida útil idéntica a las losas convencionales.
- Las dimensiones cortas de las losas las hace menos susceptibles a las condiciones climáticas ya que la curvatura es menor y la transmisión de carga aumenta en comparación con las losas habituales de 4,5 m de largo. Por lo cual, el desempeño de las losas cortas es mejor que en las losas tradicionales (4,5m), en condiciones climáticas extremas.
- El menor espesor en las losas ordinarias intensifica las deformaciones verticales por lo contrario en las losas cortas hay un aumento de deformaciones verticales debido a la inexistencia de dovelas en sus juntas.
- Un menor espesor en las losas cortas disminuirá los esfuerzos en la losa y representará una menor deformación.

- La modulación con losas cortas con las losas convencionales no contemplo los factores relacionados el gradiente térmico de las losas por lo tanto se obtuvieron en las dos menores esfuerzos.
- El diseño innovador de losas cortas permite una optimización de la geometría, al acortar las dimensiones de la losa y ubicar una sola carga de análisis, se logra una mejor distribución, para mejorar sus las condiciones, previniendo el agrietamiento, otorgandoles al pavimento un mejor periodo de servicio con un espesor de losa reducido
- El programa Everfe 2.24 no determino un gradiente térmico para el análisis de la losa por lo que no existe una deformación diferencial entre la base granular y la losa, por lo que no hay ninguna deformación concava

2.1.2. A Nivel Nacional:

Chávez (2020), realizó la tesis de pregrado denominado “Determinación de la condición actual del pavimento rígido del Jr. Zepita del distrito de baños del inca, mediante la aplicación del método del PCI” de la Universidad Nacional de Cajamarca. La investigación desarrollada es de nivel descriptivo y llegaron a las siguientes conclusiones:

- Se registró 14 tipos de fallas en el pavimento rígido del Jr. Zepita, en el tramo ubicado entre el jirón Ronald Guisa y la carretera hacia Llacanora.
- El índice de Condición del Pavimento (PCI) del jirón Zepita, en el tramo ubicado entre el jirón Ronald Guisa y la carretera hacia Llacanora, fue equivalente a 43.10, según lo cual se establece que el estado actual del pavimento rígido es regular

- El pavimento rígido de la vía ubicada en jirón Zepita, en el tramo localizado entre el jirón Ronald Guisa y la carretera hacia Llacanora, debe ser sometido a un mantenimiento periódico inmediato, a través de una propuesta de intervención que contempla la reparación de las principales fallas registradas, para lo cual se debe ejecutar trabajos como son el sellado de grietas, reemplazo de losas, resellado de juntas, parcheo parcial, ranurado de superficie, fresado y reemplazo de parches.

Minchán (2019), realizó la tesis de pregrado denominado “Análisis comparativo de estructuras de pavimento rígido mediante métodos de diseño AASHTO y PCA aplicado en una vía pública, Cajamarca - 2019” de la Universidad Privada del Norte. La investigación desarrollada es de nivel descriptiva y llegaron a las siguientes conclusiones:

- La constatación de la hipótesis, es verdadera, pues el método AASHTO de diseño de pavimentos rígido determina un menor de diseño, lo cual deriva a una reducción de costo de construcción, respecto al método de diseño Portland Cement Association, en una vía pública en la ciudad de Cajamarca, no obstante el análisis en el diseño de la estructura del pavimento en función a toda la vida útil de este, se obtiene un espesor del pavimento AASHTO, que no cumple con los criterios de análisis de fatiga y erosión de la metodología Portland Cement Association, lo cual hace inconveniente el diseño obtenido por AASHTO.
- Los ensayos de las propiedades físico-mecánicas de la subrasante de la vía pública Pasaje San Mateo, Barrio Mollepampa, son descritos a continuación
- El CBR determinado con una penetración de 0.1 pulgada es igual a 13%. La máxima densidad seca obtenida de los ensayos es de 1.88

gr/cm³ y el límite líquido, el límite plástico, el índice de plasticidad, obtenido es de 42.90, 23.81, 19.09 respectivamente.

- El análisis en el estudio de tráfico de la vía urbana escogida (Pasaje San Mateo), se realizó en una vía aledaña y alterna (Av. Nuevo Cajamarca), debido a que la vía de estudio es una vía reciente, con lo cual se obtuvieron datos más influyentes según la consideración descrita. Los datos obtenidos se describen a continuación:
 - El día con mayor cantidad de aforo vehicular dio como resultado la siguiente cuantificación porcentual de vehículos ligeros que son el 93%; y, los vehículos pesados (B2, C2, C3, T2S3) el 7% del total de vehículos contabilizados, la influencia de los vehículos pesados sería escasa en el periodo de vida útil del pavimento, lo cual sugeriría la metodología AASHTO, sin embargo en análisis por erosión y fatiga determinaría descartar dicha elección.
- Las distintas metodologías de diseño PCA y AASHTO determinaron espesores de losa de 23 cm /9 pulgadas y 19 cm (7.5 pulgadas) respectivamente.
- El análisis de costos del pavimento determinó un precio S/ 164,174.17 y S/ 137,680.90 para las metodologías de diseño PCA y AASHTO respectivamente, existiendo una diferencia de S/ 26,493.27 soles, por lo que se concluye que el análisis técnico económico, presenta a la metodología AASHTO como la opción más viable.

Coral (2017), realizó la tesis de pregrado denominada “Automatización del diseño de pavimentos urbanos por el método de la Portland Cement Association (PCA) según el Reglamento Nacional de Edificaciones – Huaraz – 2016” de la Universidad

Nacional Santiago Antúnez de Mayolo. El proyecto de investigación desarrollada es de nivel correlacional llegando a las siguientes conclusiones:

- Con la automatización del diseño de pavimentos urbanos por el método de la Portland Cement Association (PCA) de acuerdo con el Reglamento Nacional de Edificaciones, se obtienen resultados con mayor precisión. Logrando una aproximación en el diseño del centímetro, evitando errores por lecturas de monogramas y optimizando los diseños en costo, calidad y funcionalidad.
- Con la programación del método de la Portland Cement Association (PCA), mediante diagramas de flujo se tiene una mayor visión del funcionamiento interno de la automatización del método brindando al lector de la presente tesis una visión de lo que ocurre dentro (Memoria Interna) del programa y de qué forma se usan las ecuaciones para obtener los resultados de diseño.
- Al Automatizar el estudio de tránsito como parte del diseño de pavimentos urbanos por el método de la PCA se optimizan los diseños ya que los cálculos se realizarán en el interior del programa permitiendo incluso trabajar con una estratigrafía de carga personalizada e independiente a las sugeridas en el Reglamento Nacional de Edificaciones CE-010 “Pavimentos Urbanos”.
- Se generó las tablas para el factor de esfuerzo y erosión para ejes simples y tándem de la PCA 1984 usando la automatización del método para lo cual se determinó una variación de +/- 0.5 en los resultados con ello se puede concluir que nuestra programación al utilizar las ecuaciones originales plateadas por la PCA en 1984 brindará diseños más precisos que al usar la tabla en cuanto al factor de esfuerzo. Además, para el factor de erosión se notó que los resultados no

concuerdan con los resultados presentes en las tablas mostrando una fuerte variación, esta ecuación se verificó con un ejemplo planteado por el Ing. José Raphael Méndez Acurio en el Tomo 3: Diseño de Pavimento 2da Edición. (noviembre 2016) donde al usar la ecuación el resultado obtenido tampoco coincide con el resultado de diseño presente en las tablas sino más bien con las tablas calculadas en la presente tesis de ahí se concluye que las tablas generadas en la presente tesis para el cálculo del factor de erosión para ejes simples y tándem son correctas.

- Al obtener los resultados presentes en las tablas D4(a) y D4 (b) del Reglamento Nacional de Edificaciones (CE-010:"Pavimentos Urbanos"), es decir, 40 diseños y 40 reportes completos se concluye que la automatización funciona y se pueden realizar diseños inmediatos en ella obteniendo resultados precisos y pudiendo evaluar varias alternativas de diseño rápidamente.

2.1.3. A Nivel Local:

Capani y Dueñas (2013), realizaron una tesis de pregrado denominado *“Estudio y evaluación de pavimentos de concreto por el método TCP en Quintanillapampa distrito de Ascensión- Huancavelica”*. De la Universidad Nacional de Huancavelica. La investigación desarrollada es de nivel descriptivo y llegaron a las siguientes conclusiones:

- La metodología de diseño TCP es empírica y mecánica, para pavimentos optimizados y en el medio actual es una metodología innovadora para pavimentos de concreto hidráulico.
- En la determinación parámetros de diseño de la estructura del pavimento de concreto en Quintanillapampa para la evaluación y estudio de pavimentos TCP, se toma las siguientes consideraciones:

- El esfuerzo de compresión recomendado en el método TCP es igual 280 Kg/cm².
 - Se recomienda la utilización de una capa mejorada con un espesor de 30 cm, con un CBR que varía del 20% al 30% de acuerdo a la optimización.
 - Es aconsejable utilizar base granular de 80% de CBR con una dimensión que puede variar de 15 cm a 20 cm de acuerdo a la optimización.
 - Se debe tomar en consideración el acomodo de un geotextil entre la base y la capa mejorada, para asegurar la estabilidad funcional de la configuración del pavimento.
- Bajo esas premisas se determinó unos espesores óptimos de losa variables de 18 cm a 20 cm conforme a los ESALs y CBRs presentes en la zona de estudio, no obstante, la metodología habitual sugiere espesores de 20 a 26 cm.
 - La metodología TCP proporciona diseños de pavimentos de concreto los cuales son más competentes y exactos frente al método habitual (AASHTO 93) ya que está basado en un criterio mecánico -empírico.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Tráfico vehicular

“Corresponde a la determinación del número de aplicaciones de carga por eje simple equivalente, evaluado durante el periodo de diseño del proyecto”(Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, 2010).

“Se denomina tráfico vehicular (también llamado tránsito vehicular) al resultado del movimiento o flujo de vehículos en una determinada vía, calle o autopista” (López, 2014).

Para la metodología de diseño PCA la cuantificación y tipificación de los pesos de las cargas axiales fuertes que transitan por la vía en estudio a lo largo de toda la vida útil son los factores principales para diseñar y estimar un espesor adecuado en un pavimento de concreto. Lo cual se deriva del:

- Tráfico promedio diario de camiones en ambas direcciones (average daily truck traffic-ADTT)
- Tráfico promedio diario en ambas direcciones, de todos los vehículos (average daily traffic-ADT)
- Cargas axiales de camiones

2.2.1.1. Proyección de tráfico vehicular

Es la estimación del volumen de tráfico presente en la vía de estudio (Average Daily Traffic, ADT de diseño), para la cuantificación se hace uso de las tasas anuales del crecimiento de tráfico y factores de proyección del tráfico, las tasas de crecimiento porcentual están determinadas por el PBI de la región de estudio o el análisis estadístico realizado por el Instituto Nacional de Estadística e Informática, según la rigurosidad del estudio.

Los factores descritos a continuación contribuyen en en las proyecciones del tráfico y en las tasas anuales de crecimiento:

1. Tráfico atraído o desviado – “Es el incremento sobre el tráfico existente, debido al mejoramiento de un camino existente” (Cemento Portland Association, 1995, p. 9).
2. Crecimiento normal del tráfico - Es el incremento debido al aumento del número y uso de vehículos motorizados” (Cemento Portland Association, 1995, p. 9).
3. Tráfico generado – “Es el incremento debido a la llegada de los vehículos motorizados, que no se hubiera realizado si no se hubieran construido los nuevos servicios” (Cemento Portland Association, 1995, p. 9).

4. Desarrollo del tráfico – “Es el incremento debido al cambio de uso del suelo por la construcción de los nuevos servicios” (Cemento Portland Association, 1995, p. 9).

2.2.1.2. Estudio de tráfico vehicular

Determinar la demanda del tráfico con precisión es esencial en un estudio de tráfico vehicular, pues a partir de ello se planificará y diseñará de manera satisfactoria muchos factores de la sostenibilidad del proyecto, lo cuales nos proporcionaran un diseño de pavimento y plataforma adecuado para la vía de transporte en estudio

La necesidad del conocimiento del estudio de tráfico se realiza en un enfoque de dos puntos de vital importancia: el diseño estructural del pavimento y el diseño de la capacidad del camino en estudio, para determinar adecuadamente el límite de crecimiento del aforo vehicular presente que afectará a la estructura vial durante su periodo de vida útil,

“El estudio de tráfico deberá proporcionar la información del índice medio diario anual (IMDA) para cada tramo vial materia de un estudio” (Ministerio de Transportes y Carreteras, 2014, p. 73).

2.2.2. *Transito*

El tránsito está compuesto por vehículos de diferente peso y número de ejes que producen diferentes tensiones y deformaciones en el pavimento, lo cual origina distintas fallas en éste. Para tener en cuenta esta diferencia, el tránsito se transforma a un número de cargas por eje simple equivalente de 18 kips (80 kN) ó ESAL (Equivalent Single Axle Load), de tal manera que el efecto dañino de cualquier eje pueda ser representado por un número de cargas por eje simple (Morales, 2004, p. 22).

2.2.2.1. Volumen de tránsito

Según Minaya y Ordoñez (2006, p. 88) “Se define como el número de vehículos que pasan por un punto o carril durante una unidad de tiempo. Sus unidades son vehículos/día; vehículos/hora, etc.”.

Según Arce (2017):

El volumen vehicular se define como la cantidad de autos que circulan por una ubicación determinada en un periodo de tiempo. Para determinar el volumen vehicular se utiliza como unidad los vehículos por unidad de tiempo. Dependiendo de la unidad de tiempo utilizado para determinar el volumen vehicular se logra obtener información relevante para realizar diferentes tipos de análisis. Para la planificación de vías se suele utilizar a los días como intervalo de tiempo, mientras que para análisis de control tráfico y coordinación de semáforos se suelen utilizar a las horas como intervalos de tiempo. El volumen horario es muy variable ya que a diferentes horas del día se puede registrar mayor o menor flujo vehicular, y especialmente durante las horas pico es cuando se registran los valores más altos de volumen de autos. (ps. 16-17)

2.2.3. Cargas

“Las cargas en pavimentos son generalmente el peso transportado por cada eje del camión y/o vehículo pesado”(Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, 2010).

2.2.4. Ejes

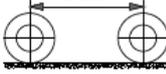
El Reglamento Nacional de Vehículos del MTC (2003) lo define como un componente mecánico en cual cumple la función de soportar al vehículo, la soporta a las ruedas y faculta la movilidad del mismo. Y pueden ser: eje de tracción, eje

direccional, eje doble, eje no motriz, eje retráctil, eje simple o independiente y eje triple.

En el Perú el peso máximo por eje o conjunto de ejes permitido por el reglamento nacional de vehículos (MTC) es el mostrado en la siguiente tabla:

Figura 1

Configuración de Ejes Vehiculares en el Perú

Conjunto de ejes	Nomenclatura	N° de Neumáticos	Simbología	ilustracion	Peso max. por eje (Tn)
simple	1RS	02			7
simple	1RD	04			11
doble	1RS+1RD	06			16
doble	2RS	04			12
doble	2RD	08			18
triple	3RS	06			16
triple	1RS+2RD	10			23
triple	3RD	12			25
doble separado	1RS+1RD	08			11+11

Nota: Se muestra los distintos tipos de ejes, y medidas de peso la distribución. Adaptada de Ministerio de Transportes y Carreteras (2014, p. 85)

2.2.5. Esal

“Es el efecto sobre el pavimento de cualquier combinación de cargas por eje de magnitud variada, expresada en el número de aplicaciones de un eje simple y ruedas duales de 80 kN” (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, 2010).

“Es el número total de pasadas del eje estándar (18 kip o 80 kN) durante el periodo de diseño” (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, 2010).

2.2.6. Evaluación de Pavimento

La evaluación de pavimentos consiste en identificar y registrar las fallas visuales que presenta el pavimento, de manera que se puedan adoptar medidas adecuadas de reparación o mantenimiento del pavimento, con las cuales se procura prolongar la vida útil de los pavimentos. (Solano, 2014, p. 12)

2.2.7. Evaluación estructural

Según Morales (2005):

La evaluación estructural es la observación de los tramos cuyo estado de deterioro ha decaído hasta un nivel en el cual el pavimento ha reducido su capacidad de resistir cargas; y cualquier programa de mantenimiento tradicional ya no es factible. Por lo tanto, dichos tramos deben ser rehabilitados para que vuelvan a ser transitables. El principal objetivo de la evaluación estructural es determinar la capacidad estructural efectiva del pavimento existente, ya que de ella va depender que el refuerzo sea correctamente diseñado (p. 43).

Hay tres maneras de determinar la capacidad estructural del pavimento existente:

- Capacidad estructural fundamentada en el ensayo materiales y la observación de los componentes del pavimento
- Capacidad estructural fundamentada en ensayos no dañinos o destructivos (No Destructive Testing-NDT).
- Capacidad estructural basado en la vida restante o sobrante del pavimento.

2.2.8. Pavimento Rígido

El pavimento rígido es básicamente una losa de concreto simple o armado, apoyada directamente sobre una base o subbase. La losa, debido a su rigidez y alto módulo de elasticidad, absorbe gran parte de los esfuerzos que se ejercen sobre el pavimento lo que produce una buena distribución de las cargas de rueda, dando como resultado tensiones muy bajas en la subrasante (Morales, 2005, p. 5).

Los elementos que conforman un pavimento rígido son: subrasante, subbase y la losa de concreto

2.2.9. Subrasante

La subrasante es el soporte natural, preparado y compactado, en la cual se puede construir un pavimento. La función de la subrasante es dar un apoyo razonablemente uniforme, sin cambios bruscos en el valor soporte, es decir, mucho más importante es que la subrasante brinde un apoyo estable a que tenga una alta capacidad de soporte. Por lo tanto, se debe tener mucho cuidado con la expansión de suelos (ALICARESP, 2019).

“La subrasante 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” (Ministerio de Economía y Finanzas, 2015, p. 12).

“La subrasante es el asiento directo de la estructura del pavimento y forma parte del prisma de la carretera, que se construye entre el terreno natural allanado o explanada y la estructura del pavimento” (Ministerio de Economía y Finanzas, 2015, p. 12).

2.2.10. Subbase

La capa de subbase es la porción de la estructura del pavimento rígido, que se encuentra entre la subrasante y la losa rígida. Consiste de una o más capas compactas de material granular o estabilizado; la función principal de la subbase es prevenir el bombeo de los suelos de granos finos. La subbase es obligatoria cuando la combinación de suelos, agua, y tráfico pueden generar el bombeo. Tales condiciones se presentan con frecuencia en el diseño de pavimentos para vías principales y de tránsito pesado (ALICARESP, 2019).

Las atribuciones en las que debe desempeñarse son las siguientes:

- Aumentar el módulo (K) de reacción de la subrasante.
- Disminuir al mínimo los efectos dañinos de la acción de congelamiento climático(heladas).
- Poner a disposición una capa con firmeza, paridad, y soporte homogéneo.
- Suministrar un medio drenante si se requiere, según las condiciones especiales específicas del proyecto.
- Facilitar su desempeño como una plataforma confortable y segura trabajo para los equipos de construcción.

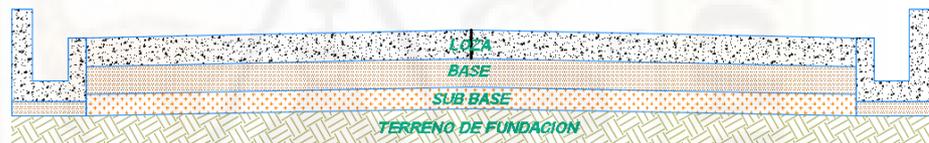
2.2.11. Losa

Es la superficie de rodadura por la cual circularan los vehículos. Su construcción y diseño tiene una gran variedad, por lo cual las características incorporadas en ella en su proceso constructivo deberán ser analizadas de manera rigurosa. Para una losa de pavimento rígido con diseño de concreto de cemento portland.

El factor mínimo de cemento debe determinarse en base a ensayos de laboratorio y por experiencia previas de resistencia y durabilidad. Se deberá usar concreto con aire incorporado donde sea necesario proporcionar resistencia al deterioro superficial debido al hielo-deshielo, a las sales o para mejorar la trabajabilidad de la mezcla (Timaná, 2004, p. 5).

Figura 2

Estructura de Pavimento Rígido



Nota: Se muestra la estructura del pavimento con sus componentes principales, los cuales son vitales para el análisis estructural. Elaboración Propia

2.2.11.1. Tipos de pavimentos rígidos

El Manual de Carreteras "Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos" de menciona: "Son tres tipos de pavimentos rígidos: pavimentos de concreto simple con juntas, pavimentos de concreto reforzado con juntas y pavimentos de concreto continuamente reforzados" MTC (2013, p. 261).

Lituma V. (2018) menciona que:

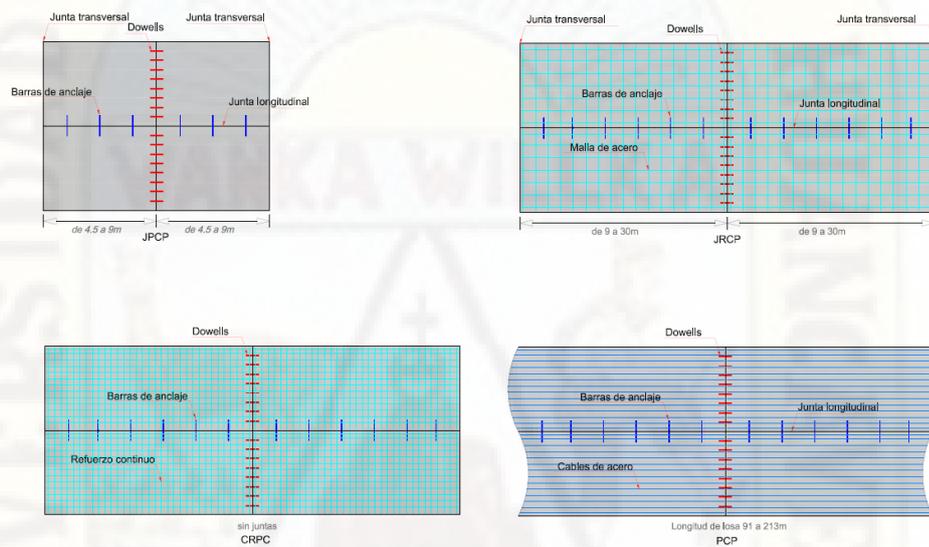
Los pavimentos rígidos pueden clasificarse en: pavimentos de concreto simple con juntas (JPCP) que tienen juntas de contracción cada 3 a 6 m que controlan el agrietamiento de la losa sin refuerzo, salvo con dowells para la de transmisión de cargas y barras de anclaje que anclan carrieles adyacentes; pavimentos de concreto reforzado con juntas (JRCP) que además de dowells y barras de anclaje cuentan con refuerzo de acero que permiten losas más largas

que a pavimentos JPCP; pavimentos de concreto con refuerzo continuo (CRCP) que están fuertemente reforzados y no tienen juntas de contracción debido a que ya no son necesarias, y pavimentos de concreto pretensado (PCP).

Los pavimentos en mención son ilustrados a continuación:

Figura 3

Tipos de Pavimentos



Nota: Se muestra los distintos tipos de Pavimentos, con detalle en sus características más relevantes y las dimensiones típicas de estas. Fuente: Adaptado del Libro Pavimentos análisis y diseño de Huang (2004).

2.2.11.2. Esfuerzos y Deflexiones en el pavimento rígido

Un pavimento rígido tiene la función de soportar cargas, por ello es mucho más rígida que la base de apoyo o el material de base y, por lo tanto, soporta una parte significativa de los esfuerzos inducidos. El mecanismo de carga es similar a la acción de una viga, aunque una losa de concreto es mucho más ancha que la viga y debe considerarse como una placa. (Mallick y El-Korchi, 2018)

Según Huang (2004) “En la teoría de Westergaard, se considera al pavimento como una placa sobre una cimentación líquida en contacto total con la subrasante”

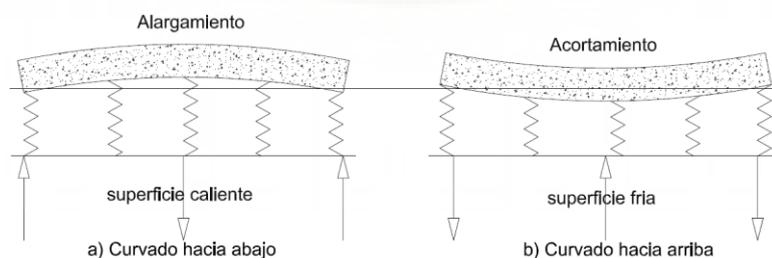
2.2.11.3. Esfuerzos debido a cambios de temperatura y/o humedad

Debido a la temperatura en el día en la superficie de las losas es mayor que en el fondo, que produce una expansión de la superficie con respecto al eje neutro, mientras que el fondo tiende a contraerse. Sin embargo, la expansión y contracción es restringida por el peso de la losa, produciéndose esfuerzos de compresión en la superficie de la losa y esfuerzos de tensión en el fondo. En la noche sucede lo contrario, pues la temperatura en la superficie de la losa es menor que en el fondo, por ello la superficie se contrae con respecto al fondo; esto produce esfuerzos de tensión en la superficie y esfuerzos de compresión en el fondo de las losas (Lituma, 2018, p. 26).

Cuando la temperatura en la superficie es mayor que en el fondo, la superficie es más larga que el fondo y la losa se curva hacia abajo. Esto muestra los resortes exteriores en los bordes de la losa que están en compresión y empujan a la losa hacia arriba, mientras los resortes en el interior de la losa están en tensión y jalan la losa hacia abajo. Por ello la superficie de la losa está en compresión y el fondo está en tensión. Lo contrario sucede cuando la temperatura es menor en la superficie que en el fondo de la losa (Lituma, 2018, p. 26).

Figura 4

Alabeo de losas debido a la Variación gradual de temperatura



Nota: Se muestra los efectos del gradiente térmico en la losa. Fuente: Elaboración Propia

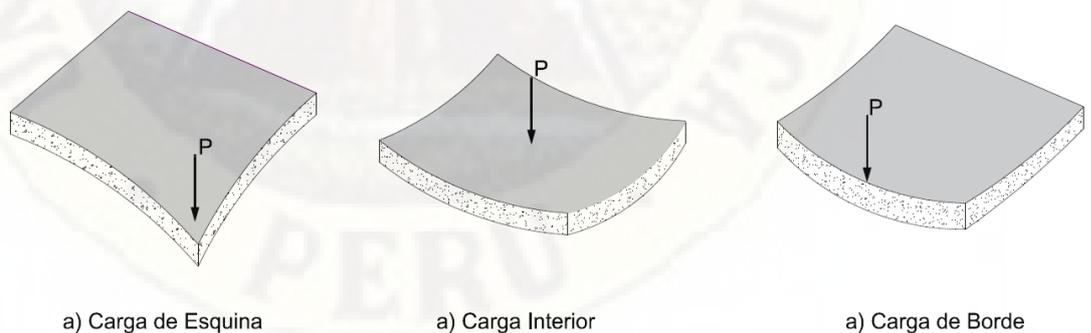
2.2.11.4. Esfuerzos y deformaciones debido a cargas

Tres métodos pueden ser usados para determinar los esfuerzos y deflexiones en los pavimentos de concreto: fórmulas de forma cerrada, cartas de influencia y programas computacionales de elementos finitos. Las formulas originalmente desarrolladas por Westergaard pueden ser aplicadas únicamente a una carga de rueda simple con un área de contacto circular, semicircular, elíptica o semielíptica. Las cartas de influencia de Pickett y Ray pueden ser aplicadas a múltiples cargas de ruedas de cualquier configuración (Huang, 2004).

Ambos métodos son aplicables solo a losas largas sobre una cimentación líquida. Si las cargas son aplicadas a múltiples losas sobre una cimentación líquida, sólida o de capas con transferencia de cargas entre juntas, únicamente los métodos de elementos finitos pueden ser usados (Huang, 2004).

Figura 5

Posiciones de Análisis de Carga - Westergaard



Nota: Se las distintas posiciones de carga analizadas por Westergaard, que corresponden a las zonas con mayor incidencia de efectos de las cargas vehiculares. Fuente: Elaboración Propia

El análisis de los pavimentos rígidos debe tomar en consideración los y esfuerzos y deformaciones en las esquinas, centro y bordes de losa.

Las cargas del tráfico inducirán tensiones en la losa de concreto y determinarán la vida de fatiga del pavimento. Las cargas en la esquina contribuirán a las roturas en las esquinas y las cargas en el interior y en el borde contribuirán al agrietamiento transversal de la losa. La magnitud de la tensión y la deflexión dependerá de la magnitud y la ubicación de la carga aplicada (Mallick y El-Korchi, 2011).

2.2.11.5. Cargas de esquinas

Lituma (2018) menciona:

Para una carga circular aplicada cerca de la esquina de una losa como se indica, donde el esfuerzo máximo no está cerca de la esquina y la fuerza total de reacción de la subrasante es considerable y no puede ser despreciada, Westergaard aplicó un método de aproximaciones sucesivas y obtuvo las siguientes fórmulas para el esfuerzo y deflexión (p. 31).

$$\sigma_c = \frac{3P}{h^2} \left[1 - \left(\frac{a\sqrt{2}}{l} \right)^{0.6} \right]$$

$$\Delta_c = \frac{P}{kl^2} \left[1.1 - 0.88 \left(\frac{a\sqrt{2}}{l} \right) \right]$$

Donde:

σ_c = Esfuerzo debido a la carga de esquina.

P = Carga concentrada.

h = Espesor de losa

a = Radio del área de contacto

l = Radio de rigidez relativa

Δ_c = Deflexión en la esquina

k = Módulo de reacción de la subrasante

Ioannides, Thompson, y Barenberg (1988), aplican métodos de elementos finitos para evaluar las soluciones de Westergaard por lo que sugiere el uso de las siguientes fórmulas para cargas de esquina:

$$\sigma_c = \frac{3P}{h^2} \left[1 - \left(\frac{c}{l} \right)^{0.72} \right]$$

$$\Delta_c = \frac{P}{kl^2} \left[1.205 - 0.69 \left(\frac{c}{l} \right) \right]$$

Donde:

$c =$ Longitud de lado con área de contacto cuadrada

$$c = 1.772a$$

2.2.11.6. Cargas en el interior

Westergaard(1926) desarrollo fórmulas para calcular el esfuerzo en una losa con un área cargada de forma circular actuando en el interior de la losa como se muestra a continuación:

$$\sigma_i = \frac{3(1+\nu)P}{2\pi h^2} \left[\ln \frac{l}{b} - 0.6159 \right] \text{ con: } b = a \Leftrightarrow a \geq 1.724h$$

$$b = \sqrt{1.6a^2 + h^2} - 0.675h \text{ cuando: } a < 1.724h$$

La deflexión por el efecto de una carga interior se calcula mediante la siguiente expresión:

$$\sigma_{e(\text{circulo})} = \frac{3(1+\nu)P}{\pi(3+\nu)h^2} \left[\ln \left(\frac{Eh^3}{100ka^4} \right) + 1.84 - \frac{4\nu}{3} + \frac{1-\nu}{2} + \frac{1.18(1+2\nu)a}{l} \right]$$

$$\sigma_{e(\text{semicirculo})} = \frac{3(1+\nu)P}{\pi(3+\nu)h^2} \left[\ln \left(\frac{Eh^3}{100ka^4} \right) + 3.84 - \frac{4\nu}{3} + \frac{(1+2\nu)a}{2l} \right]$$

$$\Delta_{e(\text{circulo})} = \frac{\sqrt{2+1.2\nu}P}{\sqrt{Eh^3k}} \left[1 - \frac{(0.76+0.4\nu)a}{l} \right]$$

$$\Delta_{e(\text{semicirculo})} = \frac{\sqrt{2+1.2\nu}P}{\sqrt{Eh^3k}} \left[1 - \frac{(0.323+0.17\nu)a}{l} \right]$$

Donde:

$\sigma_i =$ Esfuerzo debido a la carga interior.

$P =$ Carga concentrada.

$h =$ Espesor de losa

a = Radio del área de contacto

l = Radio de rigidez relativa

Δ_i = Deflexión de carga interior

k = Módulo de reacción de la subrasante

2.2.11.7. Cargas en el borde

Ioannides, Thompson, y Barenberg(1988) determinan el esfuerzo debido a la carga de borde, el cual se obtiene según las ecuaciones descritas a continuación.

$$\Delta_c = \frac{P}{8kl^2} \left\{ 1 + \frac{1}{2\pi} \left[\ln \left(\frac{a}{2l} \right) - 0.673 \right] \left(\frac{a}{l} \right)^2 \right\}$$

Donde:

σ_i = Esfuerzo debido a la carga de borde.

P = Carga concentrada.

h = Espesor de losa.

a = Radio del área de contacto.

l = Radio de rigidez relativa.

Δ_c = Deflexión de carga interior.

k = Módulo de reacción de la subrasante.

Para las situaciones con cargas relacionadas entre un área de contacto de forma semicircular, el diámetro se alinea con el límite de borde de losa.

2.2.12. Método de diseño ASSTHO 93

Este método hace uso de una ecuación empírica, la cual es producto del análisis y la observación del ensayo de un conjunto de pavimentos con variación en sus parámetros de diseño realizada durante años.

Para este método de diseño, la ecuación de diseño la descrita a continuación:

$$\log_{10} W_{t18} = Z_R S_o + 9.36 \log_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log_{10} M_R - 8.07$$

Variables independientes:

Z_R = Valor del desviador.

S_o = Espesor de losa.

a = Radio del área de contacto.

l = Radio de rigidez relativa.

Δ_c = Deflexión de carga interior.

k = Módulo de reacción de la subrasante.

Variables dependientes:

σ_i = Esfuerzo debido a la carga de borde.

P = Carga concentrada.

h = Espesor de losa.

a = Radio del área de contacto.

“La ecuación AASHTO-93 solo puede ser solucionada a través de iteraciones sucesivas, ya sea manualmente, u hoy en día por medio de programas de computadora personal, o manual” (Corredor, 2015, p.45).

2.2.13. Método de diseño por PCA

Portland Cement Association desarrolla este método cuyo uso exclusivo es para pavimentos de pavimentos de concreto hidráulico.

El método para el diseño de pavimento que se aborda ha sido desarrollado con base en conocimientos mecanísticos - empíricos (método de la PCA edición 1984). Cabe indicar que se ha utilizado el empirismo, debido a la falta o incerteza de conocimientos sobre el comportamiento de los diferentes elementos y/o materiales que conforman una estructura de pavimento rígido (Uribe, 2015).

2.2.13.1. Reseña histórica del método de la PCA

La Portland Cement Association - PCA incorpora un nuevo e innovador método mecanístico-empírico de diseño, dicho método fue formulado por P. Fordyce y R. Packard, empleado para pavimentos de concreto hidráulico con características simples,

con juntas y sin dowels, el cual se fundamenta en los trabajos realizados por Westergaad y en la presentación de cartas de influencia elaboradas por Pickett y Ray. Los resultados obtenidos a partir de dicho método permitían escoger una dimensión del espesor de pavimento que contemplaba el daño producido por fatiga.

La metodología de diseño fue mejorada a través de recomendaciones e investigaciones reforzadas con la llegada de las computadoras y el desarrollo de la metodología de elemento finito, incluyeron en su procedimiento de diseño la influencia de barras de dovela y del confinamiento lateral (Cemento Portland Association, 1995).

“En 1984 la PCA introdujo una nueva metodología de diseño (la versión vigente), basado en un análisis de elemento finito, no solamente considerando fatiga, sino que también considera el criterio de erosión” (Cemento Portland Association, 1995).

2.2.13.2. Criterios de diseño del método de la PCA

“El método de diseño de la PCA plantea dos criterios de falla: el criterio de erosión de la subbase por debajo de las losas y el criterio del esfuerzo de fatiga” (Uribe, 2015, p. 13).

Packard (1984). Define los criterios de análisis por erosión y fatiga:

a) El criterio de erosión es utilizado para limitar la deflexión que se produce en los bordes, las juntas y las esquinas de las losas del pavimento de concreto, que con presencia de agua produce la erosión de la subbase granular, fenómeno conocido como bombeo. El bombeo ocurre debido a que las repeticiones de carga de ejes pesados en las esquinas y bordes de la losa de concreto ocasionan la erosión de la subrasante, la subbase y los materiales de la berma, es decir que este tipo de cargas producen la erosión del material debajo y al lado de las losas, generando vacíos que inducen escalonamiento y fisuración de las losas (Packard, 1984).

b) El criterio de fatiga es utilizado para evaluar los esfuerzos producidos en las losas del pavimento ante la aplicación de cargas repetidas, las cuales puede inducir esfuerzos excesivos que generan agrietamientos en las losas (Packard, 1984).

2.2.13.3. Análisis por Fatiga y Erosión

El método de la Portland Cement Association (PCA) está fundamentado en principios mecanicistas, el cual utiliza nomogramas y tablas de diseño, sin embargo, en la publicación del software PCAPAV se presentan las ecuaciones de dicho método, las cuales son utilizadas satisfactoriamente en distinta gama de software contemporáneo en el diseño de pavimentos rígido, mediante dicha metodología.

2.2.13.3.1. Análisis por Fatiga:

Castro y Orobio(2015) “El criterio de fatiga es utilizado para evaluar los esfuerzos producidos en las losas del pavimento ante la aplicación de cargas, las cuales puede inducir esfuerzos excesivos que generan agrietamientos en las losas” (p. 27).

