

CAPÍTULO I
INTRODUCCIÓN

1.1. INTRODUCCIÓN

En el diseño y construcción de pavimentos rígidos, un componente necesario son las juntas de dilatación, su importancia surge de la necesidad de un medio para controlar el agrietamiento transversal y longitudinal del concreto.

La Eficiencia de juntas de dilatación es la cuantificación de la capacidad de transmisión de una parte de una carga aplicada desde un lado de la junta hacia el lado opuesto, esta transferencia es necesaria para lograr un buen comportamiento de los pavimentos de hormigón con juntas.

En el ámbito internacional es más común la determinación de la eficiencia de transferencia de cargas en juntas transversales de pavimento rígido, ya que mediante esto se realiza la evaluación de condición de las vías, esto se demuestra con diferentes trabajos aplicados en este campo.

En el presente trabajo se realizará el análisis de la eficiencia de juntas de dilatación debido a transmisión de cargas entre losas adyacentes del pavimento rígido de la Avenida Circunvalación de la ciudad de Tarija, considerando mediciones de deflexiones con carga y sin carga de losas de concreto; de tal manera se pueda obtener información de las condiciones actuales de las juntas de dilatación.

La transferencia de carga es necesaria a lo largo de cualquier junta del pavimento, por lo que se plantea el diseño con una eficiencia del 100%, lo que quiere decir que las dos losas tendrán iguales valores de deflexión, esfuerzo cortante transferido y fuerzas de reacción debajo de la losa (igual al 50% de la carga sobre la junta), una eficiencia 0% implica que no existe una transmisión adecuada de cargas y todo el peso se queda a un lado de la junta.

La aplicación práctica de la teoría señalada se llevará a cabo mediante la medición de las deflexiones que sufren las losas de pavimento rígido cuando se simula la acción de un vehículo pesado sobre el mismo y posteriormente relacionando dichas medidas y analizando la eficiencia, según el resultado obtenido se propondrá mejoras para la condición actual de la vía.

1.2.JUSTIFICACIÓN

La eficiencia de la transferencia de carga de juntas de dilatación es una de las formas que tienen los pavimentos rígidos para probar su buen funcionamiento. La importancia de este proyecto tiene que ver con mejorar este indicador del pavimento, ya que la finalidad es analizar y proponer una forma de mejorar los porcentajes de eficiencia de transferencia de carga de las losas de pavimento rígido, componiendo una vía con funcionamiento inadecuado y habilitándola de manera que su uso sea aprovechado correctamente, y así cumpla con lo exigido en las normas.

En lo que se refiere a pavimentos rígidos es importante hacer notar que éstos se encuentran sometidos a cargas de tráfico y factores medio ambientales (congelación, deshielo y variaciones de temperatura) que afectan la durabilidad del mismo, razón por la cual es importante tomar en cuenta todos estos factores que producen daños en la estructura del pavimento generando deformaciones, desgaste, fisuras, entre losa.

1.3.DISEÑO TEÓRICO

1.3.1. Planteamiento del problema

1.3.1.1.Situación problemática

La eficiencia de juntas de dilatación debido a la transmisión de cargas entre losas adyacentes, se define como la relación que existe entre las deflexiones de las juntas de una losa de pavimento rígido cargada y la adyacente sin carga, una junta eficiente será aquella que logre traspasar la mitad de la carga a la losa siguiente, de lo contrario se tratará de una junta ineficiente.

La Eficiencia de juntas de dilatación es la cuantificación de la capacidad de transmisión de una parte de una carga aplicada desde un lado de la junta hacia el lado opuesto, esta transferencia es necesaria para lograr un buen comportamiento de los pavimentos de concreto con juntas.

En la Avenida Circunvalación construida con pavimento rígido se observan fallas en las losas de concreto tales como grietas, escalonamiento, deflexiones q son provocadas por el deterioro de las juntas, y también debido al transcurso de la vida útil de la infraestructura

generando muchas veces inconformidad al usuario automotor.

Con el análisis de la eficiencia de juntas debido a transmisión de cargas entre losas adyacentes se logrará obtener datos fehacientes de las juntas que requieren reparación, mantenimiento o rehabilitación

El análisis del objeto de estudio se realizará para conocer como intervendrá cada parte constituyente de la eficiencia de juntas de dilatación e en la habilidad eficaz o ineficaz de la transmisión de cargas entre losas adyacentes.

1.3.1.2.Problema

¿De qué manera, un análisis de la eficiencia de las juntas de dilatación debido a la transmisión de cargas entre losas adyacentes del pavimento rígido, puede ayudar a mejorar su comportamiento funcional?

1.4.OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. Objetivo general

Analizar la eficiencia de juntas de dilatación debido a transmisión de cargas entre losas adyacentes de un pavimento rígido, en base a mediciones de deflexiones con carga y sin carga de losas de concreto, de manera que se pueda obtener información de las condiciones actuales de las juntas de dilatación y proponer las mejoras respectivas

1.4.2. Objetivos específicos

- De la bibliografía elaborar el marco teórico sobre los factores que influyen en la eficiencia de juntas debido a transmisión de cargas vehiculares.
- Establecer visualmente puntos de medición de las losas del pavimento rígido.
- Identificar si existen fallas y el nivel de severidad en las losas a estudiar.
- Realizar la medición in situ de las deflexiones verticales de las juntas inducida por la aplicación y no aplicación de cargas de tránsito.
- Determinar los valores de eficiencias de juntas obtenidas en las losas de concreto.

1.5.HIPÓTESIS

Al medir las deflexiones de juntas transversales cargadas y sin cargas de losas adyacentes de un pavimento rígido; se podrá analizar de la eficiencia de las juntas de dilatación debido al incremento en la transmisión de cargas.

1.6.DEFINICIÓN DE VARIABLES DEPENDIENTES E INDEPENDIENTES

1.6.1. Variables dependientes

Eficiencia de transmisión de cargas

1.6.2. Variables independientes

Deflexión lado cargado de la junta

Deflexión lado no cargado de la junta

Trafico promedio diario anual de vehículos pesado

Tipo de fallas en las losas

1.6.3. Conceptualización y operacionalización de variables

1.6.3.1.Conceptualización

Eficiencia de las juntas: Valor porcentual que indica la buena o mala transmisión de cargas entre losas adyacentes.

Deflexión lado cargado de la junta: Deformación de la losa cuando es aplicada una carga de tránsito.

Deflexión lado no cargado de la junta: Deformación de la losa cuando es aplicada simultáneamente en la losa adyacente una carga de tránsito.

Fallas en losas de pavimento rígido: Fracturas, deterioros que sufre el pavimento debido a fuerzas externas o internas que afectan la estructura del mismo. Existen varios tipos y grados de severidad de cada falla.

Tráfico promedio diario: Se define como el volumen total de vehículos que pasan

por un punto o sección de una carretera en un período de tiempo determinado, que es mayor de un día y menor o igual a un año.

1.6.3.2.Operacionalización de variables

A continuación, se muestra en la Figura 1.1 la operacionalización de las variables dependientes e independientes de la investigación:

Figura 1. 1. Tabla de operacionalización de variables

Variable dependiente	Dimensión	Indicador	Valor/Acción
Eficiencia de transmisión de cargas	Deflexión lado cargado de la junta	En milímetros	Diferencia de cotas medidas con un aparato de precisión (Nivel de Ingeniero) cuando losa esta sin carga (condiciones iniciales) y cuando se le aplica una carga (condiciones finales)
	Deflexión lado no cargado de la junta	En milímetros	Cotas medidas con un aparato de precisión (Nivel de ingeniero) cuando la losa adyacente ha sido cargada, diferencia de cotas en condiciones iniciales y condiciones finales
	Fallas en losas	Tipo de falla y grado de severidad	Inspección, ubicación y registro de losas de estudio
	Tráfico promedio diario	Nº de vehículos por día	Estudio de tráfico

Fuente: Elaboración propia

1.7.DISEÑO METODOLÓGICO

El diseño metodológico de la investigación involucra el tratamiento descriptivo de los fenómenos, contextos, y eventos; esto es, detallar cómo son y se manifiestan, por lo que

se busca especificar las propiedades, las características del objeto de estudio. Es decir, que el diseño metodológico identificado es una investigación de tipo descriptiva.

1.7.1. Componentes

1.7.1.1.Unidad de estudio

En el análisis de eficiencia de juntas de dilatación debido a transmisión de cargas entre losas adyacentes se denominara la unidad de estudio a las **juntas de dilatación transversales de las losas del pavimento rígido de la Av. Circunvalación**, que presenta características cuantitativas que se medirán, describirán y analizaran.

Se llama unidades de estudio a los componentes de una determinada población de datos centro del estudio estadístico.

Cada uno de los individuos de la población puede describirse según uno o varios caracteres, cada uno de los caracteres estudiados puede presentar dos o más modalidades. Las modalidades son las diferentes situaciones posibles del carácter, y deben ser al mismo tiempo, incompatibles y exhaustivas.

1.7.1.2.Población

La población serán **todas las juntas de dilatación transversales del pavimento rígido de la Av. Circunvalación.**

Es el conjunto de personas u objetos de los que se desea conocer algo en una investigación. "El universo o población puede estar constituido por personas, animales, registros médicos, los nacimientos, las muestras de laboratorio, los accidentes viales entre otros". (PINEDA et al 1994:108).

El nivel de confianza definido para el trabajo será del 95% que funciona adecuadamente en el tipo de investigación que se realizará.

El tamaño de población se obtuvo mediante:

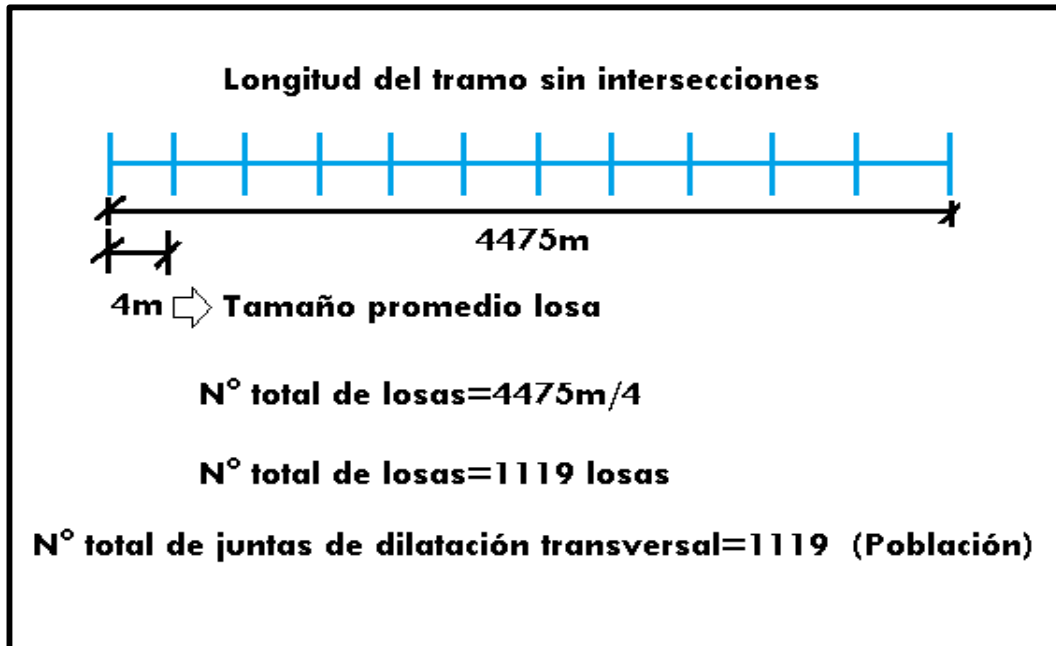
La longitud del tramo total de la Av. Circunvalación es de 5,08km

La longitud del tramo sin intersecciones ya que estas presentan pavimento flexible, es de

4,48km

La longitud promedio de cada losa es de 4m

Figura 1. 2. Tamaño de la población



Fuente: Elaboración propia

1.7.1.3. Muestra

Es un subconjunto o parte del universo o población en que se llevará a cabo la investigación.

La validez de un experimento depende, en alto grado, de la representatividad de la muestra de participantes con los que se lleva a cabo el experimento. Por ello, es necesario que la muestra con que se realice el experimento sea estimada y seleccionada sistemáticamente para que haya representatividad de sus resultados y los mismos puedan generalizarse, tanto a otras poblaciones como a otros contextos y situaciones, con las debidas adaptaciones. Un ejemplo de amenaza por bajo grado de representatividad de la muestra ocurre cuando un experimento se efectúa con muestras que no han sido estimadas ni seleccionadas con criterios estadísticos adecuados.¹

¹ (Bernal, 2010)

A continuación se muestra como se obtuvo este componente:

El tamaño de la muestra fue de **270 juntas de dilatación transversal** por cada carril de la Av. Circunvalación, se calculó mediante el método de proporciones de población finita.

Figura 1. 3. Tamaño muestra



Fuente: Elaboración propia

1.8.MÉTODOS Y TÉCNICAS EMPLEADAS

1.8.1. Selección de métodos y técnicas

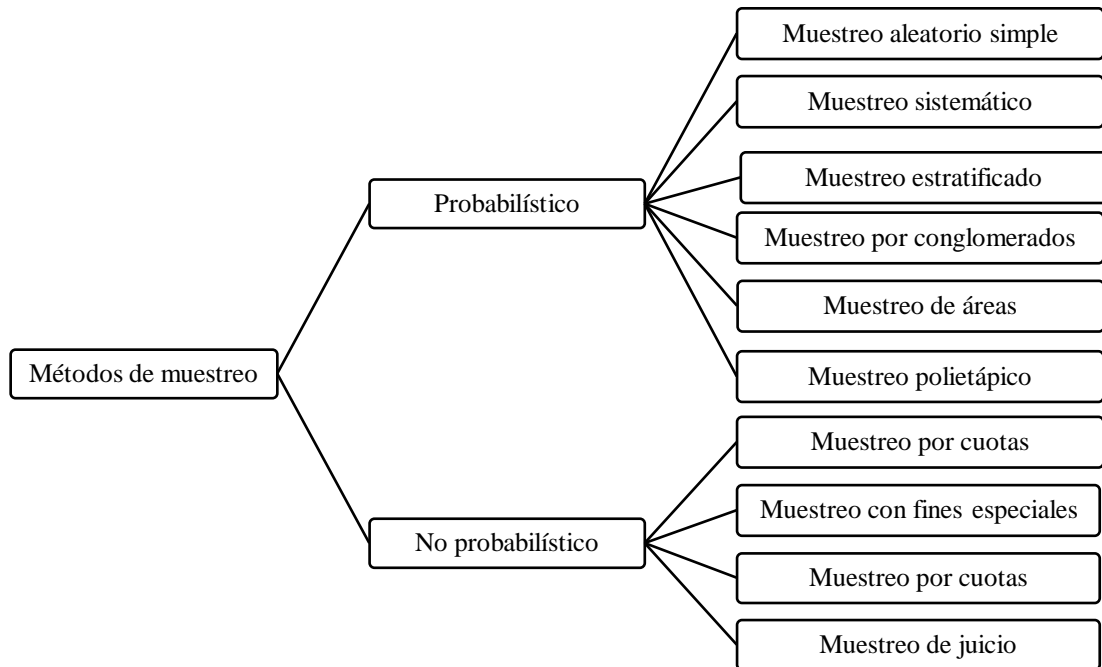
Es el método utilizado para seleccionar a los componentes de la muestra del total de la población. "Consiste en un conjunto de reglas, procedimientos y criterios mediante los cuales se selecciona un conjunto de elementos de una población que representan lo que sucede en toda esa población". (MATA et al, 1997:19)

Existen varias clasificaciones para los métodos de muestreo. Según Weiers (1986), las más usadas son: diseños probabilísticos y no probabilísticos, y diseños por atributos y por variables.

El primero de estos es el más usual.

La Figura 1.2 sintetiza los métodos de muestreo más utilizados en la investigación científica para estimar tamaños de muestra en una población objeto de estudio.²

Figura 1. 4. Métodos de muestreo



Fuente: (M, 1986)

1.8.3. Técnicas de muestreo

La técnica de muestreo seleccionada que se considera adecuada para el análisis y aplicación de este trabajo investigativo será el método de muestreo probabilístico sistemático con el cual se calculará el tamaño de la población y unidades de muestreo mediante proporciones, este procedimiento se realiza a través del cálculo del intervalo que regirá la selección de los componentes de la muestra. Este tipo de muestreo se utiliza cuando el tamaño de la población es grande y la tabla de números aleatorios no es suficiente para contar esa población. También es usado en poblaciones pequeñas donde la selección sistemática facilita la identificación de los componentes de la muestra. El procedimiento es el siguiente:

² (Bernal, 2010)

Identifique y defina la población.

Realice el cálculo de la muestra

Asegúrese de que cada uno de los componentes de la población esté enumerada.

Para la definición del tamaño de muestra se procederá al cálculo respectivo mediante el uso de la siguiente ecuación:

$$n = \frac{Z^2 * p * q * N}{E^2(N - 1) + Z^2 * p * q}$$

Donde:

N= Población

E= Error

p= Probabilidad de que ocurra

q= Probabilidad de que no ocurra

NC= Nivel de confianza

Z= Nivel de significancia

1.8.4. Equipos e instrumentos usados para la obtención de datos

Para el relevamiento, recolección de información del presente trabajo serán necesarios varios instrumentos, equipos, material de escritorio y otros.

A continuación se detalla un listado de los principales instrumentos

Dispositivo GPS

Nivel de ingeniero, mira vertical y trípode

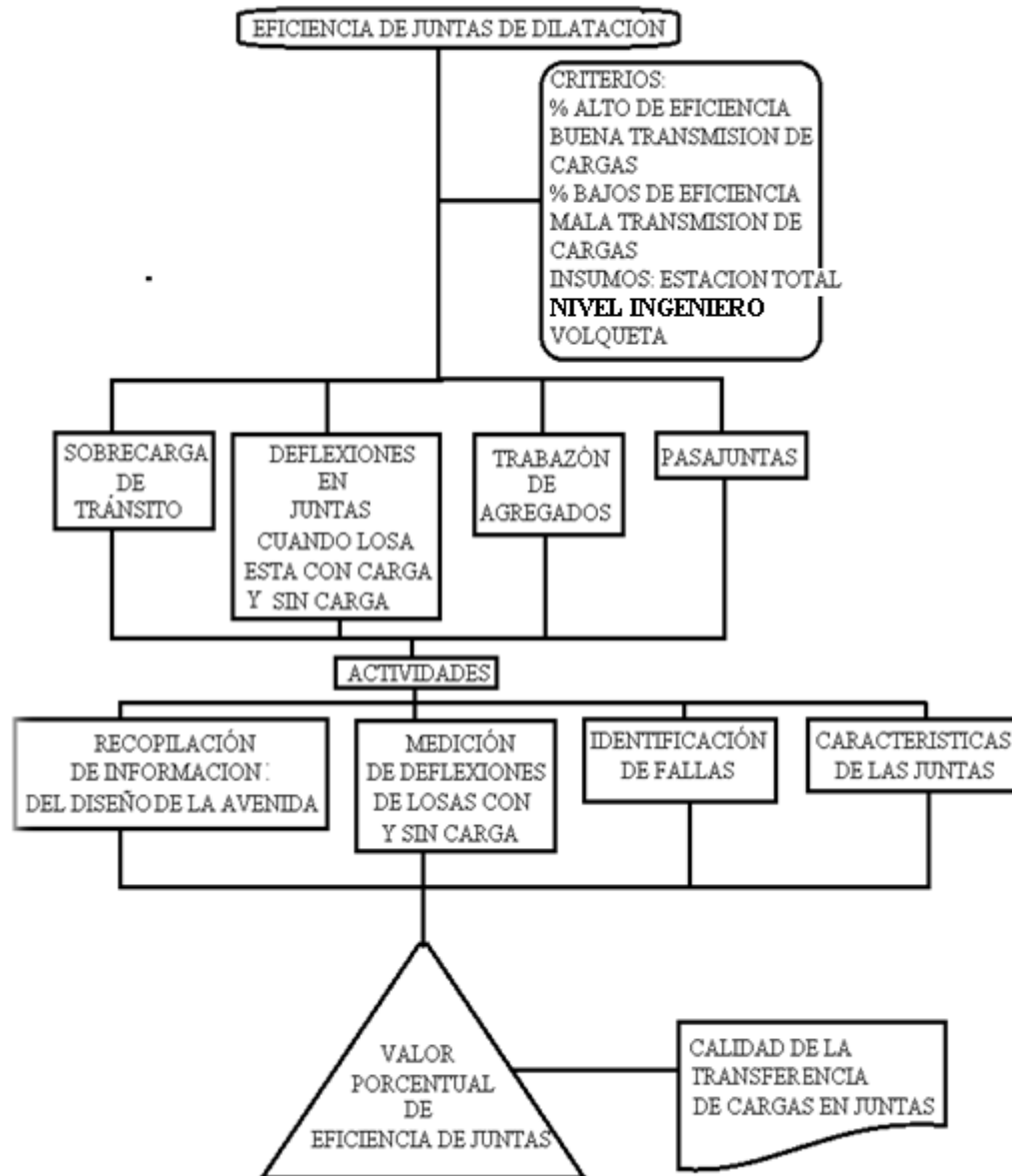
Estación total, prismas y brújula

Camión volqueta Scania 112 H tolva de 12 cubos

Estacas, pintura, y otros

1.8.5. Procedimiento de aplicación

Figura 1. 5. Procedimiento metodológico de la investigación



Fuente: Elaboración propia

Para la aplicación del proyecto se seguirán los siguientes pasos:

1. Identificación y recorrido del sitio de trabajo

2. Reconocimiento e identificación de puntos de medición
3. Estudio de volúmenes de tráfico en los puntos más problemáticos de la avenida circunvalación
4. Medición de deflexiones mediante la simulación de carga aplicada por el eje de una volqueta de 12 cubos cargada en su máxima capacidad.
5. Cálculo de la eficiencia de juntas de dilatación
6. Análisis de resultados y presentación de alternativas de solución.

1.8.6. Cantidad de mediciones a realizar

Para deflexiones

Para el finito conocido:

NC=95%; $z=1,96$; $p_i=60\%$; $q_i=40\%$; Error=5 %

Longitud aproximada de cada carril (sin intersecciones) =3978,91m

Longitud promedio de cada losa= 4 m

$N_i=995$ por carril

Figura 1. 6. Tabla de cálculos para muestreo

Muestreo por cada carril								
Grupos		N_i	p_i	q_i	$p_i q_i$	Z^2	E^2	n_i
Deflexiones	Losa con carga	995	0,60	0,40	0,24	3,8416	0,0025	269,26
	Losa sin carga	995	0,60	0,40	0,24	3,8416	0,0025	269,26
Total		1990				7,6832	1	538,52

Fuente: Elaboración propia

Para ubicar los puntos q serán medidos se realizará un muestreo sistemático de manera que en un plano vista en planta del tramo estudiado se medirán longitudes aproximadas sin intersecciones y se calculará el intervalo por losa que se ha de medir:

Por lo tanto, para la ubicación de cada punto se recorrerá cada carril de la avenida circunvalación y cada cinco losas se realizará la medición correspondiente, el detalle de recorrido y toma de muestras se desarrollará en los capítulos siguientes de este trabajo.

Figura 1. 7. Resumen general de grupos de muestreo

Grupos		N°
Deflexiones	Carril Izquierdo	216
	Carril Derecho	228
Tráfico Promedio Diario Anual	Aforo en horas pico	3

Fuente: Elaboración propia

1.9. PROCEDIMIENTO PARA EL ANÁLISIS Y LA INTERPRETACIÓN DE LA INFORMACIÓN

Recopilación de información del diseño de la Avenida: Para obtener datos como ser tipo de juntas con las que se construyó el pavimento, espaciamiento entre las juntas, tamaño de agregado del concreto, etc.

Identificación de fallas significativas: Producto necesario para el muestreo de puntos de medición obligatorios.

Medición de deflexión de losas con y sin carga: Producto principal que es función directa de la eficiencia de juntas.

Sobrecarga de tránsito: Con la elaboración de un aforo manual de vehículos que circulan sobre la zona de estudio se obtendrá el TPDA y ESAL's para comparación con datos del diseño inicial.

El estudio y descripción de cada una de estas partes generara la dependencia que existe de manera que se pueda establecer un análisis de cada una y se llegue a conclusiones certeras que beneficien el resultado de la investigación.

1.10. ALCANCE

El presente proyecto de investigación trata de manera descriptiva a cada uno de los componentes del objeto de estudio que en este caso es la eficiencia de juntas de dilatación, que se define como la capacidad que tienen las juntas transversales de una vía de estructura de pavimento rígido para transferir de una losa hacia otra contigua las cargas móviles que circulan sobre el mismo.

La realización del proyecto, establece los siguientes aspectos a tener en cuenta:

La medición de las deflexiones será simulada con una carga aplicada por una volqueta de 12 cubos, la cual está definida como uno de los vehículos de tipo pesado permitido en circulación de vías urbanas. Sin embargo, el tipo de cargas que recorren la avenida en estudio sobrepasa el mismo.

Se realizará un estudio de tráfico para evaluar el volumen promedio diario de vehículos pesados que circulan por la zona de estudio, y así establecer el exceso al que está sometido la carpeta estructural del pavimento rígido para el cual fue diseñado.

Se identificarán si existen fallas, el tipo y nivel de severidad para luego realizar un análisis de si estas son coincidentes con la calidad de transferencia de carga de las juntas de dilatación, además si el tipo de falla es un común denominador del valor porcentual de la eficiencia debido a transferencia de cargas entre losas adyacentes.

La investigación tiene por objeto suplir la deficiencia en transferencia de cargas en losas de un pavimento rígido. Se planteará el uso metodologías de rehabilitación si es que es necesaria, tomando en cuenta factores como lo son los diseños de pavimentos, especificaciones técnicas, estudios de tránsito, impacto ambiental, entre otros.

CAPÍTULO II

JUNTAS DE DILATACIÓN EN PAVIMENTOS

RÍGIDOS

2.1. DEFINICIÓN Y TIPOS DE PAVIMENTO RÍGIDO

Se conoce como pavimento rígido aquél que contiene como carpeta de rodadura material de Hormigón sobre una base, o directamente sobre la sub-rasante. Transmite directamente los esfuerzos al suelo en una forma minimizada, es auto-resistente, y la cantidad de concreto debe ser controlada. (Centeno, 2010)

Dependiendo de la disposición de la carpeta se describen varios tipos de pavimentos rígidos:

Los diversos tipos de pavimentos de concreto pueden ser clasificados, en orden de menor a mayor costo inicial, de la siguiente manera:

Pavimentos de hormigón simple

- a) Sin pasadores.
- b) Con pasadores.

Pavimentos de hormigón reforzado con juntas

Pavimentos de hormigón con refuerzo continuo

Pavimentos de hormigón simple

a) Sin pasadores

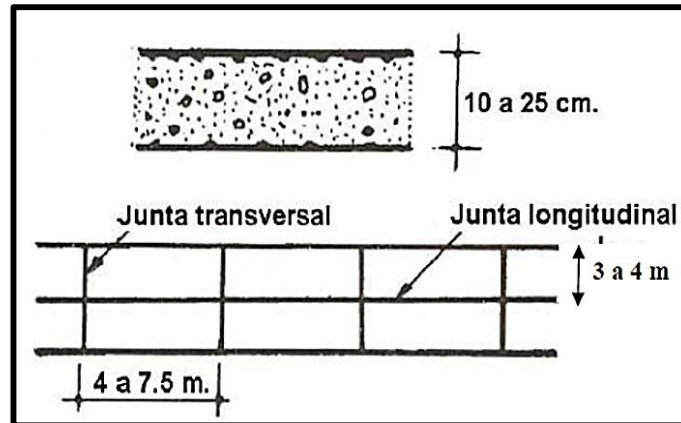
Son pavimentos que no presentan refuerzo de acero ni elementos para transferencia de cargas, ésta se logra a través de la trabazón de los agregados entre las caras agrietadas debajo de las juntas aserradas o formadas. Para que esta transferencia sea efectiva, es necesario que se use un espaciamiento corto entre juntas.

Están constituidos por losas de dimensiones relativamente pequeñas, en general menores de 6 m de largo y 3.5 m de ancho. Los espesores varían de acuerdo al uso previsto.

Por ejemplo, para calles de urbanizaciones residenciales, éstos varían entre 10 y 15 cm, en las denominadas colectoras entre 15 y 17 cm. En carreteras se obtienen espesores de 16 cm. En aeropistas y autopistas 20 cm o más.

Este tipo de pavimento es aplicable en caso de tráfico ligero y clima templado y generalmente se apoyan directamente sobre la subrasante.

Figura 2. 1. Pavimento rígido sin pasadores



Fuente: (AASHTO, 1993)

b) Con pasadores

Los pasadores o pasa juntas son pequeñas barras de acero liso, que se colocan en la sección transversal del pavimento, en las juntas de contracción.

Su función estructural es transmitir las cargas de una losa a la losa contigua, mejorando así las condiciones de deformación en las juntas.

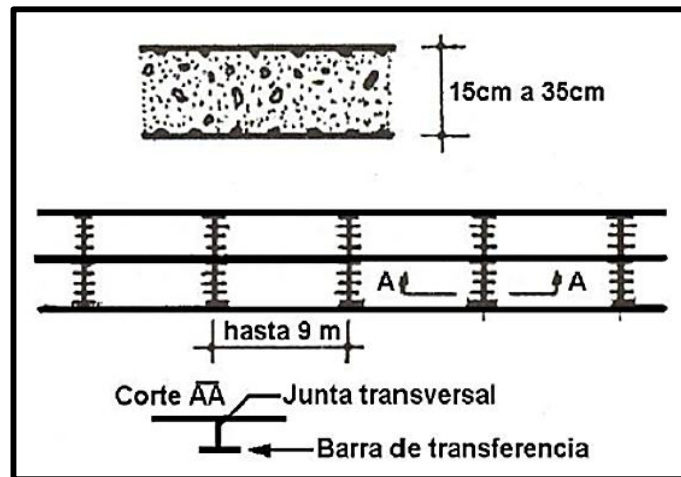
De esta manera, se evitan los desplazamientos verticales diferenciales (escalonamientos).

Según la Asociación de Cemento Portland (PCA, por sus siglas en inglés), este tipo de pavimento es recomendable para tráfico diario que exceda los 500 ESAL's (ejes simples equivalentes), con espesores de 15 cm o más.

Las barras pasajuntas se encuentran solamente soldados en un extremo y libres del otro para garantizar el movimiento horizontal de las losas una vez que el concreto presente su contracción por su pérdida de humedad y/o, cuando se presenten su cambio de volumen por temperatura.

Un método para decidir el empleo de elementos de traspaso de cargas es evaluar las dos alternativas, comparando en un caso el costo de incluir una sub-base tratada y también los costos de las juntas con y sin pasadores.

Figura 2. 2. Pavimento rígido con pasadores

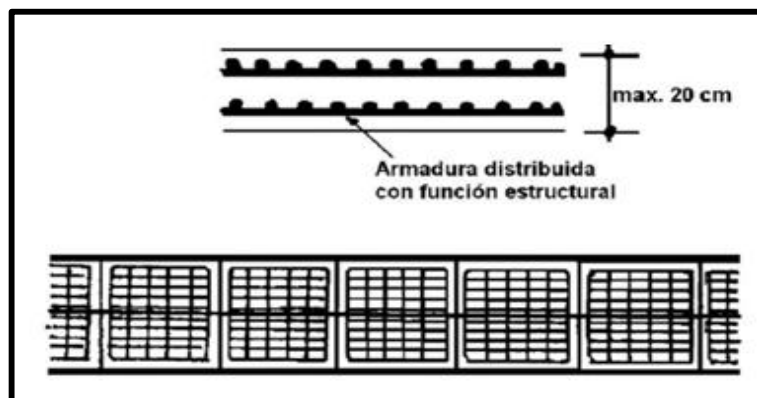


Fuente: (AASHTO, 1993)

Pavimentos de hormigón reforzado con juntas

Los pavimentos reforzados con juntas contienen además del refuerzo, pasadores para la transferencia de carga en las juntas de contracción. Este refuerzo puede ser en forma de mallas de barras de acero o acero electro soldado. El objetivo de la armadura es mantener las grietas que pueden llegar a formarse bien unidas, con el fin de permitir una buena transferencia de cargas y de esta manera conseguir que el pavimento se comporte como una unidad estructural.

Figura 2. 3. Pavimento rígido reforzado con juntas

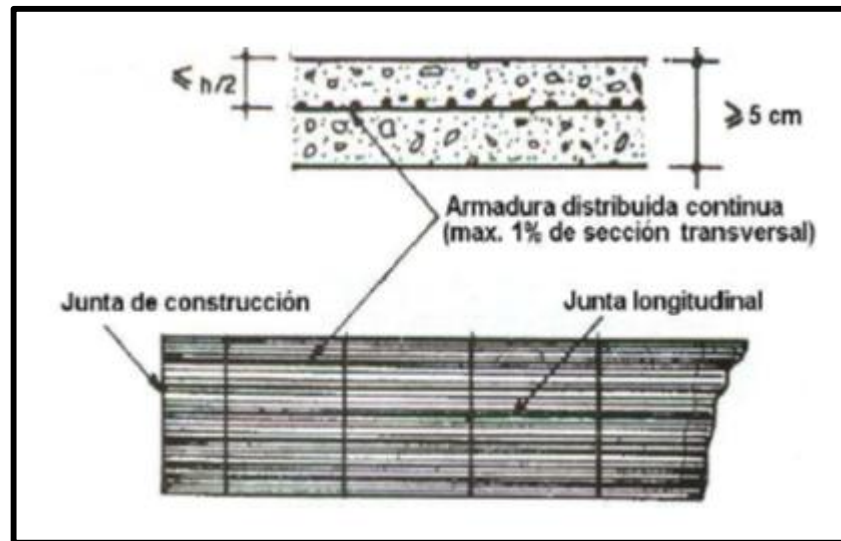


Fuente: (AASHTO, 1993)

Pavimentos de hormigón con refuerzo continuo

A diferencia de los pavimentos de concreto reforzado con juntas, éstos se construyen sin juntas de contracción, debido a que el refuerzo asume todas las deformaciones, específicamente las de temperatura. El refuerzo principal es el acero longitudinal, el cual se coloca a lo largo de toda la longitud del pavimento. El refuerzo transversal puede no ser requerido para este tipo de pavimentos

Figura 2. 4. Pavimento rígido con refuerzo continuo



Fuente: (AASHTO, 1993)

2.2. DEFINICIÓN Y TIPOS DE JUNTAS DE DILATACIÓN

Las juntas de dilatación deben comprometerse a admitir el movimiento relativo entre las dos piezas de la estructura que aparta.

Las deformaciones de los elementos de la estructura son causadas por las cargas aplicadas y, además, por otras acciones que son independientes de aquéllas, como es el caso de las cargas térmicas, la fluencia y la retracción del hormigón.

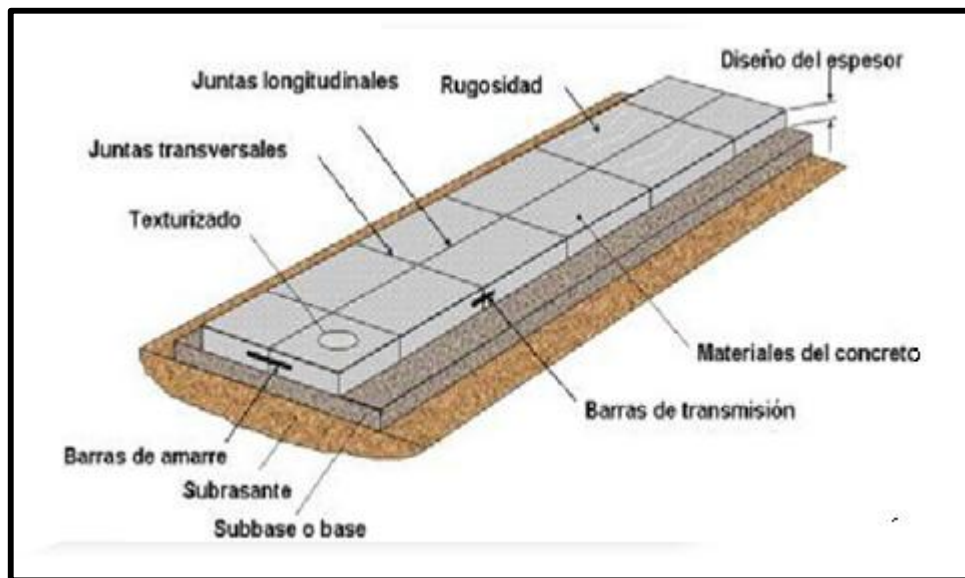
Al disponer juntas de dilatación se reduce la armadura necesaria para limitar el ancho de las fisuras en aquellos elementos cuyo movimiento se encuentra impedido.