El Esfuerzo equivalente se determina mediante las siguientes ecuaciones, según la tipología del pavimento.

$$\sigma_{eq} = \frac{6Me}{h^2} f_1 f_2 f_3 f_4$$

Donde:

$$Me = -1600 + 2525 \log(l) + 24.42l + 0.204l^2 \text{ (Eje simple, Sin Berma)}$$

$$Me = 3029 - 2966.8 \log(l) + 133.69l - 0.0632l^2 \text{ (Eje Tandem, Sin Berma)}$$

$$Me = (-970.4 + 1202.6 \log(l) + 53.587l)(0.8742 + 0.01088k^{0.447}) \text{ (Eje simple, Con berma)}$$

$$Me = (2500.4 - 1980.9 \log(l) + 99.008l)(0.8742 + 0.01088k^{0.447}) \text{ (Eje Tandem, Sin berma)}$$

$$l = \left(\frac{Eh^3}{12(1 - u^2)k} \right)^{0.25}$$

Cálculo de Factores:

$$f_1 = \left(\frac{24}{\text{SAL}}\right)^{0.06} \left(\frac{\text{SAL}}{18}\right) \text{ (Eje simple)}$$

$$f_1 = \left(\frac{48}{\text{TAL}}\right)^{0.06} \left(\frac{\text{TAL}}{36}\right) \text{ (Eje Tándem)}$$

$$f_2 = 0.892 + \frac{h}{87.71} - \frac{h^2}{3000} \text{ (Sin berma de concreto)}$$

$$f_2 = 1 \text{ (Con berma de concreto)}$$

$$f_3 = 0.894 \text{ (6\% de camiones al borde de losa segun PCA)}$$

$$f_4 = \frac{1}{1.235(1 - CV)} \text{ (Segun PCA el valor recomendado, CV = 15\%), } f_4 = 0.953$$

El análisis de fatiga está enfocado en evitar las fallas en el pavimento, orientada a la prevención del inicio de fisuras en las losas pavimentos, debido a la fatiga por las repeticiones y la incidencia de los esfuerzos críticos.

$$\text{Si: } \frac{\sigma_{eq}}{\text{MR}} \geq 0.55; \log N_f = 11.737 - 12.077 * \frac{\sigma_{eq}}{\text{MR}}$$

$$\text{Si: } 0.45 < \frac{\sigma_{eq}}{\text{MR}} < 0.55; N_f = \left(\frac{4.2577}{\frac{\sigma_{eq}}{\text{MR}} - 0.4325} \right)^{3.268}$$

$$\text{Si: } \frac{\sigma_{eq}}{\text{MR}} \leq 0.45; N_f = \text{ilimitado}$$

Donde:

σ_{eq} = Esfuerzo equivalente, en psi

h = Espesor de la losa, en pulg

k = Módulo de la reacción de la subrasante, en pci

f_1 = factor de ajuste del efecto del peso de los ejes.

f_2 = Factor de ajuste para losas sin *bermas*

f_3 = Factor de ajuste por el efecto en el esfuerzo

f_4 = Factor de ajuste por el aumento de resistencia

SAL = Cargas de los ejes simples en Kips

TAL = Cargas de los ejes Tándem en Kips

N_f = Número de repeticiones máximas admisibles

El porcentaje de daño ocasionado por fatiga se calcula dividiendo el número de repeticiones esperadas por el número de repeticiones máximas admisibles, el cual debe ser igual o inferior a 100%.

2.2.13.3.2. Análisis por Erosión:

Castro y Orobio(2015) El criterio de erosión es utilizado para limitar la deflexión que se produce en los bordes, las juntas y las esquinas de las losas del pavimento de concreto, que con presencia de agua produce la erosión de la subbase granular, fenómeno conocido como bombeo (p. 28).

La deflexión se determina mediante las siguientes ecuaciones, según la tipología del pavimento

$$\delta_{eq} = \frac{pc}{k} * f_5 * f_6 * f_7$$

Los factores de la deflexión varían de acuerdo a las tipologías de pavimento:

$$pc = 1.571 + \frac{46.127}{l} + \frac{4372.7}{l^2} - \frac{22886}{l^3}; \text{ (Eje simple, Sin berma, Sin Dovelas)}$$

$$pc = 1.847 + \frac{213.68}{l} - \frac{1260.8}{l^2} + \frac{22989}{l^3}; \text{ (Eje tandem, Sin berma, Sin Dovelas)}$$

$$pc = 0.5874 + \frac{65.108}{l} + \frac{1130.9}{l^2} - \frac{5245.8}{l^3}; \text{ (Eje simple, Con berma, Sin Dovelas)}$$

$$pc = 1.47 + \frac{102.2}{l} - \frac{1072}{l^2} + \frac{14451}{l^3}; \text{ (Eje tandem, Con berma, Sin Dovelas)}$$

$$pc = -0.3019 + \frac{128.85}{l} + \frac{1105.8}{l^2} - \frac{3269.1}{l^3}; \text{ (Eje simple, Sin berma, Con Dovelas)}$$

$$pc = 1.258 + \frac{97.491}{l} + \frac{1484.1}{l^2} - \frac{180}{l^3}; \text{ (Eje tandem, Sin berma, Con Dovelas)}$$

$$pc = 0.018 + \frac{72.99}{l} + \frac{323.1}{l^2} + \frac{1620}{l^3}; \text{(Eje simple, Con berma, Con Dovelas)}$$

$$pc = 0.0345 + \frac{146.25}{l} - \frac{2385.6}{l^2} + \frac{23848}{l^3}; \text{(Eje tandem, Con berma, Con Dovelas)}$$

$$f_5 = \frac{SAL}{18}; \text{(eje simple)}$$

$$f_5 = \frac{TAL}{36}; \text{(eje tandem)}$$

$$f_6 = 0.95 \text{(Sin dovelas, sin berma)}$$

$$f_6 = 1.001 - \left(0.26363 - \frac{k}{3034,5}\right)^2 \text{(Sin dovels, con berma)}$$

$$f_6 = 1 \text{(con dovelas)}$$

$$f_7 = 0.896; \text{(sin berma)}$$

$$f_7 = 1; \text{(con berma)}$$

El factor de erosión (EF) se calcula mediante la siguiente expresión:

$$EF = \log \left(\frac{11111 * (0.896 * P)^2 * C1}{h * k^{0.73}} \right)$$

$$P = 268.7 * \frac{k^{1.27} * \delta_{eq}^2}{h}$$

$$C1 = 1 - \left(\frac{k}{2000} * \frac{4}{h} \right)^2$$

$$C2 = 0.06 \text{(sin berma)}$$

$$C2 = 0.94 \text{(con berma)}$$

$$\text{Si: } C1 * P > 9; \log(N_e) = 14.524 - 6.777 * (C1 * P - 9)^{0.103} - \log(C2)$$

Si: $C1 * P \leq 9$; $N_f =$ ilimitado

Donde:

δ_{eq} = Deflexion equivalente en la esquina de la losa, en psi

k = Modulo de la reaccion de la subrasante, en pci

f_5 = Factor de ajuste por el efecto de las cargas por eje

f_6 = Factor de ajuste para losas sin *dovelas en las juntas* y sin *berma*

f_7 = Factor de ajuste por el efecto de los camiones

p_c = *Presion entre la losa y la superficie de soporte*

P = potencia que relaciona la deflexion de esquina y la presión en losa.

C_1 = Factor de ajuste para subbase no tratadas y estabilizadas

C_2 = Factor de ajuste para subbase sin *bermas*

SAL = Cargas de los ejes simples en Kips

TAL = Cargas de los ejes Tándem en Kips

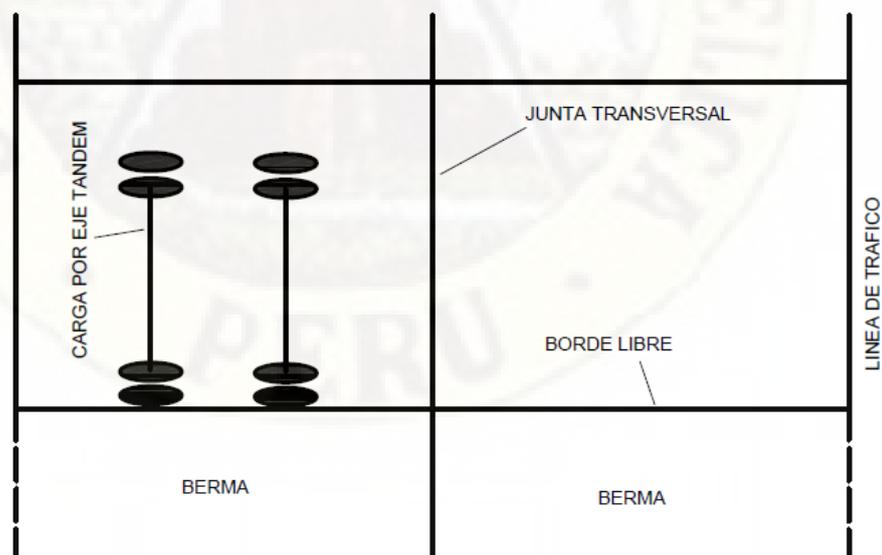
N_e = Número Max. de repeticiones máximas admisibles *por erosion*

El porcentaje de daño ocasionado por erosión se calcula dividiendo el número de repeticiones esperadas por el número de repeticiones máximas admisibles, el cual debe ser igual o inferior a 100%.

La PCA determinó las posiciones críticas de las cargas por eje, las cuales se muestran:

Figura 6

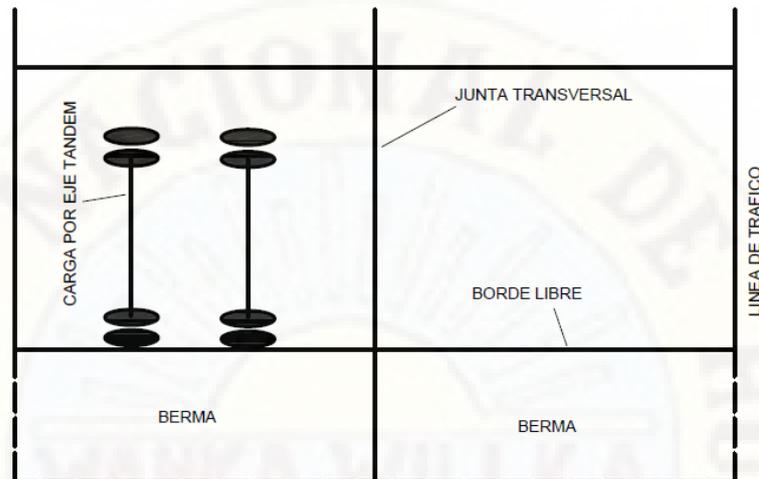
Carga por eje critica por esfuerzos de flexión



Nota: Adaptada de Thickness Design for concrete Highway and Street Pavements PCA (Packard, 1984)

Figura 7

Cargas por eje para posición crítica para deflexiones



Nota: Adaptada de Thickness Design for concrete Highway and Street Pavements PCA (Packard, 1984)

2.2.14. Elementos Finitos

En el análisis de sistemas complejos sometidas a acciones diversas, se requiere establecer un análisis de una estructura que tendrá una división de cada una de sus partes en partes de análisis más reducidas, que no desestimen el modelo completo, y que aborden de manera satisfactoria el comportamiento real del sistema.

2.2.15. Discretización

La discretización responde, por parte del ingeniero, a una intuición por la que, partiendo de una división de la estructura real en partes más pequeñas o menos grandes que a la vez, pueden ser subdivididas en otras más pequeñas, estas en otras, y así sucesivamente, haya el límite, tendiendo el tamaño de estas a cero, el comportamiento de tal modelo de la estructura fuera de la estructura real (Fornons, 1982).

“La discretización consiste en transformar modelos y ecuaciones continuos en sus contrapartes discretos y numerables, lo cual permite hacer cálculos más fácilmente mediante aproximaciones” (Cárdenas, 2017).

Su aplicación se extiende a la simulación de un sistema complicado o difícil el cual no se puede resolver de manera analítica.

La discretización nos permite desarrollar metodologías que son beneficiosas para modelamiento matemático de distintos elementos que interactúan entre si.

2.2.16. EverFe

Este programa permite modelar de forma sencilla en 3D elementos finitos y simula la respuesta de sistemas de pavimento en hormigón articulados las cuales son sometidos a cargas axiales, fenómenos ambientales y encogimientos. El software fue creado por Las universidades de Maine y Washington (Murillo, 2020).

“Es una herramienta de análisis de elementos finitos 3D para simular la respuesta de sistemas de pavimento de hormigón liso articulado para cargas por eje y efectos ambientales” (Bill, 2003).

2.3. Hipótesis

2.3.1. Hipótesis General:

El tráfico vehicular influye en el desempeño de la estructura del pavimento rígido en la ciudad de Huancavelica 2021.

2.3.2. Hipótesis Específicos:

- El tráfico vehicular influye en la erosión del pavimento rígido en la ciudad de Huancavelica 2021.

- El tráfico vehicular influye la fatiga del pavimento rígido en la ciudad de Huancavelica 2021.

2.4. Definición de términos

Erosión: “El criterio de erosión es utilizado para limitar la deflexión que se produce en los bordes de las losas de concreto, juntas y esquinas del pavimento por efecto del bombeo” (Uribe, 2015, p. 14).

Fatiga:

El análisis del criterio de fatiga es utilizado para evaluar los esfuerzos producidos en las losas del pavimento, ante la aplicación de cargas sobre las losas, lo cual puede producir esfuerzos excesivos, que generan agrietamientos. El objetivo es mantener los esfuerzos en el concreto, que constituye la losa, dentro de los límites de seguridad, basándose en el factor de relación de esfuerzos, el cual corresponde al esfuerzo de flexión dividido entre el módulo de ruptura del concreto a los 28 días (Uribe, 2015, p. 15).

Berma: “Franja longitudinal, paralela y adyacente a la superficie de rodadura de la carretera, que sirve de confinamiento de la capa de rodadura y se utiliza como zona de seguridad para el estacionamiento de vehículos en caso de emergencia” (Ministerio de Economía y Finanzas, 2015, p. 12).

Pavimento:

Estructura construida sobre la subrasante de la vía, para resistir y distribuir los esfuerzos originados por los vehículos y mejorar las condiciones de seguridad y comodidad para el tránsito. Por lo general está conformada por capa de rodadura, base y subbase (Ministerio de Economía y Finanzas, 2015, p. 13).

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” (Ministerio de Economía y Finanzas, 2015, p. 14).

Diseño de pavimentos:

Es el proceso por el cual los componentes estructurales (carpeta, losa, base, subbase, subrasante) de un segmento de carretera son determinados tomando en consideración la naturaleza de la subrasante, las consideraciones ambientales, densidad y composición del tráfico, y las condiciones de mantenimiento (Menendez, 2009, p. 9).

En resumen consiste en establecer las dimensiones de los espesores y las características estructurales de los materiales y partes del pavimento, para otorgar una vía de transporte cómoda, confortable y con una duración deseable.

2.5. Definición operativa de variables

Tabla 1

Definición operativa de variables e indicadores

OPERACIONALIZACION DE VARIABLES			
VARIABLE	DEFINICION CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICE/INDICADOR
VARIABLE INDEPENDIENTE Tráfico vehicular	“Se denomina tráfico vehicular (también llamado tránsito vehicular) al resultado del movimiento o flujo de vehículos en una determinada vía, calle o autopista” (López, 2014).	IMDA	Repeticiones Esperadas
VARIABLE DEPENDIENTE Desempeño estructural del pavimento rígido	“La performance o desempeño de un pavimento puede definirse como la capacidad estructural o funcional medible a lo largo de su período de diseño” (Cordo, 2006).	Fatiga Erosión	Esfuerzo Deflexión

Fuente: Elaboración Propia.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

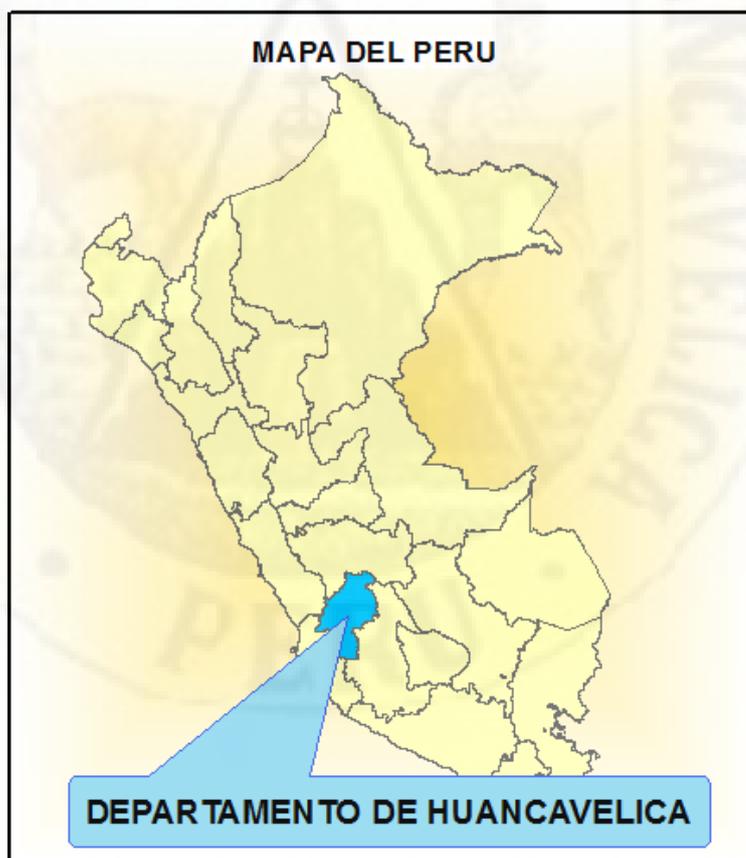
2.6. **Ámbito de Estudios**

El área de estudio, es el tramo de la “Av. Santos Villa”, ubicado en el distrito de Ascensión, provincia y región de Huancavelica, característica por tener un volumen de tránsito en crecimiento. El tramo se encuentra el distrito de Ascensión.

Departamento	:	Huancavelica
Provincia	:	Huancavelica
Distrito	:	Ascensión

Figura 8

Mapa del Perú



Nota: Mapa del Perú con énfasis en el departamento de Huancavelica, Fuente: Elaboración Propia

Figura 9

Mapa del Departamento de Huancavelica



Nota: Mapa del Departamento de Huancavelica con énfasis en la provincia de Huancavelica,

Fuente: Elaboración Propia

Figura 10

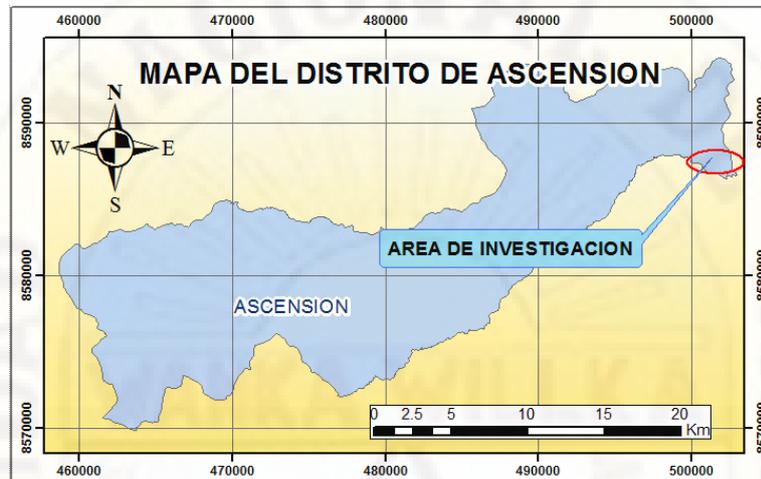
Mapa de la Provincia de Huancavelica



Nota: Mapa de la Provincia de Huancavelica con énfasis en el distrito de Ascensión, Fuente: Elaboración Propia

Figura 11

Mapa del Distrito de Ascensión



Nota: Mapa del Distrito de Ascensión con énfasis en zona de estudio de la presente investigación, Fuente: Elaboración Propia

Figura 12

Zona de Investigación



Nota: Elaboración Propia

2.7. Tipo y Nivel de Investigación

2.7.1. Tipo de Investigación

El tipo de la presente investigación es APLICADA, porque tiene como finalidad la producción de conocimientos para emplearlos directamente y en un plazo cercano para mejorar la calidad de vida en la sociedad. Además, utiliza los conocimientos ya existentes para afianzar sus objetivos. Según Lozada (2014, p.34), “La investigación aplicada tiene por objetivo la generación de conocimiento con aplicación directa y a mediano plazo en la sociedad o en el sector productivo”.

Según Muñoz (2011, p.26) “Se caracteriza por aplicar los conocimientos que surgen de la investigación pura para resolver problemas de carácter práctico, empírico y tecnológico para el avance y beneficio de los sectores productivos de bienes y servicios de la sociedad”.

2.7.2. Nivel de Investigación

El nivel de investigación es EXPLICATIVO, porque procura definir las causas de los eventos, sucesos o fenómenos que se examinan, estableciendo una relación causa-efecto. Según Hernández, Fernández, y Baptista (2010, p. 84), “Como su nombre lo indica, su interés se centra en explicar por qué ocurre un fenómeno y en qué condiciones se manifiesta, o por qué se relacionan dos o más variables”

El nivel EXPLICATIVO de uno de los métodos de investigación con mayor grado de aportación al conocimiento en el mundo científico, y es el más alto de todos los niveles de conocimiento. Según Gonzales, Oseda, Ramírez, & Gave, (2011, p. 142), “Sus resultados y conclusiones constituyen el nivel más profundo de conocimientos.”.

2.8. Método de Investigación

En la investigación se hace el uso general del método científico, el método específico utilizado es el cuasi experimental, los cuales se detallan a continuación:

2.8.1. Método general

El método general a utilizar en la presente investigación es el método científico. Tamayo (2003, p. 28), “El método científico es un procedimiento para descubrir las condiciones en que se presentan sucesos específicos, caracterizado generalmente por ser tentativo, verificable, de razonamiento riguroso y observación empírica”. Asimismo, Tamayo (2003, p. 28) concluye que, “el método científico es un conjunto de procedimientos por los cuales se plantean los problemas científicos y se ponen a prueba las hipótesis y los instrumentos de trabajo investigativo”.

2.8.2. Método específico:

El método de investigación específico es el cuasiexperimental, porque el control de variables no es estricto o drástico. Sobre el método cuasiexperimental afirma Tamayo (2003, p. 111), “Cuando estudia las relaciones causa-efectos, pero no en condiciones de control riguroso de las variables que maneja el investigador en una situación experimental”.

2.9. Diseño de investigación

El diseño de investigación será Cuasi-experimental, según Sousa, Driessnack, y Costa (2007), “Los diseños cuasi-experimentales examinan relaciones de causa y efecto entre las variables independiente y dependiente. Sin embargo, una de las características del diseño verdaderamente experimental, es la falta de designación aleatoria de los sujetos para los grupos”. Los modelos cuasi-experimentales son muy beneficiosos para probar la validez de una intervención, pues son los que más se asemejan a los escenarios de la realidad.

$$\begin{array}{rcc}
 GE: & O_1 & X & O_2 \\
 GC: & O_3 & X & O_4
 \end{array}$$

Donde:

- G.E. : Grupo Experimental
- X : Manipulación de la variable (Tráfico vehicular)
- O : Variable dependiente (Desempeño estructural)

Según White y Sabarwal (2014) Los diseños cuasiexperimentales identifican un grupo de comparación lo más parecido posible al grupo de tratamiento en cuanto a las características del estudio de base (previas a la intervención). El grupo de comparación capta los resultados que se habrían obtenido si el programa o la política no se hubieran aplicado (es decir, el contra fáctico). Por consiguiente, se puede establecer si el programa o la política han causado alguna diferencia entre los resultados del grupo de tratamiento y los del grupo de comparación (p. 1).

2.10. Población y muestra

2.10.1. Población

La población o universo puede definirse como conjunto de individuos o casos de estudios que comparten por lo menos una característica o atributo que las interrelacionan.

Gonzales, Oseda, Ramírez, y Gave, (2011, p. 142) “En una investigación la población está dada por el conjunto de sujetos al que puede ser generalizado los resultados del trabajo”.

La población a estudiarse en la presente investigación es el pavimento rígido de la Av. Santos villa del distrito de Ascension de la ciudad de Huancavelica.

2.10.2. Muestra

Hernández, Fernández y Baptista (2010) “La muestra es, en esencia, un subgrupo de la población. Digamos que es un subconjunto de elementos que pertenecen a ese conjunto definido en sus características al que llamamos población” (p. 175).

La muestra a considerarse para la presente investigación es el tramo de pavimento rígido ubicado en la Av. Santos villa , entre la interseccion con Jr. Garcilazo de la Vega y Jr. Juan Vergara, del distrito de Ascension de la ciudad de Huancavelica.

2.11. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

2.11.1. Técnicas

Las principales técnicas que se utilizarán en la presente investigación son:

2.11.1.1. La observación de campo y laboratorio:

Gonzales, Oseda, Ramírez, & Gave, (2011) refieren al respecto:

Es una técnica que consiste en observar atentamente el fenómeno, hecho o caso, tomar información y registrarla para su posterior análisis. La observación de campo es el recurso principal de la observación descriptiva, se realiza en el lugar donde ocurren los hechos o fenómenos investigados y la observación de laboratorio se realiza con grupos humanos previamente determinados, para observar sus comportamientos físicos y mecánicos (p. 147).

2.11.1.2. Exploración

La examinación y el reconocimiento del pavimento en estudio, tipificando sus características. Las características de la losa se basan en la Extracción de 03 muestras de la losa de pavimento correspondiente a las ubicaciones de mayor tensión estructural, según lo descrito anteriormente, en el tramo de estudio de la investigación.

2.11.1.3. La documentación:

Se realizará de forma analítica e interpretativa recopilando la información necesaria y de acceso factible como: informes técnicos realizados en el área de estudio, conteo vehicular video digital, reportes viales y de tráfico de la zona.

2.11.2. Instrumentos

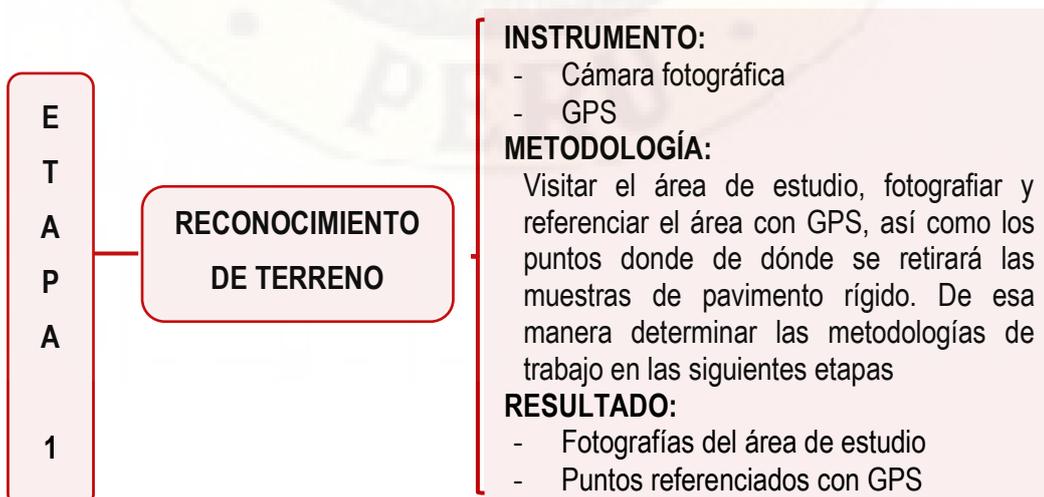
En el desarrollo de la investigación utilizaremos equipos e instrumentos de laboratorio como: wincha, cámaras fotográficas, procesadores de información y laboratorio de mecánica de concreto: equipo de flexión.

2.12. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Para el procesamiento y análisis de datos se realizará a través de los siguientes trabajos:

- Uso de Manuales y Normativas referente a pavimentos rígidos.
- Análisis con elementos finitos con EverFe 2.26
- Metodología para pavimentos rígidos PCA
- Hojas de calculo

2.13. Esquema Metodológico



E
T
A
P
A

2

**RECOPIACION DE
INFORMACION DE
CAMPO**

INSTRUMENTOS:

- Wincha
- Cámara fotográfica
- Libreta de apuntes

METODOLOGÍA:

Medir las losas de pavimento rígido, y el tramo pavimentado a estudiar, para recopilar parámetros de la losa

RESULTADO:

- Dimensiones de las losas.

E
T
A
P
A

3

**ESTUDIO DE
TRÁFICO**

INSTRUMENTOS:

- Formato de conteo vehicular
- Cámara de Control de Vigilancia

METODOLOGÍA:

Conteo vehicular clasificado por tipo en cada sentido de tráfico

RESULTADOS:

- Demanda volumétrica actual
- Índice Medio Diario Anual por tipo de vehículo
- Numero de Repeticiones de Ejes

E
T
A
P
A

4

**EXPLORACION Y
EXTRACCION DE
MUESTRAS**

INSTRUMENTOS:

Instrumentos manuales para la exploración, maquina cortadora de pavimento y extracción de muestras y pavimento rígido.

METODOLOGÍA:

De acuerdo al programa, se realizará la extraerá las muestras representativas del pavimento rígido del tramo en estudio.

RESULTADOS:

Resultados de campo
Muestras inalteradas

E
T
A
P
A

**ANALISIS EN
LABORATORIO**

INSTRUMENTOS:

- Instrumentos y equipos para el ensayo ASTM C78

METODOLOGÍA:

Obtenido las muestras inalteradas, se realizarán los ensayos correspondientes para obtener resultados objetivos

RESULTADOS:

- Resultados de laboratorio
- Módulo de rotura

E
T
A
P
A

6

**ANALISIS POR
ELEMENTO
FINITOS**

INSTRUMENTOS:

- Software EverFE 2.26

METODOLOGÍA:

Obtenido las dimensiones de loza, datos del laboratorio, se realizará el análisis del pavimento rígido.

RESULTADOS:

- Esfuerzo
- Deflexión

E
T
A
P
A

7

RESULTADOS

RESULTADOS:

- Mediante la metodología PCA se obtuvo el porcentaje de daño acumulado del pavimento existente
- Desempeño de la vía urbana en estudio

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

- Determinar si el tráfico vehicular influye en el desempeño estructural del pavimento rígido.
- Determinar si el tráfico vehicular influye en la fatiga y erosión en el desempeño estructural del pavimento rígido.

CAPÍTULO IV

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Desarrollo del trabajo de la tesis

El presente proyecto de investigación analiza el tráfico vehicular de la Av. Santos Villa con un punto de control ubicado en el Instituto Superior Tecnológico de Huancavelica, para una vía de tránsito pesado de rango 8, que se encuentra ubicado en el distrito de Ascensión, de la provincia y región de Huancavelica, con la finalidad de determinar el desempeño estructural del pavimento rígido la vía existente, todo ello con la metodología de la Portland Cement Association (PCA).

Tabla 2

Tipos de Tráfico Pesado según ejes equivalentes

Tipos Tráfico Pesado expresado en EE	Rangos de Tráfico Pesado expresado en EE	
Tp0	>75000	≤ 150000
Tp1	>150000	≤ 300000
Tp2	> 300000	≤ 500000
Tp3	> 500000	≤ 750000
Tp4	> 750000	≤ 1000000
Tp5	> 1000000	≤ 1500000
Tp6	> 1500000	≤ 3000000
Tp7	> 3000000	≤ 5000000
Tp8	> 5000000	≤ 7500000
Tp9	> 7500000	≤ 10000000
Tp10	> 10000000	≤ 12500000
Tp11	> 12500000	≤ 15000000
Tp12	> 15000000	≤ 20000000
Tp13	> 20000000	≤ 25000000
Tp14	> 25000000	≤ 30000000
Tp15	> 30000000	

Nota: Adaptado del Manual de Carreteras Sección Suelos y Pavimentos, (Ministerio de Transportes y Carreteras, 2014)

3.1.1. Estudio de Trafico

El estudio de aforo vehicular de la vía, fue realizado en la Av. Santos Villa (Sector Millpo Ccachuana), tomando las consideraciones respectivas en los factores que intervienen en un estudio de tráfico típico.

3.1.1.1. Factor de Corrección Estacional

Se utilizo el factor de corrección estacional corresponde a la estación de peaje de Rumichaca, estación con mayor cercanía o proximidad a la zona de estudio, según el mes del estudio de tráfico y lo recomendado por Ministerio de Transportes y Carreteras (2014), siendo un valor variable según el tipo de vehículos que transitan por la vía de estudio (vehículos ligeros y vehículos pesados).

Tabla 3

Determinación de Factor Correccional

MES	Marzo	AÑO	2021
PEAJE	RUMICHACA		
Factor de Corrección Estacional	Vehículos Liviano	fe:	1.0297 (Según MTC)
	Vehículos Pesado	fe:	1.0299 (Según MTC)

Nota: Elaboración Propia

3.1.1.2. Tasa de Crecimiento

Las Tasas de Crecimiento Vehicular se obtuvieron de datos estadísticos proporcionados por el Instituto Nacional de Estadística e Informática(2021), utilizándose una tasa que varía según el tipo de vehículo: Muy Pesado, Pesado, Livianos, para un periodo de 10 años que corresponde a la mitad de la vida útil del pavimento en estudio.

Ecuación de tasa de crecimiento:

$$T_n = T_o(1 + r)^{n-1}$$

Donde:

T_n= Tránsito proyectado al año “n” en veh/día

T_o= Tránsito actual (año base) en veh/día

n= Número de años del periodo de diseño

r= Tasa anual de crecimiento del tránsito

Tabla 4

Tasa de Crecimiento

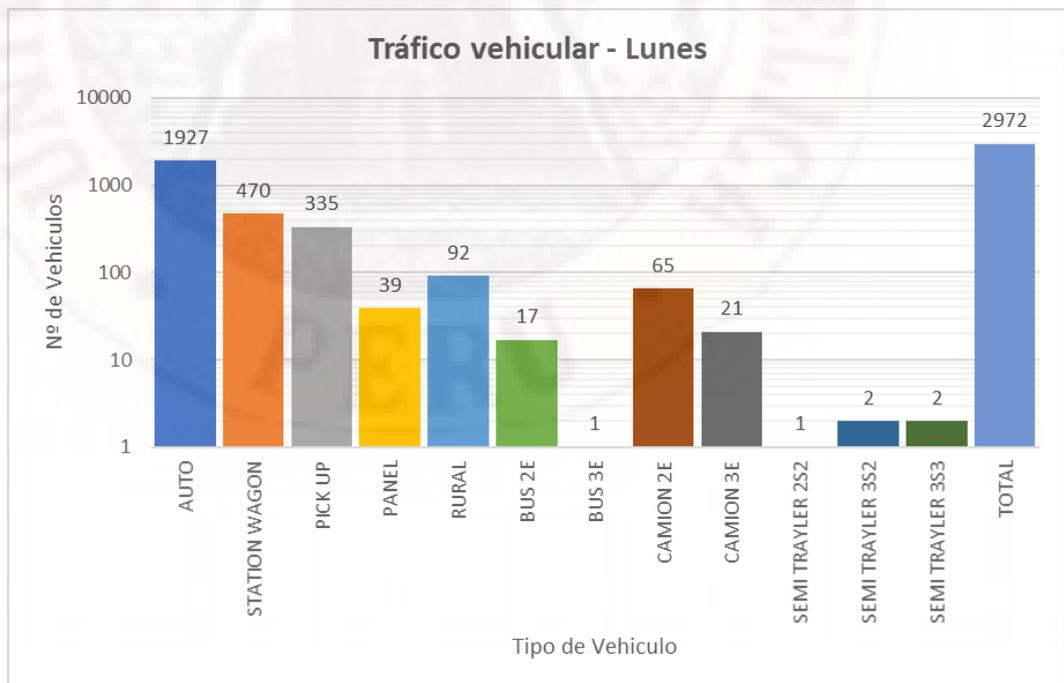
	Vehículos Liviano	r:	3.60%
Tasa de Crecimiento	Vehículos Pesado	r:	9.90%
	Vehículos muy Pesados	r:	12.70%
	N° de años	n:	10

Nota: Elaboración Propia

El estudio del tráfico vehicular se realizó durante 7 días: De Lunes a Domingo, por 24 horas ininterrumpidas, se obtuvo los siguientes resultados:

Figura 13

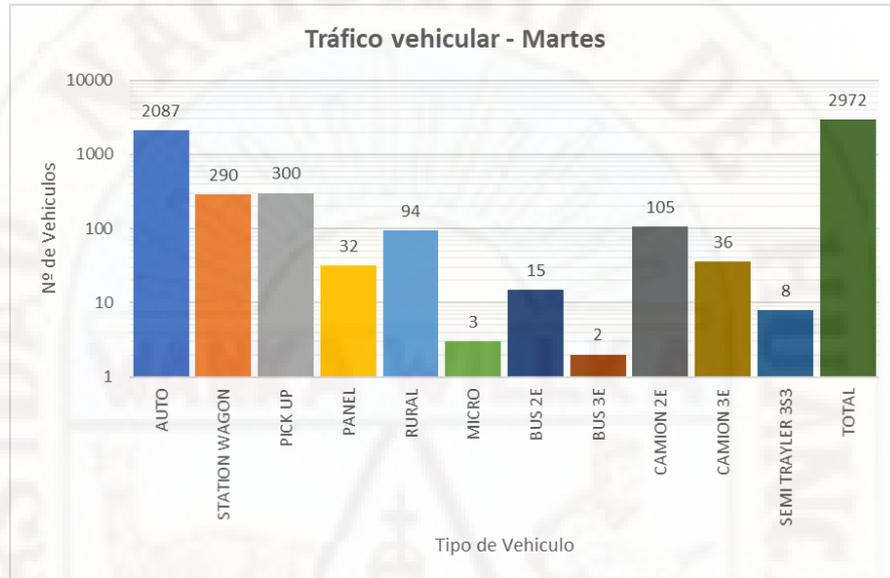
Tráfico vehicular del día Lunes.