La función de las juntas consiste en mantener las tensiones de la losa provocadas por la contracción y expansión del pavimento dentro de los valores admisibles del concreto; o

disipar tensiones debidas a agrietamientos inducidos debajo de las mismas losas. Son muy importantes para garantizar la duración de la estructura, siendo una de las pautas para calificar la bondad de un pavimento. Por otro lado, deben ser rellenadas con materiales apropiados, utilizando técnicas constructivas específicas. En consecuencia, la conservación y oportuna reparación de las fallas en las juntas son decisivas para la vida útil de un pavimento.

En función de su posición con respecto al avance del hormigonado, las juntas en un pavimento de hormigón se pueden clasificar como juntas longitudinales, que son paralelas a dicho avance, y como juntas transversales, que son las perpendiculares al mismo.

Figura 2. 5. Tipos de juntas



Fuente: (Centeno, 2010)

Existen diferentes tipos:

2.2.1. Juntas transversales y longitudinales de contracción

Son las juntas que se construyen transversalmente al eje central de la calzada del pavimento rígido, su misión fundamental es limitar las dimensiones de las losas con objeto de disminuir, hasta valores admisibles, las tensiones producidas tanto por los fenómenos de retracción como por los gradientes térmicos, de forma que no se produzcan fisuras intermedias, tanto a edad temprana como en servicio.

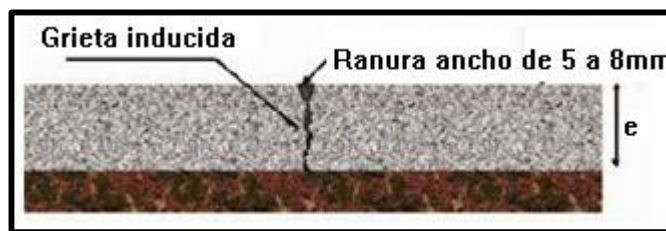
La distancia a la que deben disponerse las juntas de contracción depende de factores tales como la mayor o menor retracción del hormigón, su coeficiente de dilatación, el espesor del pavimento, la amplitud de las variaciones de temperatura, el rozamiento existente con la capa de base, etc.

Dicha distancia entre juntas se conoce empíricamente y se puede obtener a partir del espesor de la losa.

Los pasadores se pueden usar en las juntas de contracción para la transferencia de cargas, bajo ciertas condiciones. Sin embargo, se espera que la transferencia de cargas se logre mediante la trabazón entre los agregados.

La manera más confiable de obtener este tipo de juntas es por aserrado en dos etapas de corte.

Figura 2. 6 Junta transversal de contracción



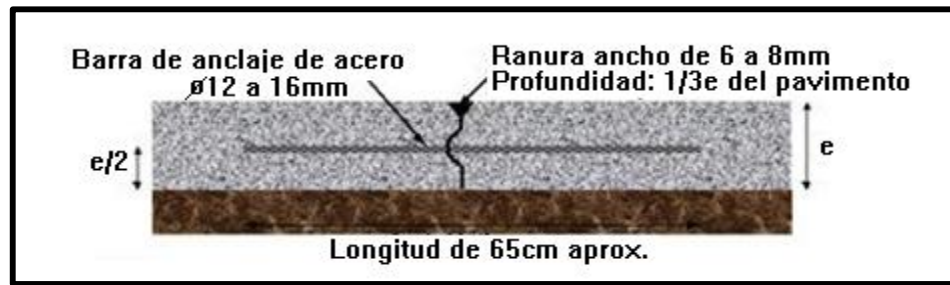
Fuente: (Pavimentos, 2015)

2.2.2. Juntas transversales y longitudinales de construcción

Las juntas transversales de construcción separan construcciones contiguas colocadas en diferentes momentos, tales como la colocación al final del día o entre fajas de pavimentación. La transferencia de cargas se logra mediante el empleo de pasadores, ya que al ser juntas a tope y por ser planas no transfieren carga por trabazón.

Para su construcción es común el empleo de moldes en sentido transversal, es aconsejable que el vibrado se realice de forma manual para asegurar la compactación del hormigón en cercanías del pasador.

Figura 2. 7. Junta transversal de construcción



Fuente: (Pavimentos, 2015)

2.2.3. Juntas transversales y longitudinales de expansión y/o aislamiento

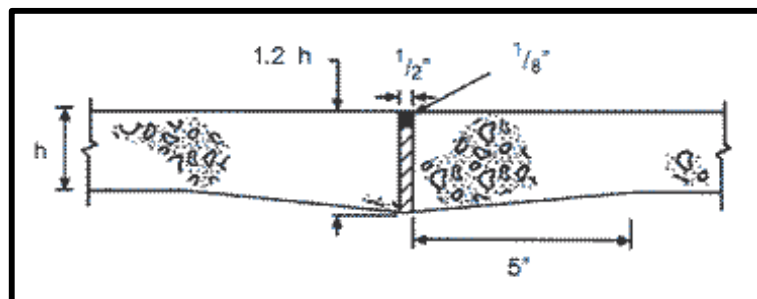
Se denominan de esta forma a aquéllas que se prevén para absorber las expansiones provocadas por los aumentos de temperatura, evitando empujes indeseables que podrían producir la rotura del pavimento.

Las juntas de expansión tienen la finalidad de permitir el movimiento vertical u horizontal del pavimento sin causar concentraciones de tensión y daños a estructuras adyacentes o al propio pavimento.

Este tipo de juntas se caracteriza por no contar con pasadores, sino más bien se construye sobre espesor de losas en la coincidencia de la junta.

Dichas juntas incluyen las juntas a toda la profundidad y a todo el ancho cerca a los apoyos o estribos de puentes, intersecciones con otros pavimentos y juntas alrededor de estructuras en el interior del pavimento.

Figura 2. 8. Juntas transversales de expansión y/o aislamiento



Fuente:(Civil, 2011)

2.2.4. Espaciamiento entre juntas transversales y longitudinales

Un incremento en el espaciamiento de las juntas puede resultar en un dramático incremento en el agrietamiento de las losas. Esta tendencia coincide con numerosas observaciones de campo donde las losas más largas se agrietan más temprano que las losas más cortas en pavimentos con espaciamiento variable entre juntas (Khazanovich y Ya, 2001).

Como las juntas definen el tamaño entre losas es importante la influencia de algunos factores como espesor de la calzada, rigidez de la base, módulo de elasticidad del hormigón, condiciones climáticas y el nivel del tránsito pesado.

El espaciamiento entre juntas afecta el agrietamiento transversal debido a su influencia sobre los esfuerzos de alabeo. Frabizzio y Buch (1999) encontraron que un incremento en el espaciamiento entre las juntas genera un número mayor de grietas por losa.

Además, las juntas tienen funciones más específicas:

El control del agrietamiento transversal y longitudinal provocado por las restricciones de contracción, combinándose con los efectos de pandeo o alabeo de las losas, así como las cargas del tráfico.

Dividir el pavimento en incrementos prácticos para la construcción (por ejemplo, los carriles de circulación).

Absorber los esfuerzos provocados por los movimientos de las losas.

Proveer una adecuada transferencia de carga.

Darle forma al depósito para el sellado de la junta.

Una construcción adecuada y a tiempo, así como un diseño apropiado de las juntas incluyendo un efectivo sellado, son elementos claves para el buen comportamiento del sistema de juntas. El agrietamiento que se presenta es ocasionado por la combinación de varios efectos, entre los que podemos mencionar la contracción por el secado del concreto. Los cambios de humedad y de temperatura, la aplicación de las cargas del tráfico, las restricciones de la subrasante o terreno de apoyo y también por ciertas características de los materiales empleados.

2.3. CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO DE JUNTAS

Para diseñar un adecuado sistema de juntas se recomienda evaluar las siguientes condiciones:

Consideraciones ambientales: Los cambios en la temperatura y en la humedad inducen movimientos de la losa, resultando en contracciones de esfuerzos y alabeos.

Espesor de la losa: El espesor del pavimento afecta los esfuerzos de alabeo y las deflexiones para la transferencia de carga.

Transferencia de carga: La transferencia de carga es necesaria a lo largo de cualquier junta de pavimento, sin embargo, la cantidad requerida de transferencia de carga varía para cada tipo de junta. Cuando se empleen barras de amarre o pasajuntas, el tipo y tamaño de las barras influyen en el diseño de las juntas.

Tráfico: El tráfico es un factor extremadamente importante para el diseño de juntas. Su clasificación, canalización y la predominancia de cargas en el borde influyen en los requerimientos de transferencia de carga para el comportamiento a largo plazo.

Características del concreto: Los componentes de los materiales afectan la resistencia del concreto y los requerimientos de juntas. Los materiales seleccionados determinan las contracciones de la losa; en muchas ocasiones el despostillamiento es resultado de concentraciones de materiales malos a lo largo de las juntas.

Tipo de subrasante o terreno de apoyo: Los valores de soporte y las características friccionantes en la interfase del pavimento, con el terreno de apoyo para diferentes tipos de suelos, afectan los movimientos y el soporte de las losas.

Características del sellador: El espaciamiento de las juntas influye en la Selección del tipo de sellador. Otras consideraciones, como adecuados factores de forma, costos y ciclos de vida también deben tomarse en cuenta para la selección del sellador.

Apoyo lateral: El tipo de acotamiento (de concreto, de asfalto, de material granular) afecta el soporte de la orilla del pavimento y la habilidad de las juntas centrales para realizar la transferencia de carga.

Experiencia pasada: Los datos locales del comportamiento de los pavimentos son una excelente fuente para establecer un diseño de juntas, sin embargo las mejoras a los diseños de pasado con la tecnología actual pueden mejorar significativamente su comportamiento.

Agrietamiento: Un adecuado sistema de juntas está basado en controlar el agrietamiento que ocurre de manera natural en el pavimento de concreto y las juntas son colocadas en el pavimento precisamente para controlar su ubicación y geometría.

2.4. CONTRACCIÓN EN PAVIMENTOS DE HORMIGÓN

El problema de contracción y expansión de las estructuras de hormigón es la principal causa de que existan fallas en el curado y fraguado y uso del hormigón.

La mayor parte de la contracción anticipada del hormigón ocurre a muy temprana edad en la vida del pavimento, provocado principalmente por cambios de temperatura.

El calor de la hidratación y temperatura normalmente alcanza su valor máximo muy poco tiempo después de su colocación y una vez alcanzado, la temperatura del concreto baja debido a la reducción de la actividad de hidratación y también debido al efecto de la baja temperatura ambiente durante la primera noche del pavimento.

Otro factor que contribuye a la contracción inicial es la reducción del volumen por la pérdida de agua en la mezcla.

El concreto para aplicaciones de caminos requiere mayor de mayor cantidad de agua de mezcla que la requerida para hidratar el cemento esta agua extra ayuda a conseguir una adecuada trabajabilidad para la colocación y para los trabajos de terminado sin embargo durante la consolidación y el fraguado, la mayor parte del agua en exceso sangra a la superficie y se evapora provocando que el concreto ocupe menos volumen.

La fricción de la subrasante o terreno de apoyo se resiste a la contracción del pavimento por lo que se presentan en el interior, algunos esfuerzos de tensión y compresión, los cuales, de no ser considerados, pueden provocar grietas transversales y longitudinales que perjudican el correcto funcionamiento del mismo.

2.5. TRANSFERENCIA DE CARGAS ENTRE LOSAS DE PAVIMENTO RIGIDO ADYACENTES

Para lograr una correcta transferencia de cargas mediante la estructura de pavimento, así como para controlar el agrietamiento natural del concreto, es necesaria la formación de las losas preferentemente rectangulares. Esto se hace mediante la utilización de juntas de

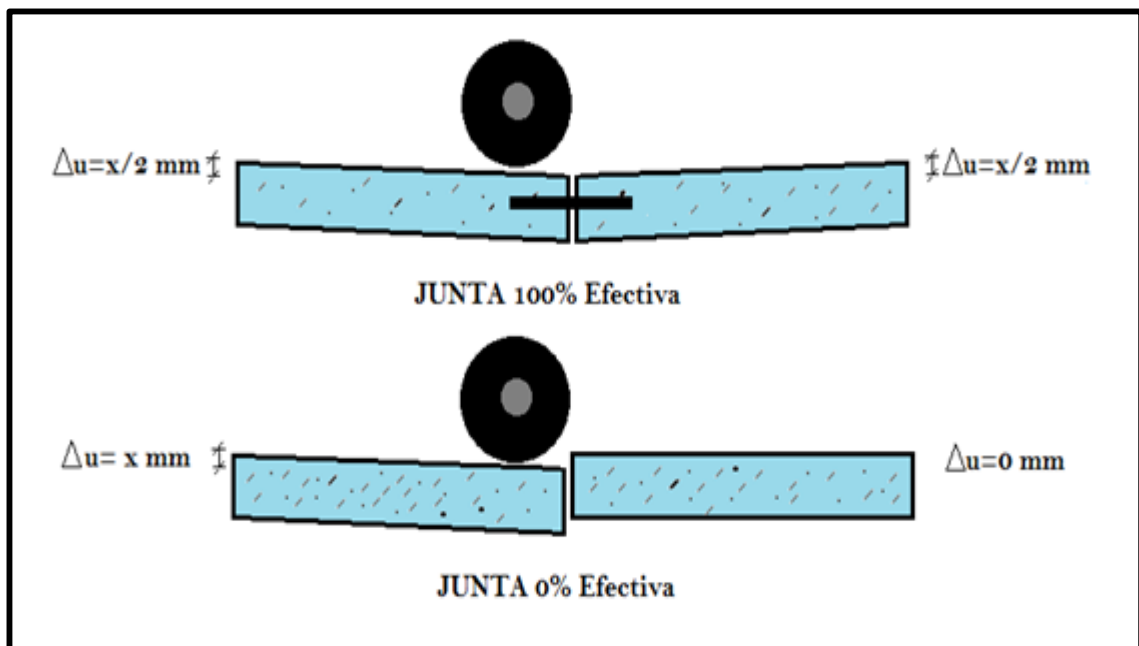
contracción tanto de forma transversal como longitudinal, su construcción permite la formación de tableros así como crear una línea de falla, para inducir y direccionar las grietas.

La transferencia de carga es la habilidad de la junta de transferir parte de la carga aplicada de uno al otro lado de la junta. Una junta 100% efectiva es cuando se logra transferir la mitad de la carga aplicada a la losa adyacente, mientras que un 0% de efectividad implica que todo el peso se queda de un solo lado de la junta.

Este parámetro de eficacia se mide mediante la medición de la deformación que genera ambos lados de la junta en la aplicación de una carga a cercanías de ella.

En la siguiente figura se muestra el sistema de funcionamiento de juntas eficientes e ineficientes.

Figura 2. 9. Eficacia de la junta



Fuente: Elaboración propia

La evaluación en campo de la transferencia de carga se realiza midiendo las deflexiones en cada lado de la junta dada una aplicación de carga. De manera que conociendo las

deflexiones en la junta por medio de la siguiente ecuación podemos conocer el % de eficacia en la junta (E):

$$E = \frac{2\Delta u}{\Delta L + \Delta u} (100)$$

Donde:

ΔL = Deflexión del lado cargado de la junta

Δu =Deflexión del lado no cargado de la junta

Como puede apreciarse, para lograr una efectiva transferencia de cargas en sentido longitudinal, para tráficos pesados, especialmente en carreteras, se debe usar barras pasajuntas en todas las juntas transversales. En caso de no usarlas, lo cual es común en pavimentos urbanos de tráfico liviano, el sistema constructivo de vaciar todas las losas en una sola franja y cortar las juntas en aproximadamente 1/3 del espesor de la losa, permite que se desarrolle una fricción entre agregados gruesos en la zona de contacto en las juntas, para lo cual se recomienda espaciamientos de juntas no muy grandes a fin de reducir la apertura entre las juntas, mejorando este tipo de transferencia de cargas al tener los agregados un mayor contacto.

Por otra parte, la capacidad de transferencia de cargas en el sentido transversal tiene una importante influencia desde el punto de vista del diseño, de manera que, en sentido transversal, el uso de bermas de hormigón atadas, o sobreanchos (losas con parte de la berma maciza incorporada), tiene un efecto positivo en la reducción de esfuerzos en las losas.

De acuerdo con estudios de deflexión elaborados por la American Concrete Pavement Association (ACPA), si se carga una losa sin barras pasa juntas en una esquina, se producirá una deflexión 5 veces mayor que si la carga se colocara en el centro de la losa. Esta misma deflexión sería 3 veces mayor si la esquina estuviera vinculada con la losa adyacente mediante barras pasajuntas. Este estudio muestra la importancia de utilizar sobreanchos y barras pasajuntas para tráficos pesados puesto que puede reducirse notablemente los esfuerzos de tensión en bordes y esquinas o bien optimizar el diseño reduciendo los espesores de diseño.

2.5.1. Factores que contribuyen a la transferencia de carga

La trabazón de agregados contribuye de forma importante a la transferencia de carga, esta presenta en las caras de la junta debajo del corte inducido, la transferencia de carga depende de la resistencia al cortante entre las partículas del agregado. Este sistema de transferencia es recomendable sólo para proyectos urbanos con tráfico ligero.