Nota: Elaboración Propia

Figura 14

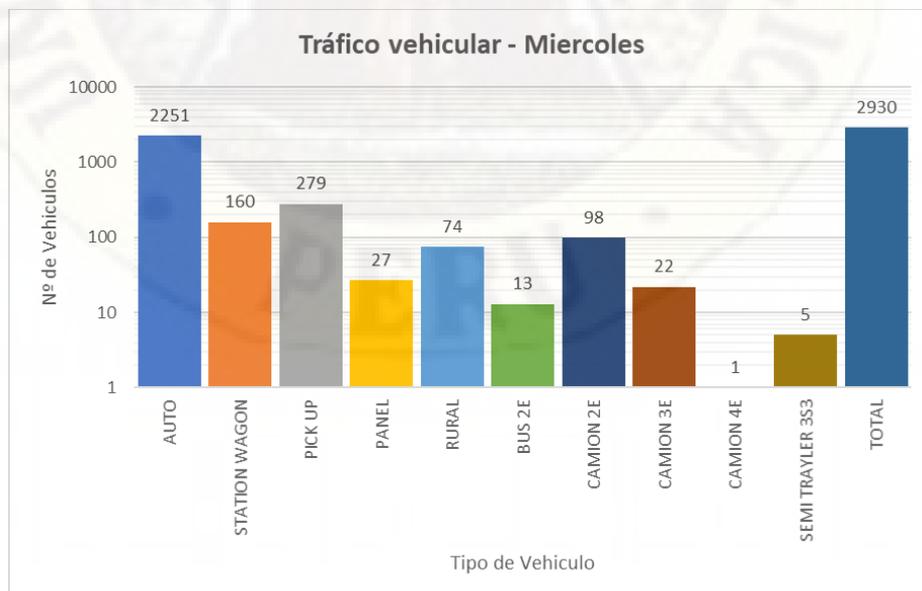
Tráfico vehicular del día Martes.



Nota: Elaboración Propia

Figura 15

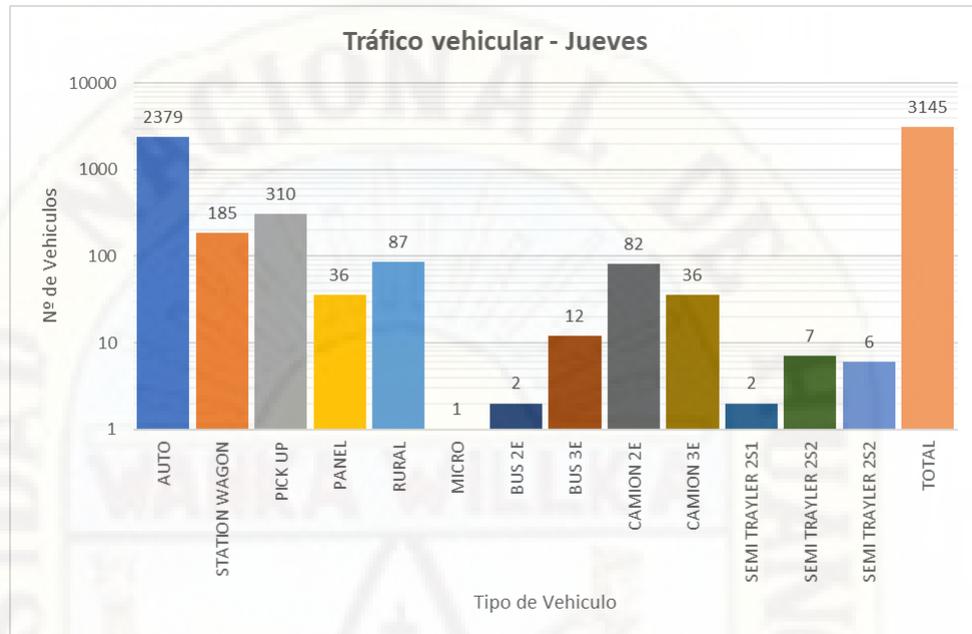
Tráfico vehicular del día Miércoles



Nota: Elaboración Propia

Figura 16

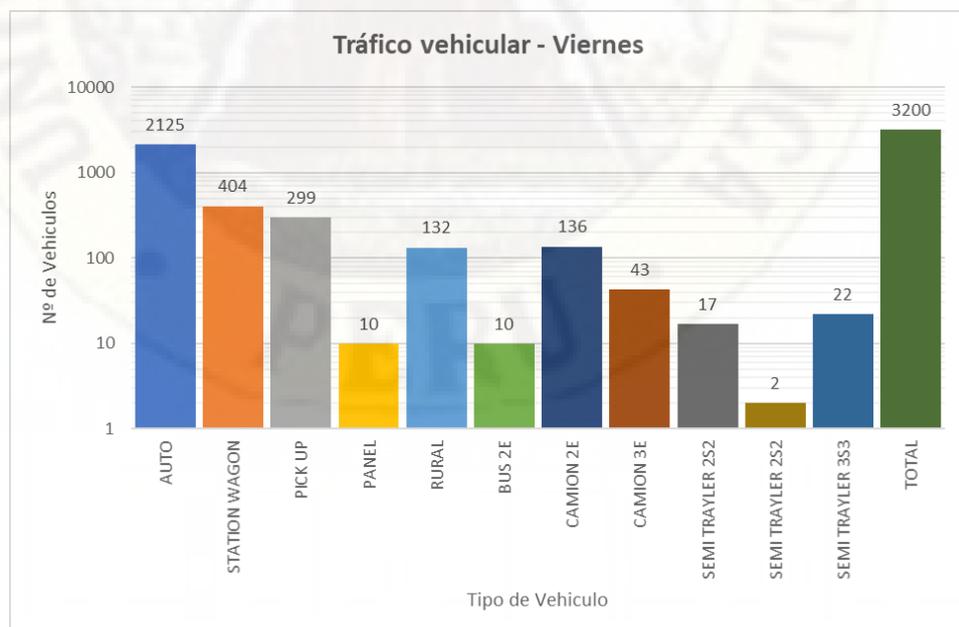
Tráfico vehicular del día Jueves.



Nota: Elaboración Propia

Figura 17

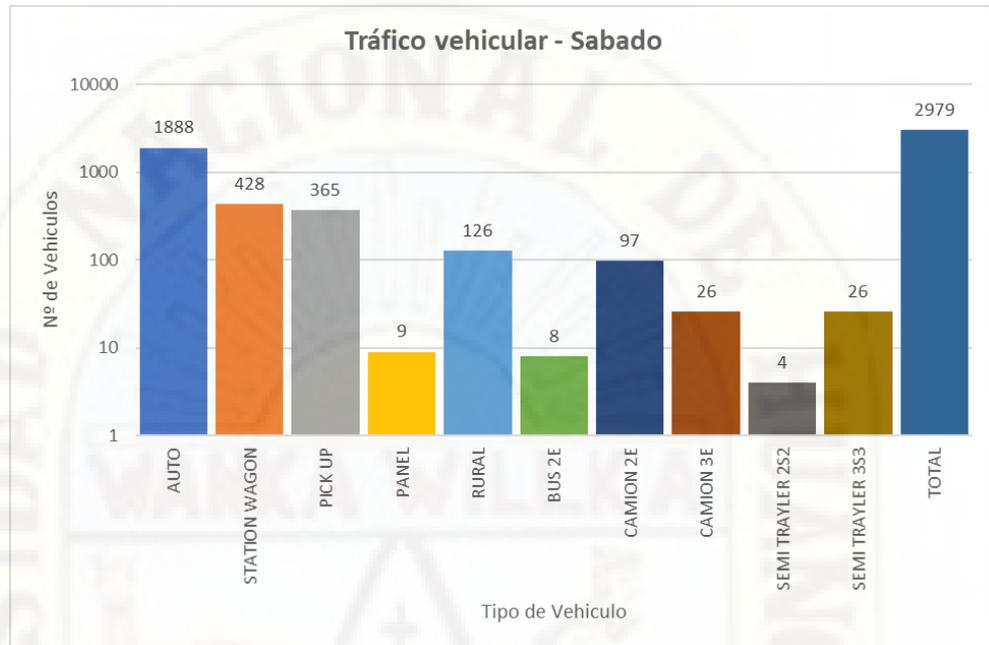
Tráfico vehicular del día Viernes.



Nota: Elaboración Propia

Figura 18

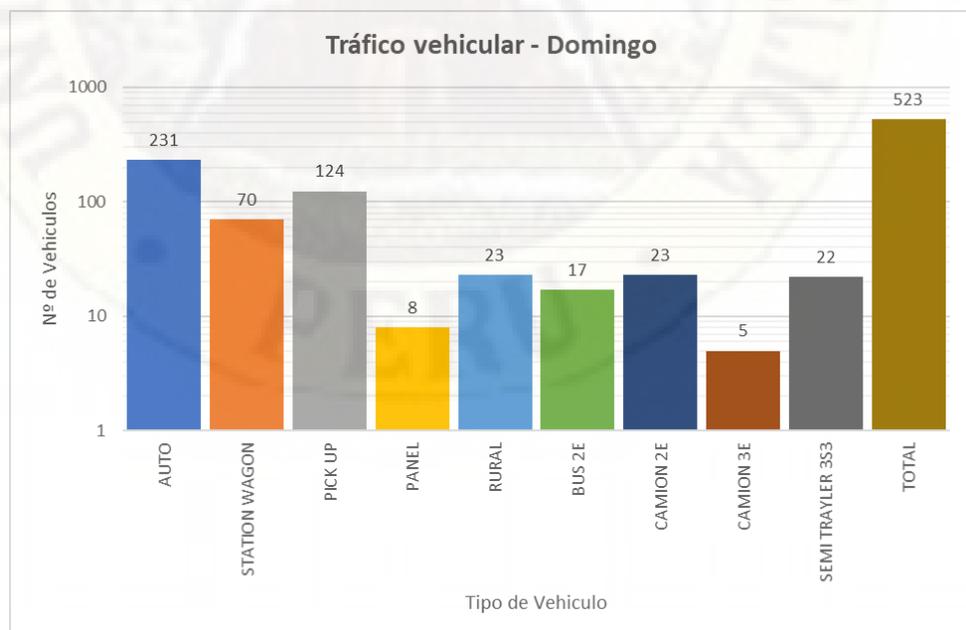
Tráfico vehicular del día Sábado



Nota: Elaboración Propia

Figura 19

Tráfico vehicular del día Domingo



Nota: Elaboración Propia

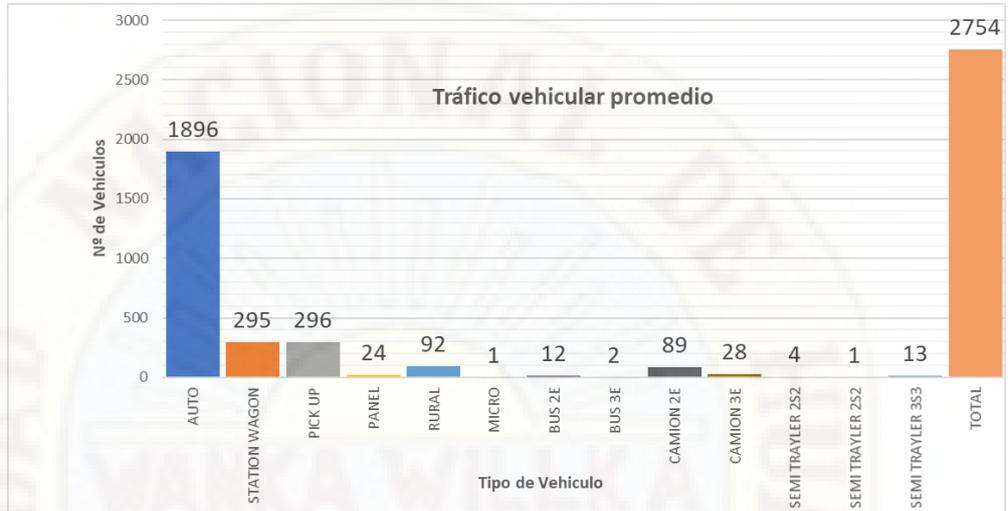
Tabla 5*Tráfico Vehicular Promedio Actual de la Zona de Estudio*

VEHICULO/DIA	L	M	M	J	V	S	D	TPD	TPD*fe	
AUTO	192	208	225	237	212	188	23	1841.1	1895.9	
	7	7	1	9	5	8	1	4	1	
STATION WAGON	470	290	160	185	404	428	70	286.71	295.24	
PICK UP	335	300	279	310	299	365	12 4	287.43	295.98	
PANEL	39	32	27	36	10	9	8	23.00	23.68	
RURAL										
Combi	92	94	74	87	132	126	23	89.71	92.38	
MICRO	0	3	0	1	0	0	0	0.57	0.59	
BUS	2 E	17	15	13	2	10	8	17	11.71	12.06
	3 E	1	2	0	12	0	0	0	2.14	2.21
	2 E	65	105	98	82	136	97	23	86.57	89.16
CAMION	3 E	21	36	22	36	43	26	5	27.00	27.81
	4 E	0	0	1	0	0	0	0	0.14	0.15
	2S1	0	0	0	2	0	0	0	0.29	0.29
	2S2	1	0	0	7	17	4	0	4.14	4.27
SEMI	2S3	0	0	0	6	2	1	0	1.29	1.32
TRAYLER	3S2	2	0	0	0	0	1	0	0.43	0.44
	>=									
	3S3	2	8	5	0	22	26	22	12.14	12.51
Total	2972	2972	2930	3145	3200	2979	523	2674.43	2754.00	

Nota: Elaboración Propia

Figura 20

Trafico Vehicular Promedio



Nota: Elaboración Propia

Utilizando los parámetros descritos (factor correccional estacional y tasa de crecimiento) se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla 6

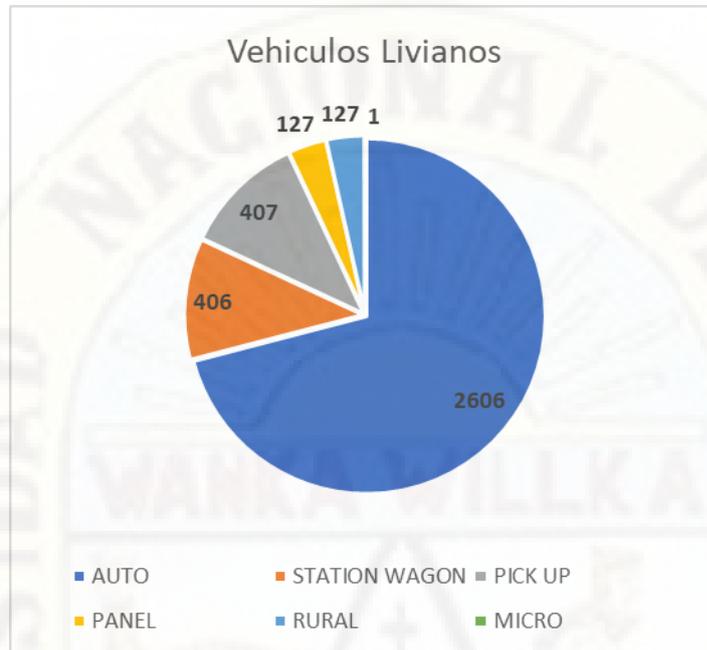
Trafico Promedio Diario proyectado al año 2031

AUTO	2606	64.55%	
STATION WAGON	406	10.06%	
PICK UP	407	10.08%	
PANEL	127	3.15%	91%
RURAL	127	3.15%	
Combi			
MICRO	1	0.02%	
BUS			
2 E	28	0.69%	
3 E	5	0.12%	
CAMION			
2 E	209	5.18%	
3 E	65	1.61%	
4 E	0	0.01%	9%
2S1	1	0.02%	
2S2	13	0.32%	
SEMI TRAYLER			
2S3	4	0.10%	
3S2	1	0.02%	
>= 3S3	37	0.92%	
Total	4037	100.00%	

Nota: Elaboración Propia

Figura 21

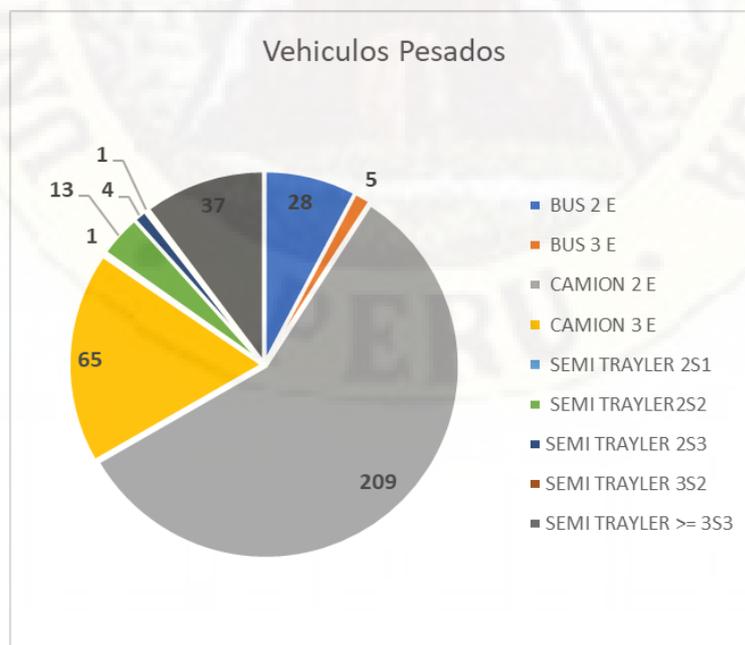
Vehículos Livianos- Año 2031



Nota: Elaboración Propia

Figura 22

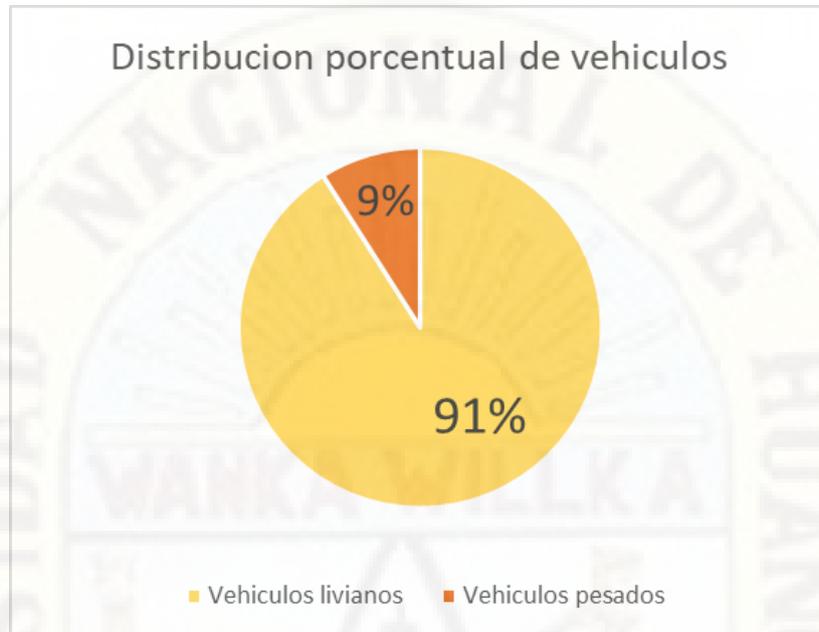
Vehículos pesados- Año 2031



Nota: Elaboración Propia

Figura 23

Distribución Porcentual de Vehículos livianos y pesados



Nota: Elaboración Propia

Figura 24

Trafico proyectado al 2031



Nota: Elaboración Propia

3.1.1.3. Cálculo de Repeticiones Esperadas

El cálculo de las repeticiones esperadas se realizó estimando la cantidad de ejes según su tipo: Simple, Tándem y Trídem, los cuales están multiplicados por el Factor de Crecimiento Acumulado, Factor Carril y Factor Direccional, según la vía de estudio, que corresponde a dos sentidos y un carril por sentido, todo ello en base a la metodología de diseño de la Cement Portland Association (1995)

Ecuación de factor de crecimiento acumulado:

$$Factor\ FCA = \frac{(1 + r)^n - 1}{r}$$

Donde:

r= Tasa anual de crecimiento

n= Periodo de diseño

El factor carril y el factor direccional son determinados de acuerdo a la tipología de la vía, en base a lo recomendado por la Cement Portland Association.

Tabla 7

Factor direccional y Factor carril por tipo de vía

Número de calzadas	Número de sentidos	Número de carriles por sentido	Factor Direccional (Fd)	Factor Carril (Fc)	Factor Ponderado Fd*Fc para carril de diseño
	1 sentido	1	1.00	1.00	1.00
1 calzada	1 sentido	2	1.00	0.80	0.80
(para IMDs	1 sentido	3	1.00	0.60	0.60
total de la	1 sentido	4	1.00	0.50	0.50
calzada)	2 sentidos	1	0.50	1.00	0.50
	2 sentidos	2	0.50	0.80	0.40
2 calzadas	2 sentidos	1	0.50	1.00	0.50
con	2 sentidos	2	0.50	0.80	0.40
separador	2 sentidos	3	0.50	0.60	0.30
central (para					
IMDs total de	2 sentidos	4	0.50	0.50	0.25
las dos					
calzadas)					

Nota: Adaptado del Manual de Método PCA, (Cemento Portland Association, 1995)

Seguidamente según la composición de cada vehículo en cuanto a sus ejes se agrupo cada eje de acuerdo a su tonelaje, separando cada eje en simples, dobles, triples.

Figura 25

Cantidad y Distribución de ejes por tipo de vehículo

VEHICULOS		IMDA	TIPOS DE EJE				CARGA (TN)			
AUTO		2606	SIMPLE	SIMPLE			1	1		
STATION WAGON		406	SIMPLE	SIMPLE			1	1		
CAMIONETA	PICK UP	407	SIMPLE	SIMPLE			1	1		
	PANEL	127	SIMPLE	SIMPLE			1	1		
	COMBI	127	SIMPLE	SIMPLE			1	1		
MICRO		1	SIMPLE	SIMPLE			1	1		
BUS	2 E	28	SIMPLE	SIMPLE			7	11		
	3E	5	SIMPLE	TANDEM			7	16		
	4E	0	TANDEM	TANDEM			14	16		
CAMION	2 E	209	SIMPLE	SIMPLE			7	11		
	3 E	65	SIMPLE	TANDEM			7	18		
	4 E	0	SIMPLE	TRIDEM			7	23		
SEMI TRAYLER	2S1	1	SIMPLE	SIMPLE	SIMPLE		7	11	11	
	2S2	13	SIMPLE	SIMPLE	TANDEM		7	11	18	
	2S3	4	SIMPLE	TANDEM	TRIDEM		7	18	25	
	3S1	0	SIMPLE	TANDEM	SIMPLE		7	18	11	
	3S2	1	SIMPLE	TANDEM	TANDEM		7	18	18	
	>= 3S3	37	SIMPLE	TANDEM	TRIDEM		7	18	25	
TRAYLER	2T2	0	SIMPLE	SIMPLE	SIMPLE	SIMPLE	7	11	11	11
	2T3	0	SIMPLE	SIMPLE	SIMPLE	TANDEM	7	11	11	18
	3T2	0	SIMPLE	TANDEM	SIMPLE	SIMPLE	7	18	11	11
	>=3T3	0	SIMPLE	TANDEM	SIMPLE	TANDEM	7	18	11	18

Nota: Elaboración propia

La cantidad de repeticiones esperadas se calculó con la operación de la cantidad de ejes por vehículo, el factor de crecimiento acumulado, el factor direccional, el factor carril y el número de días por año.

$$\text{Repeticiones}_{\text{esperadas}} = \#Vehiculos * Fca * Fd * Fc * 365$$

Donde:

Fca= Factor de Crecimiento Acumulado

Fd= Factor direccional

Fc=Factor carril

Tabla 8

Repeticiones esperadas por eje

EJE SIMPLE		Repeticiones
TN	CANT	Esperadas
1	7348	1.60E+07
7	363	1.08E+06
11	252	7.56E+05
Total	7963	

EJE TÁNDEM		Repeticiones
TN	CANT	Esperadas
16	5	1.46e+04
18	121	3.63E+05
Total	126	

EJE TRÍDEM		Repeticiones
TN	CANT	Esperadas
25	41	1.36E+05
Total	41	

Nota: Elaboración Propia

Figura 26

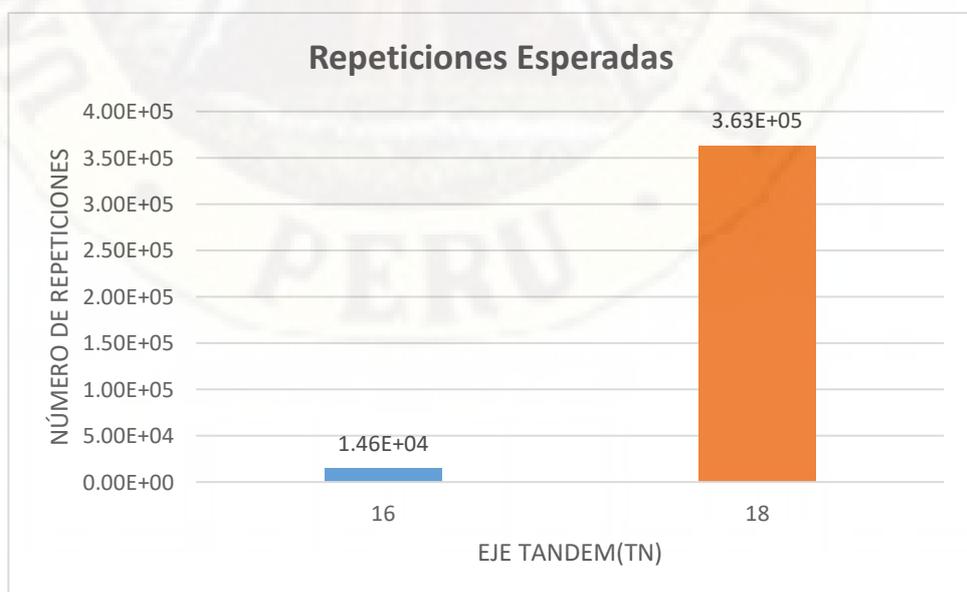
Repeticiones esperadas para eje simple.



Nota: Elaboración Propia

Figura 27

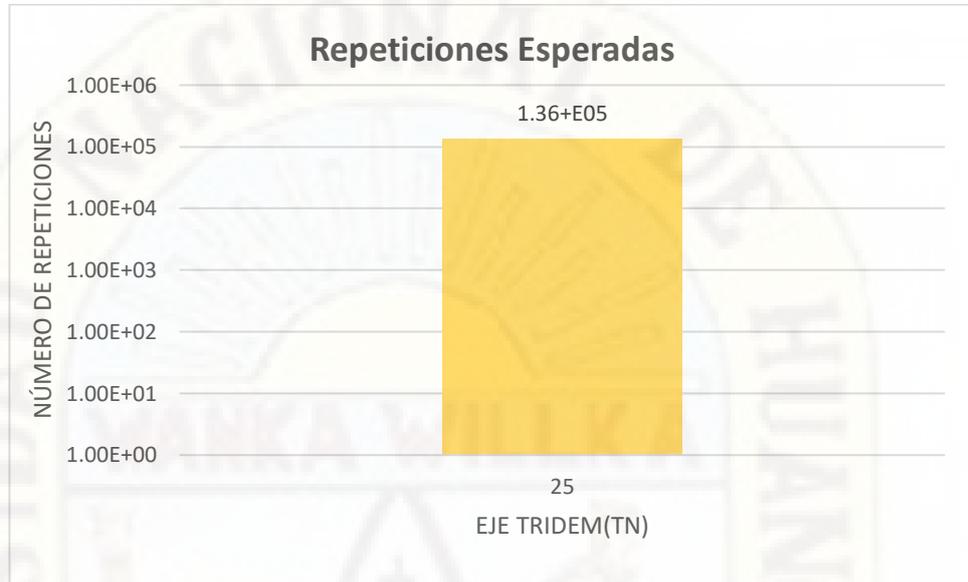
Repeticiones esperadas para eje Tándem



Nota: Elaboración Propia

Figura 28

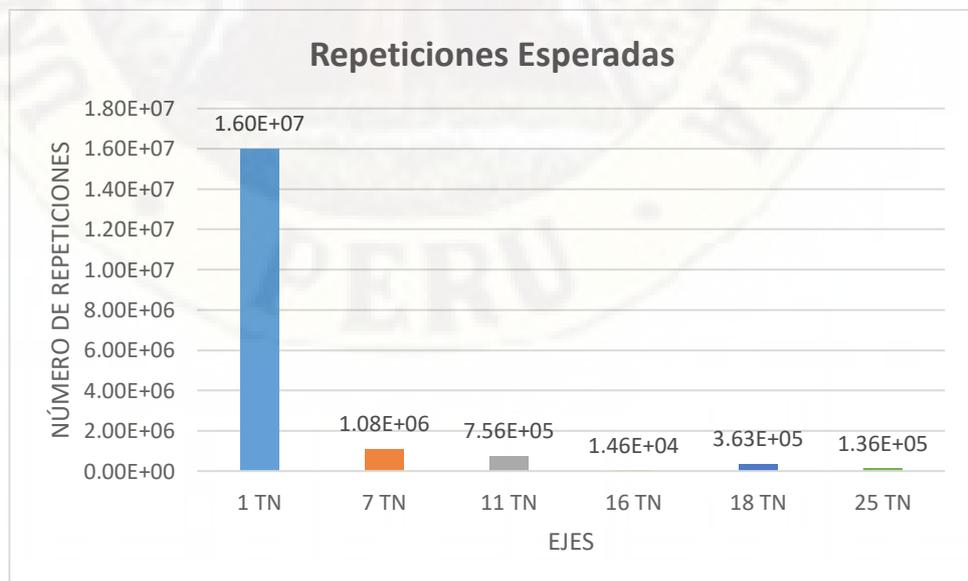
Repeticiones esperadas eje Trídem



Nota: Elaboración Propia

Figura 29

Repeticiones esperadas por tipo de eje vehicular



Nota: Elaboración Propia

3.1.2. Geometría y Parámetros del Pavimento

Las dimensiones del pavimento son las descritas a continuación, según los datos tomados de campo y el expediente técnico.

Tabla 9

Geometría del Pavimento

PARAMETRO	DATO
LOSA	
LONGITUD	5 m
ANCHO	3.2 m
ESPESOR	15 cm
SUB BASE	
ESPESOR	15 cm

Nota: Fuente propia.

MTC (2013, p. 269) “La determinación del módulo elástico, se determina a partir de la resistencia a flexión, tracción o compresión”, la correlación que es recomendada por el ACI es la siguiente:

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

El módulo de Elasticidad según ACI o la NTP E.060 se determinará según la siguiente ecuación:

$$Ec = 15000 \sqrt{f'c} \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

También puede ser determinada mediante el ensayo ASTM C-469.

Miranda (2010, p. 74) Huang determina “el coeficiente de poisson como la relacion entre la tension lateral y la deformacion axial. Los rangos tipicos, para el concreto de cemento portland varia entre 0.15 a 0.20, siendo un valor sugerido 0.15”.

El Ministerio de Transportes y Carreteras (2014, p. 288) sugiere valores referenciales para el coeficiente de expansión termica para el concreto que depende de la naturaleza del agregado.

Tabla 10*Valores Referenciales de Coeficiente de Expansión*

Tipos de Agregado	Coeficientes de Expansión Térmica 10⁻⁶ /Cº
Cuarzo	3.7
Arenisca	3.6
Grava	3.3
Granito	2.9
Basalto	2.7
Caliza	2.1

Nota: Adaptado del Manual de Carreteras y Pavimentos Sección: Suelos, Geología y pavimentos.

Los parámetros para el análisis de la losa se describen a continuación en la siguiente tabla.

Tabla 11*Parámetros de losa*

LOSA	
	188126.31 kg/cm ²
MÓDULO ELASTICO (E)	18448.89 MPa
Coefficiente de Poisson (nu)	0.18
Coefficiente de expansión térmica (grado centígrados C)	3.33E-06

Nota: Fuente propia.

3.1.2.1. Parámetros de mecanismos de transferencia de carga y barras de amarre

Los parámetros de los mecanismos de transferencia de carga y barras de amarre son establecidos por el MTC (2013), según las siguientes tablas.

Tabla 12

Diámetros y Longitudes recomendados en pasadores

Diámetros y Longitudes recomendados en pasadores				
Rango de Espesor de Losa	Diámetro		Longitud del pasador Dowells(mm)	Separación entre Pasadores(mm)
	mm	pulgada		
150-200	25	1"	410	300
200-300	32	1 1/4"	480	300
300-430	38	1 1/2"	510	380

Nota: Adaptado de Manual de Carreteras Sección Suelos Geotecnia y Pavimentos, (MTC, 2013)

Tabla 13

Diámetros y Longitudes recomendados en Barras de Amarre

Diámetros y Longitudes recomendados en Barras de Amarre			
Espesor de Losa(mm)	Tamaño de Varilla(cm)	Distancia de la Junta al Extremo Libre	
	Diam. x Long.	3.00 m	3.60 m
150	1.27 x 66	@76 cm	@76 cm
160	1.27 x 69	@76 cm	@76 cm
170	1.27 x 70	@76 cm	@76 cm
180	1.27 x 71	@76 cm	@76 cm
190	1.27 x 74	@76 cm	@76 cm
200	1.27 x 76	@76 cm	@76 cm

210	1.27 x 78	@76 cm	@76 cm
220	1.27 x 79	@76 cm	@76 cm
230	1.59 x 76	@91 cm	@91 cm

Nota: Adaptado de Manual de Carreteras Sección Suelos Geotecnia y Pavimentos, (MTC, 2013)

3.1.2.2. Parámetro de Subbase y Subrasante

Ministerio de Transportes y Carreteras (2014) El módulo resiliente es una medida de la propiedad elástica de suelos, reconociéndoles ciertas características no lineales. El módulo de resiliente se usa directamente en el diseño de pavimentos flexibles; y, para el diseño de pavimentos rígidos, debe convertirse a módulo de reacción de la subrasante(k) (p. 39).

Ministerio de Transportes y Carreteras (2014, p. 38) El módulo resiliente se obtiene mediante el cálculo a partir de la siguiente expresión:

$$M_R(PSI) = 2555XCBR^{0.64}$$

Muñoz y Díaz (2017) consolidan los valores típicos del módulo de poisson de las capas, descrito en la siguiente tabla:

Tabla 14

Valores Típicos Poisson de las Capas

VALORES TIPICOS DEL MÓDULO DE POISSON DE LAS CAPAS	
Capa	Módulo Poisson
Losas JCPC	0.15
Base granular	0.4
Subrasante	-

Nota: Adaptado de Aplicabilidad de elementos finitos en Pavimentos, Muñoz y Díaz (2017)

Miranda, 2010 (p. 75) “La densidad puede variar dependiendo de la cantidad y la densidad del agregado, la cantidad de aire atrapado y las cantidades de agua y cemento”.

Las densidades de los materiales fueron tomados del expediente técnico.

Tabla 15*Parámetros de Subbase y Subrasante*

SUBBASE	
Coeficiente de Poisson (nu)	0.40
Densidad (Kg/m3)	1800
SUBRASANTE	
Coeficiente de Poisson (nu)	0.40
Densidad (Kg/m3)	1500

Nota: Fuente Propia.

3.1.2.3. Determinación de la Resistencia al Concreto

La determinación de la resistencia del concreto está relacionado al módulo de rotura, mediante la siguiente expresión, según ACI 363, en la cual el valor de “a” se encuentra entre 1.99 y 3.18.

$$M_r = a\sqrt{f'_c}(\text{en kg/cm}^2), 1.99 < a < 3.18$$

La resistencia del concreto será igual a: 157.2955 kg/cm²

3.1.2.4. CBR y Parámetros relacionados a la Subrasante

El análisis de laboratorio de los parámetros de suelo dio como resultado un CBR de 6.70% la cual corresponde a una subrasante regular.

Tabla 16*Categorías de Subrasante*

Categoría de Sub rasante	CBR
Sub rasante Inadecuada	CBR < 3%
Sub rasante Insuficiente	CBR ≥ 3% A CBR < 6%
Sub rasante Regular	CBR ≥ 6% A CBR < 10%
Sub rasante Buena	CBR ≥ 10% A CBR < 20%
Sub rasante Muy Buena	CBR ≥ 20% A CBR < 30%
Sub rasante Excelente	CBR ≥ 30%

Nota: Adaptado del Manual de Carreteras y Pavimentos: Sección Suelos y Pavimentos, (Ministerio de Transportes y Carreteras, 2014)

Los CBR mínimos recomendados para la subbase en pavimentos rígidos, se basa en la intensidad de tráfico (EE).

Tabla 17

CBR mínimos recomendados para Subbase Granular de Pavimentos Rígidos según Intensidad de Tráfico expresado en EE

Tráfico	Ensayo Norma	Requerimiento
Para tráfico $\leq 15 \times 10^6$ EE	MTC E 132	CBR Mínimo 40%
Para tráfico $> 15 \times 10^6$ EE	MTC E 132	CBR Mínimo 60%

Nota: Adaptado del Manual de Carreteras Sección suelos y Pavimento, MTC(2013, pág. 268)

El módulo de reacción de la subrasante (K) se calcula mediante una correlación establecida a partir de ensayos la cual es determinada por Rondon y Reyesb (2015, pág. 354)

$$K \left(\frac{MPa}{m} \right) = 2.55 + 52.5 \log(CBR), \text{ para } CBR \leq 10\%$$

$$K \left(\frac{MPa}{m} \right) = 46 + 9.08 \log(CBR)^{4.34}, \text{ para } CBR > 10\%$$

La calidad en la base granular o subbase granular, aumenta el coeficiente de reacción de diseño, para la determinación del módulo K combinado se utiliza la siguiente expresión.

$$K_C = \left[1 + (h/38)^2 (K_1 K_2)^{2/3} \right]^{0.5} K_0$$

Donde:

K1: Coeficiente de reacción de la sub base granular

KC: Coeficiente de reacción combinado

K0: Coeficiente de reacción de la subrasante

h: Espesor de la subbase granular

Tabla 18

Coeficiente de reacción de la subrasante

COEFICIENTE DE REACCION	
CBR subrasante	6.7 %
CBR subbase	40 %

Módulo de reacción de la subrasante (K0)	45.92 MPa/m
Módulo de reacción de la subbase (K1)	116.21 MPa/m
Módulo de reacción combinado(Kc)	52.141 MPa/m
	0.052 MPa/mm

Nota: Elaboración Propia

3.1.3. *Módulo de Rotura*

El espesor del pavimento rígido es de 15 cm de espesor de losa, con dovelas, sin berma, el factor de seguridad de carga LSF utilizado será de 1.1. “Para carreteras y calles arteriales donde el volumen de tráfico de camiones será moderado, LSF =1.1” Cement Portland Association(1995, p. 13).

3.1.3.1. **Determinación el Módulo de Rotura**

Según la recomendación de la metodología PCA, el módulo de rotura se obtuvo por el ensayo de flexión ASTM C78 de 03 muestras de ensayo; vigas de dimensiones 15 cm x 15 cm x 60 cm aproximadamente, extraídas de tres paños de pavimento con ubicaciones estratégicas para su respectivo análisis.

Figura 30

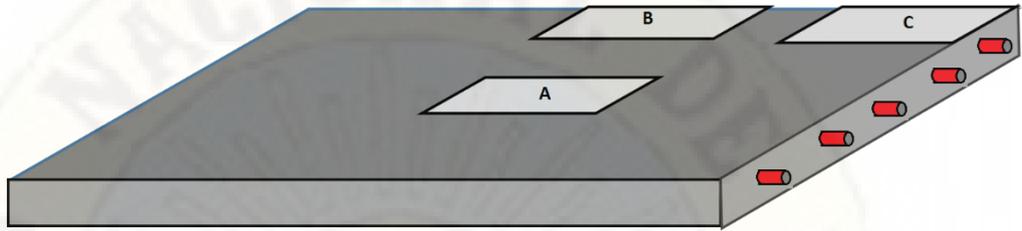
Ubicaciones de puntos de extracción de muestras.



Nota: Tramo de la Av. Santos Villa. Elaboración Propia

Figura 31

Localización de puntos de extracción de muestras para ensayo de módulo de rotura



Nota: Elaboración Propia

Las zonas de extracción corresponden a los puntos con mayor incidencia de cargas y efectos de los vehículos sobre el pavimento. Para establecer del módulo de rotura se realizó en base a la norma NTP 339 078 – ASTM C-78 “Ensayo de flexión”. La cuales fueron colocadas en el equipo de ensayo según la parametrización y condiciones establecidas en dicha norma para la obtención de resultados adecuados, se tienen las siguientes expresiones para el proceso de obtención de resultados.

Falla dentro del tercio medio de la luz

$$M_r = \frac{PL}{bh^2}$$

Donde:

Mr=Módulo de rotura en MPa

P=Carga máxima de rotura, obtenida a partir de la máquina de ensayo.

L=Luz libre entre apoyos.

h=Ancho promedio de la viga en la superficie de falla

b=Altura promedio de la viga en la superficie de falla.

Fuera del tercio medio de la luz, menor a 5% Luz libre

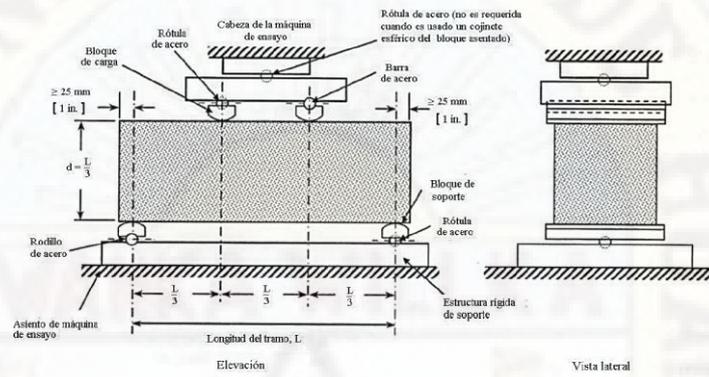
$$M_r = \frac{3Pa}{bh^2}$$

Donde:

a=Es la distancia promedio entre la línea de falla más cercano, medida a lo largo de la línea central de la superficie inferior de la viga

Figura 32

Esquema de Ensayo de módulo de flexión ASTM C-78



Nota: Adaptado de la Norma Técnica Peruana 339 078

Figura 33

Determinación de Módulo de Rotura del espécimen B

ESPECIMEN B			
DETERMINACION DE b (ancho promedio de viga en seccion de falla en mm)			
b1=	140	mm	
b2=	148	mm	
b3=	146	mm	
b=	144.67	mm	
DETERMINACION DE h (altura promedio de viga en seccion de falla en mm)			
h1=	147	mm	
h2=	148	mm	
h3=	150	mm	
h=	148.33	mm	
DETERMINACION DE L			
L=	450	mm	
DETERMINACION DE P			
P=	49.5	librasX100	
	22	KN	
	22000	N	
DETERMINACION DE Mr			
Mr=	$\frac{9900000}{3183068.52}$		
Mr=	3.11020638	Mpa	= 31.724105 kg/cm ²

Nota: Elaboración Propia

Figura 34

Determinación de Módulo de Rotura del espécimen C

ESPECIMEN C			
DETERMINACION DE b (ancho promedio de viga en seccion de falla en mm)			
b1=	150	mm	
b2=	150	mm	
b3=	148	mm	
b=	149.33	mm	
DETERMINACION DE h (altura promedio de viga en seccion de falla en mm)			
h1=	149	mm	
h2=	144	mm	
h3=	150	mm	
h=	147.67	mm	
DETERMINACION DE L			
L=	450	mm	
DETERMINACION DE P			
P=	51	librasX100	
	23	KN	
	23000	N	
DETERMINACION DE Mr			
Mr=	$\frac{10350000}{3256279.7}$		
Mr=	3.17847388	Mpa	= 32.4204336 kg/cm ²

Nota: Elaboración Propia

Figura 35

Determinación de Módulo de Rotura del espécimen A

ESPECIMEN A			
DETERMINACION DE b (ancho promedio de viga en seccion de falla en mm)			
b1=	149	mm	
b2=	150	mm	
b3=	155	mm	
b=	151.33	mm	
DETERMINACION DE h (altura promedio de viga en seccion de falla en mm)			
h1=	145	mm	
h2=	144	mm	
h3=	150	mm	
h=	146.33	mm	
DETERMINACION DE L			
L=	450	mm	
DETERMINACION DE P			
P=	51.5	librasX100	
	23	KN	
	23370	N	
DETERMINACION DE Mr			
Mr=	$\frac{10516500}{3240567.93}$		
Mr=	3.24526448	Mpa	= 33.1016977 kg/cm ²

Nota: Elaboración Propia

Los módulos de rotura obtenidos son los siguientes: 3.11 MPa, 3.18 MPa, 3.25 MPa, siendo utilizado el promedio de dichos valores para los cálculos y procedimientos siguientes.

3.1.4. Esfuerzos y Deformaciones máximos para distintas cargas y ubicaciones.

Se determino esfuerzo y deflexiones máximos del pavimento rígido existente de la vía de estudio, mediante elementos finitos con un análisis tridimensional en el software Ever Fe 2.26 para distintas cargas en una losa, dos, losas y cuatro losas.

3.1.4.1. Análisis de esfuerzos y deformaciones en una losa

Tabla 19

Esfuerzos máximos por carga en una losa

PESO DEL EJE (TN)	ESFUERZOS MAXIMOS			
	BORDE (MPa)	CENTRO (MPa)	ESQUINA (MPa)	JUNTA (MPa)
1	0.163038	0.0956644	0.181614	0.140778
7	0.099315	0.59498	1.28735	0.844243
11	1.11019	0.693206	1.62278	1.03778
16	0.841989	0.488497	1.16239	0.762524
18	0.764107	0.474269	1.07003	0.680646
25	0.598568	0.3966	1.10914	0.702746

Nota: Elaboración propia

Tabla 20

Desplazamientos máximos por carga en una losa

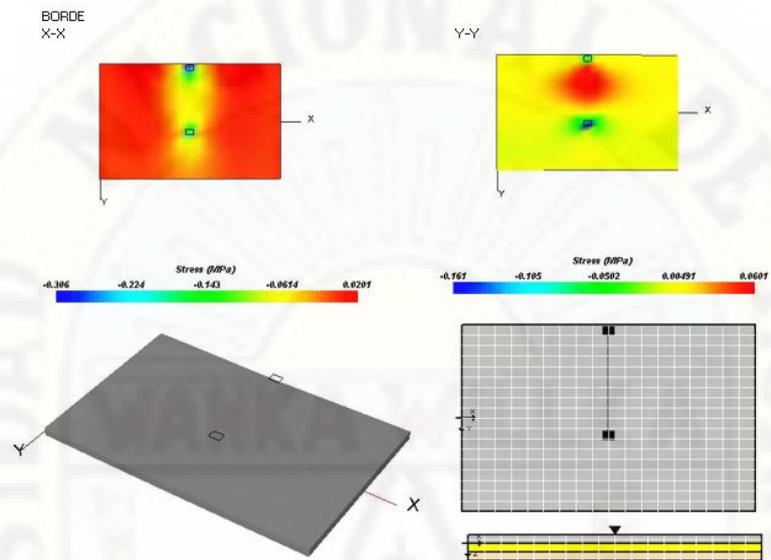
PESO DEL EJE (TN)	DESPLAZAMIENTO MAXIMOS			
	BORDE (mm)	CENTRO (mm)	ESQUINA (mm)	JUNTA (mm)
1	0.252	0.215	0.372	0.290
7	0.691	0.423	1.543	0.961
11	0.894	0.548	2.156	1.385
16	0.959	0.565	1.972	1.225
18	0.956	0.561	1.942	1.189
25	1.095	0.634	1.801	1.075

Nota: Elaboración propia

3.1.4.1.1. Eje simple 1 TN en una losa.

Figura 36

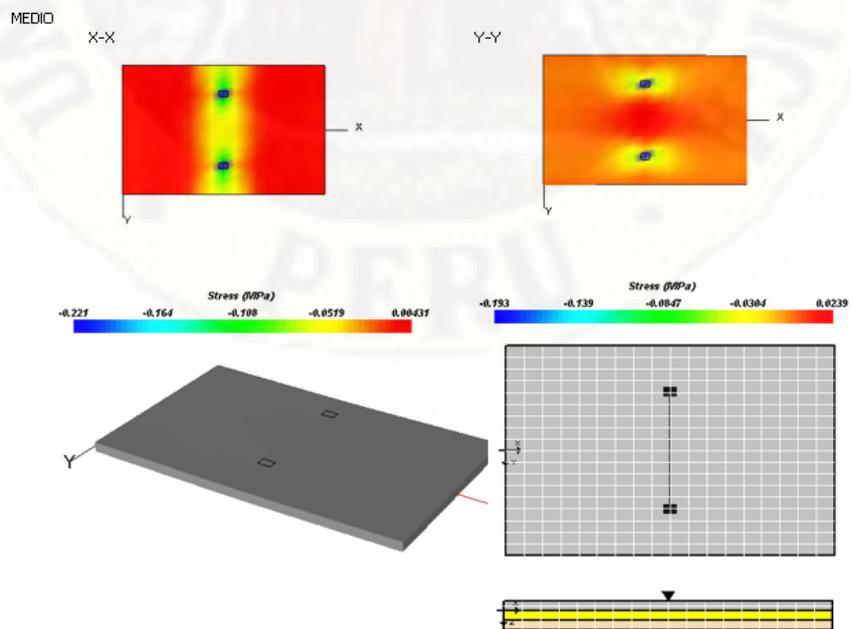
Esfuerzos y desplazamientos en el borde de una losa para ITN



Nota: Obtenido desde el Software EverFe 2.26

Figura 37

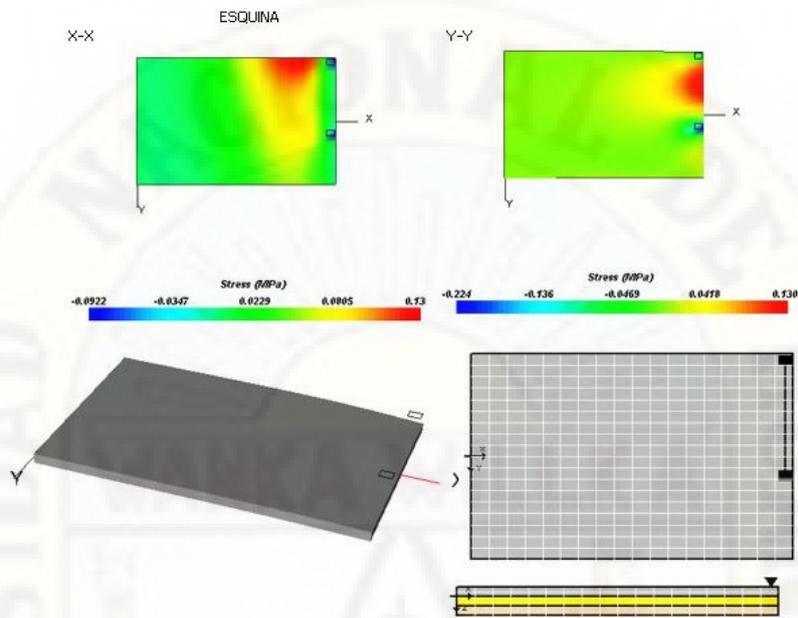
Esfuerzos y desplazamientos en el medio de una losa para ITN



Nota: Obtenido desde el Software EverFe 2.26

Figura 38

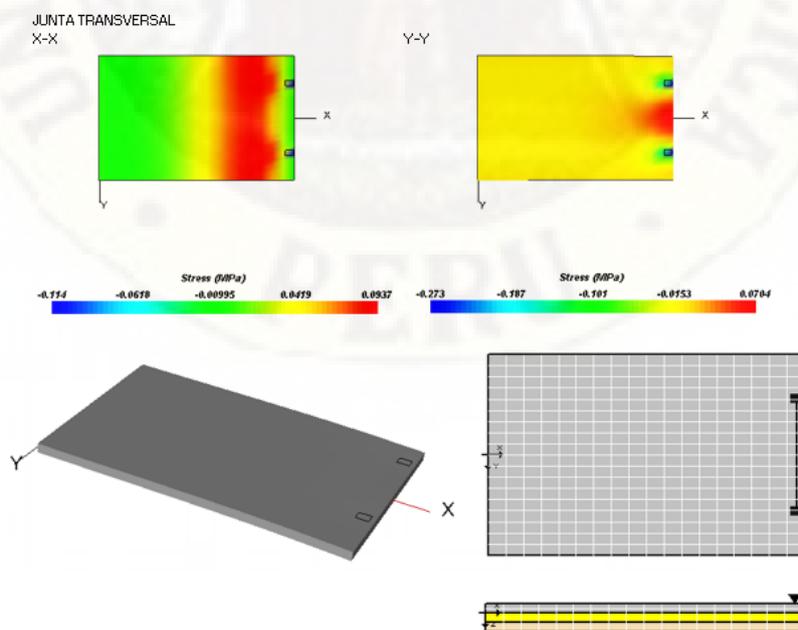
Esfuerzos y desplazamientos en la esquina de una losa para ITN



Nota: Obtenido desde el Software EverFe 2.26

Figura 39

Esfuerzos y desplazamientos en la junta transversal de una losa para ITN

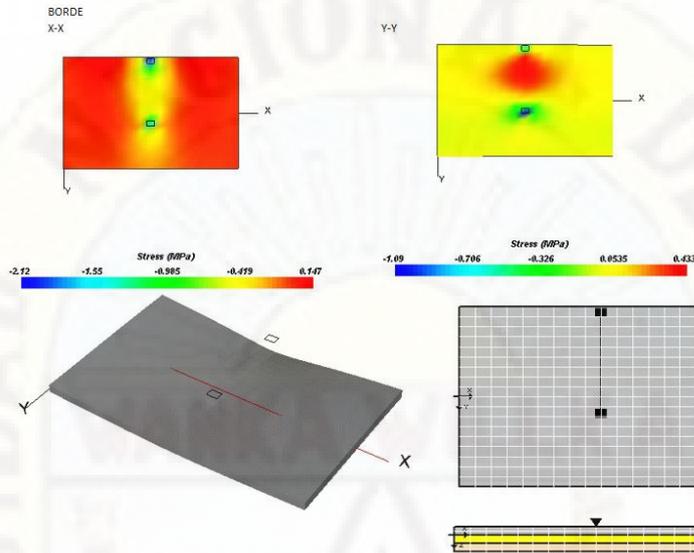


Nota: Obtenido desde el Software EverFe, 2.26

3.1.4.1.2. Eje simple 7 TN en una losa.

Figura 40

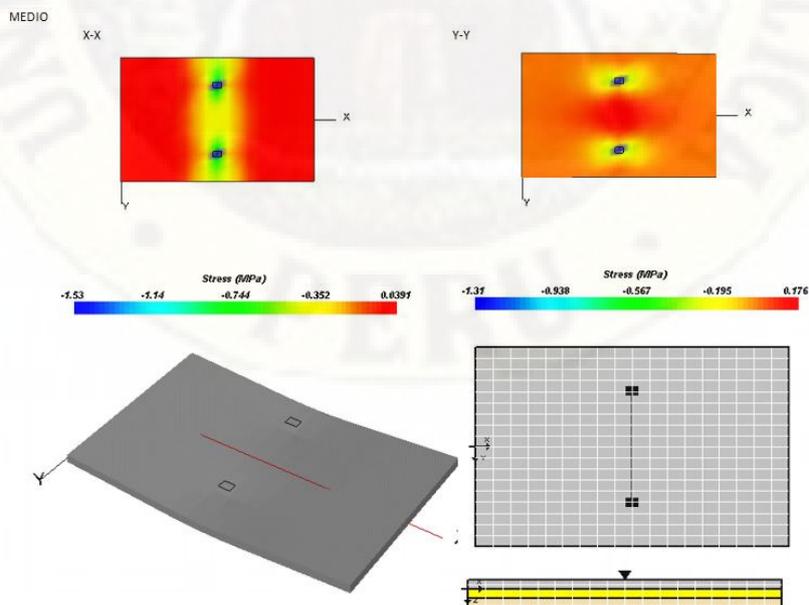
Esfuerzos y desplazamientos en el borde una losa para 7TN



Nota: Obtenido desde el Software EverFe 2.26

Figura 41

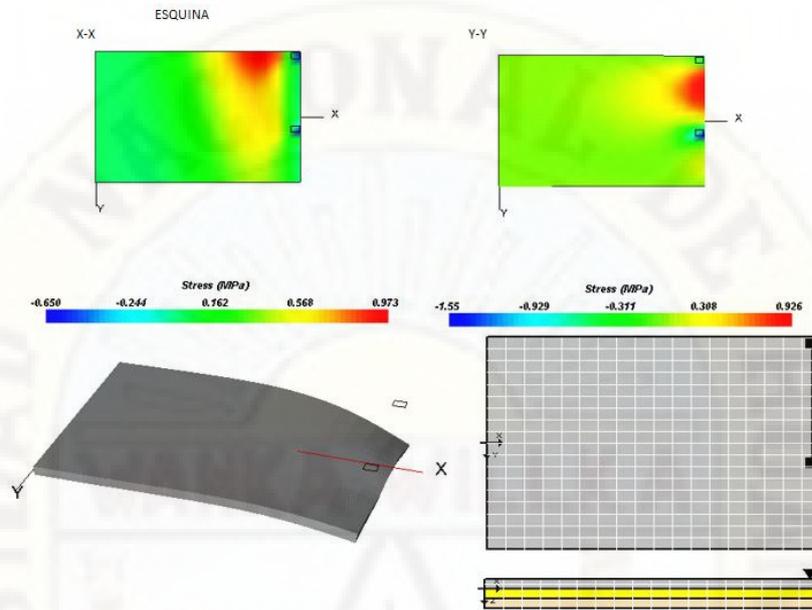
Esfuerzos y desplazamientos en el medio de una losa para 7TN



Nota: Obtenido desde el Software EverFe 2.26

Figura 42

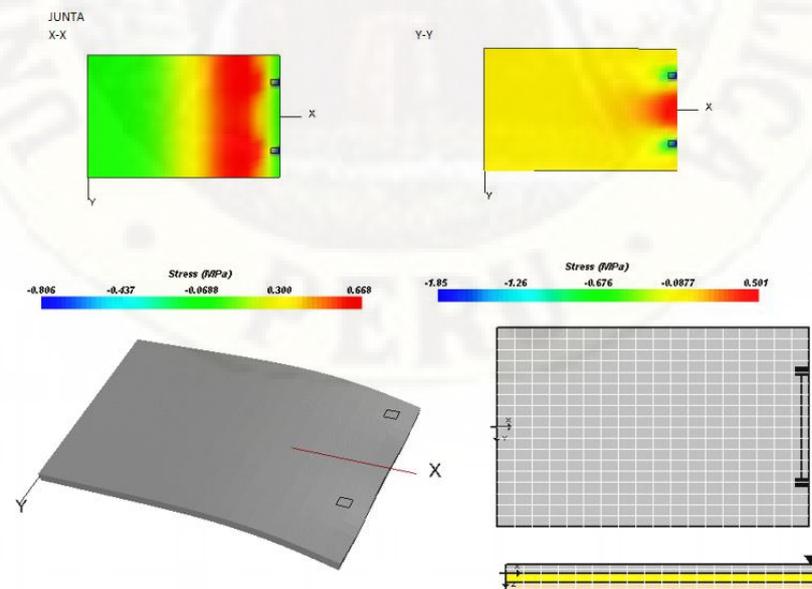
Esfuerzos y desplazamientos en la esquina de una losa para 7TN



Nota: Obtenido desde el Software EverFe 2.26

Figura 43

Esfuerzos y desplazamientos en la junta transversal de una losa para 7TN

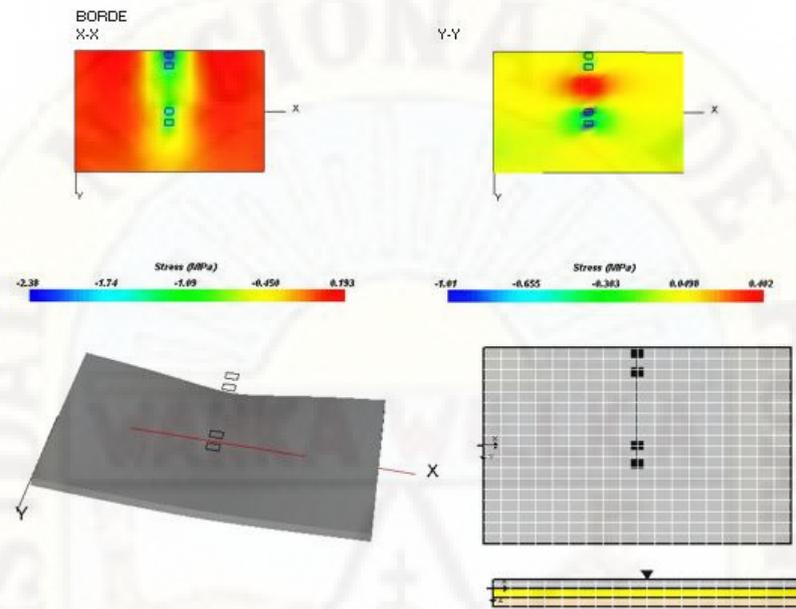


Nota: Obtenido desde el Software EverFe 2.26

3.1.4.1.3. Eje simple doble 11 TN en una losa.

Figura 44

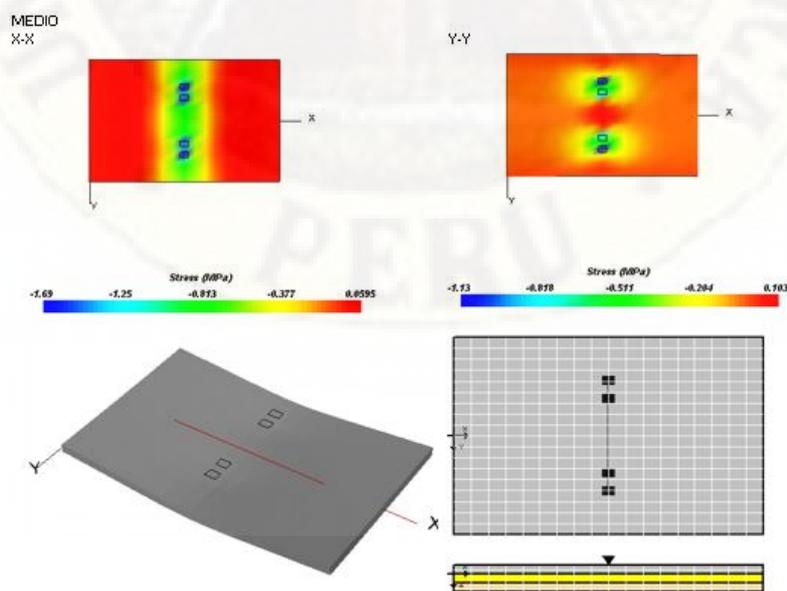
Esfuerzos y desplazamientos en el borde de una losa para 11TN



Nota: Obtenido desde el Software EverFe 2.26

Figura 45

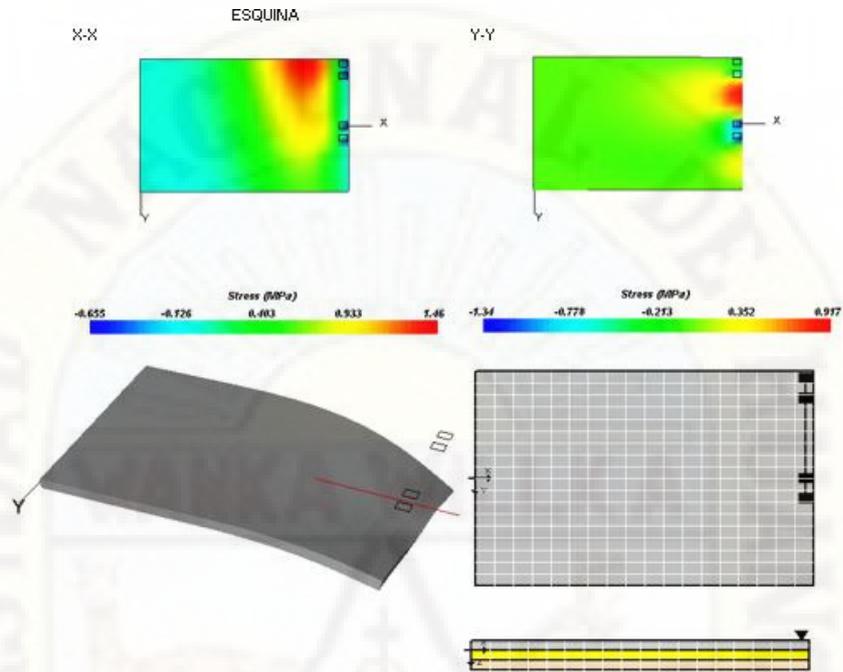
Esfuerzos y desplazamientos en el medio de una losa para 11TN



Nota: Obtenido desde el Software EverFe 2.26

Figura 46

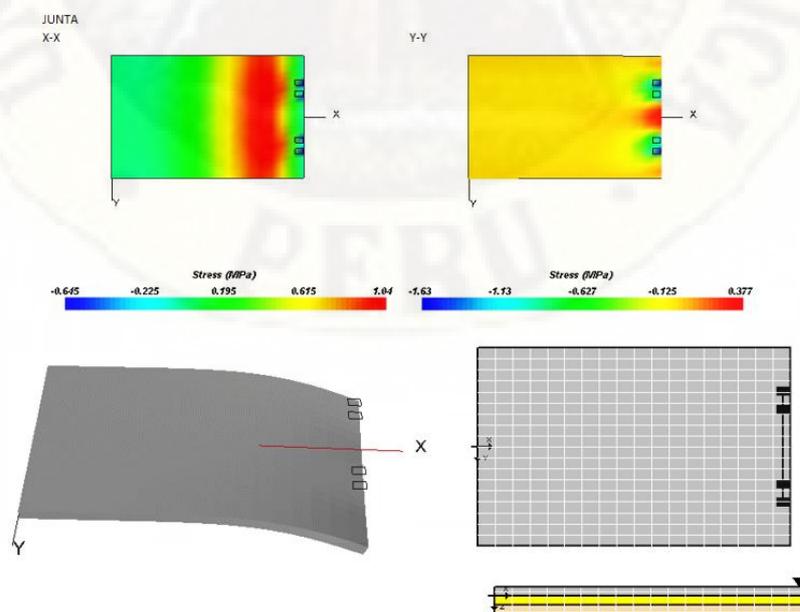
Esfuerzos y desplazamientos en la esquina de una losa para 11TN



Nota: Obtenido desde el Software EverFe 2.26

Figura 47

Esfuerzos y desplazamientos en la junta transversal de una losa para 11TN

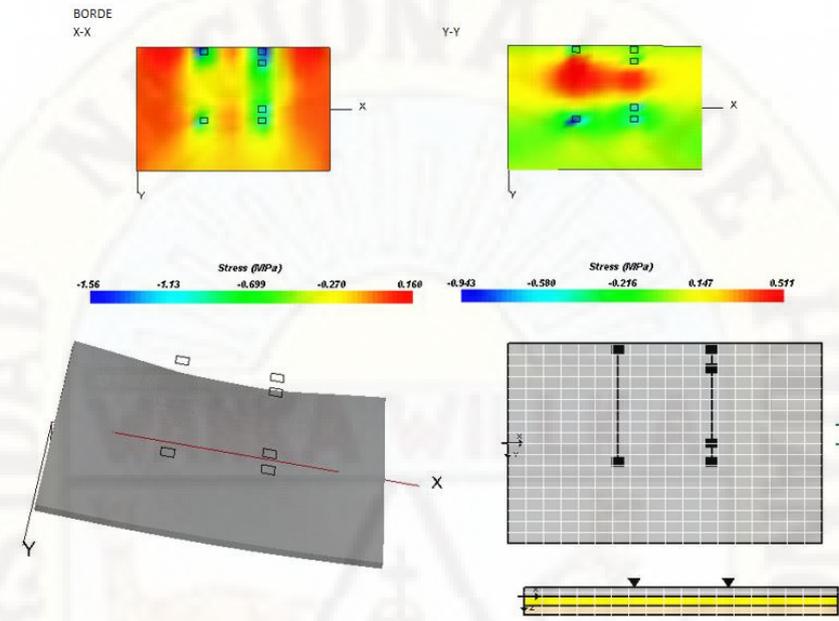


Nota: Obtenido desde el Software EverFe 2.26

3.1.4.1.4. Eje tándem 16 TN en una losa.

Figura 48

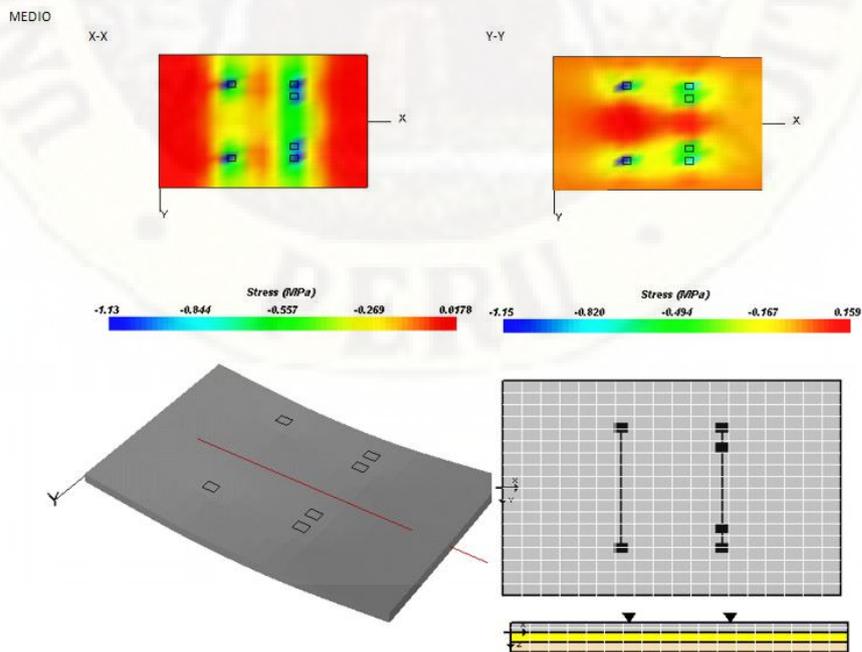
Esfuerzos y desplazamientos en el borde transversal de una losa para 16TN



Nota: Obtenido desde el Software EverFe 2.26

Figura 49

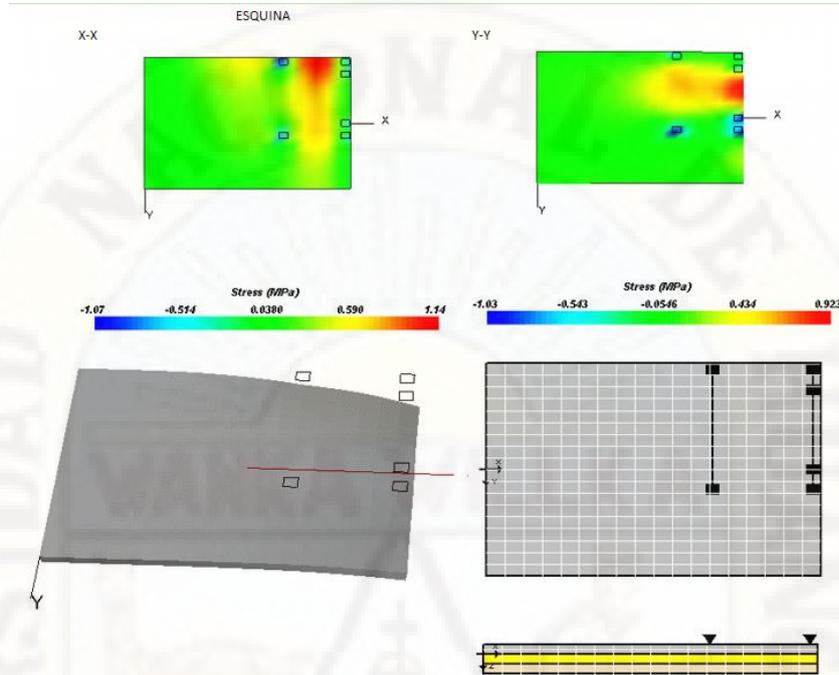
Esfuerzos y desplazamientos en el medio de una losa para 16TN



Nota: Obtenido desde el Software EverFe 2.26

Figura 50

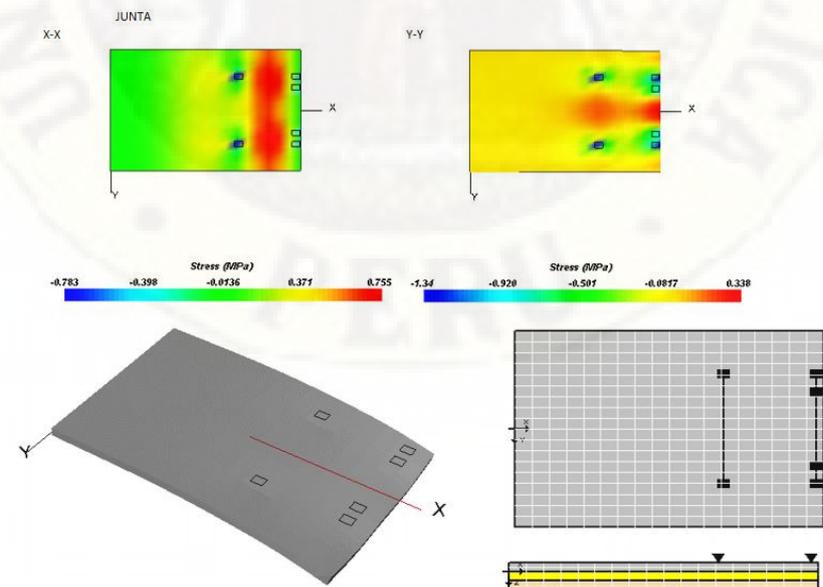
Esfuerzos y desplazamientos la esquina de una losa para 16TN