Para incrementar la trabazón de agregados y aumentar la eficacia de las juntas, es recomendable realizar las siguientes acciones:

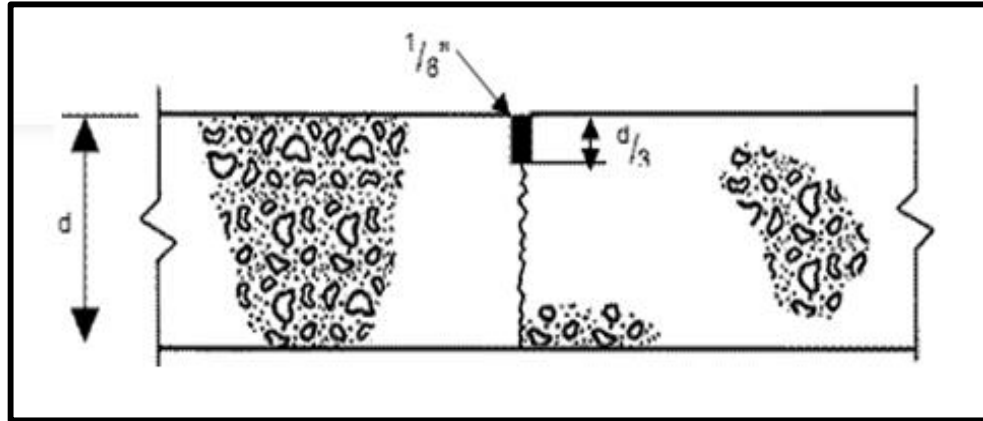
- Diseñar losas con espesores grandes debido a que existe una mayor área para trabazón de agregado y se produce provoca una mayor transferencia de carga.
- Poca separación de juntas, menor de 4.5 metros, en carreteras no es recomendable la utilización de las losas pequeñas ya que aumenta los costos por la construcción de muchas juntas de contracción.
- Construir sobre bases rígidas (estabilizadas) con valores altos de módulo de reacción del suelo (k)
- Apoyo lateral mediante acotamientos de concreto.
- Subrasante con suelos de agregado grueso para un mejor drenaje.
- Mejoras al drenaje, mediante drenes colectores y subrasante permeables

Para un medio ambiente con clima seco, árido y sin nieve, las variaciones de temperatura y los movimientos de las juntas serán pequeños, por lo que la transferencia de carga a través de la trabazón de agregados puede comportarse bien, siempre y cuando no se tengan muy altos volúmenes de tráfico pesado, sin embargo, si se requerirá una corta separación de juntas. El agregado en sí, es también importante para la transferencia de carga, por ejemplo, la grava triturada se comporta mejor que la no triturada debido a que esa provoca que las caras de las juntas sean más ásperas, por lo que se desgastan menos que las caras redondeadas de los agregados no triturados. De la misma manera el agrietamiento inicial del concreto incrementa las asperezas de las caras de las juntas debido a que las grietas se forman alrededor del agregado en vez de a través de él.

En general, se recomienda dejar la transferencia de carga únicamente a la trabazón de agregados para proyectos con menos de 5 millones de ESAL's rígidos (ejes sencillos

equivalentes de 8.2 ton) o con tráfico inferior a los 80 o 120 vehículos pesado diarios, ya que un tráfico mayor produce fallas en las juntas, como lo son los escalonamientos.

Figura 2. 10. Trabazón de agregados en Juntas



Fuente: (Civil, 2011)

Figura 2. 11. Transferencia de carga mediante trabazón de agregados



Fuente: (ICPA, 2014)

2.5.1.1. Pasajuntas

La trabazón de agregados por sí sola no provee la suficiente transferencia de carga para un buen comportamiento a largo plazo en la mayoría de los pavimentos, principalmente en los proyectos carreteros donde se tiene altos volúmenes de tráfico superior a los 120 vehículos pesados diarios o más de 5 millones de ESAL's rígidos.

Los medios que se utilizan son los las pasajuntas, que son barras de acero redondo liso colocadas en las juntas transversales de contracción que no se deben adherir al concreto permitiendo el movimiento de las losas longitudinalmente, pero si debe transferir verticalmente parte de la carga aplicada en una losa adyacente.

Las pasajuntas disminuyen la deflexión y los esfuerzos de la losa de concreto y reducen el potencial de falla y rotura en las esquinas.

El diámetro del pasador depende de la cantidad de ejes equivalentes que circularan por la estructura, dependen del diseño del pavimento.

A continuación se muestra una tabla recomendada para el uso de estos:

Figura 2. 12. Recomendaciones generales para la inclusión de pasadores

Tipo de hierro	Barra de redonda lisa. Tipo I. AL-220
Superficie	Lisa, libre de óxido y con tratamiento que impida la adherencia al hormigón en todo su largo
Largo	45 cm.
Diámetro	25mm para $e \leq 20\text{cm}$ 32mm para $20\text{cm} < e \leq 25\text{cm}$ 38mm para $e \leq 20\text{cm}$
Separación	30 cm de centro a centro, 15 cm de centro a borde.
Ubicación	Paralelo a la superficie del pavimento y al eje de la calzada. Mitad de espesor de losa Mitad a cada lado de la junta transversal

Fuente: (ICPA, 2014)

2.5.1.2. Bases/subbases estabilizadas

Para pavimentos rígidos se debe considerar el empleo de bases/subbases estabilizadas esto si se quiere un pavimento de larga duración

Las bases y subbases estabilizadas reducen las deflexiones en las juntas, mejoran y mantienen la efectividad de la junta bajo la repetición de las cargas del tráfico. Además, son una muy estable y suave plataforma de apoyo para los trabajos de pavimentación.

Las bases/subbases tratadas con cemento aumentan la rigidez por lo que aumentan el desempeño final del pavimento rígido.

Con bases y subbases estabilizadas se previene la consolidación debido al rodamiento, logra mejor transferencia de cargas en las juntas del pavimento.

Este tipo de bases es adecuado para aumentar la resistencia a la erosión. (Ing. Rodriguez Salazar, 2015)

Figura 2. 13. Bases estabilizadas con cemento



Fuente: (Paredes, 2012)

2.6. DAÑOS EN ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO RÍGIDO HIDRÁULICO DEBIDO A DEFICIENTE TRANSFERENCIA DE CARGA

Para que un pavimento rígido se comporte de manera estructuralmente óptimo, uno de los factores más relevantes es garantizar que exista una transferencia efectiva de carga entre las losas adyacentes. Si esto no se logra, el pavimento no tendrá un desempeño adecuado y podrá presentar una serie de daños en las placas de concreto siendo las más comunes las siguientes:

Grietas longitudinales: Grieta predominantemente paralelas al eje de calzada o que se extienden desde una junta transversal hasta el borde de la losa, pero la intersección se produce a una distancia mucho mayor que la mitad de la longitud de la losa.

Este tipo de daño se presenta en todo tipo de pavimento rígido.

Si no se atiende a tiempo estas fisuras evolucionan y pueden derivar en el incremento de los escalonamientos y fracturas múltiples en la losa.

Figura 2. 14. Grieta longitudinal



Fuente: Falla Av. Circunvalación, elaboración propia

Grieta de esquina: Este tipo de deterioro genera un bloque de forma triangular en la losa; se presenta generalmente al interceptar las juntas transversal y longitudinal, describiendo un ángulo mayor que 45° , con respecto a la dirección del tránsito.

La longitud de los lados del triángulo sobre la junta de la losa varía entre 0.3 m y la mitad del ancho de la losa. Este tipo de daño se presenta en placas de concreto simple y en placas de concreto reforzado.

Si se descuida se pueden generar o incrementar los escalonamientos y producir fracturas múltiples en la losa.

Figura 2. 15. Grieta de esquina



Fuente: Falla Av. Circunvalación, elaboración propia

Grietas en los extremos de los pasadores: Son fallas que se encuentran cercanas al extremo de los pasadores o dovelas.

Pueden ser ocasionadas por la mala ubicación de los pasadores o por su movimiento durante el proceso constructivo. Este tipo de daño se presenta en placas de concreto simple y en placas de concreto reforzado.

De no corregir a tiempo se puede generar escalonamiento en la fisura y/o fisuras en bloque.

Figura 2. 16. Grietas en extremos de pasadores



Fuente: Falla Av. Circunvalación, elaboración propia

Dislocamiento: Es una falla provocada por la circulación de tránsito en la que una losa del pavimento rígido a un lado de una junta presenta un desnivel de esquinas con respecto a una losa vecina; también puede manifestarse en correspondencia con fisuras.

Es el resultado en parte del ascenso a través de la junta o grieta del material suelto proveniente de la capa inferior de la losa.

También producto por la depresión del extremo de la siguiente losa al disminuir el soporte de la fundación por cambios de volumen que sufren los suelos bajo la losa de concreto y de una deficiente transferencia de carga entre juntas, razón por la cual se producen manifestaciones del fenómeno de bombeo.

Puede ocasionar además fractura de la losa, si éste se combina con bombeo que implica pérdida de material de base.

Figura 2. 17. Falla de dislocamiento



Fuente: Falla Av. Circunvalación, elaboración propia

Despostillamiento: Fracturación o desintegración de los bordes de las losas dentro de los 0.60 metros de una junta o una esquina y generalmente no se extiende más allá de esa distancia.

Si se descuida, la evolución más probable del despostillamiento de juntas es la entrada de agua a la base generando bombeo.

Figura 2. 18. Falla de despostillamiento



Fuente: Falla Av. Circunvalación, elaboración propia

Levantamiento: Movimiento localizado hacia arriba de la superficie del pavimento en zona de juntas o fisuras, por lo general acompañado de una fragmentación.

El levantamiento causa un excesivo salto del vehículo, generando la pérdida de control del mismo, una sustancial incomodidad, y/o riesgo para la seguridad y/o daños al vehículo, siendo necesario reducir drásticamente la velocidad.

El levantamiento localizado puede ocasionar grietas en bloque.

Este daño también puede llegar a afectar la junta (producir pérdida de sello, desprendimiento, etc.)

Figura 2. 19. Falla de levantamiento



Fuente:Falla Av. Circunvalación, elaboración propia

Bombeo sobre la junta transversal: Es la expulsión de finos a través de las juntas o fisuras, esta expulsión (en presencia de agua) se presenta por la deflexión que sufre la losa ante el paso de cargas. Al expulsar agua ésta arrastra partículas de grava, arena, arcilla o limos generando la pérdida del soporte de las losas de concreto.

El bombeo se puede evidenciar por el material que aparece tanto en juntas y fisuras de la losa como en la superficie del pavimento.

La evolución más probable del bombeo es: escalonamiento, grietas longitudinales, transversales, de esquina y/o en bloque.

2.7. Aforo vehicular, definiciones

Tráfico anual: Es el número de vehículos que pasan durante un año.

Tráfico mensual: Es el número de vehículos que pasan durante un mes

Tráfico semanal: Es el número de vehículos que pasan durante una semana

Tráfico diario: Es el número total de vehículos que pasan durante un día.

Tráfico horario: Es el número de vehículos que pasan durante una hora.

Volúmenes de tráfico: Es el número de vehículos que pasa un punto determinado durante un periodo específico de tiempo.

Densidad de tráfico: Es el número de vehículos que ocupan una unidad de longitud de carretera en un instante dado.

Por lo general se expresa en vehículos por kilómetro.

Intensidad o volumen medio diario de tráfico: Es el volumen total que pasa por una sección transversal o por un segmento de una carretera, en ambos sentidos, durante un año, dividido entre el número de días en el año.

Se puede obtener también para un solo sentido.

Volumen horario: Es el número de vehículos que pasan por un punto en un periodo de tiempo de una hora.

El volumen horario de máxima demanda es el máximo número de vehículos que transcurren durante 60 minutos consecutivos, denominados también "Horas Pico". Estos volúmenes proyectados se emplean para planificar obras, proyectar los detalles geométricos de las vías, determinar su posible deficiencia en capacidad y planear programas para regular el tránsito, de acuerdo al nivel de servicio que se le asigne.

2.8. Marco referencial

En cuanto a trabajos similares que anteceden al tipo de investigación que se plantea, existen varios a nivel internacional en los que estudian la eficiencia de juntas debido a

transferencia de cargas en función a las deformaciones que afectan al pavimento rígido, las mismas que son medidas con aparatos de deflectometría de última tecnología, además plantean nuevas metodologías de rehabilitación, reparación en las carpetas de rodadura de pavimento de hormigón.

Por ejemplo de los trabajos más destacados en Colombia se realizó la determinación de la eficiencia de transferencia de cargas en juntas transversales de pavimento rígido, cuando el concreto es reforzado con fibras metálicas; para la investigación se desarrollaron pruebas de campo y laboratorio sobre modelos de pavimento reforzado con diferentes cuantías de fibra metálica y se evaluó la eficiencia de cada una de estas.

Otros trabajos realizados sobre transferencia de carga suponen que la transferencia en el pavimento rígido no es permanente y que por fatiga debido a cargas repetitivas esta propiedad se pierde, por lo que en la mayoría de los casos proponen nuevas tecnologías para la durabilidad del mismo.

2.9. Marco normativo

Es importante el uso de normas que regulen y respalden el desarrollo de toda investigación por lo cual será de útil significancia seguir normas o reglamentos básicos usados en nuestro campo de estudio y el medio que habitamos.

Las normas principales a usarse para el presente trabajo de investigación en cuanto a la inspección visual de defectos de las losas de pavimento rígido será el “Manual de construcción de pavimentos rígidos” (Tomo 2) “Normas para pavimentos rígidos” del Instituto Boliviano del Cemento y Hormigón y también el manual de daños en pavimentos rígidos PCI.

Otra importante norma será el “Manual de diseño de pavimentos rígidos AASHTO – 93”

Y para el análisis de calidad de eficiencia de juntas de dilatación debido a transferencia de cargas entre losas adyacentes se usara tablas de clasificación del Instituto de Desarrollo Urbano de Colombia.

2.10. Análisis y tendencias

Desarrollando un análisis a la teoría de la investigación se espera que cada parte del objeto de estudio tenga una interrelación entre sí, con la que se pueda identificar las características del objeto de estudio y por tanto la tendencia de comprobar que la hipótesis tenga un sentido de verdad o, de tal manera, afirmar mediante la investigación la importancia que requiere la transmisión de cargas de las juntas de dilatación para el buen funcionamiento del pavimento rígido.

2.11. Posición del investigador

Todas las definiciones planteadas en el marco teórico son importantes para el desarrollo de la investigación porque cada una de estas aporta criterios sobre los cuales se basará el análisis de la eficiencia de juntas debido a transferencia de cargas.

La teoría aportada señala que la eficiencia dependerá de la aplicación de cargas de tránsito, la deflexión de las juntas, los tipos de pasajuntas que se usan para la construcción de losas de concreto, el tamaño de agregado de la carpeta de hormigón, el tamaño de las losas y la separación entre juntas, además de las subbases estabilizadas.

Los aspectos mencionados anteriormente son básicos para que un pavimento funcione cabalmente, además del correcto procedimiento constructivo que es esencial para el posterior desempeño de la estructura del pavimento, existen agentes externos como ser climáticos y otros que no son medibles y que tienen que ver con situaciones que ocurren en el entorno al sitio de la vía los cuales contribuyen al efecto de disminución de su funcionalidad.

Para que la vida útil de un pavimento se cumpla se debe realizar mantenimientos rutinarios y preventivos que controlaran cualquier tipo de falla y así estas no se agraven y sean necesarios otro tipo de reparaciones que generen costos mucho mayores.

CAPÍTULO III

CRITERIOS DE RELEVAMIENTO DE

INFORMACIÓN DE LA AVENIDA

CIRCUNVALACIÓN

3.1. INTRODUCCIÓN

Los pavimentos rígidos han sido construidos en las últimas décadas en diferentes partes del mundo y su sistema de juntas ha sido fundamental para el diseño, construcción y su buen funcionamiento, las cuales sugieren la necesidad de barras de transferencia de carga entre una losa y otra.

La principal función de estas barras llamadas también pasajuntas y/o pasadores, es la de transmitir los esfuerzos debidos al tránsito, de una losa de hormigón a otra adyacente; así la conducta estructural del pavimento rígido será íntegro y las cargas podrán disiparse con una mayor certidumbre.

En el presente proyecto se realizará un análisis de las juntas de dilatación debido a transferencia de carga entre losas adyacentes para lo cual se realizará la lectura de las deflexiones en consecuencia de la simulación del paso de una volqueta de eje doble desde una losa hacia otra adyacente.

Además de analizar los factores más importantes que se piensa generan algún efecto sobre las juntas de dilatación como ser tráfico de vehículos, espaciamiento en juntas, sellado de las mismas, fallas existentes, etc.

Para esto se realizará inspección visual de las losas a medir y se realizara un inventario de las fallas, tipo y nivel de severidad si es que existiesen.

También se requisara las juntas; su espaciamiento de abertura el estado del sellado, además de proceder con el aforo vehicular de tráfico para obtener datos actuales de los puntos de las intersecciones en las que exista cola de tráfico significantes que inciden en las repeticiones vehiculares que transitan sobre el tramo de estudio.

Toda la metodología que será aplicada para el relevamiento de información del sitio de estudio y desarrollo del presente trabajo de investigación se discernirá en este capítulo, tomando en cuenta seguir todo lo que se estipula en normas y reglamentos de nuestro medio.

3.2. UBICACIÓN DE LOS TRAMOS DE ESTUDIO

El tramo de estudio está ubicado en el Departamento de Tarija, en la provincia Cercado en la zona urbana de la ciudad y será la Avenida Circunvalación con su inicio en la zona del campesino altura Avenida Panamericana, rotonda de Agrupa se estudiará toda la longitud que cuenta con pavimento rígido por lo que el punto final será en la zona de Juan XXIII en el cruce con la Avenida Romero.

La Avenida Circunvalación es una de las más importantes de la ciudad de Tarija, ya que por esta transita gran magnitud de vehículos livianos, medianos, pesados de servicio público y privado.

La carpeta de rodadura del tramo está constituida por un sector pequeño de pavimento flexible y la mayoría por pavimento rígido, en el cual se desarrollará el análisis de la eficiencia de juntas de dilatación debido a transferencia de cargas entre losas adyacentes. A casi 20 años de su diseño y construcción las losas de pavimento presentan fallas que son apreciables a la vista, motivo por el cual se investigara si la eficiencia de juntas y las repeticiones de carga de tránsito a las que está sometido diariamente, inciden al comportamiento de la carpeta de rodadura.

Se aclara que las mediciones y análisis se realizaran de ambos carriles de esta Avenida.

Las coordenadas iniciales y finales son las siguientes:

Figura 3. 1.Coordenadas UTM - Avenida Circunvalación

	Este (m)	Norte (m)
Inicio	319016,056	7620281,454
Fin	322807,710	7617214,061

Fuente: Elaboración propia

La longitud aproximada de estudio es 5,00 Km por cada carril.

TRAMO N°1: CARRIL DERECHO DE LA AVENIDA CIRCUNVALACIÓN DESDE LA ROTONDA DE LA AVENIDA PANAMERICANA HASTA LA ROTONDA DE LA AVENIDA ROMERO

Este tramo está situado sobre una de las avenidas principales de la ciudad de Tarija a la altura de los barrios Los Chapacos, 3 de mayo, La Florida, San Marcos, 6 de agosto, Salamanca, San Bernardo, Narciso Campero, Juan XXIII, etc.

Se encuentra a 10 minutos de la plaza principal del centro de la ciudad.

A continuación, se presenta en la figura 3.2 la ubicación del tramo de la avenida e identificación del carril derecho en el que se ingresa de noroeste a sureste, además del sentido de circulación de vehículos coordenadas de inicio y fin del mismo.

Figura 3. 2 Tramo Avenida Circunvalación - Carril derecho



Fuente: Imagen Google Earth

TRAMO N°2: CARRIL IZQUIERDO AVENIDA CIRCUNVALACIÓN DESDE LA ROTONDA DE AVENIDA PANAMERICANA HASTA LA ROTONDA DE LA AVENIDA ROMERO

En la figura 3.3 se muestra la identificación del carril izquierdo, además de coordenadas de inicio y fin del mismo.

Figura 3. 3. Tramo Avenida Circunvalación - Carril izquierdo



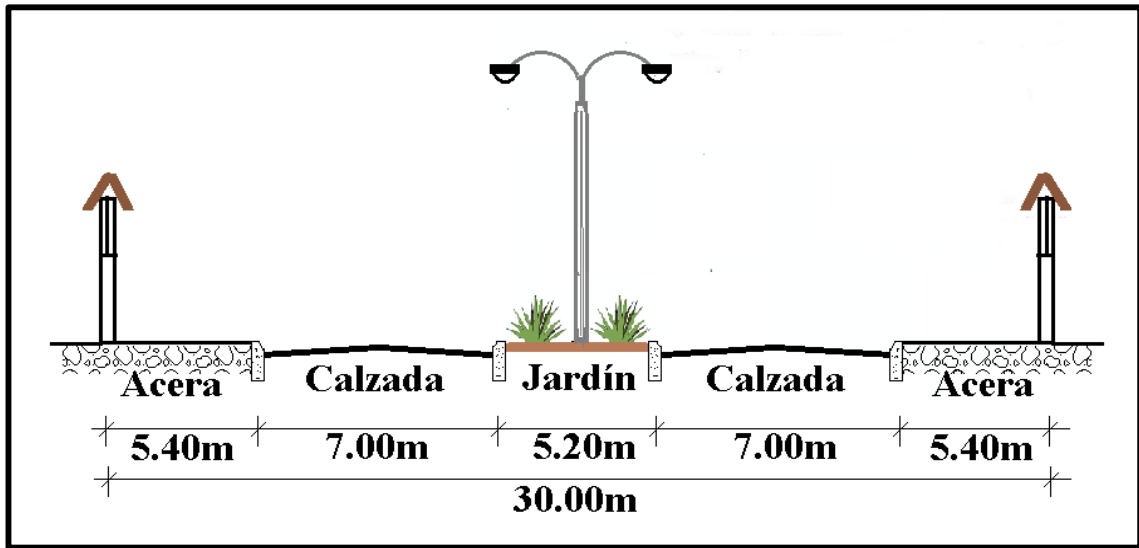
Fuente: Imagen Google Earth

3.3. DATOS REQUERIDOS PARA EL ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA EN JUNTAS DE DILATACIÓN.

3.3.1. Datos de diseño de la Avenida Circunvalación

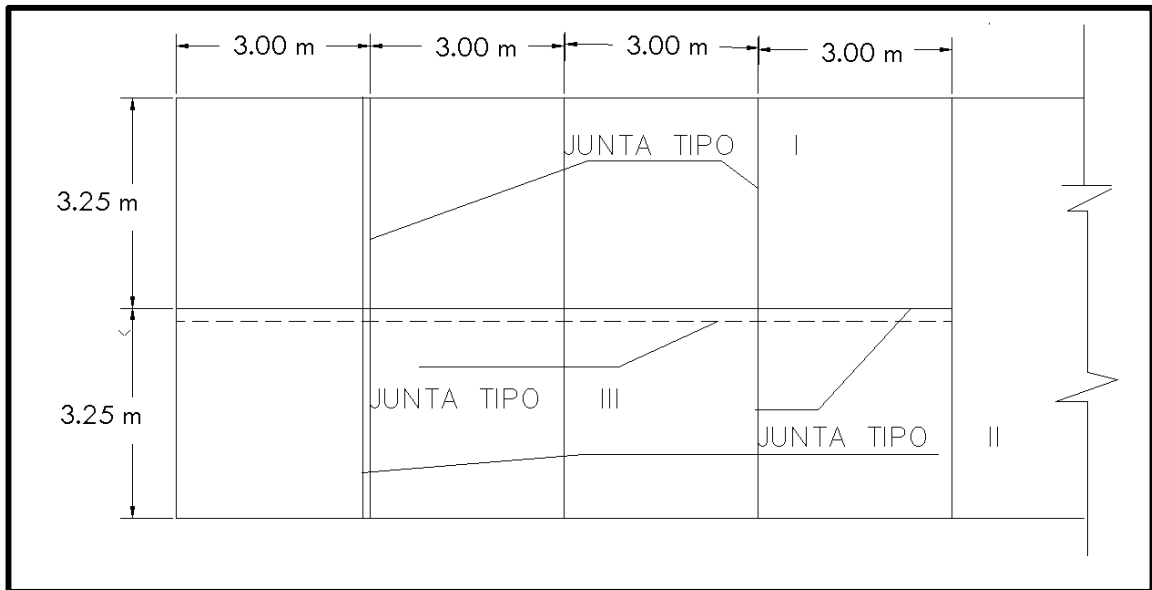
Algunos datos esencialmente importantes como ser el dimensionamiento con el cual fue construida la Avenida serán recopilados de bibliografía con la que cuenta la universidad a continuación se muestra la información correspondiente:

Figura 3. 4. Sección transversal tipo del diseño de la Avenida Circunvalación



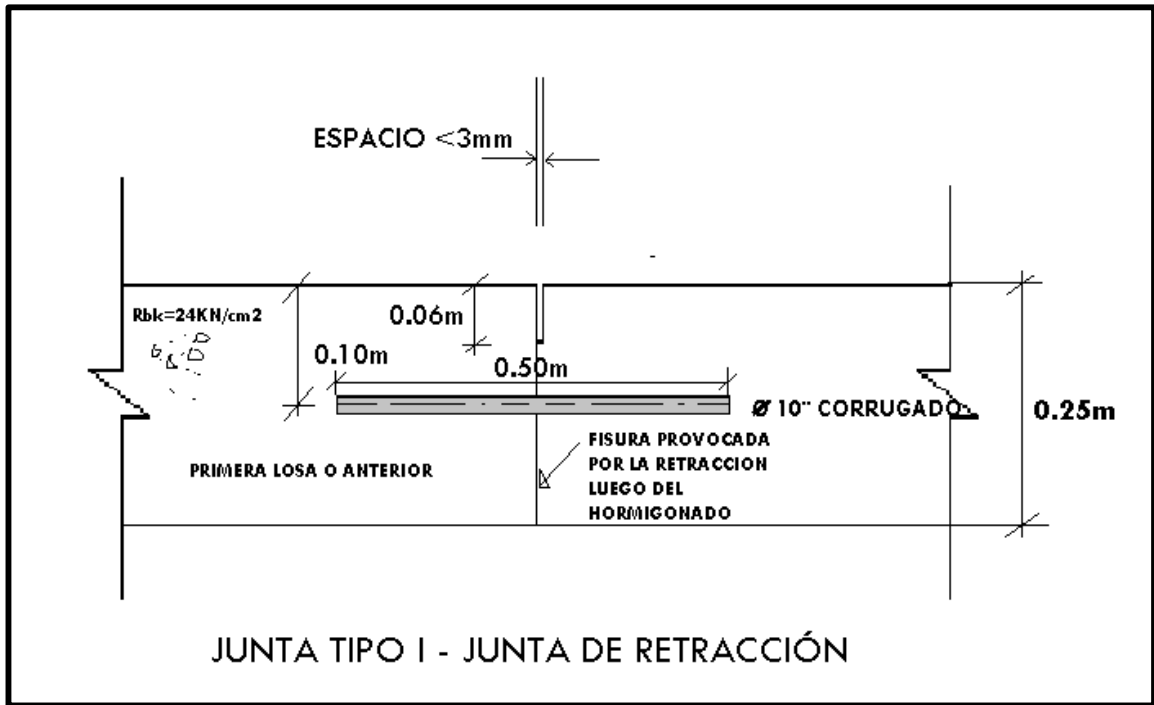
Fuente: (Tejerina, 1999)

Figura 3. 5. Distribución de juntas vista en planta



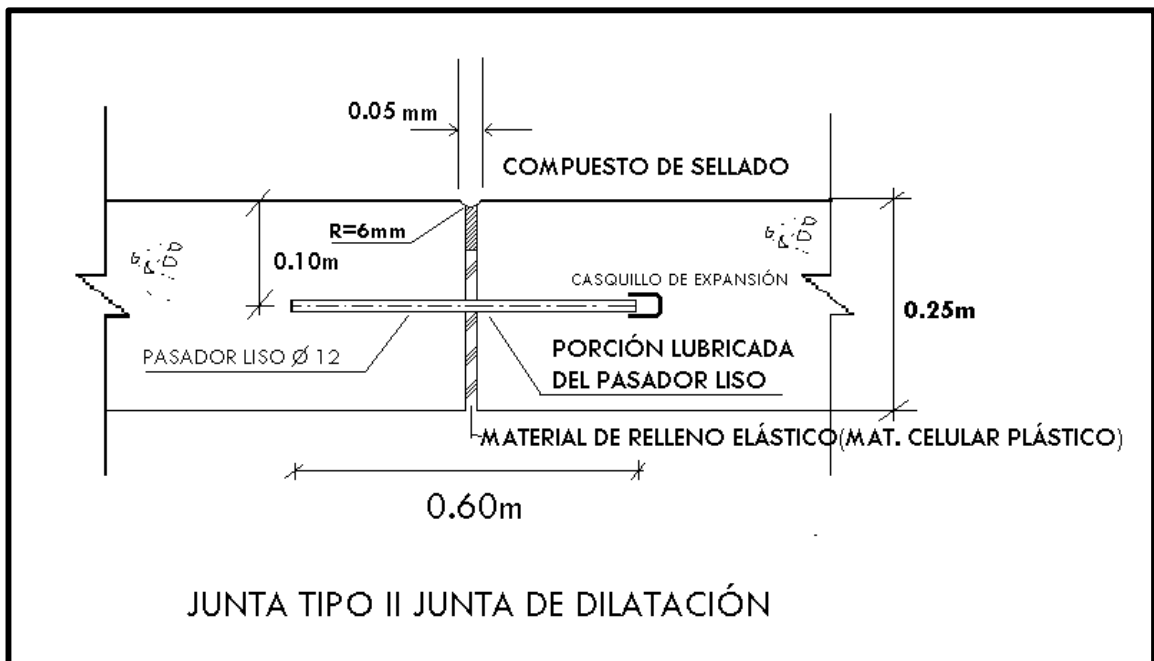
Fuente: (Tejerina, 1999)

Figura 3. 6. Tipos de junta - Avenida Circunvalación



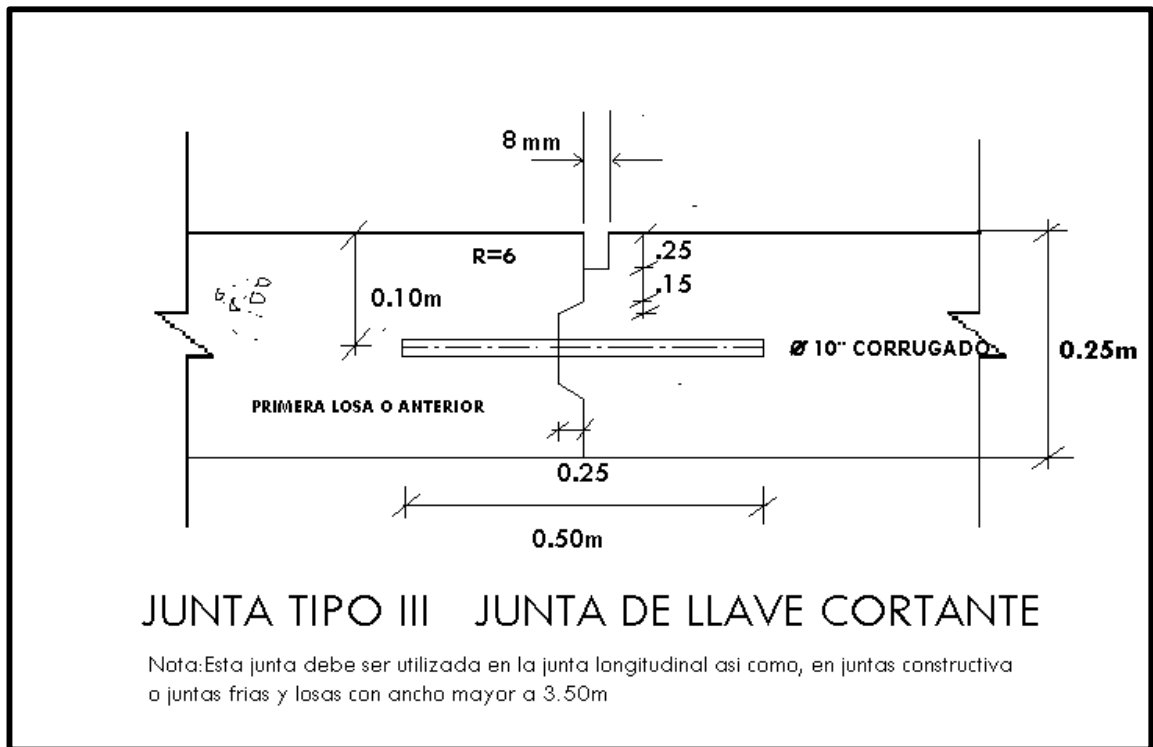
Fuente: (Tejerina, 1999)

Figura 3. 7. Tipos de junta - Avenida Circunvalación



Fuente: (Tejerina, 1999)

Figura 3. 8. Tipos de junta - Avenida Circunvalación



Fuente: (Tejerina, 1999)

3.3.2. Criterio de identificación de unidades de muestreo para el cálculo de eficiencias

3.3.2.1. Ubicación de puntos

Los puntos en los que se realizarán las mediciones de deflexiones son doscientos veintiocho en el carril derecho (ida) y doscientos dieciséis en el carril izquierdo (vuelta).

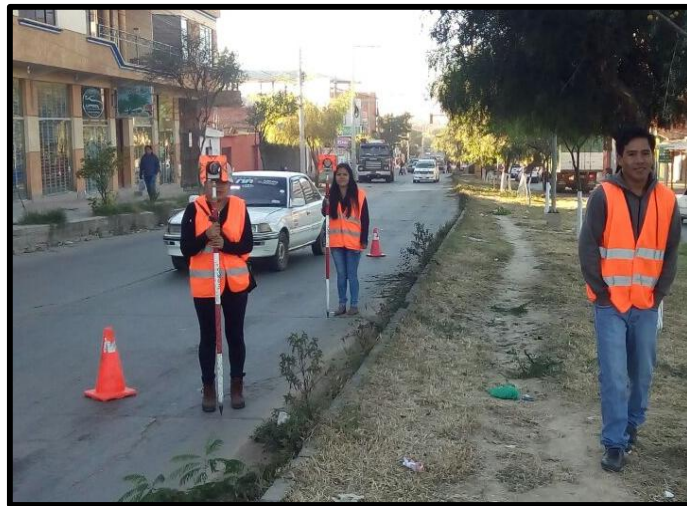
La unidad de muestreo serán dos losas continuas y se realizarán lecturas de deflexiones que sufre al momento en que una carga de tráfico vehicular pasara de una losa a la siguiente, estas lecturas de deflexiones son necesarias para el cálculo de la eficiencia ya que la ecuación para la determinación de las mismas depende de estos valores.

Las coordenadas de ubicación de los puntos de medición se reportan en el Anexo A de este trabajo.

Estas coordenadas fueron obtenidas mediante replanteo topográfico utilizando un equipo de precisión estación total Leica y miras.

Para este procedimiento fueron necesarias tres personas como mínimo, que colaboraron con el posicionamiento de conos de seguridad, alarifes para portadores de miras y así ejecutar el trabajo con mayor facilidad.

Figura 3. 9. Personal con accesorios de seguridad.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3. 10. Equipo utilizado para ubicación de coordenadas.



Fuente: Elaboración propia

3.3.2.2. Identificación de la unidad de muestreo

En el capítulo 1 se realizó la determinación de la cantidad de muestras necesarias para la confiabilidad del desarrollo de la investigación, con estos datos se procederá a elaborar

una metodología de identificación y procedimiento de medición para obtener los resultados esperados.

La metodología de identificación de los puntos a medir será la siguiente:

- Se definirán las unidades mediante un recorrido detallado que se realizará a pie y con el dato del conteo sistemático obtenido en el diseño teórico.

Intervalo de losas = 5

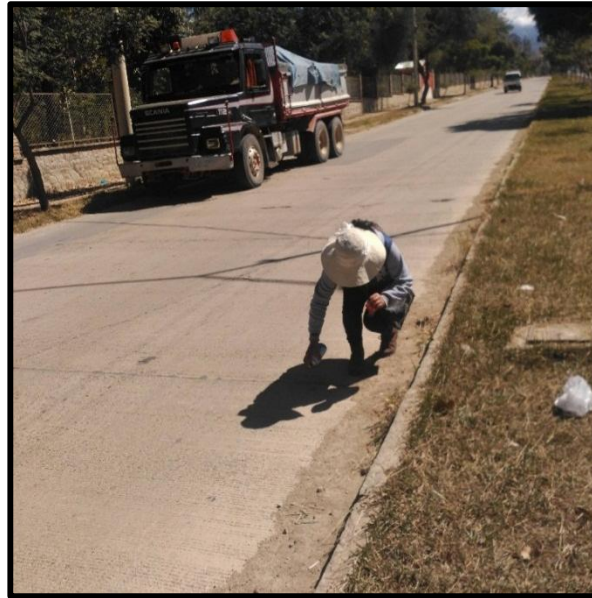
Figura 3. 11. Recorrido e identificación de unidades de muestreo



Fuente: Elaboración propia

- Las intersecciones de las calles con la avenida no serán tomadas en cuenta ya que solamente la minoría de estas cuentan con pavimento rígido y el resto o mayoría con pavimento flexible.
- Para el carril derecho se empezará desde la Av. Circunvalación en donde conecta con la Av. Panamericana, se iniciará el conteo con intervalos de 5, se contará a partir de la primera losa transversal de cada cuadra.
- Posteriormente se marcará con pintura cada losa identificada.
- Para el carril Izquierdo se empezará desde la Av. Circunvalación en donde se cruza con la Av. Roberto Romero se iniciará el conteo con intervalos de 5 losas, se contará a partir de la primera losa transversal de cada cuadra. Igualmente se identificará cada unidad con pintura.
- Los puntos en los que se midió deflexiones se encuentran marcados en el plano de vista en planta en anexos.