Nota: Obtenido desde el Software EverFe 2.26

Figura 51

Esfuerzos y desplazamientos la junta de una losa para 16TN

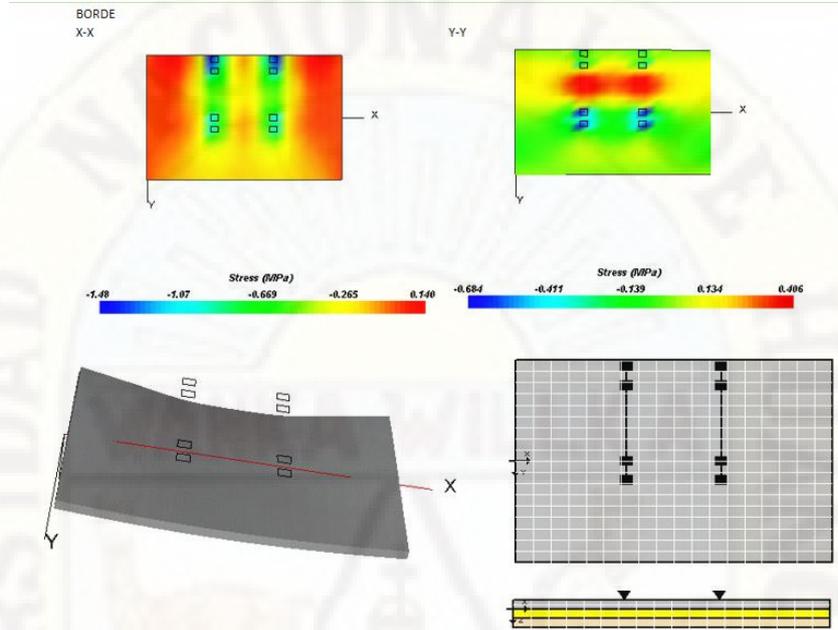


Nota: Obtenido desde el Software EverFe 2.26

3.1.4.1.5. Eje tándem 18 TN en una losa.

Figura 52

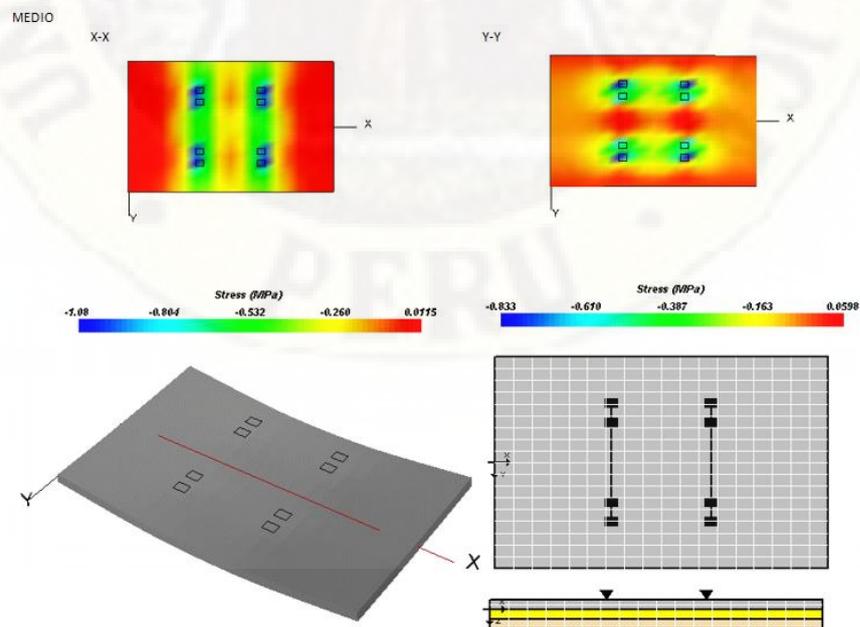
Esfuerzos y desplazamientos el borde de una losa para 18TN



Nota: Obtenido desde el Software EverFe 2.26

Figura 53

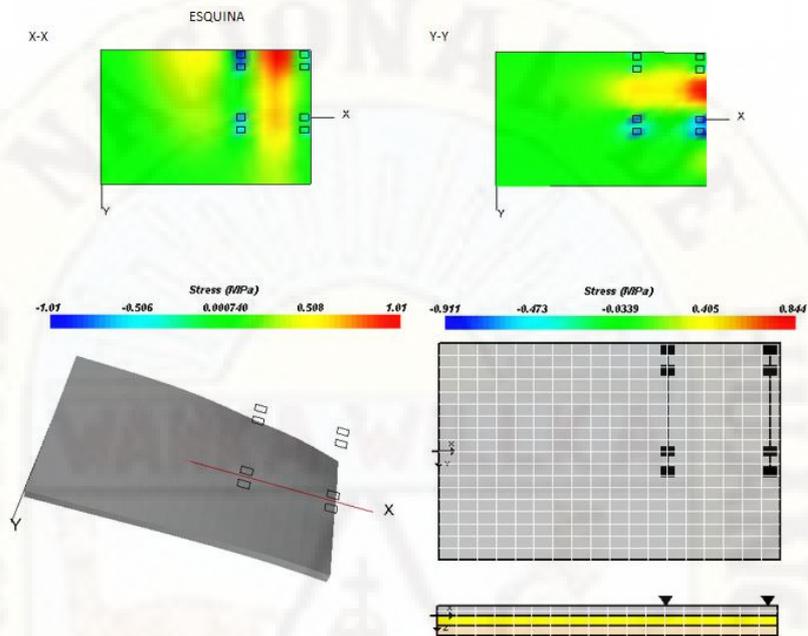
Esfuerzos y desplazamientos el medio de una losa para 18TN



Nota: Obtenido desde el Software EverFe 2.26

Figura 54

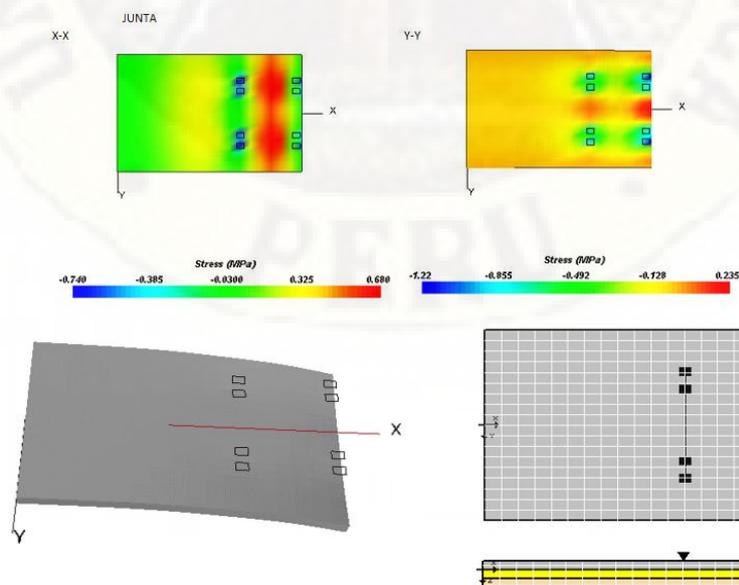
Esfuerzos y desplazamientos la esquina de una losa para 18TN



Nota: Obtenido desde el Software EverFe 2.26

Figura 55

Esfuerzos y desplazamientos la junta de una losa para 18TN

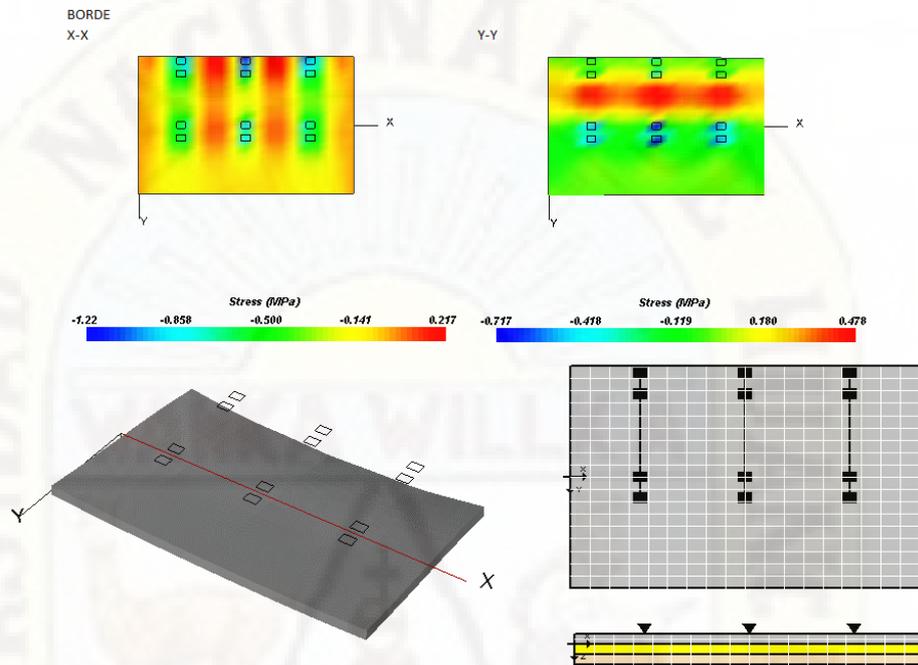


Nota: Obtenido desde el Software EverFe 2.26

3.1.4.1.6. Eje trídem 25 TN en una losa.

Figura 56

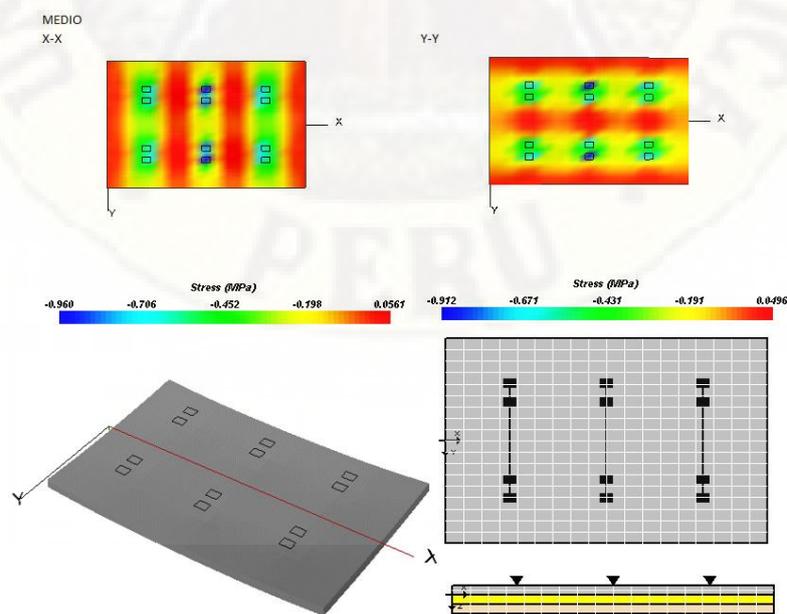
Esfuerzos y desplazamientos el borde de una losa para 25TN



Nota: Obtenido desde el Software EverFe 2.26

Figura 57

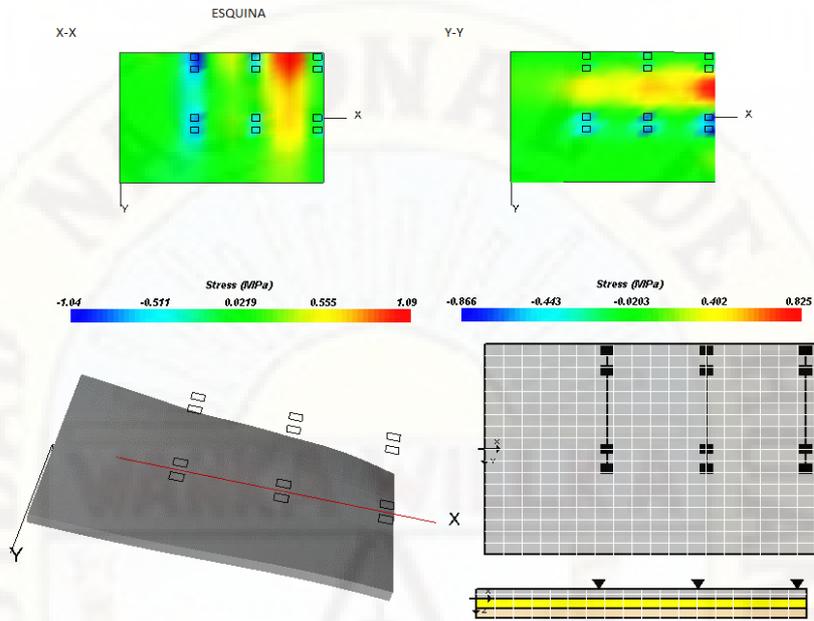
Esfuerzos y desplazamientos el medio de una losa para 25TN



Nota: Obtenido desde el Software EverFe 2.26

Figura 58

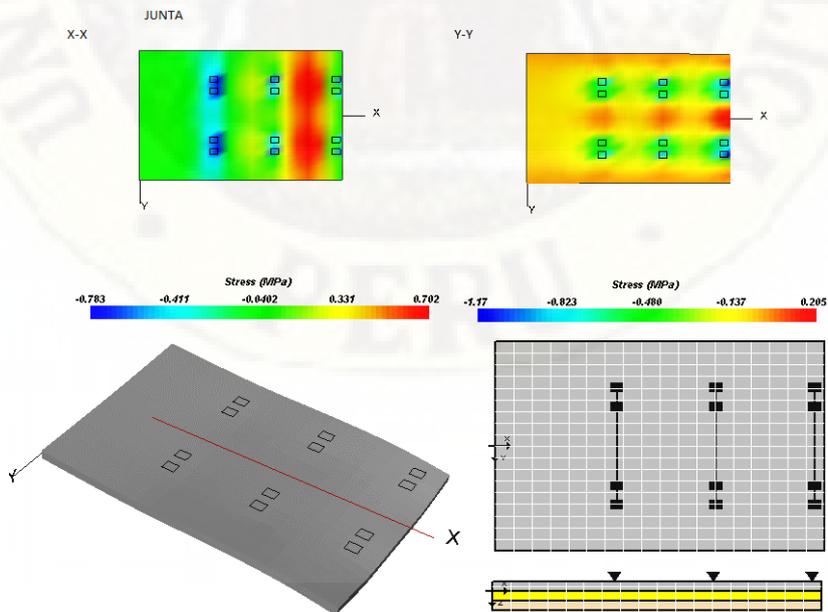
Esfuerzos y desplazamientos la esquina de una losa para 25TN



Nota: Obtenido desde el Software EverFe 2.26

Figura 59

Esfuerzos y desplazamientos la junta de una losa para 25TN



Nota: Obtenido desde el Software EverFe 2.26

3.1.4.2. Análisis de esfuerzos y deformaciones en dos losas

Tabla 21

Esfuerzos máximos por carga en dos losas

PESO DEL EJE (TN)	ESFUERZOS MAXIMOS			
	BORDE (MPa)	CENTRO (MPa)	ESQUINA (MPa)	JUNTA TRANSVERSAL (MPa)
1	0.090138	0.09557	0.180801	0.165577
7	0.56405	0.594121	1.2019	1.12613
11	0.67765	0.6911	1.97477	1.80545
16	0.516193	0.523901	1.4395	1.32226
18	0.475567	0.470919	1.17279	1.23785
25	0.403094	0.396889	1.05114	1.10115

Nota: Elaboración Propia

Tabla 22

Desplazamientos máximos por carga en dos losas

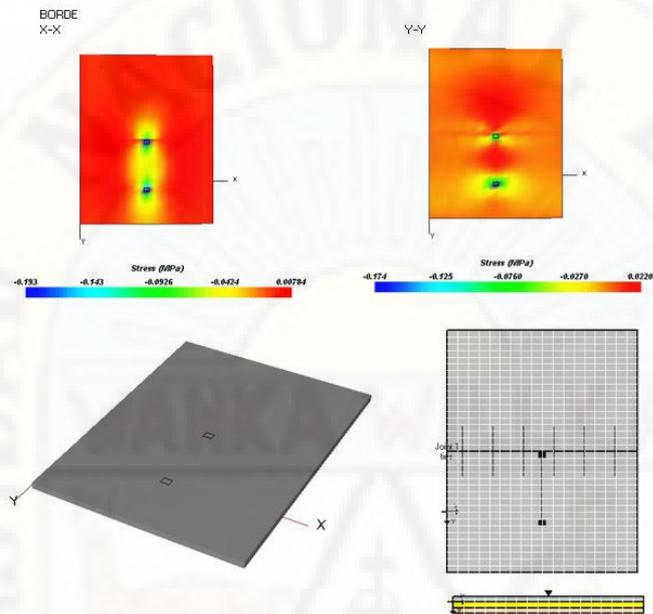
PESO DEL EJE (TN)	DESPLAZAMIENTO MAXIMOS			
	BORDE (mm)	CENTRO (mm)	ESQUINA (mm)	JUNTA TRANSVERSAL (mm)
1	0.209	0.215	0.267	0.287
7	0.377	0.423	0.502	0.543
11	0.513	0.552	0.631	0.672
16	0.507	0.566	0.583	0.603
18	0.531	0.595	0.573	0.584
25	0.59	0.633	0.488	0.579

Nota: Elaboración Propia

3.1.4.2.1. Eje simple 1 TN en dos losas.

Figura 60

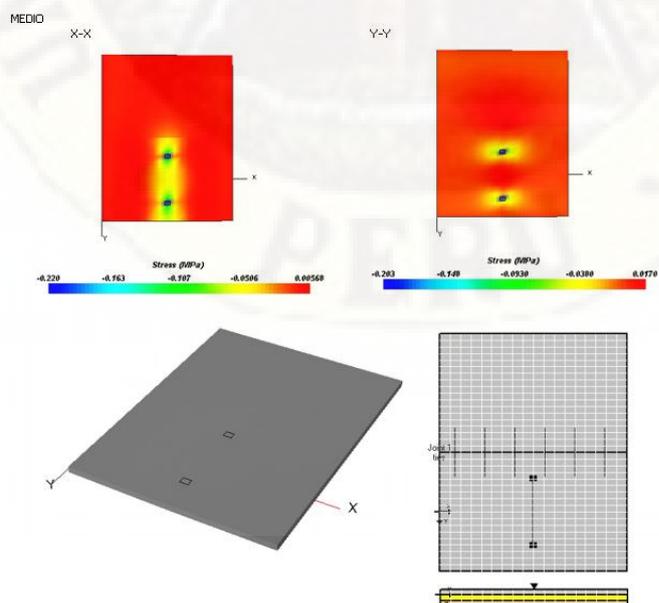
Esfuerzos y desplazamientos en el borde de dos losas para 1TN



Nota: Obtenido desde el Software EverFe, 2.26

Figura 61

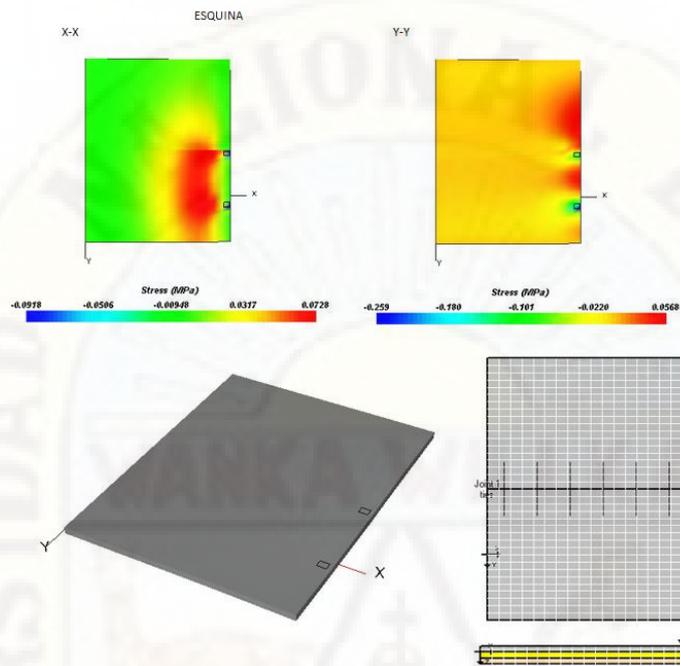
Esfuerzos y desplazamientos en el medio de dos losas para 1TN



Nota: Obtenido desde el Software EverFe, 2.26

Figura 62

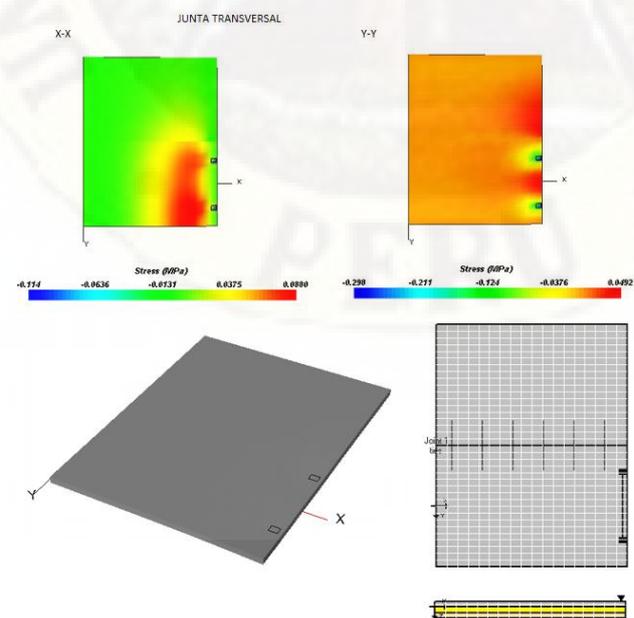
Esfuerzos y desplazamientos en la esquina de dos losas para ITN



Nota: Obtenido desde el Software EverFe 2.26

Figura 63

Esfuerzos y desplazamientos en la junta de dos losas para ITN

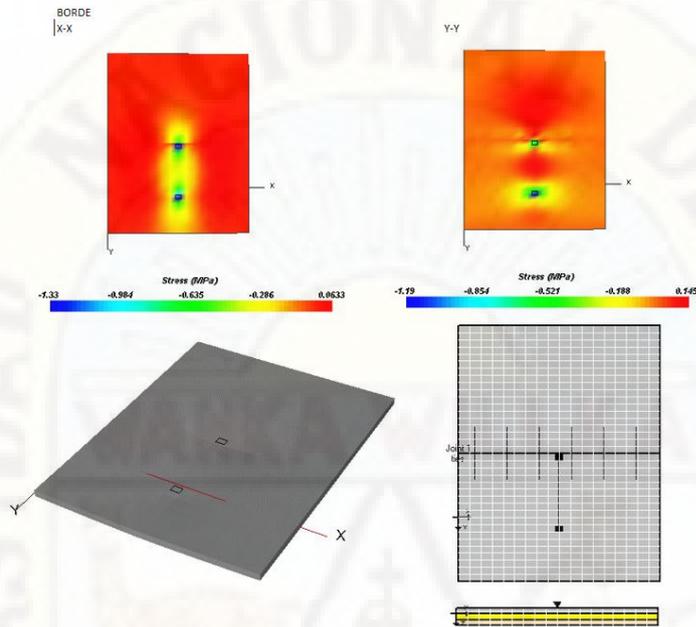


Nota: Obtenido desde el Software EverFe 2.26

3.1.4.2.2. Eje simple 7 TN en dos losas.

Figura 64

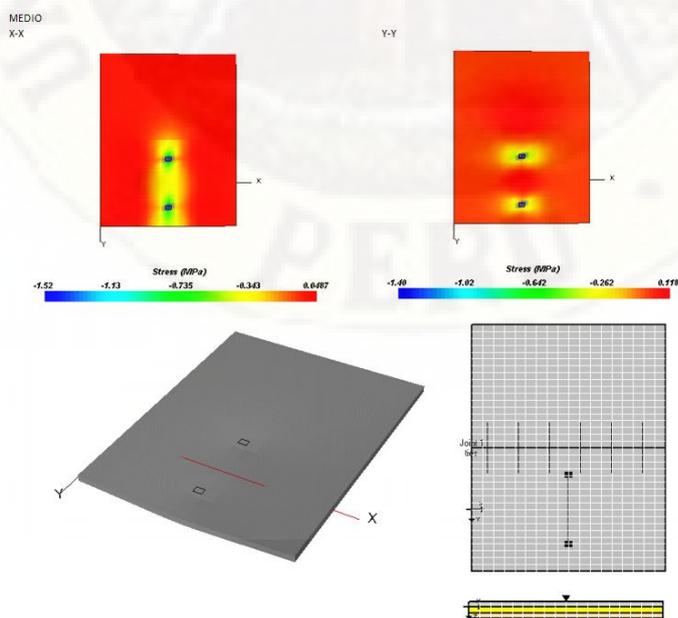
Esfuerzos y desplazamientos en la junta de dos losas para 7TN



Nota: Obtenido desde el Software EverFe 2.26

Figura 65

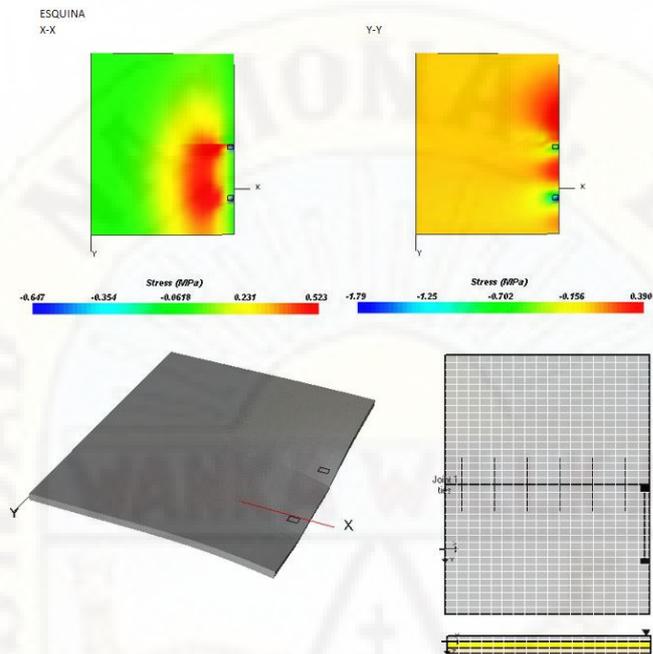
Esfuerzos y desplazamientos en el medio de dos losas para 7TN



Nota: Obtenido desde el Software EverFe2.26

Figura 66

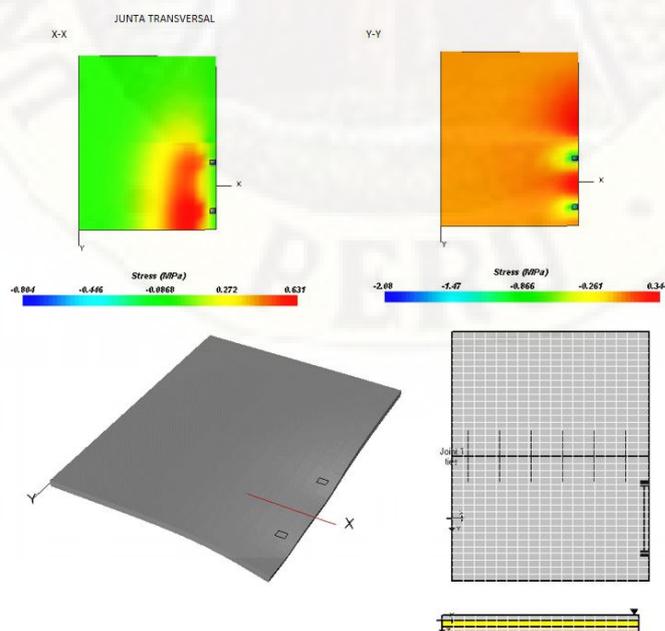
Esfuerzos y desplazamientos en la esquina de dos losas para 7TN



Nota: Obtenido desde el Software EverFe2.26

Figura 67

Esfuerzos y desplazamientos en la junta de dos losas para 7TN

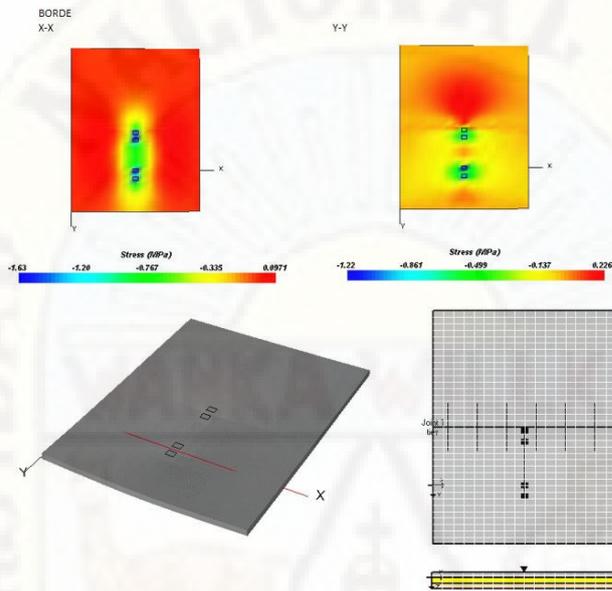


Nota: Obtenido desde el Software EverFe2.26

3.1.4.2.3. Eje simple doble 11 TN en dos losas.

Figura 68

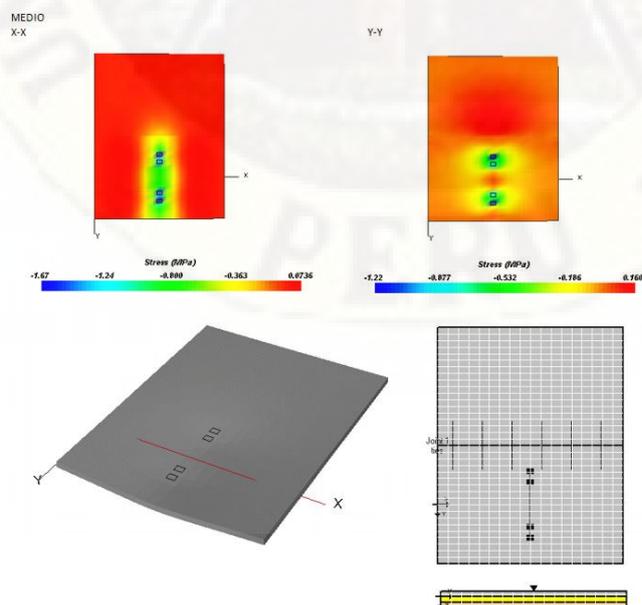
Esfuerzos y desplazamientos en el borde de dos losas para 11TN



Nota: Obtenido desde el Software EverFe2.26

Figura 69

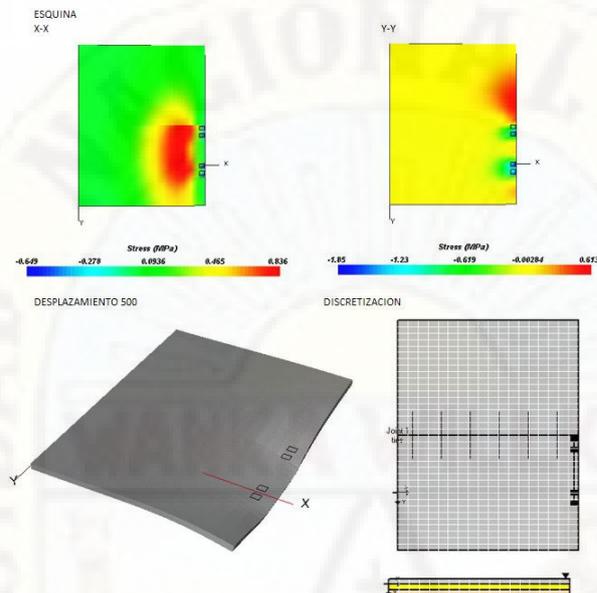
Esfuerzos y desplazamientos en el medio de dos losas para 11TN



Nota: Obtenido desde el Software EverFe2.26

Figura 70

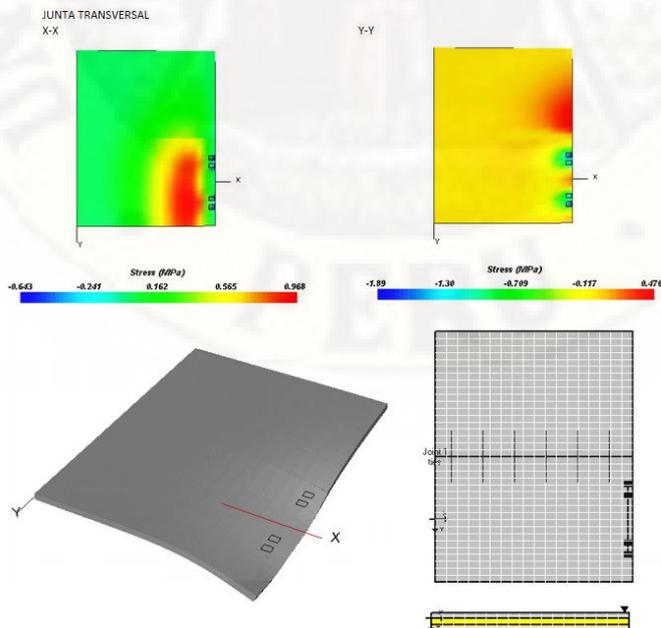
Esfuerzos y desplazamientos en la esquina de dos losas para 11TN



Nota: Obtenido desde el Software EverFe2.26

Figura 71

Esfuerzos y desplazamientos en la junta de dos losas para 11TN

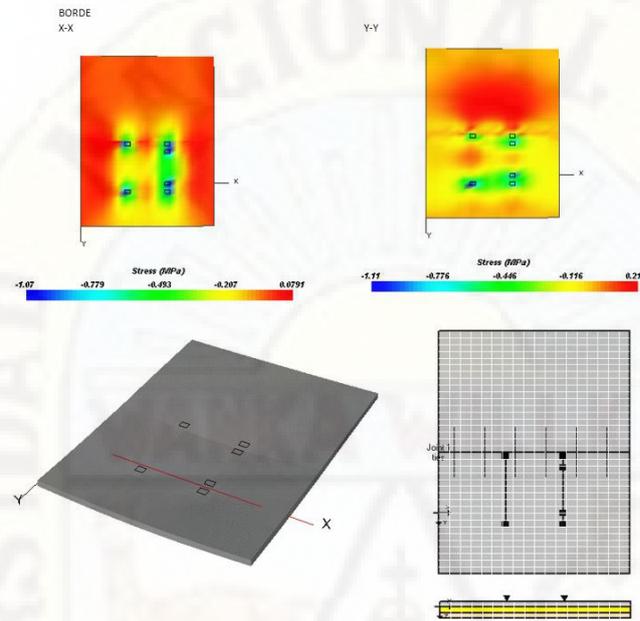


Nota: Obtenido desde el Software EverFe2.26

3.1.4.2.4. Eje tándem 16 TN en dos losas.

Figura 72

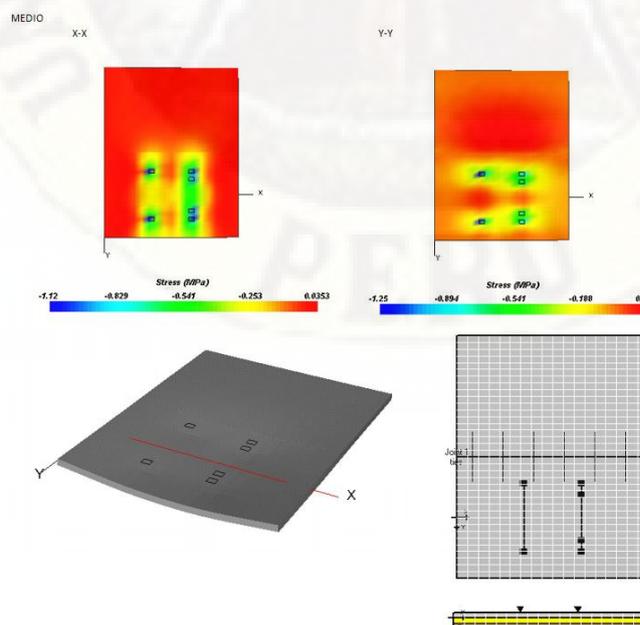
Esfuerzos y desplazamientos en el borde de dos losas para 16TN



Nota: Obtenido desde el Software EverFe2.26

Figura 73

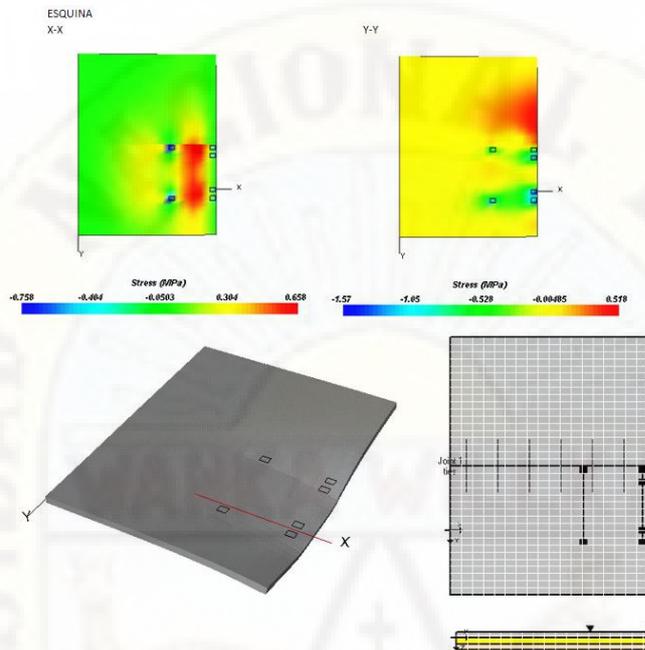
Esfuerzos y desplazamientos en el medio de dos losas para 16TN