Figura 3. 12. Ubicación y marcado de puntos



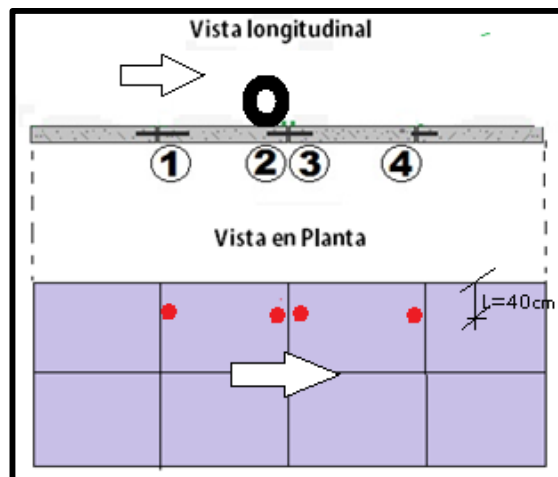
Fuente: Elaboración propia

3.2.2.3 Procedimiento de medición de deflexiones en unidades de muestreo

Una vez identificadas las unidades de muestreo con pintura se mencionan líneas arriba se procederá a:

- Representar el modelo de losas que se plantea en la teoría para el diseño de transferencia de cargas:

Figura 3. 13. Modelo de estudio para pavimento rígido



Fuente: Elaboración propia

- Cabe recalcar que la unidad de muestreo que se identificó anteriormente y en la cual es importante la deflexión de la misma es la ubicación de los puntos 2 y 3, donde existe adyacencia entre las losas.
- Los puntos serán ubicados enumerados y pintados del 1 al 4; la ubicación transversal de estos puntos se realizará en un punto representativo crítico de la losa del carril principal por donde mayormente circulan los vehículos y se observa huellas de los vehículos que transitan por la zona esta distancia es a 40cm de la vereda central como se muestra en la figura 3.12.
- La deflexión se obtendrá mediante la toma de datos de alturas o hilo intermedio con nivel de ingeniero, posteriormente el cálculo en gabinete de diferencias de altura final e inicial nos resultaran la deflexión.
- Se estacionará el nivel de ingeniero en la vereda central de cada cuadra de la Av. Circunvalación cuidando que exista una buena visibilidad de los puntos a medir.
- Se realizará la lectura de alturas de la mira con el nivel de ingeniero en dos estados de carga de las losas:

Inicial: Cuando el sistema de losas que se muestra en la figura 3.14 se encuentre sin ningún tipo de carga vehicular, se deberá tomar lectura de las alturas del hilo medio de la mira metálica de los puntos del 1 al 4.

Figura 3. 14. Estado inicial para la medición



Fuente: Elaboración propia

Figura 3. 15. Estado inicial de medición



Fuente: Elaboración propia

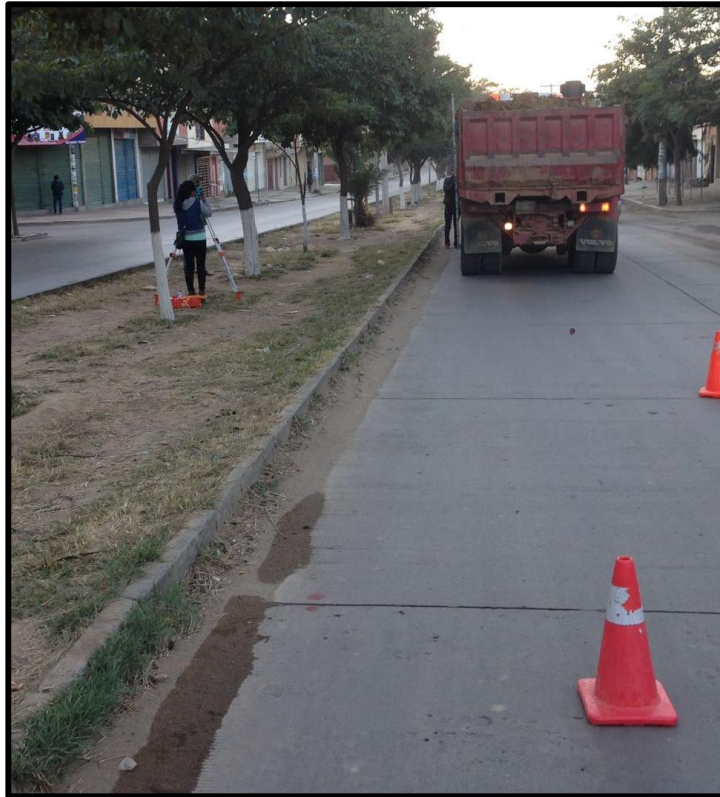
Final: Cuando el sistema de losas que se muestra en la figura 3.16 se encuentre afectado por una carga vehicular en este caso cargado con volqueta de 12 cubos, se deberá tomar lectura de las alturas del hilo medio de la mira metálica de los puntos del 1 al 4.

Figura 3. 16. Estado final de medición



Fuente: Elaboración propia

Figura 3. 17. Fotografía estado final de medición



Fuente: Elaboración propia

- Una vez obtenidos los datos de campo se realizará el trabajo respectivo en gabinete para el cálculo de las deflexiones y así mismo proceder a la determinación de las eficiencias que representa el trabajo base de esta investigación.
- Para el cálculo de las deflexiones se realizará una operación simple de resta o diferencia entre los datos de medición final e inicial que se describe en párrafos anteriores.

3.3.3. Criterio de identificación de fallas en unidades de muestreo

En nuestro medio una de las causas de la mala condición de una estructura de pavimento es que no se presta la atención adecuada a la conservación de caminos por lo que fallas que surgen en las vías van deteriorándose sin que se las repare y llegan a ser perjudiciales para los transeúntes y vehículos que circulan por la zona.

El deterioro de la estructura de pavimento es una función de la clase de daño, su severidad y cantidad. Existen métodos por los cuales se puede evaluar la superficie y estructura en cuanto al servicio de las vías como ser PCI, IRI, etc.

En lo que respecta a fallas existen diversos trabajos locales, nacionales e internacionales en los que aplican metodologías de identificación y definen los tipos de fallas, la metodología que se cree conveniente y de cual se hará uso en el estudio del presente trabajo será el manual de daños PCI, el cual se encuentra adjunto en anexos de este apartado.

Para el desarrollo de este trabajo no se evaluará la condición del pavimento con ningún método de los mencionados anteriormente, solamente se verificará si en las unidades de muestreo existen fallas en losas, juntas de dilatación, el tipo de falla, severidad y se realizara la descripción de la mismas.

Es importante tratar de relacionar si las fallas que se presentan en el pavimento rígido del tramo de estudio surgen de un efecto de la eficiencia favorable o desfavorable de juntas de dilatación debido a transferencia de cargas entre losas adyacentes, o si existe predominancia de algún tipo en especial, además los sitios más propensos en que se encuentren estas ya sea intersecciones con calles o en puntos intermedios entre accesos de tramo estudiado.

3.3.3.1. Procedimiento de inspección de losas

La etapa inicial corresponde al trabajo de campo en el cual se identifican los daños teniendo en cuenta la clase, severidad y extensión de los mismos.

Estos datos se registran en formatos adecuados para detallar la más relevante información. A continuación, se muestra la planilla en la que se registrará esta información:

Figura 3. 18. Planilla de información de campo

Punto	Progresivas (Km)	Tipo de falla	Nivel de severidad	Descripción	Alternativa de solución

Fuente: Elaboración propia

El procedimiento varía de acuerdo con el tipo de superficie del pavimento que se inspecciona.

Debe seguirse estrictamente la definición de los daños del manual de daños PCI para pavimentos rígidos

La inspección constará de los siguientes aspectos:

a) Equipo.

Flexómetro manual para medir las longitudes y las áreas de los daños.

Regla y una cinta métrica para establecer las profundidades de los ahuellamientos o depresiones.

b) Procedimiento.

Se inspecciona una unidad de muestreo para medir el tipo, cantidad y severidad de los daños de acuerdo con el Manual de Daños, y se registra la información en el formato correspondiente. Se deben conocer y seguir estrictamente las definiciones y procedimientos de medida los daños. Se usa la planilla de la figura 3.18. para cada unidad muestreo y se usa para registrar el daño, si existe y su nivel de severidad.

Figura 3. 19. Ejemplo de medición de una falla encontrada en losa



Fuente: Elaboración propia

Figura 3. 20. Accesorios de seguridad de personal y del vehículo acompañante



Fuente: <https://articulo.mercadolibre.cl/>

- c) El equipo de inspección deberá implementar todas las medidas de seguridad para desplazamiento en la vía inspeccionada, tales como dispositivos de señalización y advertencia para el vehículo y para el personal en la vía, evitando así cualquier tipo de accidente.

3.3.4. Criterios de identificación de intersecciones en las que se realizará el aforo de vehículos para la determinación del número de ejes equivalentes de la Av. Circunvalación

La Avenida Circunvalación está comprendida por 22 intersecciones por las cuales ingresan y egresan todo tipo de vehículos automotores en algunos tramos se generan colas de tráfico que generan muchas veces molestias a los usuarios.

Se realizará una comparación del volumen de tráfico de la gestión en la que se realizó el diseño y la cantidad de vehículos que circulan en la actualidad, para relacionar si existe sobrecarga de tráfico que pueda afectar la eficiencia de juntas de dilatación debido a transferencia de cargas entre losas adyacente de pavimento rígido.

Además, que con los valores obtenidos de volumen se determinara el número de ejes equivalentes que están afectando al pavimento en la actualidad.

El criterio para escoger las intersecciones q serán estudiadas para el volumen de tráfico será el de muestreo por juicio del investigador, con el cual se establece q los puntos más conflictivos de congestión vehicular de todo tipo y sobre todo vehículos pesados son tres: Av. Froilán Tejerina, Av. La Paz y la Av. Gamoneda,

Se llega a esta conclusión analizando los accesos más importantes de esta avenida y mediante consulta previa a varios propietarios de automotores que circulan por la ciudad y que tienen una noción más clara del congestionamiento en nuestra ciudad.

El caso de la rotonda de la Av. Froilán Tejerina zona en la cual predomina el tránsito de vehículos y se observa grandes colas de tráfico y congestión debido a que es un acceso importante hacia el Mercado Campesino, también hacia el Mercado Abasto.

Otra de las intersecciones importantes es el acceso de la Av. La Paz que conecta con zonas importantes como ser Parque Bolívar, Campo ferial, etc.

La Avenida Gamoneda se designa como un punto importante de aforo por presentar en sus carriles aledaños a la av. Circunvalación desgaste del pavimento y se divisa gran visualización de partículas de las losas de pavimento rígido lo que supone gran cantidad de paso de vehículos que circulan por esta zona.

3.3.4.1. Procedimiento de aforo vehicular

Para realizar el conteo de los vehículos, se debe seguir el siguiente procedimiento:

Habituarse con la tarea asignada: Determinar claramente cuál es la clase de vehículo que debe contar, y cuáles vehículos se incluyen en ésta. Todo vehículo debe ser incluido en el conteo.

Escoger un punto de referencia en la sección de la avenida seleccionada: Se cuenta cada vehículo al pasar por este punto de referencia. El uso del mismo punto de referencia para todas las clases de vehículos, hace que los conteos por duplicado sean más exactos y eventos como vehículos detenidos no afecten el conteo.

Realizar una pequeña prueba: Esto con el objetivo de familiarizar al personal con el trabajo que debe realizar, y de solucionar dudas o preguntas que puedan surgir.

La toma de datos se realiza en el formato que se muestra en el anexo

Repetir el conteo: Cada conteo se realiza por duplicado y por personas diferentes. (Morales Almanza, Orozco Peralta, & Campos Moreira, 2012)

Aforo Manual: Se usan por lo general para contabilizar volúmenes de giro y volúmenes clasificados.

La duración de aforo varía con el propósito del aforo.

En este caso para el aforo se seguirá la Norma AASHTO en la cual se especifica lo siguiente:

Para realizar el aforo se establecerán horarios picos en las que la tasa de vehículos que circulan por la vía alcanza su máxima demanda.

En nuestro medio según estudios realizados las horas pico de mayor raudal de tráfico son en la mañana, medio día, y término de la tarde.

Para obtener estos datos se debe seguir los siguientes pasos:

Para determinar horas pico:

El conteo se realizó durante un día de semana por un periodo de 7am-20pm,

El equipo que utilizaron fue de hojas de papel marcando todo tipo de vehículo.

Se contabilizó individualmente los vehículos en ambos sentidos de la Av. Circunvalación.

Punto de estación del conteo Av. Circunvalación y Calle Colón

Con los datos obtenidos se graficará un histograma que se mostrará en el siguiente capítulo, determinándose así las horas pico de tráfico.

Para determinar volúmenes de tráfico:

El conteo se realizó durante 3 días (2 días hábiles de trabajo y un día inhábil)

El conteo se realizó en las horas pico determinadas anteriormente.

El equipo que utilizado fue de hojas de papel marcando cada tipo de vehículo.

Se contabilizó individualmente los vehículos en ambos sentidos en las tres intersecciones mencionadas anteriormente:

Av. Gamoneda, Av. La Paz, Av. Froilán Tejerina:

08AM – 9 AM (Intervalo que coincide con hora pico)

11 AM – 12 AM (intervalo que coincide con hora pico)

18 PM – 19PM (intervalo que coincide con hora pico)

3.3.5. Descripción de los equipos e instrumentos usados para la obtención de datos

Para el relevamiento, recolección de información del presente trabajo serán necesarios varios instrumentos, equipos, material de escritorio y otros.

A continuación se desarrollará una descripción breve de los principales materiales y sus características principales.

Dispositivo GPS: Es un receptor de señales satelitales del denominado Sistema de Posicionamiento Global.

El GPS debe usarse al aire libre por el tipo de señal que se utiliza, esa señal le permite saber su localización. Por esa razón no es necesario indicar el origen.

Cuando se desea determinar la posición tridimensional, el receptor que se utiliza para ello localiza automáticamente como mínimo cuatro satélites de la red, de los que recibe unas señales indicando la identificación y hora del reloj de cada uno de ellos, además de información sobre la constelación.

Los receptores GPS de hoy en día son extremadamente precisos, gracias a su diseño multicanal en paralelo.

Este dispositivo será útil para la ubicación de las coordenadas UTM de puntos en los que se realizaran las mediciones, además de ubicar en forma inicial los BM'S para ubicación de la estación total.

Figura 3. 21. Fotografía GPS Garmin



Fuente: Elaboración propia

Nivel de ingeniero, mira vertical y trípode: El nivel de ingeniero es un instrumento de precisión, también llamado nivel óptico o equialtímetro es un instrumento que tiene como finalidad la medición de desniveles entre puntos que se hallan a distintas alturas o el traslado de cotas de un punto conocido a otro desconocido, se basa en la determinación de planos horizontales a través de una burbuja que sirve para fijar correctamente este plano y un anteojo que tiene la función de aumentar la visual del operador. Además, sirve para medir distancias horizontales, basándose en el mismo principio del taquímetro.³

³ (Sifuentes, 2015, pág. 19)

Figura 3. 22.Fotografía nivel ingeniero Sokkia SDL-30



Fuente: (MERTIND, 2018)

Este instrumento debe tener unas características técnicas especiales para poder realizar su función, tales como burbuja para poder nivelar el instrumento, antejo con los suficientes aumentos para poder ver las divisiones de la mira, y un retículo con hilos para poder hacer la puntería y tomar las lecturas, así como la posibilidad de un compensador para asegurar su perfecta nivelación y horizontalidad del plano de comparación.

Trípode: Es un instrumento que tiene la particularidad de soportar un equipo de medición como un taquímetro o nivel, su manejo es sencillo, pues consta de tres patas que pueden ser de madera o de aluminio, las que son regulables para así poder tener un mejor manejo para subir o bajar las patas que se encuentran fijas en el terreno. ⁴

Para la identificación del trípode usado a continuación mostramos la Figura 3.23:

Figura 3. 23. Trípode metálico



Fuente: (S.A. E. T., 2010)

⁴ (Sifuentes, 2015, pág. 21)

Mira de aluminio: Son reglas graduadas en metros y decímetros, generalmente fabricadas de madera, metal o fibra de vidrio.

Usualmente, para trabajos normales, vienen graduadas con precisión de 1 cm y apreciación de 1mm.

Comúnmente, se fabrican con longitud de 4 m divididas en 4 tramos plegables para facilidad de transporte y almacenamiento. La mira usada fue metálica de aluminio como se muestra en la Figura 3.24.

Figura 3. 24. Mira de aluminio



Fuente: (IBERICA, 2018)

Estación total, prismas y brújula: La estación total es un instrumento electro-óptico cuyo funcionamiento se basa en la tecnología electrónica, consiste en la introducción de un distancio metro y un microprocesador a un teodolito.⁵

Con la estación total se obtiene una precisión laser en distancias y una precisión digital en los ángulos, a diferencia del teodolito y el nivel que utilizan una precisión óptica para medición de ángulos y distancias. Además, a partir de ambas variables (ángulos y distancias verticales y horizontales) más la ubicación actual la estación total calcula y almacena las coordenadas geográficas de cada punto observado (N, E, Z) eliminando la necesidad de realizar cálculos complejos para digitalizar el levantamiento en un software

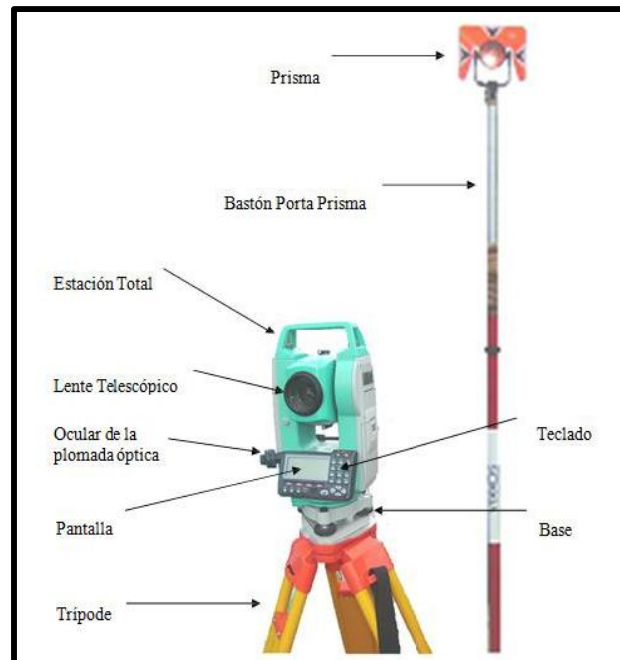
⁵ (Bustos, 2008)

CAD.