Nota: Obtenido desde el Software EverFe2.26

Figura 74

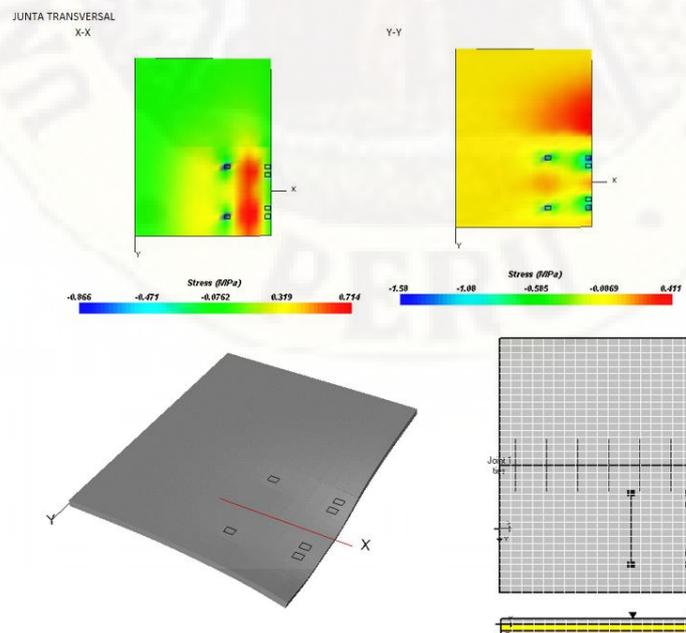
Esfuerzos y desplazamientos en la esquina de dos losas para 16TN



Nota: Obtenido desde el Software EverFe2.26

Figura 75

Esfuerzos y desplazamientos en la junta de dos losas para 16TN

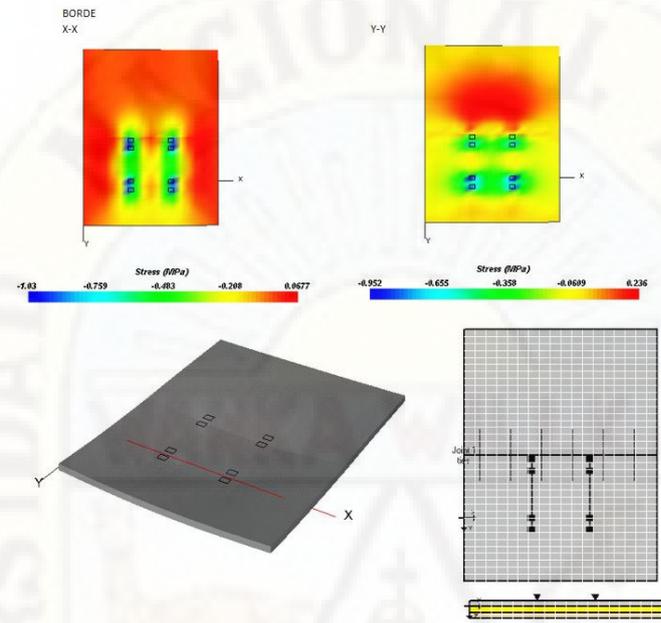


Nota: Obtenido desde el Software EverFe2.26

3.1.4.2.5. Eje tándem 18 TN en dos losas.

Figura 76

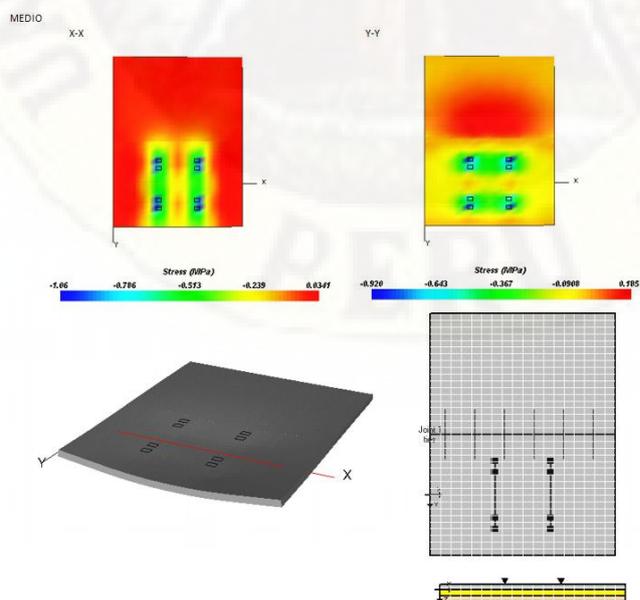
Esfuerzos y desplazamientos en el borde de dos losas para 18TN



Nota: Obtenido desde el Software EverFe2.26

Figura 77

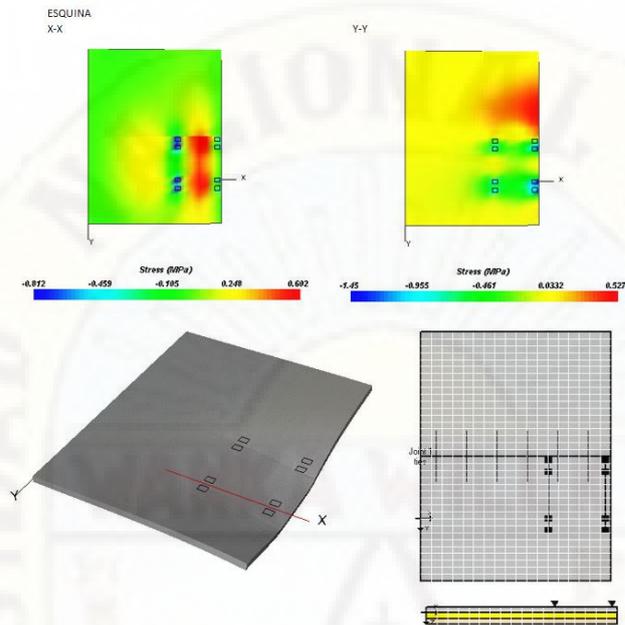
Esfuerzos y desplazamientos en el medio de dos losas para 18TN



Nota: Obtenido desde el Software EverFe2.26

Figura 78

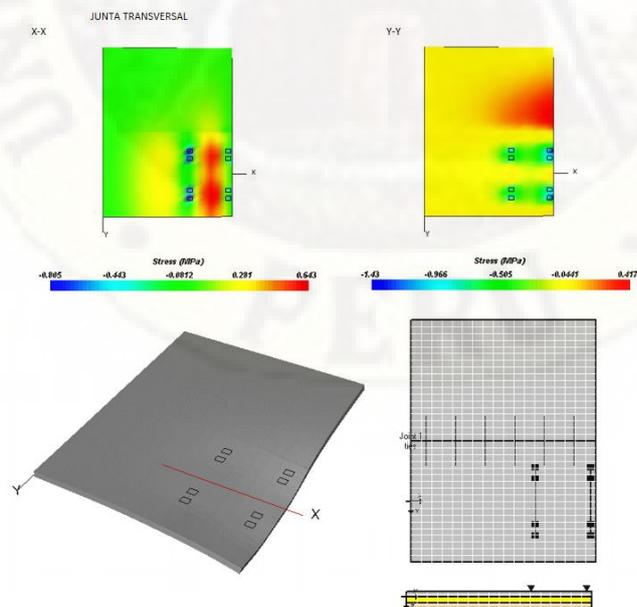
Esfuerzos y desplazamientos en la esquina de dos losas para 18TN



Nota: Obtenido desde el Software EverFe2.26

Figura 79

Esfuerzos y desplazamientos en la junta de dos losas para 18TN

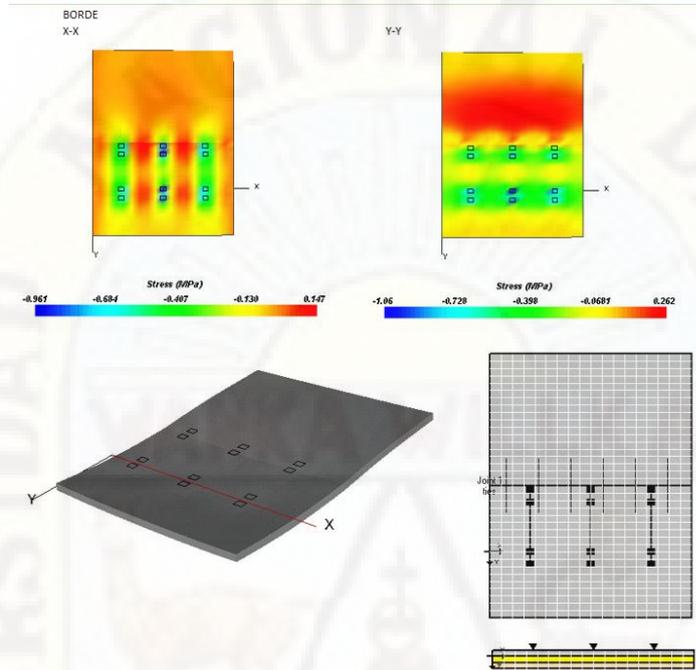


Nota: Obtenido desde el Software EverFe2.26

3.1.4.2.6. Eje trídem 25 TN en dos losas.

Figura 80

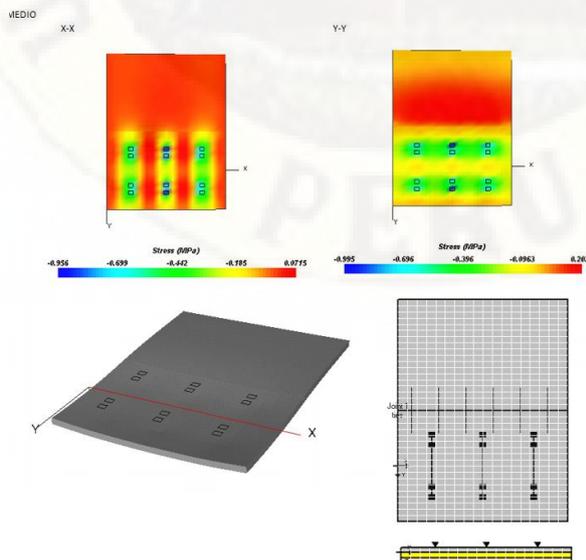
Esfuerzos y desplazamientos en el borde de dos losas para 25TN



Nota: Obtenido desde el Software EverFe2.26

Figura 81

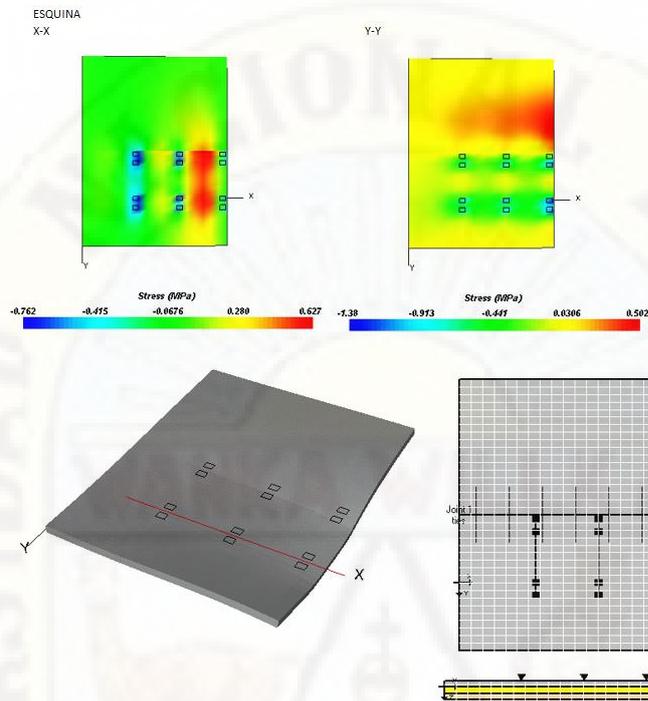
Esfuerzos y desplazamientos en el medio de dos losas para 25TN



Nota: Obtenido desde el Software EverFe2.26

Figura 82

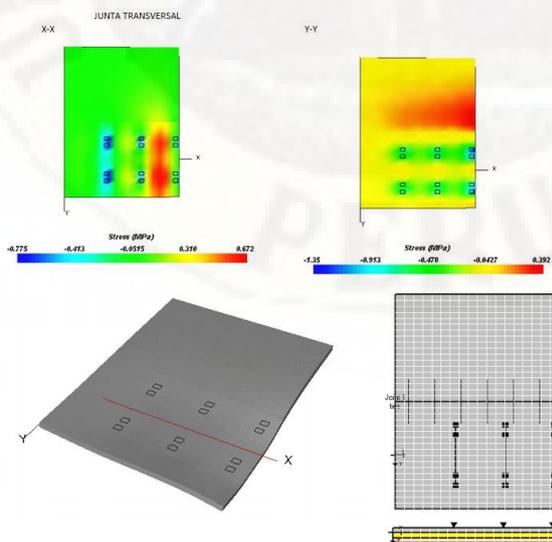
Esfuerzos y desplazamientos en la esquina de dos losas para 25TN



Nota: Obtenido desde el Software EverFe2.26

Figura 83

Esfuerzos y desplazamientos en la junta de dos losas para 25TN



Nota: Obtenido desde el Software EverFe2.26

3.1.4.3. Análisis de esfuerzos y deformaciones en cuatro losas

Tabla 23

Esfuerzos máximos por carga en cuatro losas

PESO DEL EJE (TN)	ESFUERZOS MAXIMOS			
	BORDE (MPa)	CENTRO (MPa)	ESQUINA (MPa)	JUNTA TRANSVERSAL(MPa)
1	0.0843794	0.095221	0.0876771	0.0713169
7	0.561655	0.591289	0.572601	0.501329
11	0.673854	0.686596	0.767505	0.641781
16	0.516945	0.524109	0.714605	0.543277
18	0.475996	0.472441	0.714312	0.481563
25	0.412169	0.483318	0.692702	0.457089

Nota: Elaboración propia

Tabla 24

Desplazamientos máximos por carga en cuatro losas

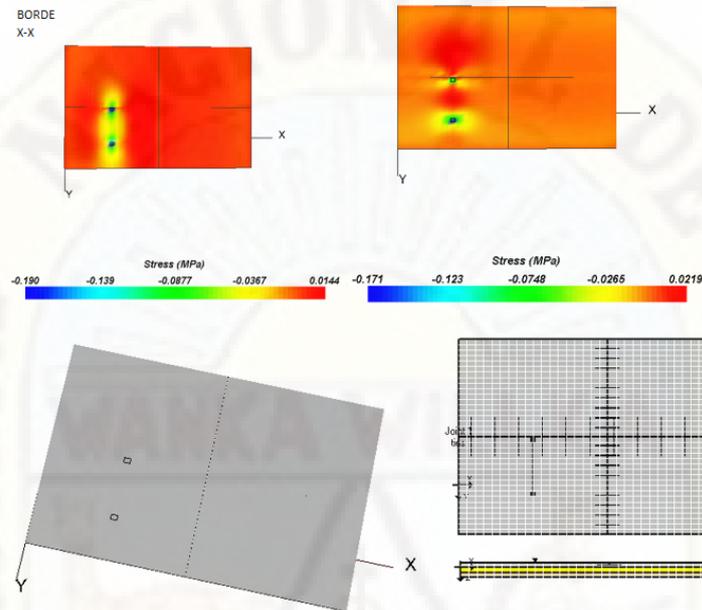
PESO DEL EJE (TN)	DESPLAZAMIENTO MAXIMOS			
	BORDE (mm)	CENTRO (mm)	ESQUINA (mm)	JUNTA TRANSVERSAL(mm)
1	0.209	0.214	0.212	0.219
7	0.373	0.413	0.408	0.46
11	0.507	0.545	0.567	0.614
16	0.490	0.546	0.523	0.578
18	0.538	0.591	0.545	0.587
25	0.587	0.632	0.517	0.552

Nota: Elaboración propia

3.1.4.3.1. Eje simple 1 TN en cuatro losas.

Figura 84

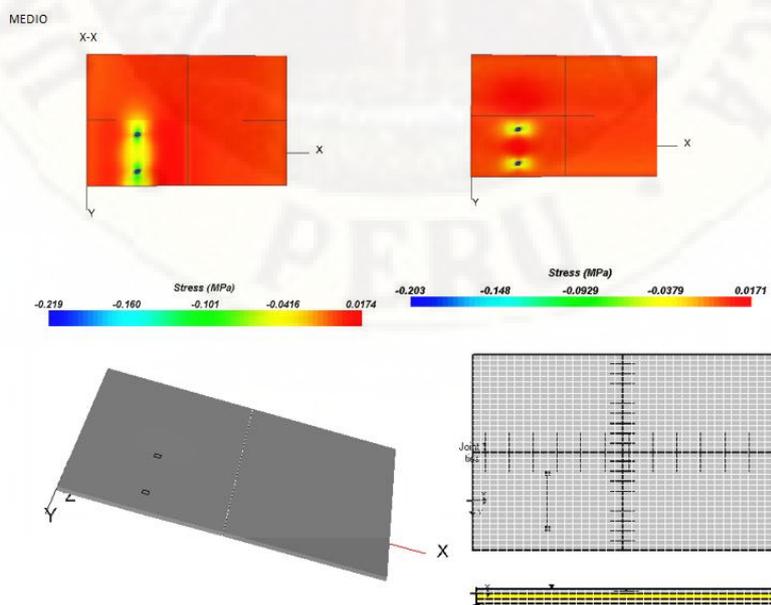
Esfuerzos y desplazamientos en el borde de cuatro losas para 1TN



Nota: Obtenido desde el Software EverFe 2.26

Figura 85

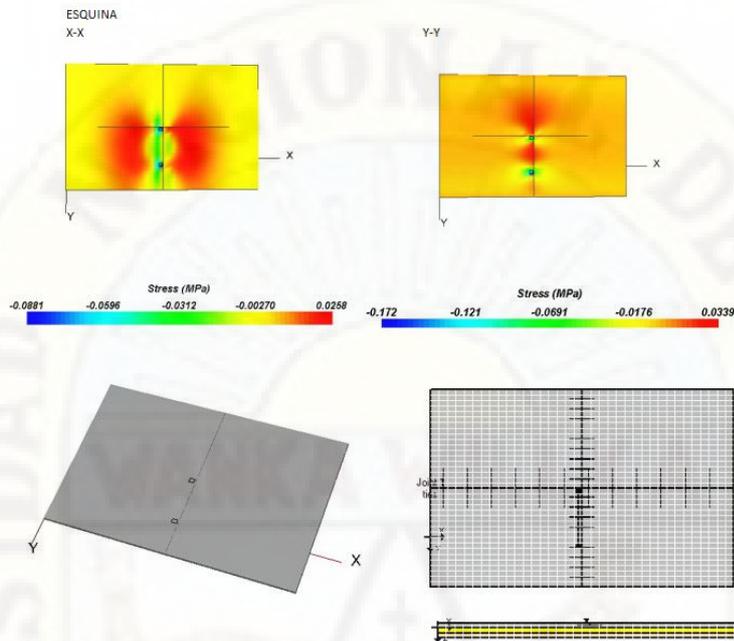
Esfuerzos y desplazamientos en el medio de cuatro losas para 1TN



Nota: Obtenido desde el Software EverFe 2.26

Figura 86

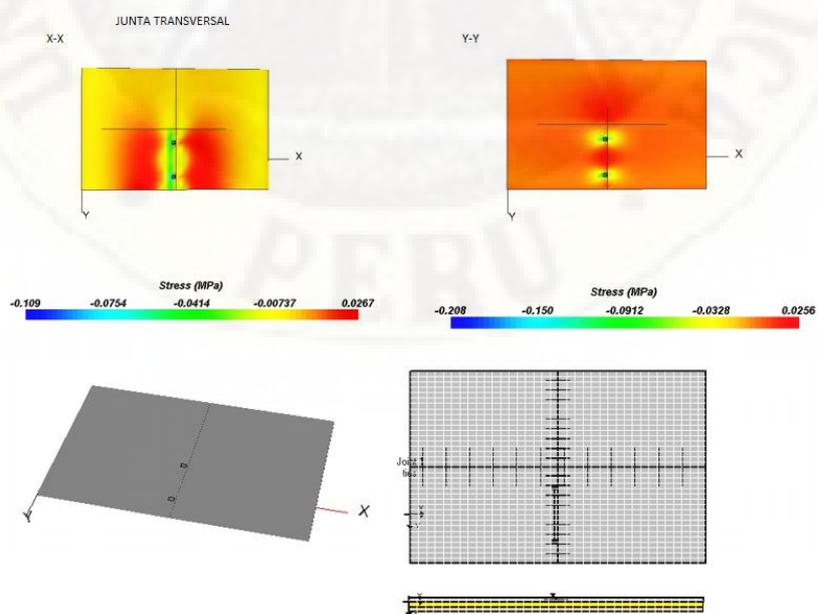
Esfuerzos y desplazamientos en la esquina de cuatro losas para ITN



Nota: Obtenido desde el Software EverFe 2.26

Figura 87

Esfuerzos y desplazamientos en la junta de cuatro losas para ITN

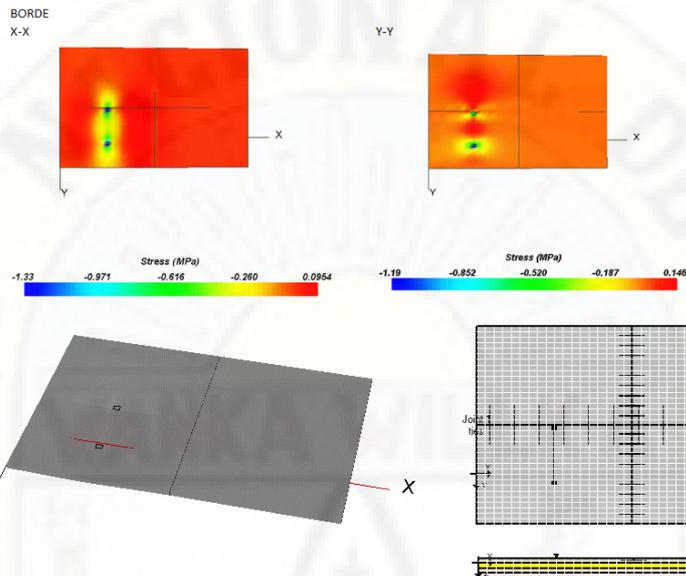


Nota: Obtenido desde el Software EverFe 2.26

3.1.4.3.2. Eje simple 7 TN en cuatro losas.

Figura 88

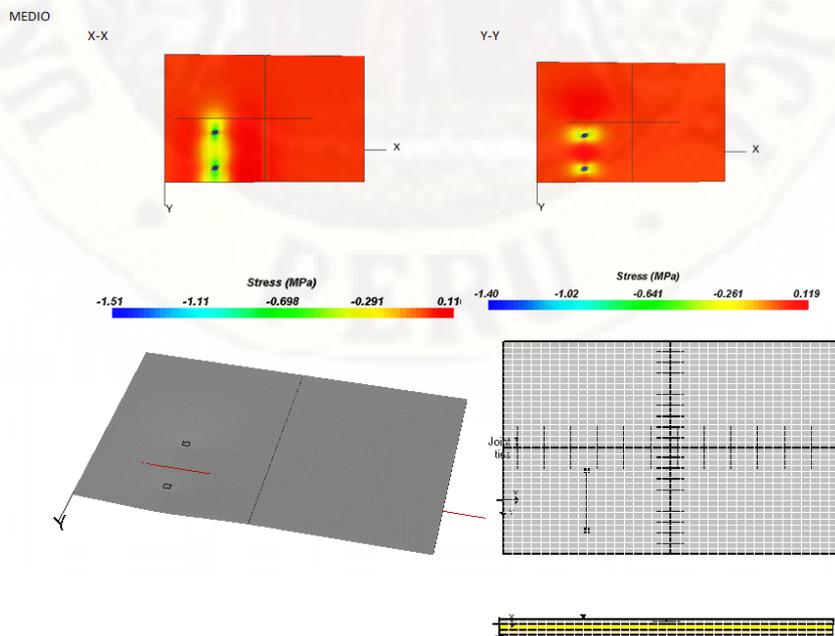
Esfuerzos y desplazamientos en el borde de cuatro losas para 7TN



Nota: Obtenido desde el Software EverFe 2.26

Figura 89

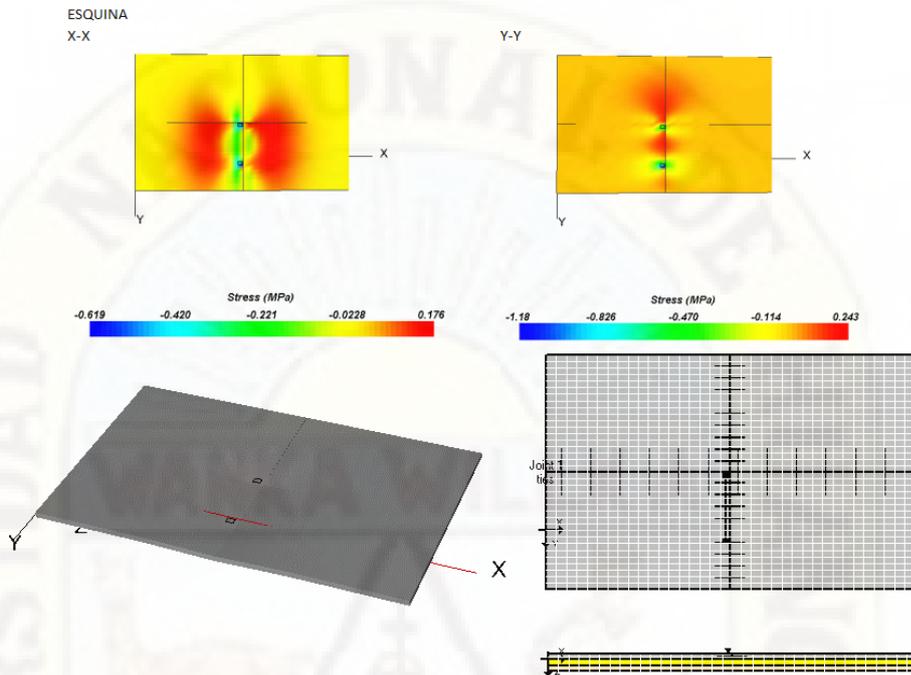
Esfuerzos y desplazamientos en el medio de cuatro losas para 7TN



Nota: Obtenido desde el Software EverFe 2.26

Figura 90

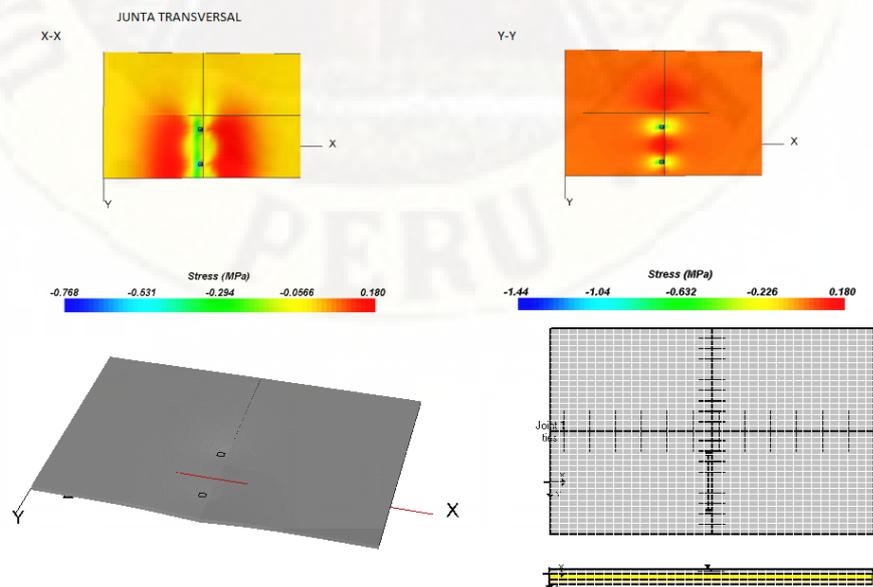
Esfuerzos y desplazamientos en la esquina de cuatro losas para 7TN



Nota: Obtenido desde el Software EverFe 2.26

Figura 91

Esfuerzos y desplazamientos en la junta de cuatro losas para 7TN

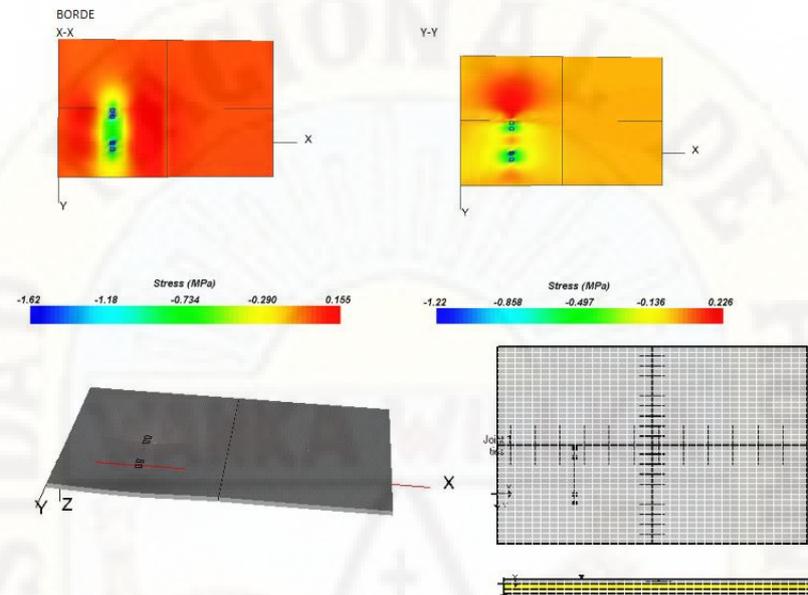


Nota: Obtenido desde el Software EverFe 2.26

3.1.4.3.3. Eje simple doble 11 TN en cuatro losas.

Figura 92

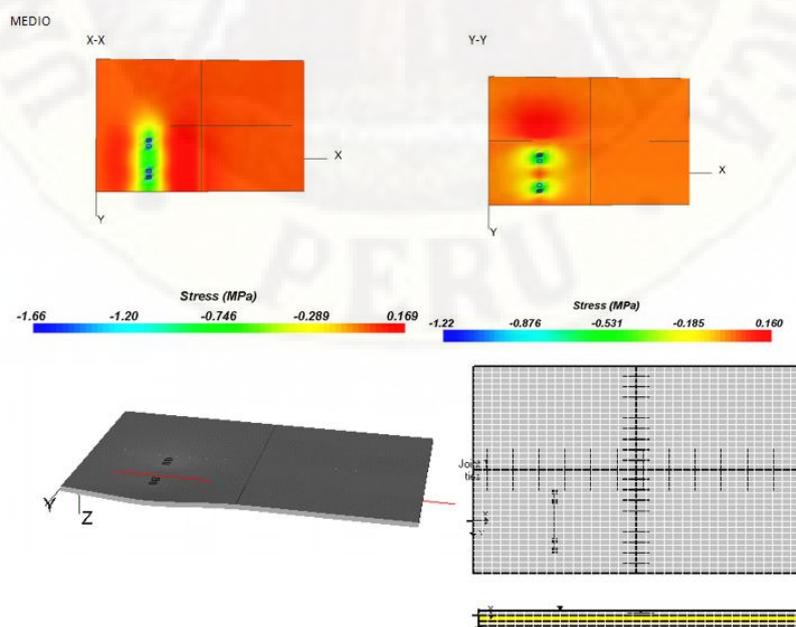
Esfuerzos y desplazamientos en el borde de cuatro losas para 11TN



Nota: Obtenido desde el Software EverFe 2.26

Figura 93

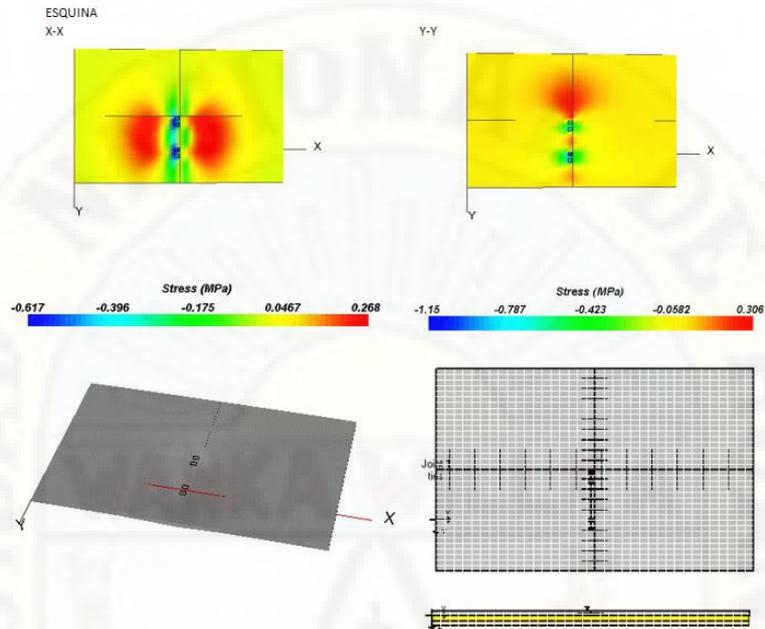
Esfuerzos y desplazamientos en el medio de cuatro losas para 11TN



Nota: Obtenido desde el Software EverFe 2.26

Figura 94

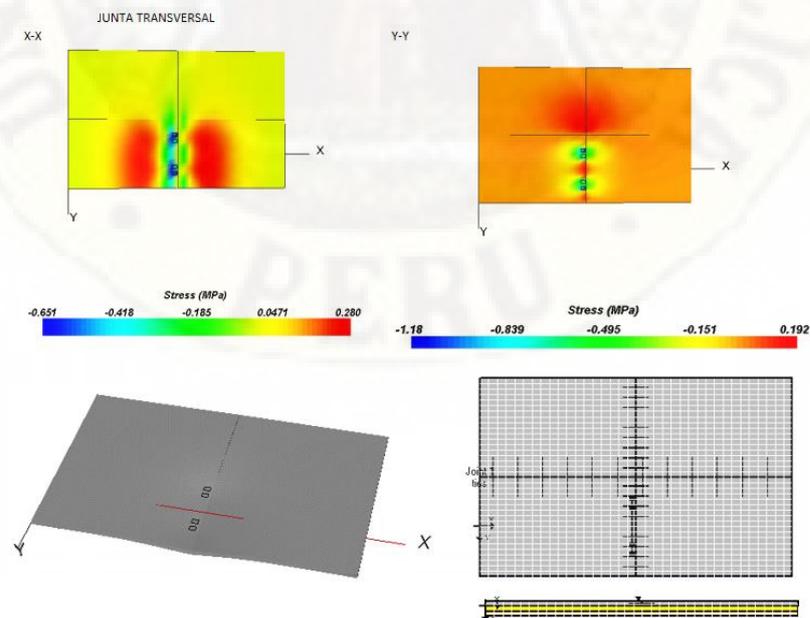
Esfuerzos y desplazamientos en la esquina de cuatro losas para 11TN



Nota: Obtenido desde el Software EverFe 2.26

Figura 95

Esfuerzos y desplazamientos en la junta de cuatro losas para 11TN

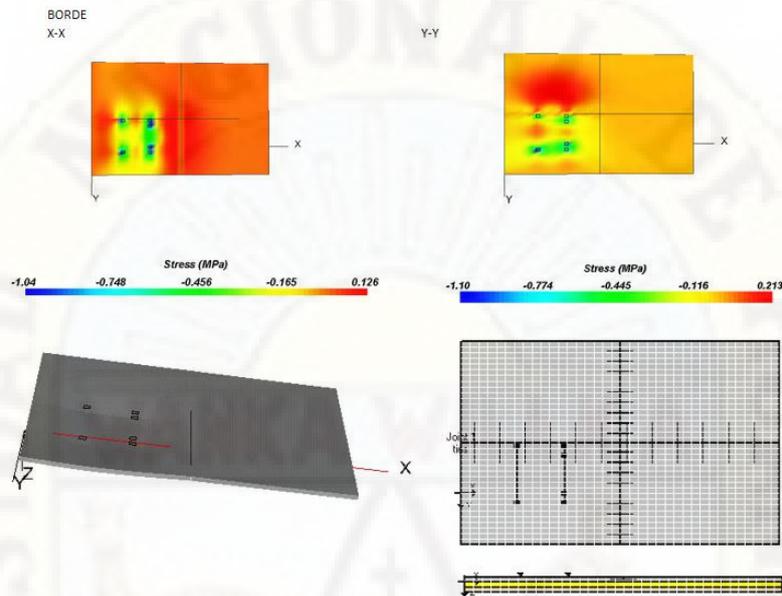


Nota: Obtenido desde el Software EverFe 2.26

3.1.4.3.4. Eje tándem 16 TN en cuatro losas.

Figura 96

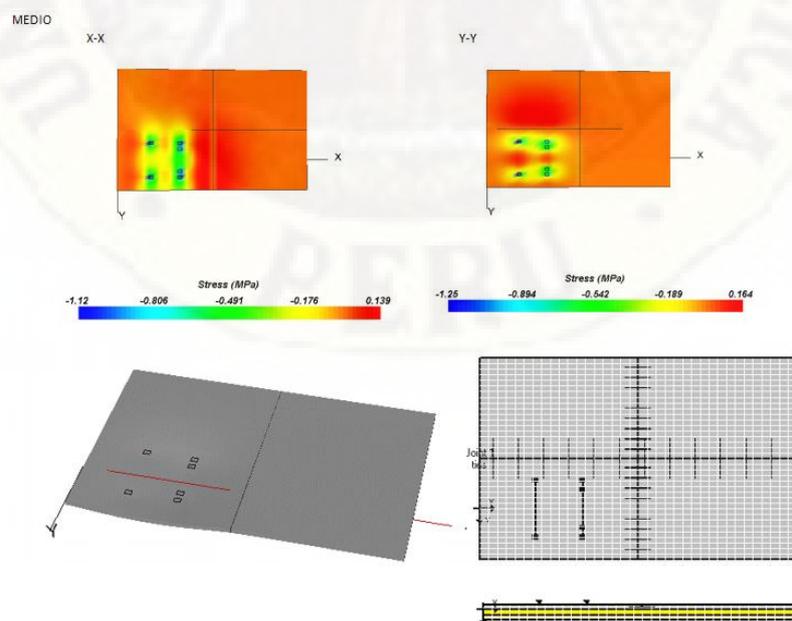
Esfuerzos y desplazamientos en el borde de cuatro losas para 16TN