El funcionamiento del aparato se basa en un principio geométrico sencillo y muy difundido entre los técnicos catastrales conocido como triangulación, que en este caso consiste en determinar la coordenada geográfica de un punto cualquiera a partir de otros dos conocidos. (Valencia, 2011)

En la Figura 3.25 se muestra el tipo de estación usada en la investigación.

Figura 3. 25.Estación total Leica y prisma



Fuente: (Valencia, 2011)

Prisma: Es conocido como objetivo (target) que al ubicarse sobre un punto desconocido y ser observado por la Estación Total capta el láser y hace que rebote de regreso hacia el aparato. Un levantamiento se puede realizar con un solo prisma, pero para mejorar el rendimiento se usan al menos dos de ellos.

Brújula: Usualmente viene incluida en el paquete, al ensamblarla al aparato sirve para orientar la Estación Total hacia el Norte Magnético en el caso que se deba trabajar con coordenadas asumidas. (Valencia, 2011)

Camión Volqueta Scania 112 H tolva de 12 cubos: Las volquetas son posiblemente la maquinaria más utilizada en cualquier tipo de obra civil. Son vehículos automóviles que

poseen un dispositivo mecánico para volcar la carga que transportan en un cajón que reposa sobre el chasis del vehículo.

El paso de este tipo de vehículos es muy frecuente por el tramo que será estudiado, es por esta razón que se usara un coche de este tonelaje cargado, para la simulación del efecto que tiene sobre el pavimento rígido.

Figura 3. 26. Fotografía volqueta usada en la investigación



Fuente: Elaboración propia

Figura 3. 27. Fotografía vehículo usado en investigación



Fuente: Elaboración propia

Estacas, pintura, y otros: Este tipo de materiales son importantes y relevantes para el desarrollo de prácticas en campo, además de estos es necesario el uso de accesorios de seguridad para evitar accidentes o situaciones riesgosas que pongan en peligro la vida de las personas que trabajan en la misma.

CAPÍTULO IV

**ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA DE JUNTAS
DE DILATACIÓN DEBIDO A
TRANSFERENCIA DE CARGAS ENTRE
LOSAS ADYACENTES DE LA AVENIDA
CIRCUNVALACIÓN**

4.1. INTRODUCCIÓN

En los pavimentos rígidos, la transferencia en las juntas no es permanente. Esto origina una amplia variedad de consecuencias, como la pérdida de regularidad superficial.

Una característica del pavimento con transferencia permanente es la posibilidad de hacer una capa de rodadura sin que la zona de las juntas sufra erosión con el tiempo.

La importancia de la transferencia de cargas tiene que ver con el efecto adverso que podría ocasionar en losas en caso de no efectuarse un adecuado funcionamiento motivo por el que en el presente trabajo se realizará el análisis de la eficiencia de juntas de dilatación debido a transmisión de cargas entre losas adyacentes del pavimento rígido de la Avenida Circunvalación de la ciudad de Tarija, considerando mediciones de deflexiones con carga y sin carga de losas de concreto; de tal manera se pueda obtener información de las condiciones actuales de las juntas de dilatación.

A continuación se desarrollará los cálculos y análisis necesarios para estudiar las variables que se determinaron con la metodología planteada

4.2. DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE JUNTAS DE DILATACIÓN

El porcentaje de eficiencia de juntas de dilatación se determinará en función a las deflexiones que se indican en la siguiente ecuación:

$$E = \frac{2\Delta u}{\Delta L + \Delta u} (100)$$

Donde:

ΔL = Deflexión del lado cargado de la junta

Δu =Deflexión del lado no cargado de la junta

Para lo cual siguiendo la metodología descrita en el capítulo anterior procederemos a realizar el trabajo de gabinete para la obtención numérica del resultado que se esperan.

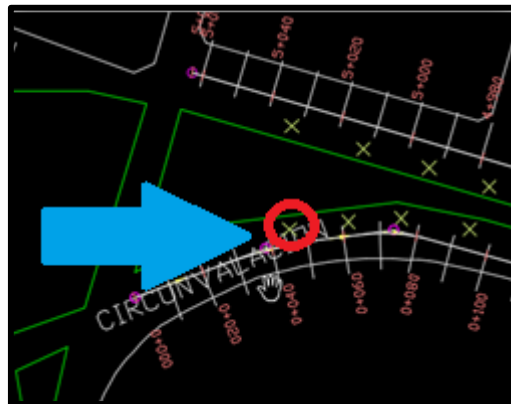
4.2.1 Cálculo de deflexiones

A continuación, se demostrará el principio aplicado para deducir y realizar el cálculo de las deflexiones tanto en el lado descargado de la losa y el lado cargado:

Ejemplo N°1

Punto de muestreo N°1 - Carril derecho Progresiva: 0+45

Figura 4. 1. Croquis de ubicación de punto de muestreo N°1



Fuente: Elaboración propia

Tabla 4. 1. Planilla de datos de sistema inicial de losas

Losas sin carga (Lectura altura hilo Intermedio. metros)			
①	②	③	④
1,0061	1,1142	1,1152	1,2580

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4. 2. Planilla de datos de sistema final de losas

Losas con carga (Lectura altura hilo Intermedio metros)			
①'	②'	③'	④'
1,0054	1,1151	1,1156	1,2580

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4. 3. Planilla de deflexiones

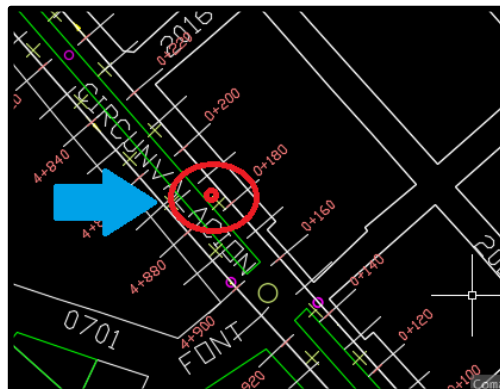
Deflexiones (mm)	
$\Delta L = \textcircled{2} - \textcircled{2}'$	$\Delta U = \textcircled{3} - \textcircled{3}'$
$\Delta L = (1,1142 - 1,1151) / 1000 = 0,90$	$\Delta U = (1,1156 - 1,1152) / 1000 = 0,40$

Fuente: Elaboración propia

Ejemplo N°2


Punto de muestreo N° 9 - Carril izquierdo Progresiva: 0+186

Figura 4. 2. Croquis de ubicación de punto de muestreo N°9



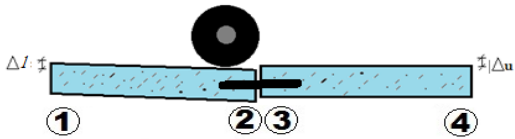
Fuente: Elaboración propia

Tabla 4. 4. Planilla de datos de sistema inicial de losas

Losas sin carga (Lectura altura hilo Intermedio metros)			
			
①	②	③	④
1,3512	1,1944	1,1944	1,0051

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4. 5. Planilla de datos de sistema final de losas

Losas con carga (Lectura altura hilo Intermedio metros)			
			
①'	②'	③'	④'
1,3512	1,1976	1,1952	1,0051

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4. 6. Planilla de deflexiones

Deflexiones (mm)	
$\Delta L = \textcircled{2} - \textcircled{2}'$	$\Delta U = \textcircled{3} - \textcircled{3}'$
$\Delta L = (1,1944 - 1,1976) / 1000 = 3,2$	$\Delta U = (1,1944 - 1,1952) / 1000 = 0,8$

Fuente: Elaboración propia

Nota: En el **Anexo B** se presenta el reporte y la planilla de cálculos para la obtención de todos los valores calculados tanto en el carril derecho y el carril izquierdo.

4.2.2. Cálculo de eficiencia.

Después de realizar los ensayos de transferencia de carga en las losas de hormigón que hacen parte del pavimento rígido de la Avenida Circunvalación se procederá a calcular las eficiencias con la siguiente ecuación:

$$E(\%) = \left(\frac{2\Delta U}{\Delta l + \Delta U} \right) * 100$$

Ejemplo N°1: Punto de muestreo N°1 - Carril derecho Av. Circunvalación

Progresiva: 0+45 Km

$$E(\%) = \left(\frac{2 * 0,4}{0,9 + 0,4} \right) * 100$$

$$E = 62\%$$

Ejemplo N°2: Punto de muestreo N°9 - Carril izquierdo Av. Circunvalación

Progresiva: 0+186 Km

$$E(\%) = \left(\frac{2 * 0,8}{3,2 + 0,8} \right) * 100$$

$$E = 40\%$$

4.3. DESCRIPCIÓN DE FALLAS UNIDADES DE MUESTREO

Uno de los aspectos fundamentales para la realización del trabajo es el de describir la condición de cada una de las losas que serán medidas las losas y las juntas de dilatación.

Cumpliendo con los pasos establecidos en el capítulo anterior se realizó la identificación y descripción de cada una de los puntos de muestreo de ambos carriles de la Av.

Circunvalación.

En la siguiente tabla se presenta ejemplos de esta descripción:

Tabla 4. 7. Detalle de descripción de juntas de dilatación transversal muestreadas

Punto	Progresivas (Km)	Tipo de falla	Nivel de severidad	Descripción	Alternativa de solución
1	0+045	Grieta transversal inclinada	M	Inicia en una esquina de la losa y corta en dos a la misma, la apertura de la misma no supera los 8mm	Costurado de fisuras con resina epóxica
2	0+063	Ninguna	N	Ninguna falla en superficie de losa, sellado de la junta en condición aceptable	Mantenimiento preventivo, limpieza y resellado de junta.
3	0+075	Ninguna	N	Ninguna falla en superficie de losa, sellado de la junta en condición aceptable	Mantenimiento preventivo, limpieza y resellado de junta.

Fuente: Elaboración propia

Nota: Todas las descripciones a detalle del resto de unidades de muestreo se encuentran anexadas a este trabajo en el **Anexo C**. Detalle de unidades de muestreo

4.4. CÁLCULO DE VOLÚMENES DE TRÁFICO

4.4.1. Tráfico promedio diario anual

Este tipo de volumen de tráfico describe la cantidad de vehículos que circulan por una vía durante un año. Este dato es necesario para el diseño de espesores de la capa de rodadura del pavimento rígido ya que a partir de este se calculará el ESAL's (Número de Ejes equivalentes simples, dobles, etc.) que es fundamental para la proyección de las repeticiones de carga que circularan en la vida útil de diseño.

A continuación, se muestra la tabla calculada de resultados promedio del aforo vehicular en las tres intersecciones de mayor influencia o paso de vehículos de todo tipo, que fue realizado en ambos carriles de circulación de la avenida.

Tabla 4. 8. Cálculo del TPDA obtenido del aforo vehicular de la Avenida Circunvalación

Tráfico promedio diario anual				
Tipo de vehículo	Tráfico promedio diario		TPDA	
	Sentido: Ida	Sentido: Vuelta	Sentido: Ida	Sentido: Vuelta
Liviano	10076	10186	3677826	3718043
Mediano	801	740	292225	269920
Pesado	263	278	95869	101614
Porcentaje %			4065920	4089577
Liviano	90,45	90,92		
Mediano	7,19	6,60		
Pesado	2,36	2,48		

Fuente: Elaboración propia

En anexos se verificará todas las planillas que incluyen datos de los aforos por intersección y un registro detallado de esta información **Anexo D**.

4.5. CÁLCULO DE EJES EQUIVALENTES

Para el diseño de pavimento la demanda que corresponde al del tráfico pesado de ómnibus y de camiones es la que preponderantemente tiene importancia.

El efecto del tránsito se mide en la unidad definida, por AASHTO, como Ejes Equivalentes (EE) acumulados durante el periodo de diseño tomado en el análisis. AASHTO definió como un EE, al efecto de deterioro causado sobre el pavimento por un eje simple de dos ruedas convencionales cargado con 8.2 tn de peso, con neumáticos a la presión de 80 lbs/pulg².

Los Ejes Equivalentes (EE) son factores de equivalencia que representan el factor destructivo de las distintas cargas, por tipo de eje que conforman cada tipo de vehículo












pesado, sobre la estructura del pavimento. (Manual de Carreteras, suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos)

Los ejes equivalentes, es la cantidad pronosticada de repeticiones del eje de carga equivalente de 18 Kips (80 KN) para un periodo determinado, utilizamos esta carga equivalente por efectos de cálculo ya que el tránsito está compuesto por vehículos de diferente peso y número de ejes.

Para la determinación y cálculo de los ejes equivalentes se requiere el uso de factores de camión para cada clase particular de vehículo, principalmente para camiones pesados.

A continuación se muestra en la tabla la configuración vehicular para hallar la intensidad de volumen de tráfico además del cálculo de los ejes equivalentes:

Tabla 4. 9. Estudio de tráfico Avenida Circunvalación según AASHTO

	1	2	3	MB	B2	B3	C2m	C2	C3	CSR	CR
											
Ida	10157	7255	11608	1153	152	227,00	439	715	122	205	91
Vuelta	10268	7335	11735	1065	161	161,00	405	661	129	217	97
Fe=	13 %										
IMDA 2018	11478	8199	13118	1303	172	257,00	497	808	138	232	103
IMDA 2018	11603	8289	13261	1204	182	182,00	458	747	146	246	110
Promedio	11541	8244	13190	1254	177	220	478	778	142	239	107
r=	9,6	%	Indice crecimiento vehicular 2016 según INE Bolivia para Tarija								
n=	15	años	Lo que falta para que la vida útil del pavimento de la Av. Circunvalacion se cumpla								
IMDA 2037	45397	32428	51884	5154	681	1017,00	1966	3196	546	918	408
IMDA 2037	45892	32784	52449	4762	720	720,00	1812	2955	578	973	436

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4. 10. Tráfico promedio diario de la Avenida Circunvalación

Para 2018	
TPDA(derecho)=	36305 veh/día
TPDA(izquierdo)=	36428 veh/día
Para 2037	
TPDA(derecho)=	143595 veh/día
TPDA(izquierdo)=	144081 veh/día

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4. 11. Cálculo de ejes equivalentes Avenida Circunvalación según AASHTO

Tipo de vehículo	Cálculo de ejes equivalentes			
	TPDA 2018	Carga de veh. por eje EE. 8,2 ton	Eje equivalente	F. IMDA
	Promedio derecho e izquierdo			
1,2 y 3	32975	1	0,0005923	19,53
	32975	1	0,0005923	19,53
MB	1254	7	1,4221979	1783,44
	1254	10	2,2448796	2815,08
B2	177	7	1,4347758	253,96
	177	16	2,1335371	377,64
B3	220	7	1,4347758	315,65
	220	16	2,1335371	469,38
	220	16	2,1335371	469,38
C2m	478	7	1,4347758	685,82
	478	16	2,1335371	1019,83
C2	778	7	1,4221979	1106,47
	778	16	2,1335371	1659,89
C3	142	7	1,4347758	203,74
	142	16	2,1335371	302,96
	142	16	2,1335371	302,96
CSR	239	7	1,4347758	342,91
	239	16	2,1335371	509,92
	239	23	3,8075092	909,99
CR	107	7	1,4347758	153,52
	107	16	2,1335371	228,29
	107	16	2,1335371	228,29
	107	16	2,2945975	245,52
	107	23	3,8075092	407,40
				14831,10

Fuente: Elaboración propia

En el párrafo líneas abajo se determina el número exacto de ejes equivalentes del pavimento, para un periodo de vida útil en el que fue diseñado la avenida y así lograr una

comparación entre lo calculado al momento del diseño y con lo proyectado gracias al estudio realizado actualmente.

$$ESAL'S = \sum F. IMDA * 365 * DD * DL * \left(\frac{(1+r)^n}{r} - 1\right)$$

DD= 0,5	Factor direccional
DL= 0,8	Factor carril
r= 9,56%	Tasa de crecimiento obtenida del INE
n= 15 años	Tiempo que falta para que la vida útil del pavimento de la Av. Circunvalación se cumpla

Reemplazando en la ecuación anterior se tiene que:

$$ESAL'S(2037)= 86928711,95$$

4.6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.6.1. Análisis de la eficiencia de juntas de dilatación debido a transferencia de cargas entre losas adyacentes

Mediante los resultados obtenidos de eficiencia de juntas de dilatación debido a transferencia de carga se clasificara la condición en la que se encuentran las juntas transversales según los resultados porcentuales de eficiencia la misma se hará utilizando como referencia la Tabla 4.12 en la cual el Instituto de Desarrollo de Colombia IDU le asigna calidad de aceptable, observación, reparación y muy pobre a distintos rangos de valores de porcentajes de la eficiencia.

Cada uno de estas condiciones deberán ser tomadas en cuenta y si existiere fallas en las mismas tomar una decisión sobre lo que se realizara para reparar esta condición tan importante como lo es la transferencia de carga en pavimentos rígidos en el circula todo tipo de vehículos.