Nota: Obtenido desde el Software EverFe 2.26

Figura 97

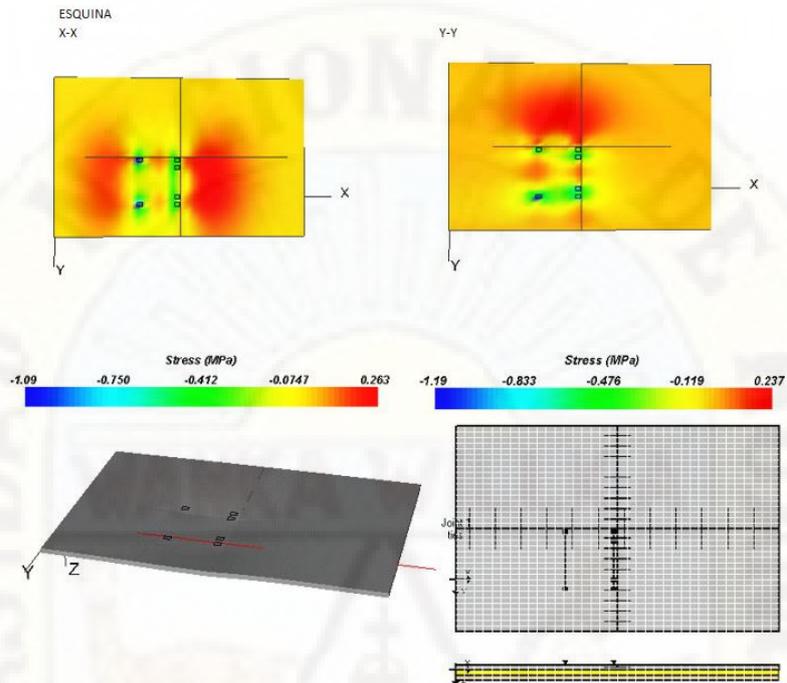
Esfuerzos y desplazamientos en el medio de cuatro losas para 16TN



Nota: Obtenido desde el Software EverFe 2.26

Figura 98

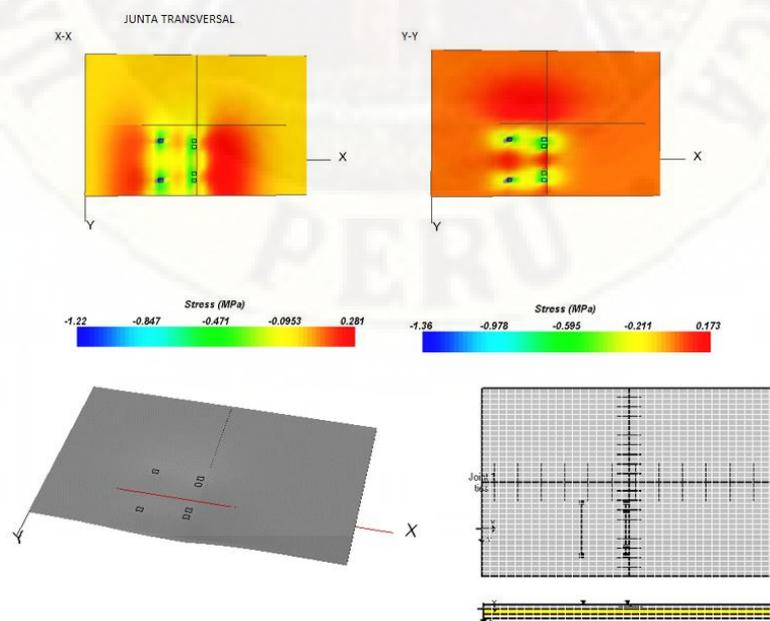
Esfuerzos y desplazamientos en la esquina de cuatro losas para 16TN



Nota: Obtenido desde el Software EverFe 2.26

Figura 99

Esfuerzos y desplazamientos en la junta de cuatro losas para 16TN

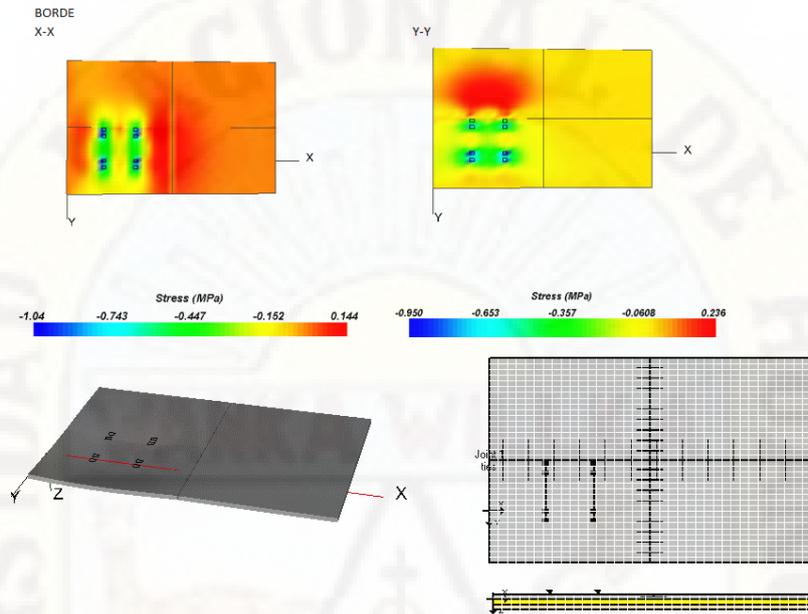


Nota: Obtenido desde el Software EverFe 2.26

3.1.4.3.5. Eje tándem 18 TN en cuatro losas.

Figura 100

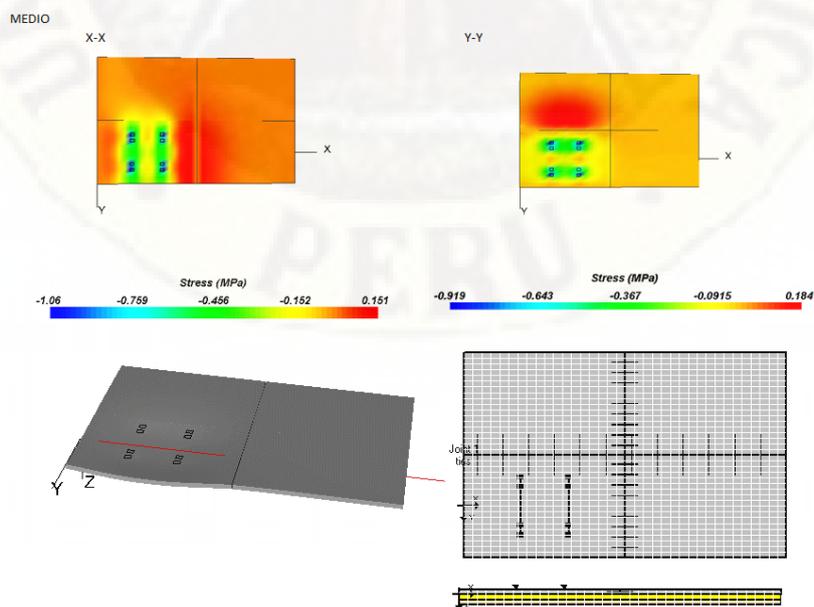
Esfuerzos y desplazamientos en el borde de cuatro losas para 18TN



Nota: Obtenido desde el Software EverFe 2.26

Figura 101

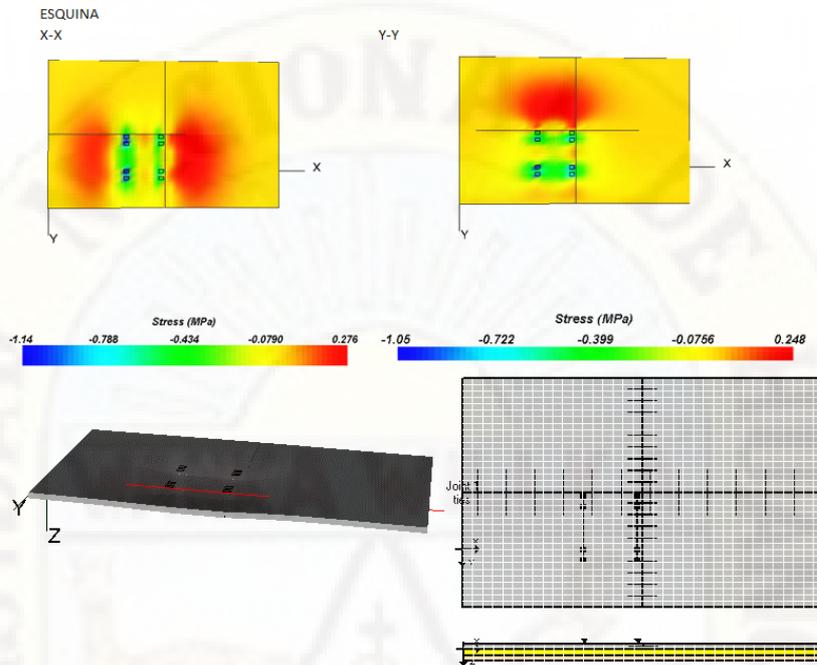
Esfuerzos y desplazamientos en el medio de cuatro losas para 18TN



Nota: Obtenido desde el Software EverFe 2.26

Figura 102

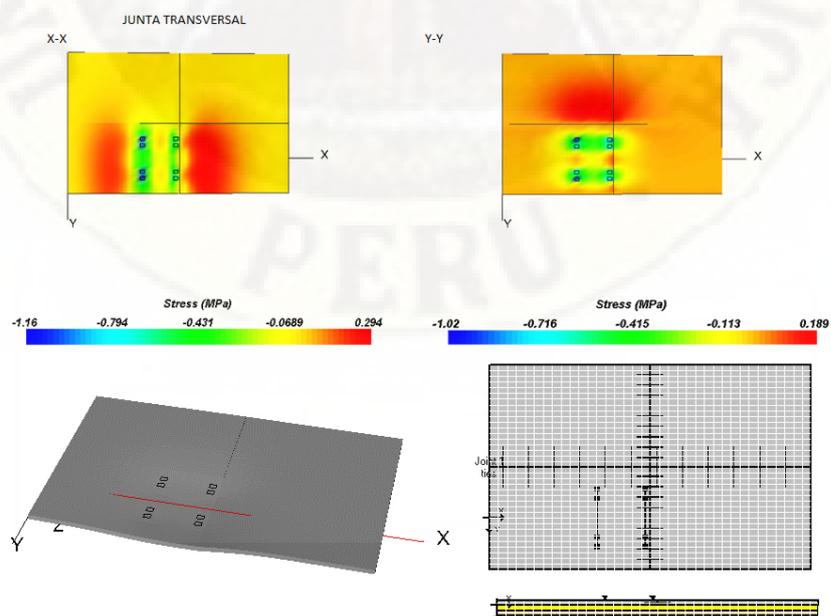
Esfuerzos y desplazamientos en la esquina de cuatro losas para 18TN



Nota: Obtenido desde el Software EverFe 2.26

Figura 103

Esfuerzos y desplazamientos en la junta de cuatro losas para 18TN

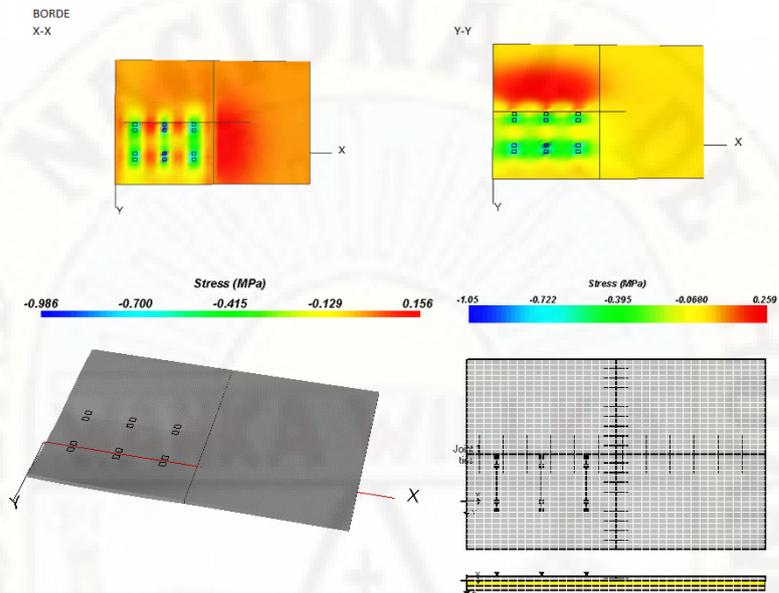


Nota: Obtenido desde el Software EverFe 2.26

3.1.4.3.6. Eje trídem 25 TN en cuatro losas.

Figura 104

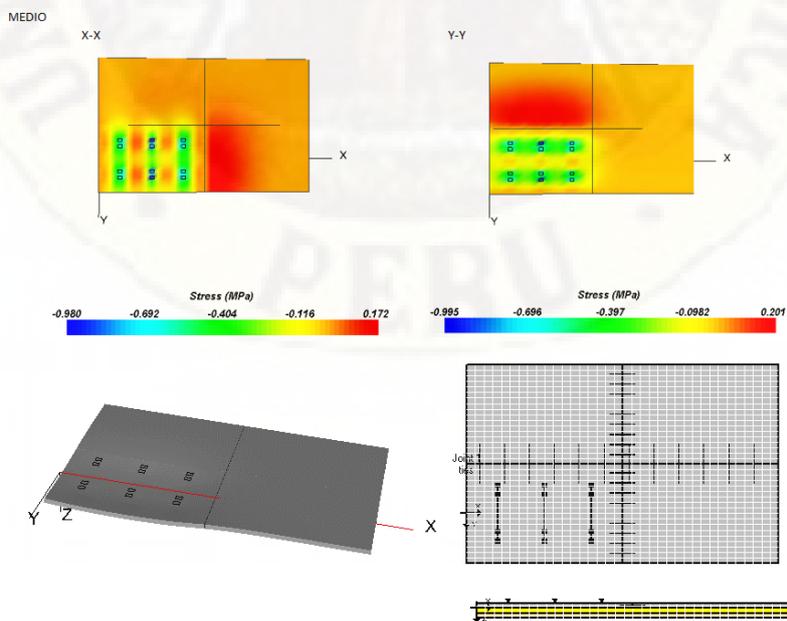
Esfuerzos y desplazamientos en el borde de cuatro losas para 25TN



Nota: Obtenido desde el Software EverFe 2.26

Figura 105

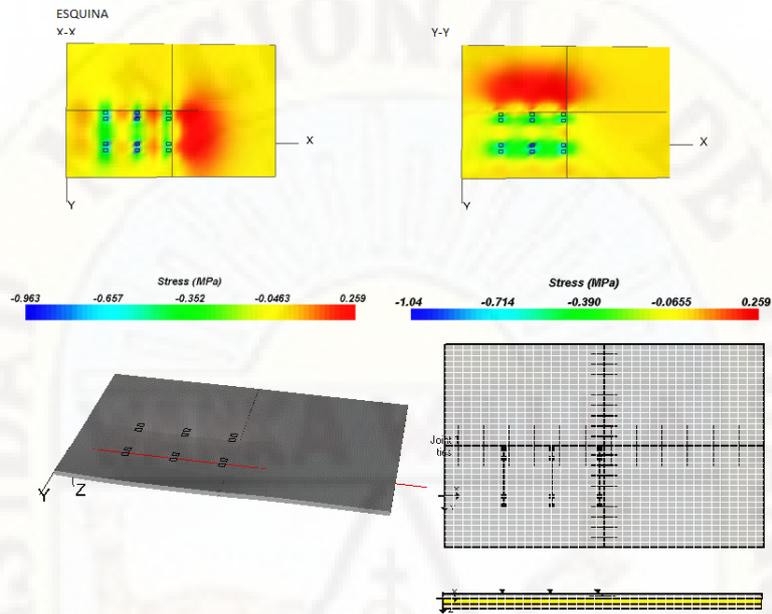
Esfuerzos y desplazamientos en el medio de cuatro losas para 25TN



Nota: Obtenido desde el Software EverFe 2.26

Figura 106

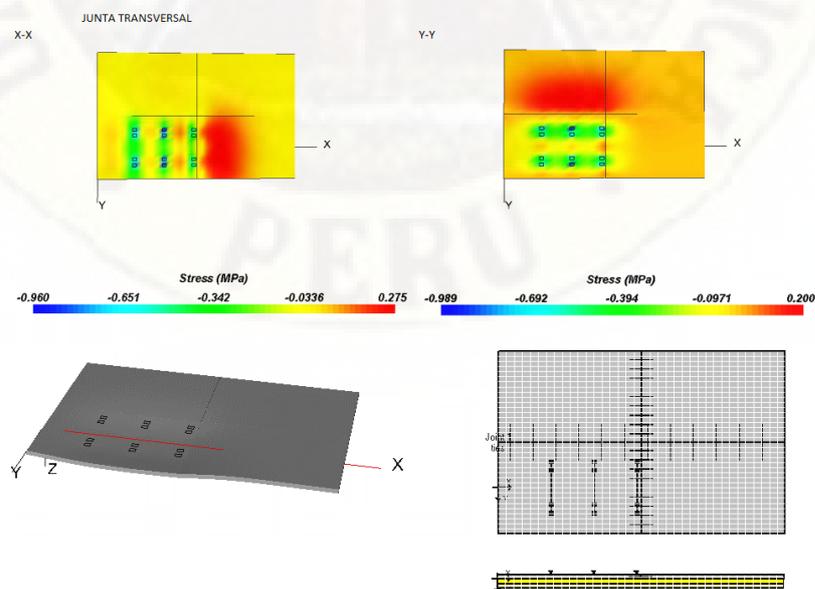
Esfuerzos y desplazamientos en la esquina de cuatro losas para 25TN



Nota: Obtenido desde el Software EverFe 2.26

Figura 107

Esfuerzos y desplazamientos en la junta de cuatro losas para 25TN



Nota: Obtenido desde el Software EverFe 2.26

3.1.5. Análisis de desempeño por fatiga

Se realizó el análisis por carga, tipo de eje y la determinación de esfuerzos máximos mediante análisis tridimensional de elementos finitos, Para cada carga y tipo de eje se relaciona el esfuerzo equivalente con el módulo de rotura obtenido de laboratorio determinándose el número de repeticiones máximas permitidas (Nf). El porcentaje de daño acumulado es hallando mediante la relación de numero de repeticiones esperadas(nf) y repeticiones de máximas permitidas. Si el porcentaje obtenido es menor que 100% significa que el pavimento satisface le demanda de tráfico analizada.

Tabla 25

Análisis de desempeño por fatiga en el borde de una losa

BORDE												
Carga de Eje en ton	Tipo de eje	Esfuerzo (MPa)	f1	f2	f3	f4	σ (MPa) (FEM)	Sc (MPa)	σ/Sc	Nf	nf	Dr
1.0	Simple	0.01886450	1.00000	0.94977	0.89400	0.95300	0.0152649	3.1785	0.0048026	Ilimitado	1.60E+07	0
7.0	Simple	0.01149136	1.00000	0.94977	0.89400	0.95300	0.00929865	3.1785	0.00292551	Ilimitado	1.08E+06	0
11.0	Simple-dual	0.12845580	1.00000	0.94977	0.89400	0.95300	0.10394475	3.1785	0.03270276	Ilimitado	7.56E+05	0
16	Tándem	0.09742330	1.00000	0.94977	0.89400	0.95300	0.07883365	3.1785	0.02480239	Ilimitado	1.46E+04	0
18	Tándem	0.08841187	1.00000	0.94977	0.89400	0.95300	0.07154173	3.1785	0.02250823	Ilimitado	3.63E+05	0
25	Trídem	0.06925799	1.00000	0.94977	0.89400	0.95300	0.05604266	3.1785	0.01763196	Ilimitado	1.36E+05	0
											Total:	0.0%

Nota: Elaboración Propia

Tabla 26

Análisis de desempeño por fatiga en el centro de una losa

CENTRO												
Carga de Eje en ton	Tipo de eje	Esfuerzo (MPa)	f1	f2	f3	f4	σ (MPa) (FEM)	Sc (MPa)	σ/Sc	Nf	nf	Dr
1.0	Simple	0.01106896	1.00000	0.94977	0.89400	0.95300	0.00895686	3.1785	0.00281798	Ilimitado	1.60E+07	0
7.0	Simple	0.06884284	1.00000	0.94977	0.89400	0.95300	0.05570672	3.1785	0.01752627	Ilimitado	1.08E+06	0
11.0	Simple-dual	0.08020819	1.00000	0.94977	0.89400	0.95300	0.06490342	3.1785	0.0204197	Ilimitado	7.56E+05	0
16	Tándem	0.05652210	1.00000	0.94977	0.89400	0.95300	0.04573694	3.1785	0.01438961	Ilimitado	1.46E+04	0
18	Tándem	0.05487583	1.00000	0.94977	0.89400	0.95300	0.04440481	3.1785	0.0139705	Ilimitado	3.63E+05	0
25	Trídem	0.04588905	1.00000	0.94977	0.89400	0.95300	0.03713282	3.1785	0.01168261	Ilimitado	1.36E+05	0
											Total:	0.0%

Nota: Elaboración Propia

Tabla 27*Análisis de desempeño por fatiga en la esquina de una losa*

ESQUINA												
Carga de Eje en ton	Tipo de eje	Esfuerzo (MPa)	f1	f2	f3	f4	σ (MPa) (FEM)	Sc (MPa)	σ/Sc	Nf	nf	Dr
1.0	Simple	0.02101385	1.00000	0.94977	0.89400	0.95300	0.01700414	3.1785	0.00534979	Ilimitado	1.60E+07	0
7.0	Simple	0.14895430	1.00000	0.94977	0.89400	0.95300	0.12053187	3.1785	0.03792135	Ilimitado	1.08E+06	0
11.0	Simple-dual	0.18776561	1.00000	0.94977	0.89400	0.95300	0.15193747	3.1785	0.04780208	Ilimitado	7.56E+05	0
16	Tándem	0.13449566	1.00000	0.94977	0.89400	0.95300	0.10883212	3.1785	0.03424041	Ilimitado	1.46E+04	0
18	Tándem	0.12380904	1.00000	0.94977	0.89400	0.95300	0.10018465	3.1785	0.03151977	Ilimitado	3.63E+05	0
25	Trídem	0.12833431	1.00000	0.94977	0.89400	0.95300	0.10384644	3.1785	0.03267183	Ilimitado	1.36E+05	0
											Total:	0.0%

Nota: Elaboración Propia

Tabla 28*Análisis de desempeño por fatiga en la junta de una losa*

JUNTA												
Carga de Eje en ton	Tipo de eje	Esfuerzo (MPa)	f1	f2	f3	f4	σ (MPa) (FEM)	Sc (MPa)	σ/Sc	Nf	nf	Dr
1.0	Simple	0.01628888	1.00000	0.94977	0.89400	0.95300	0.01318075	3.1785	0.00414688	Ilimitado	1.60E+07	0
7.0	Simple	0.09768410	1.00000	0.94977	0.89400	0.95300	0.07904469	3.1785	0.02486879	Ilimitado	1.08E+06	0
11.0	Simple-dual	0.12007752	1.00000	0.94977	0.89400	0.95300	0.09716515	3.1785	0.03056979	Ilimitado	7.56E+05	0
16	Tándem	0.08822871	1.00000	0.94977	0.89400	0.95300	0.07139351	3.1785	0.0224616	Ilimitado	1.46E+04	0
18	Tándem	0.07875492	1.00000	0.94977	0.89400	0.95300	0.06372745	3.1785	0.02004973	Ilimitado	3.63E+05	0
25	Trídem	0.08131203	1.00000	0.94977	0.89400	0.95300	0.06579663	3.1785	0.02070072	Ilimitado	1.36E+05	0
											Total:	0.0%

Nota: Elaboración Propia

3.1.5.1. Análisis en dos losas**Tabla 29***Análisis de desempeño por fatiga en el borde de dos losas*

BORDE												
Carga de Eje en ton	Tipo de eje	Esfuerzo (MPa)	f1	f2	f3	f4	σ (MPa) (FEM)	Sc (MPa)	σ/Sc	Nf	nf	Dr
1.0	Simple	0.0901	1.00000	0.94977	0.89400	0.95300	0.07293849	3.1785	0.02294767	Ilimitado	1.60E+07	0
7.0	Simple	0.5641	1.00000	0.94977	0.89400	0.95300	0.45642187	3.1785	0.14359798	Ilimitado	1.08E+06	0
11.0	Simple-dual	0.6777	1.00000	0.94977	0.89400	0.95300	0.5483455	3.1785	0.1725187	Ilimitado	7.56E+05	0

16	Tándem	0.5162	1.00000	0.94977	0.89400	0.95300	0.41769661	3.1785	0.13141436	Ilimitado	1.46E+04	0
18	Tándem	0.4756	1.00000	0.94977	0.89400	0.95300	0.38482259	3.1785	0.12107164	Ilimitado	3.63E+05	0
25	Trídem	0.4031	1.00000	0.94977	0.89400	0.95300	0.32617838	3.1785	0.10262119	Ilimitado	1.36E+05	0
Total:											0.0%	

Nota: Elaboración Propia

Tabla 30

Análisis de desempeño por fatiga en el centro de dos losas

CENTRO												
Carga de Eje en ton	Tipo de eje	Esfuerzo (MPa)	f1	f2	f3	f4	σ (MPa) (FEM)	Sc (MPa)	σ/Sc	Nf	nf	Dr
1.0	Simple	0.0956	1.00000	0.94977	0.89400	0.95300	0.07733181	3.1785	0.02432988	Ilimitado	1.60E+07	0
7.0	Simple	0.5941	1.00000	0.94977	0.89400	0.95300	0.48075493	3.1785	0.15125357	Ilimitado	1.08E+06	0
11.0	Simple-dual	0.6911	1.00000	0.94977	0.89400	0.95300	0.55922906	3.1785	0.17594285	Ilimitado	7.56E+05	0
16	Tándem	0.5239	1.00000	0.94977	0.89400	0.95300	0.42393382	3.1785	0.1333767	Ilimitado	1.46E+04	0
18	Tándem	0.4709	1.00000	0.94977	0.89400	0.95300	0.38106148	3.1785	0.11988834	Ilimitado	3.63E+05	0
25	Trídem	0.3969	1.00000	0.94977	0.89400	0.95300	0.32115738	3.1785	0.1010415	Ilimitado	1.36E+05	0
Total:											0.0%	

Nota: Elaboración Propia

Tabla 31

Análisis de desempeño por fatiga en la esquina de dos losas

ESQUINA												
Carga de Eje en ton	Tipo de eje	Esfuerzo (MPa)	f1	f2	f3	f4	σ (MPa) (FEM)	Sc (MPa)	σ/Sc	Nf	nf	Dr
1.0	Simple	0.1808	1.00000	0.94977	0.89400	0.95300	0.1463018	3.1785	0.046029	Ilimitado	1.60E+07	0
7.0	Simple	1.2019	1.00000	0.94977	0.89400	0.95300	0.97256173	3.1785	0.30598424	Ilimitado	1.08E+06	0
11.0	Simple-dual	1.9748	1.00000	0.94977	0.89400	0.95300	1.59795801	3.1785	0.50274441	6.69E+05	7.56E+05	1.130768585
16	Tándem	1.4395	1.00000	0.94977	0.89400	0.95300	1.16482454	3.1785	0.36647335	Ilimitado	1.46E+04	0
18	Tándem	1.1728	1.00000	0.94977	0.89400	0.95300	0.9490063	3.1785	0.29857331	Ilimitado	3.63E+05	0
25	Trídem	1.0511	1.00000	0.94977	0.89400	0.95300	0.85056872	3.1785	0.26760319	Ilimitado	1.36E+05	0
Total:											113.1%	

Nota: Elaboración Propia

Tabla 32

Análisis de desempeño por fatiga en la junta de dos losas

JUNTA												
Carga de Eje en ton	Tipo de eje	Esfuerzo (MPa)	f1	f2	f3	f4	σ (MPa) (FEM)	Sc (MPa)	σ/Sc	Nf	nf	Dr
1.0	Simple	0.1656	1.00000	0.94977	0.89400	0.95300	0.13398274	3.1785	0.04215322	Ilimitado	1.60E+07	0
7.0	Simple	1.1261	1.00000	0.94977	0.89400	0.95300	0.91124964	3.1785	0.28669443	Ilimitado	1.08E+06	0
11.0	Simple-dual	1.8055	1.00000	0.94977	0.89400	0.95300	1.46094648	3.1785	0.45963828	1.50E+07	7.56E+05	0.050535154
16	Tándem	1.3223	1.00000	0.94977	0.89400	0.95300	1.06995547	3.1785	0.33662594	Ilimitado	1.46E+04	0
18	Tándem	1.2379	1.00000	0.94977	0.89400	0.95300	1.001652	3.1785	0.31513653	Ilimitado	3.63E+05	0
25	Trídem	1.1012	1.00000	0.94977	0.89400	0.95300	0.89103615	3.1785	0.28033493	Ilimitado	1.36E+05	0
											Total:	5.1%

Nota: Elaboración Propia

3.1.5.2. Análisis en cuatro losas

Tabla 33

Análisis de desempeño por fatiga en el borde de cuatro losas

BORDE												
Carga de Eje en ton	Tipo de eje	Esfuerzo (MPa)	f1	f2	f3	f4	σ (MPa) (FEM)	Sc (MPa)	σ/Sc	Nf	nf	Dr
1.0	Simple	0.0844	1.00000	0.94977	0.89400	0.95300	0.0682787	3.1785	0.02148163	Ilimitado	1.60E+07	0
7.0	Simple	0.5617	1.00000	0.94977	0.89400	0.95300	0.45448387	3.1785	0.14298825	Ilimitado	1.08E+06	0
11.0	Simple-dual	0.6739	1.00000	0.94977	0.89400	0.95300	0.54527383	3.1785	0.1715523	Ilimitado	7.56E+05	0
16	Tándem	0.5169	1.00000	0.94977	0.89400	0.95300	0.41830512	3.1785	0.13160581	Ilimitado	1.46E+04	0
18	Tándem	0.4760	1.00000	0.94977	0.89400	0.95300	0.38516973	3.1785	0.12118086	Ilimitado	3.63E+05	0
25	Trídem	0.4122	1.00000	0.94977	0.89400	0.95300	0.33352175	3.1785	0.10493154	Ilimitado	1.36E+05	0
											Total:	0.0%

Nota: Elaboración Propia

Tabla 34

Análisis de desempeño por fatiga en el centro de cuatro losas

CENTRO												
Carga de Eje en ton	Tipo de eje	Esfuerzo (MPa)	f1	f2	f3	f4	σ (MPa) (FEM)	Sc (MPa)	σ/Sc	Nf	nf	Dr
1.0	Simple	0.0952	1.00000	0.94977	0.89400	0.95300	0.07705159	3.1785	0.02424172	Ilimitado	1.60E+07	0
7.0	Simple	0.5913	1.00000	0.94977	0.89400	0.95300	0.47846331	3.1785	0.15053259	Ilimitado	1.08E+06	0
11.0	Simple-dual	0.6866	1.00000	0.94977	0.89400	0.95300	0.55558449	3.1785	0.1747962	Ilimitado	7.56E+05	0
16	Tándem	0.5241	1.00000	0.94977	0.89400	0.95300	0.42410214	3.1785	0.13342965	Ilimitado	1.46E+04	0
18	Tándem	0.4724	1.00000	0.94977	0.89400	0.95300	0.38229307	3.1785	0.12027581	Ilimitado	3.63E+05	0

25	Trídem	0.4833	1.00000	0.94977	0.89400	0.95300	0.39109459	3.1785	0.12304492	Ilimitado	1.36E+05	0
											Total:	0.0%

Nota: Elaboración Propia

Tabla 35

Análisis de desempeño por fatiga en el esquina de cuatro losas

ESQUINA												
Carga de Eje en ton	Tipo de eje	Esfuerzo (MPa)	f1	f2	f3	f4	σ (MPa) (FEM)	Sc (MPa)	σ/Sc	Nf	nf	Dr
1.0	Simple	0.0877	1.00000	0.94977	0.89400	0.95300	0.07094716	3.1785	0.02232117	Ilimitado	1.60E+07	0
7.0	Simple	0.5726	1.00000	0.94977	0.89400	0.95300	0.46334123	3.1785	0.14577493	Ilimitado	1.08E+06	0
11.0	Simple-dual	0.7675	1.00000	0.94977	0.89400	0.95300	0.62105499	3.1785	0.19539432	Ilimitado	7.56E+05	0
16	Tándem	0.7146	1.00000	0.94977	0.89400	0.95300	0.578249	3.1785	0.18192684	Ilimitado	1.46E+04	0
18	Tándem	0.7143	1.00000	0.94977	0.89400	0.95300	0.57801191	3.1785	0.18185225	Ilimitado	3.63E+05	0
25	Trídem	0.6927	1.00000	0.94977	0.89400	0.95300	0.56052538	3.1785	0.17635069	Ilimitado	1.36E+05	0
											Total:	0.0%

Nota: Elaboración Propia

Tabla 36

Análisis de desempeño por fatiga en la junta de cuatro losas

JUNTA												
Carga de Eje en ton	Tipo de eje	Esfuerzo (MPa)	f1	f2	f3	f4	σ (MPa) (FEM)	Sc (MPa)	σ/Sc	Nf	nf	Dr
1.0	Simple	0.0713	1.00000	0.94977	0.89400	0.95300	0.0577087	3.1785	0.01815613	Ilimitado	1.60E+07	0
7.0	Simple	0.5013	1.00000	0.94977	0.89400	0.95300	0.40566886	3.1785	0.12763023	Ilimitado	1.08E+06	0
11.0	Simple-dual	0.6418	1.00000	0.94977	0.89400	0.95300	0.51932078	3.1785	0.16338703	Ilimitado	7.56E+05	0
16	Tándem	0.5433	1.00000	0.94977	0.89400	0.95300	0.43961263	3.1785	0.13830951	Ilimitado	1.46E+04	0
18	Tándem	0.4816	1.00000	0.94977	0.89400	0.95300	0.38967447	3.1785	0.12259813	Ilimitado	3.63E+05	0
25	Trídem	0.4571	1.00000	0.94977	0.89400	0.95300	0.36987043	3.1785	0.11636744	Ilimitado	1.36E+05	0
											Total:	0.0%

Nota: Elaboración Propia

3.1.6. Análisis de desempeño por erosión

Los valores tomados para el análisis por erosión, se realizaron en base a la estimación o cálculo de las deflexiones mediante el software EverFe 2.26, según la carga y tipo de eje existente en el tráfico de la vía de estudio, para lo cual se hizo una análisis tridimensional de elementos finitos de interacción de los distintos tipos de eje con ubicaciones (borde, centro, esquina, junta) en una, dos y cuatro losas. El número de

repeticiones máximas permitidas (N_e) y su relación de número de repeticiones esperadas (n_e) nos proporcionan el porcentaje de daño acumulado. Dicho porcentaje al ser menor de 100%, satisfacen los requerimientos del tránsito vial o de lo contrario representan un exceso de daño en cuanto a erosión.

3.1.6.1. Análisis en una losa

Tabla 37

Análisis de desempeño por erosión en el borde de una losa

BORDE										
Deflexión (mm)	Carga de Eje en ton	Tipo de eje	Deflexión (δ_m)	p_c (MPa)	P	C1	C2	N_e	n_e	Dr
0.029	1.0	Simple	0.000029	0.00152033	0.04763188	1.0000	0.94	Ilimitado	1.60E+07	0.000%
0.080	7.0	Simple	0.000080	0.00416883	0.35813992	1.0000	0.94	Ilimitado	1.08E+06	0.000%
0.103	11.0	Simple-dual	0.000103	0.00539354	0.59947582	1.0000	0.94	Ilimitado	7.56E+05	0.000%
0.111	16	Tándem	0.000111	0.00578568	0.68981693	1.0000	0.94	Ilimitado	1.46E+04	0.000%
0.111	18	Tándem	0.000111	0.00576759	0.68550783	1.0000	0.94	Ilimitado	3.63E+05	0.000%
0.127	25	Trídem	0.000127	0.00660618	0.899342	1.0000	0.94	Ilimitado	1.36E+05	0.000%
									Total:	0.000%

Nota: Elaboración Propia

Tabla 38

Análisis de desempeño por erosión en el centro de una losa

CENTRO										
Deflexión (mm)	Carga de Eje en ton	Tipo de eje	Deflexión (δ_m)	p_c (MPa)	P	C1	C2	N_e	n_e	Dr
0.025	1.0	Simple	0.000025	0.0012971	0.03467157	1.0000	0.94	Ilimitado	1.60E+07	0.000%
0.049	7.0	Simple	0.000049	0.00255198	0.13420768	1.0000	0.94	Ilimitado	1.08E+06	0.000%
0.063	11.0	Simple-dual	0.000063	0.00330611	0.22524634	1.0000	0.94	Ilimitado	7.56E+05	0.000%
0.065	16	Tándem	0.000065	0.00340867	0.23943825	1.0000	0.94	Ilimitado	1.46E+04	0.000%
0.065	18	Tándem	0.000065	0.00338454	0.23605998	1.0000	0.94	Ilimitado	3.63E+05	0.000%
0.073	25	Trídem	0.000073	0.00382495	0.30149155	1.0000	0.94	Ilimitado	1.36E+05	0.000%
									Total:	0.000%

Nota: Elaboración Propia

Tabla 39*Análisis de desempeño por erosión en la esquina de una losa*

ESQUINA										
Deflexión (mm)	Carga de Eje en ton	Tipo de eje	Deflexión (δ_m)	pc (MPa)	P	C1	C2	Ne	ne	Dr
0.043	1.0	Simple	0.000043	0.00224429	0.10379645	1.0000	0.94	Ilimitado	1.60E+07	0.000%
0.179	7.0	Simple	0.000179	0.00930898	1.78578219	1.0000	0.94	Ilimitado	1.08E+06	0.000%
0.249	11.0	Simple- dual	0.000249	0.01300723	3.48653595	1.0000	0.94	Ilimitado	7.56E+05	0.000%
0.228	16	Tándem	0.000228	0.01189715	2.91682556	1.0000	0.94	Ilimitado	1.46E+04	0.000%
0.225	18	Tándem	0.000225	0.01171616	2.82875338	1.0000	0.94	Ilimitado	3.63E+05	0.000%
0.208	25	Trídem	0.000208	0.0108655	2.43289889	1.0000	0.94	Ilimitado	1.36E+05	0.000%
									Total:	0.000%

Nota: Elaboración Propia

Tabla 40*Análisis de desempeño por erosión en la junta de una losa*

JUNTA										
Deflexión (mm)	Carga de Eje en ton	Tipo de eje	Deflexión (δ_m)	pc (MPa)	P	C1	C2	Ne	ne	Dr
0.034	1.0	Simple	0.000034	0.00174958	0.06308014	1.0000	0.94	Ilimitado	1.60E+07	0.000%
0.111	7.0	Simple	0.000111	0.00579775	0.69269717	1.0000	0.94	Ilimitado	1.08E+06	0.000%
0.160	11.0	Simple- dual	0.000160	0.00835576	1.43878593	1.0000	0.94	Ilimitado	7.56E+05	0.000%
0.142	16	Tándem	0.000142	0.00739047	1.12556042	1.0000	0.94	Ilimitado	1.46E+04	0.000%
0.138	18	Tándem	0.000138	0.00717328	1.06037711	1.0000	0.94	Ilimitado	3.63E+05	0.000%
0.124	25	Trídem	0.000124	0.00648552	0.86678934	1.0000	0.94	Ilimitado	1.36E+05	0.000%
									Total:	0.000%

Nota: Elaboración Propia

3.1.6.2. Análisis en dos losas

Tabla 41

Análisis de desempeño por erosión en el borde de dos losas

BORDE										
Deflexión EverFE (mm)	Carga de Eje en ton	Tipo de eje	Deflexión (δ_m)	pc (MPa)	P	C1	C2	Ne	ne	Dr
0.209	1.0	Simple	0.000209	0.01089748	2.44723911	1.0000	0.94	Ilimitado	1.60E+07	0.000%
0.377	7.0	Simple	0.000377	0.01965718	7.96281331	1.0000	0.94	Ilimitado	1.08E+06	0.000%
0.513	11.0	Simple-dual	0.000513	0.02674836	14.74411	1.0000	0.94	2.73E+06	7.56E+05	27.667%
0.507	16	Tándem	0.000507	0.02643551	14.4012355	1.0000	0.94	3.08E+06	1.46E+04	0.475%
0.531	18	Tándem	0.000531	0.0276869	15.7969366	1.0000	0.94	1.97E+06	3.63E+05	18.392%
0.59	25	Trídem	0.000590	0.03076322	19.5023909	1.0000	0.94	8.25E+05	1.36E+05	0.000%
									Total:	46.534%

Nota: Elaboración Propia

Tabla 42

Análisis de desempeño por erosión en el centro de dos losas

CENTRO										
Deflexión EverFE (mm)	Carga de Eje en ton	Tipo de eje	Deflexión (δ_m)	pc (MPa)	P	C1	C2	Ne	ne	Dr
0.215	1.0	Simple	0.000215	0.01121033	2.58976736	1.0000	0.94	Ilimitado	1.60E+07	0.000%
0.423	7.0	Simple	0.000423	0.02205566	10.0245427	1.0000	0.94	5.71E+07	1.08E+06	1.897%
0.552	11.0	Simple-dual	0.000552	0.02878186	17.071119	1.0000	0.94	1.40E+06	7.56E+05	53.858%
0.566	16	Tándem	0.000566	0.02951183	17.9480262	1.0000	0.94	1.14E+06	1.46E+04	1.281%
0.595	18	Tándem	0.000595	0.03102392	19.8343405	1.0000	0.94	7.74E+05	3.63E+05	46.857%
0.633	25	Trídem	0.000633	0.03300528	22.448703	1.0000	0.94	4.94E+05	1.36E+05	0.000%
									Total:	103.893%

Nota: Elaboración Propia

Tabla 43

Análisis de desempeño por erosión en la esquina de dos losas

ESQUINA										
Deflexión EverFE (mm)	Carga de Eje en ton	Tipo de eje	Deflexión (δ_m)	pc (MPa)	P	C1	C2	Ne	ne	Dr
0.267	1.0	Simple	0.000267	0.01392166	3.99398432	1.0000	0.94	Ilimitado	1.60E+07	0.000%

0.502	7.0	Simple	0.000502	0.02617481	14.1185881	1.0000	0.94	3.41E+06	1.08E+06	31.800%
0.631	11.0	Simple- dual	0.000631	0.032901	22.3070711	1.0000	0.94	5.05E+05	7.56E+05	149.750%
0.583	16	Tándem	0.000583	0.03039823	19.0423675	1.0000	0.94	9.04E+05	1.46E+04	1.618%
0.573	18	Tándem	0.000573	0.02987682	18.3947156	1.0000	0.94	1.04E+06	3.63E+05	35.035%
0.488	25	Trídem	0.000488	0.02544483	13.3420781	1.0000	0.94	4.65E+06	1.36E+05	0.000%
									Total:	218.203%

Nota: Elaboración Propia

Tabla 44

Análisis de desempeño por erosión en la junta de dos losas

JUNTA										
Deflexión EverFE (mm)	Carga de Eje en ton	Tipo de eje	Deflexión (δm)	pc (MPa)	P	C1	C2	Ne	ne	Dr
0.287	1.0	Simple	0.000287	0.01496448	4.61474414	1.0000	0.94	llimitado	1.60E+07	0.000%
0.543	7.0	Simple	0.000543	0.02831259	16.5189901	1.0000	0.94	1.62E+06	1.08E+06	67.050%
0.672	11.0	Simple- dual	0.000672	0.03503879	25.3001083	1.0000	0.94	3.29E+05	7.56E+05	230.245%
0.603	16	Tándem	0.000603	0.03144105	20.3712865	1.0000	0.94	7.01E+05	1.46E+04	2.088%
0.584	18	Tándem	0.000584	0.03045037	19.107749	1.0000	0.94	8.92E+05	3.63E+05	40.650%
0.579	25	Trídem	0.000579	0.03018967	18.7819621	1.0000	0.94	9.54E+05	1.36E+05	0.000%
									Total:	340.033%

Nota: Elaboración Propia

3.1.6.3. Análisis en cuatro losas

Tabla 45

Análisis de desempeño por erosión en el borde de cuatro losas

BORDE										
Deflexión EverFE (mm)	Carga de Eje en ton	Tipo de eje	Deflexión (δm)	pc (MPa)	P	C1	C2	Ne	ne	Dr
0.209	1.0	Simple	0.000209	0.01089748	2.44723911	1.0000	0.94	llimitado	1.60E+07	0.000%
0.373	7.0	Simple	0.000373	0.01944861	7.79473755	1.0000	0.94	llimitado	1.08E+06	0.000%
0.507	11.0	Simple- dual	0.000507	0.02643551	14.4012355	1.0000	0.94	3.08E+06	7.56E+05	24.586%
0.49	16	Tándem	0.000490	0.02554911	13.4516635	1.0000	0.94	4.44E+06	1.46E+04	0.330%
0.538	18	Tándem	0.000538	0.02805189	16.2161736	1.0000	0.94	1.75E+06	3.63E+05	20.686%
0.587	25	Trídem	0.000587	0.0306068	19.3045657	1.0000	0.94	8.58E+05	1.36E+05	0.000%
									Total:	45.602%

Nota: Elaboración Propia

Tabla 46*Análisis de desempeño por erosión en el centro de cuatro losas*

CENTRO										
Deflexión EverFE (mm)	Carga de Eje en ton	Tipo de eje	Deflexión (δ m)	pc (MPa)	P	C1	C2	Ne	ne	Dr
0.214	1.0	Simple	0.000214	0.01115818	2.56573253	1.0000	0.94	Ilimitado	1.60E+07	0.000%
0.413	7.0	Simple	0.000413	0.02153425	9.55617153	1.0000	0.94	1.48E+08	1.08E+06	0.731%
0.545	11.0	Simple-dual	0.000545	0.02841687	16.640901	1.0000	0.94	1.57E+06	7.56E+05	48.303%
0.546	16	Tándem	0.000546	0.02846901	16.7020246	1.0000	0.94	1.54E+06	1.46E+04	0.949%
0.591	18	Tándem	0.000591	0.03081536	19.5685567	1.0000	0.94	8.15E+05	3.63E+05	44.529%
0.632	25	Trídem	0.000632	0.03295314	22.377831	1.0000	0.94	5.00E+05	1.36E+05	0.000%
									Total:	94.512%

Nota: Elaboración Propia

Tabla 47*Análisis de desempeño por erosión en la esquina de cuatro losas*

ESQUINA										
Deflexión EverFE (mm)	Carga de Eje en ton	Tipo de eje	Deflexión (δ m)	pc (MPa)	P	C1	C2	Ne	ne	Dr
0.212	1.0	Simple	0.000212	0.0110539	2.51799901	1.0000	0.94	Ilimitado	1.60E+07	0.000%
0.408	7.0	Simple	0.000408	0.02127355	9.32618786	1.0000	0.94	3.25E+08	1.08E+06	0.333%
0.567	11.0	Simple-dual	0.000567	0.02956398	18.0115028	1.0000	0.94	1.13E+06	7.56E+05	67.172%
0.523	16	Tándem	0.000523	0.02726977	15.3245317	1.0000	0.94	2.27E+06	1.46E+04	0.645%
0.545	18	Tándem	0.000545	0.02841687	16.640901	1.0000	0.94	1.57E+06	3.63E+05	23.161%
0.517	25	Trídem	0.000517	0.02695692	14.9749341	1.0000	0.94	2.53E+06	1.36E+05	0.000%
									Total:	91.310%

Nota: Elaboración Propia

Tabla 48*Análisis de desempeño por erosión en la junta de cuatro losas*

JUNTA										
Deflexión EverFE (mm)	Carga de Eje en ton	Tipo de eje	Deflexión (δ m)	pc (MPa)	P	C1	C2	Ne	ne	Dr
0.219	1.0	Simple	0.000219	0.01141889	2.6870272	1.0000	0.94	Ilimitado	1.60E+07	0.000%
0.460	7.0	Simple	0.000460	0.02398488	11.8549437	1.0000	0.94	1.00E+07	1.08E+06	10.826%

0.614	11.0	Simple- dual	0.000614	0.0320146	21.1212966	1.0000	0.94	6.14E+05	7.56E+05	123.231%
0.578	16	Tándem	0.000578	0.03013753	18.7171409	1.0000	0.94	9.67E+05	1.46E+04	1.513%
0.587	18	Tándem	0.000587	0.0306068	19.3045657	1.0000	0.94	8.58E+05	3.63E+05	42.283%
0.552	25	Trídem	0.000552	0.02878186	17.071119	1.0000	0.94	1.40E+06	1.36E+05	0.000%
									Total:	177.853%

Nota: Elaboración Propia



Conclusiones

El nivel de tráfico vehicular influye en el desempeño de la estructura del pavimento rígido. Los cálculos realizados en el desempeño estructural del pavimento rígido de la vía de estudio evidencian daños acumulados por fatiga y erosión en los puntos de ubicación de carga (borde, centro, esquina, junta).

El nivel de tráfico vehicular influye en la erosión del pavimento rígido. Debido a que se encontró porcentajes de daño acumulado que sobrepasan el 100%. En el análisis de dos losas las ubicaciones de cargas en las juntas arrojaron 340%, en el centro 104% y en la esquina 218%. En el análisis de cuatro losas, solamente se encontró un daño acumulado mayor al 100% en las cargas ubicadas en la junta, el cual es 178%.

El nivel de tráfico influye en la fatiga del pavimento rígido. Debido a que se encontró un porcentaje de daño acumulado que sobrepasa el 100%. En el análisis de dos losas las ubicaciones de cargas en la esquina arrojaron 113%.

Recomendaciones

Se recomienda la utilización de metodologías de diseño para pavimentos rígidos mecánicas empíricas como el PCA, ya que actualmente es ampliamente utilizada por otros países, por su confiabilidad y su fácil aplicación.

Se aconseja que, para el ensayo de laboratorio de las muestras de pavimentos rígido, se tengan consideraciones de cuidado en la extracción y transporte, con el fin de no alterar la muestra.

Se sugiere que el análisis de elementos finitos para pavimentos rígidos se aplique la mayor discretización posible, para obtener resultados más confiables de esfuerzo y deflexión.

Se recomienda realizar la evaluación de los pavimentos rígidos existentes que presenten signos de deterioro visibles, con el objetivo de determinar el estado actual del pavimento rígido frente al tráfico vial.

Referencias Bibliográficas

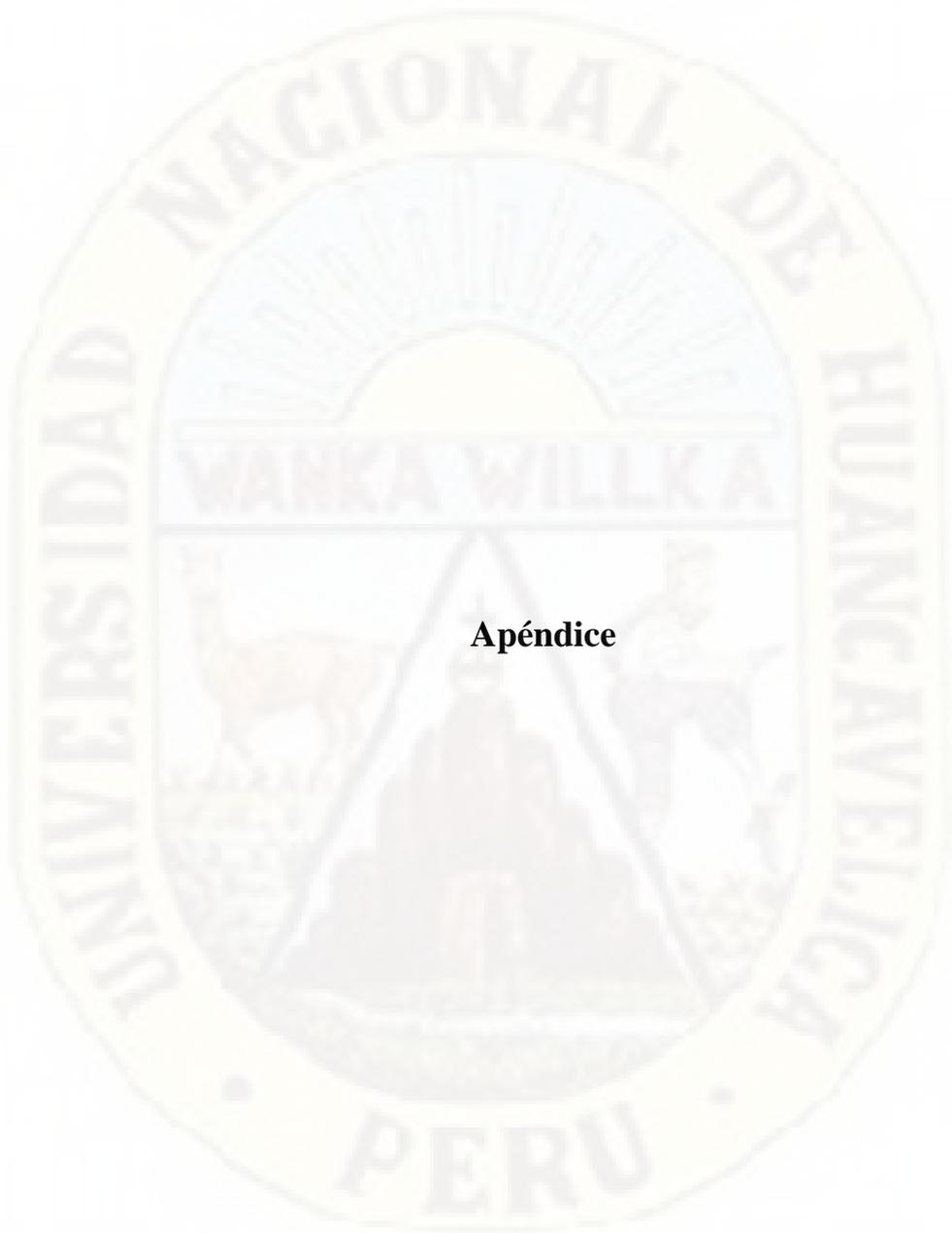
- ALICARESP. (2019). *CONCEPTOS BÁSICOS DE PAVIMENTO RÍGIDO*. Obtenido de <http://alicaresp.com/2019/01/14/conceptos-basicos-de-pavimentos/>
- Arce, D. (2017). *Sistema autónomo de control de tráfico vehicular para intersecciones de avenida*[Tesis de magister, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio Institucional. Obtenido de http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/10175/ARCE_CIGUENAS_SISTEMA_AUTONOMO_CONTROL_TRAFICO.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- ASOCEM. (2016). *Pavimentos de concreto: Estado de arte de los pavimentos en el Perú*. Recuperado el 19 de 01 de 2021, de Concreto: <http://www.asocem.org.pe/productos-b/pavimentos-de-concreto-estado-de-arte-de-los-pavimentos-en-el-peru>
- Burgos, B. (2014). *Análisis comparativo entre un pavimento rígido y un pavimento flexible para la ruta s/r: santa elvira – el arenal, en la comuna de valdivia*[Tesis de pregrado, Universidad Austral de Chile]. Repositorio Institucional. Obtenido de <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2014/bmfcib957a/doc/bmfcib957a.pdf>
- Capani, A., y Dueñas, C. (2013). *Estudio y evaluación de pavimentos de concreto por el método TCP en Quintanillapampa distrito de Ascensión -Huancavelica,*. Repositorio Institucional. Obtenido de <http://repositorio.unh.edu.pe/bitstream/handle/UNH/231/TP%20-%20UNH%20CIVIL%200015.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Cemento Portland Association. (1995). *Diseño de pavimentos de Hormigon- Metodo Pca*. (E. Fernandez, Ed.) Estados Unidos.
- Chávez, L. (2020). *Determinación de la condición actual del pavimento rígido del Jr. Zepita del distrito de Baños del Inca, mediante la aplicación del método del PCI*[Tesis de grado, Universidad Nacional de Cajamarca]. Obtenido de <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/3965>

- Cogollo, M., y Silva, A. (2018). *Modelación numérica de pavimentos rígidos mediante modulación convencional y de losas cortas*[Tesis de grado, Universidad Católica de Colombia]. Repositorio Institucional. Obtenido de <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/22413/1/tesis%20Modelaci%C3%B3n%20num%C3%A9rica%20de%20pavimentos%20r%C3%ADgidos%20mediante%20modulaci%C3%B3n%20convencional%20y%20de%20losas%20cortas..pdf>
- Coral, R. (2017). *Automatización del diseño de pavimentos urbanos por el método de la portland cement association (PCA) según el reglamento nacional de edificaciones – Huaraz – 2016*[Tesis de pregrado, Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo]. Obtenido de http://repositorio.unasam.edu.pe/bitstream/handle/UNASAM/1907/T033_70188786_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Cordo, O. (2006). *Diseño de Pavimentos(AASHTO 93)*.
- Corredor, G. (2015). *Maestría en vías terrestres - Diseño de Pavimentos*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/Hiperpiedra/aashto-931>
- DIGAMMA. (2018). Soluciones flexibles y rígidas. *Perú Construye*, 56-57. Obtenido de <http://www.peruconstruye.net/wp-content/uploads/2018/03/PAVIMENTOS-R%C3%8DGIDOS-Y-FLEXIBLES.pdf>
- García, J., y Ruiz, G. (2018). *Identificación del deterioro del pavimento rígido de la calle Abtao cuerdas 13 a 17 y acciones de conservación en Iquitos 2018*[Tesis de pregrado, Universidad Científica del Perú]. Repositorio Institucional. Obtenido de <http://repositorio.ucp.edu.pe/bitstream/handle/UCP/622/Gian%20Marco-IDENTIFICACI%C3%93N%20DE%20DETERIOROS%20DEL%20PAVIMENTO-2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Gonzales, A., Oseda, D., Ramírez, F., & Gave, J. (2011). *¿Cómo aprender y enseñar investigación científica?* Universidad Nacional de Huancavelica.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. (2010). *Metodología de la investigación*. McGraw Hill.
- Huang, Y. H. (2004). *Pavimentos De Analisis Y Diseño*.

- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2021). *Informe técnico: Flujo vehicular por unidades de peaje*. Obtenido de <https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/boletines/08-informe-tecnico-flujo-vehicular-jun-2021.pdf>
- Ioannides, A. M., Thompson, M. R., & Barenberg, E. J. (1988). *Westgaard Solutions Reconsidered*.
- Lituma, C. (2018). *Análisis de respuestas mecánicas de los pavimentos rígidos colocados en vías urbanas del cantón Cuenca*[Tesis de magister, Universidad de Cuenca]. Repositorio Institucional. Obtenido de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/30393/1/Trabajo%20de%20Titulaci%c3%b3n.pdf>
- López, D. (2014). *Diseño de un modelo de monitoreo para mejorar el flujo de tránsito vehiculara través de semáforos inteligentes en la ciudad de Trujillo*[Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Trujillo]. Repositorio Institucional.
- Lozada, J. (2014). Investigación Aplicada: Definición, Propiedad Intelectual e Industria. *Cienciamérica*, 1(3), 34-39.
- Mallick, R., & El-Korchi, T. (2011). *Pavement Engineering: Principles and Practice*.
- Menendez, J. R. (2009). *Pavimentos Materiales, Diseño y Conservación*.
- Minaya, S., y Ordoñez, A. (2006). *Diseño moderno de pavimentos asfálticos*. ICG.
- Minchán, C. (2019). *Análisis comparativo de estructuras de pavimento rígido mediante métodos de diseño AASHTO y PCA aplicado en una vía pública, Cajamarca - 2019*[Tesis de pregrado, Universidad Privada del Norte]. Obtenido de <https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/22273/Minch%c3%a1n%20Lezcano%20Christian%20Kevin.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ministerio de Economía y Finanzas. (2015). *Pautas metodológicas para el desarrollo de alternativas de pavimentos en la formulación y evaluación*. Lima, Peru. Obtenido de https://www.mef.gob.pe/contenidos/inv_publica/docs/normas/normasv/2015/RD003-2015/Pautas_Pavimentos.pdf
- Ministerio de Transportes y Carreteras. (2014). *Manual de Carreteras: Sección Suelos y Pavimentos*. Peru. Obtenido de

- https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/MANUALES%20DE%20CARRETERAS%202019/MC-05-14%20Seccion%20Suelos%20y%20Pavimentos_Manual_de_Carreteras_OK.pdf
- Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento. (2010). *Norma 0.10 Pavimentos Urbanos*. ICG. Obtenido de https://cdn-web.construccion.org/normas/files/tecnicas/Pavimentos_Urbanos.pdf
- Miranda, R. (2010). *Deterioros en pavimentos flexibles y rígidos*. Repositorio Institucional. Obtenido de <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2010/bmfcim672d/doc/bmfcim672d.pdf>
- Morales, J. (2005). *Técnicas de rehabilitación de pavimentos de concreto utilizando sobrecapas de refuerzo*[Tesis de pregrado, Universidad de Piura]. Repositorio Institucional. Obtenido de https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/1343/ICI_129.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- MTC. (2003). *Reglamento Nacional de Vehículos*. Obtenido de <https://www.sutran.gob.pe/wp-content/uploads/2020/06/Reglamento-Nacional-de-Veh%C3%ADculos-%E2%80%93-DS-N%C2%BA-058-2003-MTC.pdf>
- MTC. (2013). *Manual de Carreteras. "Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos"*. Obtenido de https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/MANUALES%20DE%20CARRETERAS%202019/MC-05-14%20Seccion%20Suelos%20y%20Pavimentos_Manual_de_Carreteras_OK.pdf
- Muñoz, C. (2011). *Cómo elaborar y asesorar una investigación de tesis*. Pearson Educación.
- Muñoz, M., & Díaz, J. A. (2017). *Aplicabilidad del método de los elementos finitos en el análisis y dimensionamiento de losas JCPC para carreteras de dos carriles*.
- Packard, R. (1984). *Thickness design for concrete highway and street pavements*. Portland Cement Association. Portland Cement Association.

- Programa de las naciones unidas para el medio ambiente (ONU). (2019). *Panorama de los recursos globales 2019: Recursos naturales para el futuro que queremos*. Nairobi.
- Rondon, H. A. (2015). *Pavimentos materiales, construcción y diseño*. Colombia.
- Ruiz, C. (2011). *Análisis de los factores que producen el deterioro en pavimentos rígidos*[Tesis de pregrado, Escuela Politécnica del Ejército]. Repositorio Institucional. Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/3033/1/T-ESPE-030924.pdf>
- Solano, B. (2014). *Evaluación del estado actual del Pavimento rígido en el Jirón Junín de la Ciudad de Jaén – Cajamarca*[Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio Institucional. Obtenido de <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/503>
- Sousa, V., Driessnack, M., & Costa, I. (2007). Revisión de diseños de investigación resaltantes para enfermería. Parte 1: diseños de investigación cuantitativa. *Latino-am Enfermagem*, 15(3).
- Tamayo, M. (2003). *El proceso de la investigación científica*. Limusa.
- Timaná, J. (2004). *Técnicas de rehabilitación de pavimentos de concreto utilizando sobrecapas de refuerzo*. Universidad Nacional de Piura. Obtenido de https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/1343/ICI_129.pdf
- Uribe, C. (2015). *Análisis de los criterios de diseño de pavimento rígido bajo la óptica de las condiciones especiales de la isla de san andres y especificaciones técnicas de la secretaria de infraestructura de la gobernación departamental*. [Tesis de grado, Universidad Católica de Colombia], Repositorio Institucional. Obtenido de <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/2975/4/ANALISIS%20DE%20LOS%20CRITERIOS%20DE%20DISE%20C3%91O%20DE%20PAVIMENTO%20RIGIDO%20BAJO%20LA%20OPTICA%20ESPECIAL%20DE%20SAN%20ANDRES%20ISL.pdf>
- Westergaard, H. M. (1926). *Stresses in concrete pavements computed by theoretical analysis*.
- White, H., & Sabarwal, S. (2014). Diseño y métodos cuasiexperimentales. *Síntesis metodológicas: evaluación de impacto n.º 8*, 1-14.



Apéndice

Matriz de Consistencia

Título: Influencia del tráfico vehicular en el desempeño de la estructura del pavimento rígido en la ciudad de Huancavelica 2021.

Problema	Objetivo	Marco teórico	Hipótesis	Variable	Metodología	
¿Cuál es la influencia del nivel de tráfico en el desempeño de la estructura del pavimento rígido en la ciudad de Huancavelica 2021?	Determinar la influencia del nivel de tráfico en el desempeño de la estructura del pavimento rígido en la ciudad de Huancavelica 2021.	<p>Antecedentes</p> <p>A Nivel Local:</p> <p>UNH-Huancavelica (2014), Capani A. & Dueñas C. “Estudio y evaluación de pavimentos de concreto por el método TCP en Quintanillapampa distrito de Ascensión Huancavelica”</p>	La influencia del tráfico vehicular influye en el desempeño de la estructura del pavimento rígido en la ciudad de Huancavelica 2021.	<p>Variable independiente:</p> <p>Tráfico vehicular.</p> <p>Dimensión:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Índice medio diario • Índice medio anual <p>Variable dependiente:</p> <p>Desempeño estructural del pavimento rígido.</p> <p>Dimensiones</p> <ul style="list-style-type: none"> • Erosión • Esfuerzo de fatiga 	<p>Tipo: Aplicada</p> <p>Nivel: Explicativo</p> <p>Diseño: Cuasi experimental</p> <p>Población: Vías urbanas de la Ciudad de Huancavelica</p> <p>Muestra: Tramo Av. Santo Villa. (No Probabilística)</p> <p>Técnicas e Instrumentos de recolección de datos.</p> <p>Observación directa, Análisis documental, Ensayos de Flexion, Estudio de tráfico, Instrumentos de medición</p> <p>Técnicas de Procesamiento de datos</p> <p>Análisis de datos.</p>	
		<p>A Nivel Nacional:</p> <p>UNC-Cajamarca(2019), Chávez L. “Determinación</p>				<p>A Nivel Internacional</p> <p>UC-Ecuador (2018), Lituma C.</p>
		<p>Problemas específicos</p>				<p>Objetivos específicos</p>

<p>¿Cuál es la influencia del nivel de tráfico en la erosión del pavimento rígido en la ciudad de Huancavelica 2021?</p>	<p>Determinar la influencia del nivel de tráfico en la erosión del pavimento rígido en la ciudad de Huancavelica 2021.</p>	<p>de la condición actual del pavimento rígido del Jr. Zepita del distrito de baños del inca, mediante la aplicación del método del PCI”</p>	<p>“Análisis de respuestas mecánicas de los pavimentos rígidos colocados en vías urbanas del cantón Cuenca”</p>	<p>La influencia del tráfico vehicular influye en la erosión de la estructura del pavimento rígido en la ciudad de Huancavelica 2021.</p>		
<p>¿Cuál es la influencia del nivel de tráfico en la fatiga del pavimento rígido en la ciudad de Huancavelica 2021?</p>	<p>Determinar la influencia del nivel de tráfico en la fatiga del pavimento rígido en la ciudad de Huancavelica 2021.</p>	<p>UPD-Cajamarca(2019), Minchán C. “Análisis comparativo de estructuras de pavimento rígido mediante métodos de diseño AASHTO y PCA aplicado en una vía pública, cajamarca - 2019”</p> <p>UNSAM – Huaraz (2017). Coral R. “Automatización del diseño de pavimentos urbanos por el metodo de la portland cement association (PCA) según el Reglamento Nacional de Edificaciones –</p>	<p>UC-Colombia(2018), Congollo M. & Silva A. “Modelación numérica de pavimentos rígidos mediante modulación convencional y de losas cortas”</p>	<p>La influencia del tráfico vehicular influye en la fatiga de la estructura del pavimento rígido en la ciudad de Huancavelica 2021.</p>		

		Huaraz – 2016”			
		Marco teórico referencial			
		<ul style="list-style-type: none"> • Pavimento rígido • Tráfico vehicular • Método PCA • Desempeño de pavimentos • Análisis tridimensional de pavimentos • Aplicación de elementos finitos para pavimentos 			



“Año del Bicentenario del Perú: 200 años de Independencia”

EL JEFE DEL ÁREA DE PRODUCCIÓN DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL HUANCVELICA, DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA, otorga la presente:

CONSTANCIA

A: **MANCHA TUNQUE Pool Franklin Oliver y QUISPE VENTURA Yeferson**, bachilleres de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil - Huancavelica, Facultad de Ciencias de Ingeniería, de la Universidad Nacional de Huancavelica, quienes han concluido con el desarrollo los siguientes ensayos en el laboratorio de **TECNOLOGÍA DEL CONCRETO** de la EPICH:

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	ENSAYO DE FLEXION ASTM C 78	03

Durante el periodo de ejecución comprendido del 04 al 06 de agosto del 2021, del proyecto de tesis titulado: **“INFLUENCIA DEL TRÁFICO VEHICULAR EN EL DESEMPEÑO DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO RÍGIDO EN LA CIUDAD DE HUANCVELICA 2021”**.

Se expide la presente constancia a solicitud de los interesados para fines que estimen por conveniente.

Huancavelica, 27 de Setiembre de 2021.

Nº 006-2021

C. C.
 Archivo
 AP

UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL HVCA
 AREA DE PRODUCCION

 JEFE



Panel Fotográfico: Estudio de tráfico mediante cámaras de vigilancia



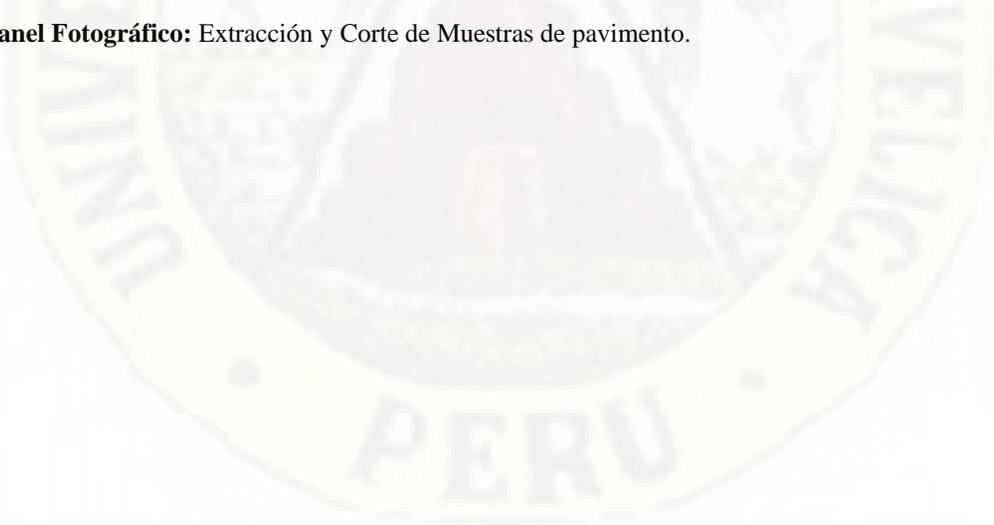
Panel Fotográfico: Recopilación de dimensiones del pavimento rígido



Panel Fotográfico: Preparación para extracción de muestra



Panel Fotográfico: Extracción y Corte de Muestras de pavimento.

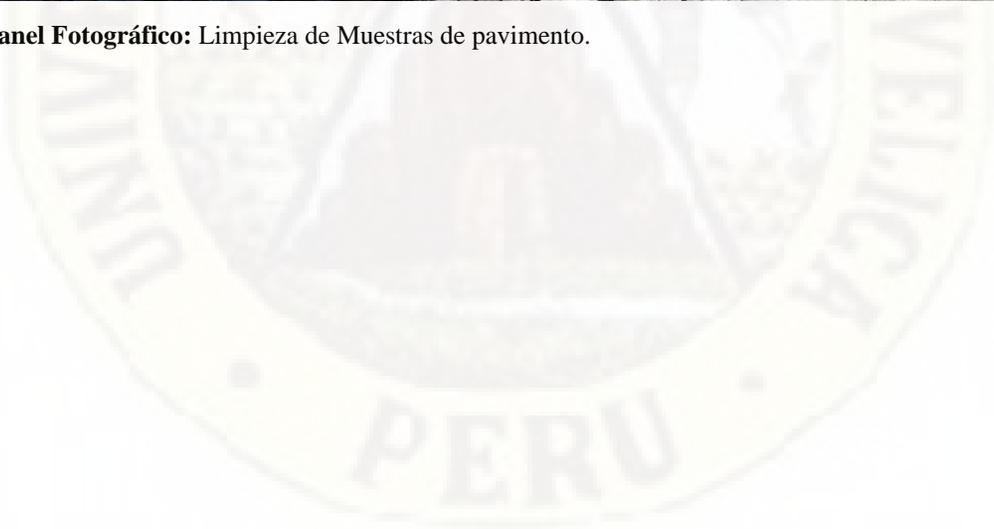




Panel Fotográfico: Extracción y Corte de Muestras de pavimento.



Panel Fotográfico: Limpieza de Muestras de pavimento.





Panel Fotográfico: Muestras de pavimento extraída.



Panel Fotográfico: Recopilación de información dimensional de la muestra de pavimento.



Panel Fotográfico: Muestra en el equipo de ensayo a flexion.



Panel Fotográfico: Ensayo a flexión en muestras de pavimento



Panel Fotográfico: Muestra de pavimento después del ensayo



Panel Fotográfico: Equipo de trabajo y equipo de ensayo.