Tabla 4. 12. Calidad de la transferencia de carga en la junta en función de su eficiencia según IDU

Clasificación de la transferencia de carga	Eficiencia de la transferencia de Carga (%)
Aceptable	71 – 100
Observación	60 - 70
Reparación	50- 59
Muy pobre	0 - 49

Fuente: Instituto de desarrollo Urbano Colombia

En el apartado de anexos de este trabajo más propiamente en el **Anexo E. Resultados eficiencia - Calidad**, se detalla uno a uno la calidad en la que se encuentran las juntas de dilatación transversales y de cada uno de los carriles de la Av. Circunvalación que se tomaron como unidades de muestreo, un pequeño ejemplo se observa en la planilla siguiente:

Anexo E - 1 Planilla de resultados de Eficiencia y Calidad de Juntas de Dilatación - Carril Derecho Av. Circunvalación

N°	Progresivas Km	E (%)	Calidad de la junta según eficiencia
1	0+045	62	Observación
2	0+063	100	Aceptable
3	0+075	67	Observación
4	0+080	80	Aceptable

Fuente: Elaboración propia

A continuación en la tabla 4.13, se muestra un resumen general de las proporciones en porcentaje de calidad de transferencia de carga en las juntas del total de los carriles del tramo en estudio, tomando en cuenta lo establecido por la IDU, además de un grafica circular que lo representa gráficamente:

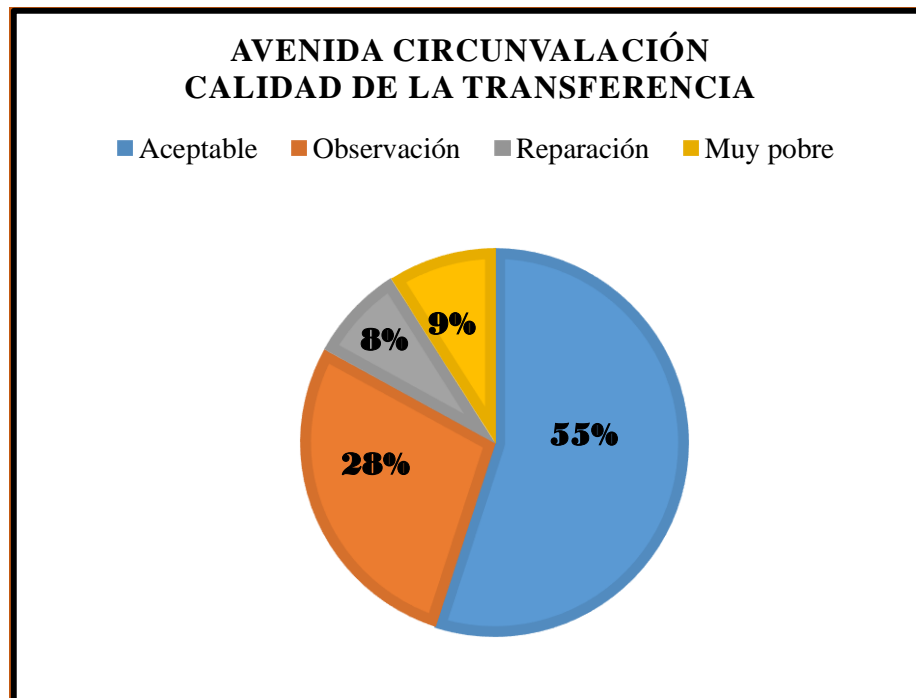
Tabla 4. 13. Calidad de transferencia de juntas de dilatación transversales

Av. Circunvalación

Calidad de la transferencia		
Estado	Cantidad	%
Aceptable	244	55
Observación	126	28
Reparación	34	8
Muy pobre	40	9
Total	444	100

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 4. 1. Calidad de transferencia de juntas de dilatación en función de su eficiencia



Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto de la gráfica se puede observar que:

El 55% de las juntas de dilatación transversales de la Av. Circunvalación tienen valor de eficiencia de transferencia de cargas entre el 71 y 100%, lo que indica que este porcentaje de losas se encuentra en estado aceptable.

El 28% de las juntas de dilatación transversales de la Av. Circunvalación tienen valor de eficiencia de transferencia de cargas entre el 60 y 70% lo que indica que este porcentaje de losas debería estar en estado de observación.

El 8% de las juntas de dilatación transversales de la Av. Circunvalación tienen valor de eficiencia de transferencia de cargas entre el 50 y 59% lo que indica que este porcentaje de losas deberían repararse.

El 9% de las juntas de dilatación transversales de la Av. Circunvalación tienen valor de eficiencia de transferencia de cargas entre el 50 y 59% lo que indica que este porcentaje de losas debería repararse

En el **Anexo E-3** y **Anexo E-4** Resultados de Eficiencia y Calidad de Juntas de Dilatación de este apartado también se muestran los resultados de calidad de cada uno de los carriles por separado del tramo estudiado.

4.6.1.1. Resultado Trafico promedio diario anual

Para el diseño de la Av. Circunvalación se ejecutó en 1999 el respectivo aforo vehicular para establecer y proyectar el TPDA correspondiente y usado en el diseño.

Si se realiza una proyección del TPDA para 2018 con datos obtenidos de la tesis de trabajo dirigido del diseño de la avenida circunvalación con el tráfico que se obtuvo en la actualidad se comparara ambos resultados para analizar si existe una sobrepoblación de vehículos de todo tipo en especial de vehículos pesados porque serian estos los que causan mayor impacto al pavimento rígido y junto con ello a la eficiencia de la transferencia en juntas.

Tabla 4. 14. Resultado tráfico promedio diario anual

Año	TPDA(Diseño Av. Circunvalación)	TPDA (Actual)
1998	1370057	-
2018	5758240	13275050

Fuente: Elaboración propia

Del resultado del estudio de tráfico se obtuvo que los valores del TPDA obtenido en la actualidad 2018, mediante el aforo vehicular supero las expectativas de proyección del diseño de la Av. Circunvalación y del estudio que se realizó aproximadamente en 1999.

4.6.1.2. Resultado Ejes Equivalentes

De igual manera con este componente de EE's se buscara cerciorar si existirá una sobrecarga de transito debido al aumento o crecimiento de vehículos tanto livianos, medianos y pesados, debido a lo observado se verifica que el tráfico sobrepasara el número de pasadas para el que fue diseñado.

Tabla 4. 15. Ejes equivalentes de la Avenida Circunvalación

AÑO	ESAL'S Obtenido con estudio de tráfico de 1997	ESAL'S Obtenido con estudio de tráfico de 2018
2037	24175300	86928711

Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto lo que se muestra en la tabla 4.15 indica que las repeticiones de cargas de tránsito vehicular supero la expectativa esperada con los datos que se obtuvo del diseño de esta importante avenida.

4.6.1.3. Descripción de fallas unidades de muestreo

Según el manual de PCI existe distintos tipo de fallas que ocurren en el hormigón y en este caso en el pavimento rígido por los fenómenos de cambios de temperatura, de humedad, por fatiga etc., este manual califica las fallas por niveles de severidad, según el estado en el que se encuentran las fallas.

Para la descripción del estudio en losas y juntas de dilatación transversales, solamente se tomaron en cuenta las fallas próximas a las juntas de dilatación y las que tienen que ver con la transferencia de cargas.

Las cuales se presentaron de la siguiente manera:

Tabla 4. 16. Tipo de fallas

Tipo de falla	Nº	Porcentaje
Grieta transversal inclinada	8	1,91%
Ninguna	283	67,70%
Grieta transversal y bache	1	0,24%
Fisura longitudinal	49	11,72%
Losa dividida	24	5,74%
Bache	5	1,20%
Grieta de esquina	9	2,15%
Despostillamiento	12	2,87%
Grieta transversal con bache incluido	1	0,24%
Levantamiento	1	0,24%
Fisura transversal	16	3,83%
Escalonamiento	9	2,15%

Fuente: Elaboración propia

El porcentaje más alto que se observa es de 67,70% en el cual se detalla que no existe ninguna falla, en algunas de estas losas aparentemente sanas, el sellado y abertura de las juntas transversales no es adecuado existe desgaste en el mismo relleno de material fino que perjudica el libre movimiento de las losas; además se verificó que en este tipo de losas existe lo que son fisuras transversales que dividen la misma en dos y que también está dañando el funcionamiento estructural del pavimento rígido.

Los diferentes tipos de fallas que se enlistan en la tabla 4.16 se presentan en las losas con distintos niveles de severidad: alto medio y bajo que de igual manera causan efectos negativos en el funcionamiento del pavimento rígido.

4.6.2. Análisis estadístico descriptivo e inferencial de las eficiencias de juntas de dilatación debido a transferencia de cargas entre losas adyacentes

Con el análisis descriptivo lograremos visualizar y describir la información de lo que no se ve a simple vista.

4.6.2.1. Análisis estadístico descriptivo

La estadística descriptiva permite organizar y presentar un conjunto de datos de manera que describan en forma precisa las variables analizadas haciendo rápida su lectura e interpretación.

Entre los sistemas para ordenar los datos se encuentran principalmente dos: a) Medidas de tendencia central, b) la distribución de frecuencias y c) la representación gráfica

4.6.2.1.1. Medidas de tendencia central y de dispersión

Las medidas de tendencia central son medidas estadísticas que pretenden resumir en un solo valor a un conjunto de valores. Representan un centro en torno al cual se encuentra ubicado el conjunto de los datos. Las medidas de tendencia central más utilizadas son: media, mediana y moda.

Las medidas de dispersión en cambio miden el grado de dispersión de los valores de la variable. Dicho en otros términos las medidas de dispersión pretenden evaluar en qué medida los datos difieren entre sí. De esta forma, ambos tipos de medidas usadas en conjunto permiten describir un conjunto de datos entregando información acerca de su posición y su dispersión.

En la siguiente tabla se detallará los valores de las medidas de tendencia central y de dispersión de los resultados de la eficiencia de juntas de dilatación obtenidos en general de la Av. Circunvalación:

Tabla 4. 17. Medidas de tendencia central de Eficiencias de Juntas de dilatación

Variable Eficiencia de Juntas	
N°	444
Media	73,64
Error de la media	0,850
Desviación Estándar	17,920
Coefficiente de variación	24,33
Mínimo	9,52
Máximo	100
Rango	90,48
Mediana	76,92
Moda	66,67
Asimetría	-0,85
Curtosis	0,70

Fuente: Elaboración Minitab

Los resultados obtenidos de las Eficiencias de Juntas de dilatación debido a transferencia de cargas entre losas adyacentes de la Avenida. Circunvalación presenta los valores que se muestran en la tabla 4.22; si se analiza el valor de la media muestral de 73,64%, este valor representa que en general el estado de las juntas de dilatación del pavimento rígido de este tramo es aceptable esto según la clasificación del IDU Colombia, de igual manera se debe tomar en cuenta los datos de valores extremos que se obtuvo y que afectarían la representatividad de este valor.

En cuanto a la moda, esta representa el valor de la eficiencia de juntas de dilatación que más se repite y que es de 66,67%, este valor indica que la mayoría de las losas y juntas de dilatación de pavimento rígido deben mantenerse en observación esto según el IDU de Colombia.

Si se analiza el valor de la mediana de los resultados de eficiencia de juntas de dilatación de 76,92% obtenido para este tramo de la avenida, según la tabla de calidad del IDU este valor es aceptable para las juntas de dilatación.

4.6.2.1.2. Distribución de frecuencias

Comúnmente llamada tabla de frecuencias, se utiliza para hacer la presentación de datos provenientes de las observaciones realizadas en el estudio, estableciendo un orden mediante la división en clases y registro de la cantidad de observaciones correspondientes a cada clase. Lo anterior facilita la realización de un mejor análisis e interpretación de las características que describen y que no son evidentes en el conjunto de datos brutos o sin procesar. Una distribución de frecuencias constituye una tabla en el ámbito de investigación. (Baray, 2011)

A continuación, se muestra las tablas de distribución de frecuencias elaboradas para el análisis de los resultados obtenidos:

Tabla 4. 18. Tabla de distribución de frecuencias

Intervalos de clase		Marca de clase	fi	Fi (Frecuencia acumulada)	%fi	Fi%
Límite Inferior	Límite Superior					
5	15	10	3	3	0,68%	0,68%
15	25	20	6	9	1,35%	2,03%
25	35	30	5	14	1,13%	3,15%
35	45	40	17	31	3,83%	6,98%
45	55	50	30	61	6,76%	13,74%
55	65	60	67	128	15,09%	28,83%
65	75	70	82	210	18,47%	47,30%
75	85	80	88	298	19,82%	67,12%
85	95	90	107	405	24,10%	91,22%
95	105	100	39	444	8,78%	100,00%

Total = 444

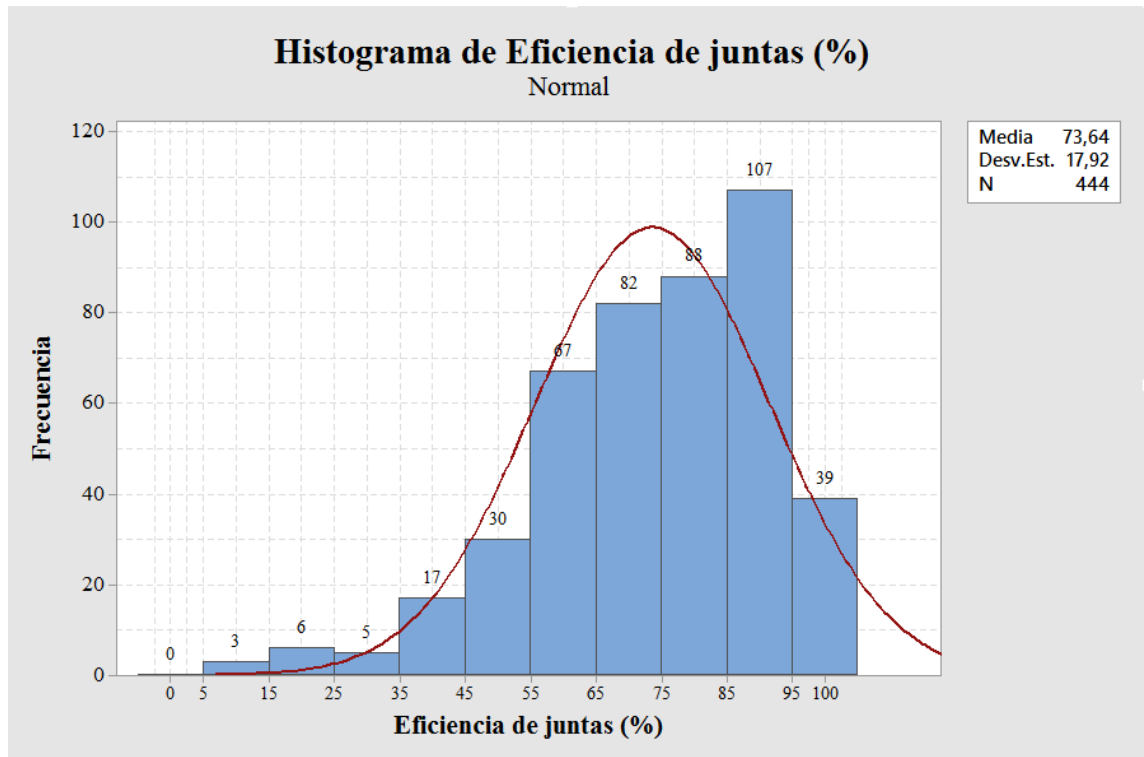
Fuente: Elaboración propia

4.6.2.1.3. Representación gráfica

Realizada la distribución de frecuencias se deriva a lucir los datos por medio de gráficas. La información puede describirse por medio de gráficos a fin de facilitar la lectura e interpretación de las variables medidas.

El programa computacional Minitab, diseñado para ejecutar funciones estadísticas básicas y avanzadas, permite obtener representaciones gráficas de diversos conjuntos de datos, a partir del manejo de este programa se muestra a continuación las representaciones graficas de los resultados obtenidos del estudio de la variable de eficiencia de juntas de dilatación de los tramos de la Av. Circunvalación.

Gráfico 4. 2. Histograma de distribución frecuencias



Fuente: Minitab 18

Con el gráfico 4.2 y algunos parámetros calculados anteriormente en el cual parámetros como ser la mediana>media, curtosis, y asimetría del estudio de resultados del análisis de eficiencia se verifica que los resultados obtenidos siguen un ajuste de distribución normal sesgada a la izquierda.

4.6.3. Prueba de hipótesis

Hipótesis alternativa (Hi): Al medir las deflexiones de juntas transversales cargadas y sin cargas de losas adyacentes de un pavimento rígido; se podrá analizar la eficiencia de las juntas de dilatación debido al incremento en la transmisión de cargas.

$$H_i; x > \mu$$

Hipótesis nula (H_0): Al medir las deflexiones de juntas transversales cargadas y sin cargas de losas adyacentes de un pavimento rígido; no se podrá analizar la eficiencia de las juntas de dilatación debido al incremento en la transmisión de cargas

$$H_0; x < \mu$$

Con el planteamiento de hipótesis se establece que la prueba es unilateral a la izquierda, con la cual un valor de 95% de confiabilidad y valor de z teórico que es igual a -1,64, aceptara o denegara dicha hipótesis.

La media muestral (\bar{x})=73,64%

Desviación estándar (σ)= 17,920

El valor esperado (μ)=85% Este valor se toma de la media de porcentajes de calidad aceptable (71 - 100%) de eficiencia de juntas de dilatación ya que un incremento de carga positivo debería resultar mínimamente este valor de eficiencia de juntas de dilatación

Calculo función pivotal (z):

Para $n > 30$

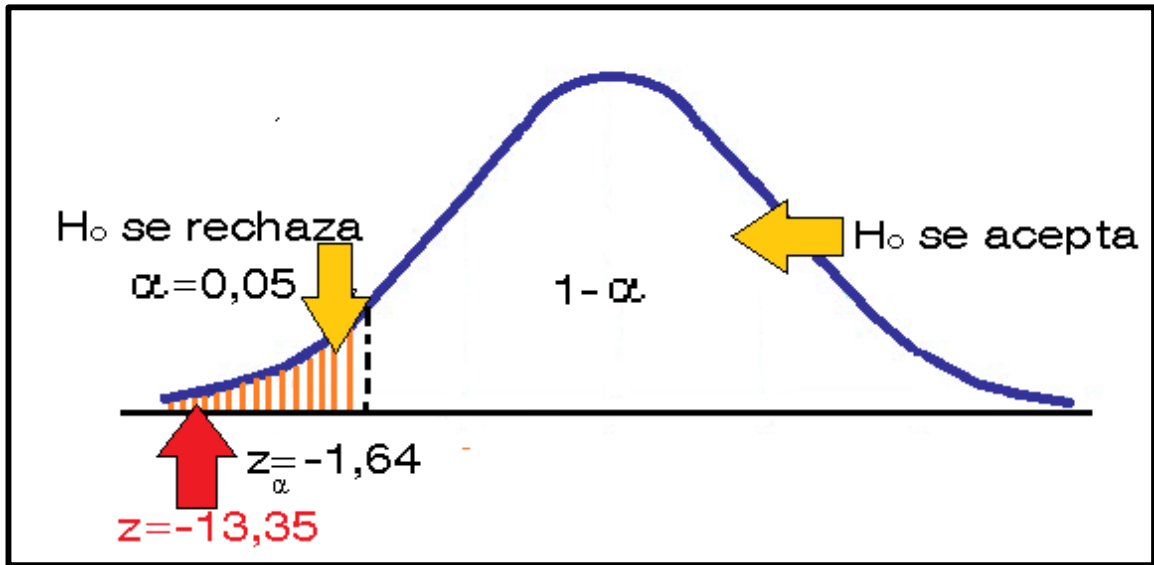
$$z = \frac{\bar{x} - \mu}{\frac{\sigma}{\sqrt{n}}}$$

$$z = \frac{73,64 - 85}{\frac{17,92}{\sqrt{444}}}$$

$$z = -13,35$$

Después de obtenido la función pivotal “ z ” se la ubicara en la gráfica de probabilidad de distribución muestral, que se observa en el grafico 4.3 para a partir de ahí tomar la decisión de aceptación o rechazo de la hipótesis nula.

Gráfico 4. 3. Comprobación de hipótesis nula



Fuente: Elaboración propia

Del gráfico anterior se demuestra que la hipótesis nula será rechazada ya que $z_{\alpha} > z$, por lo tanto la hipótesis de la investigación planteada tiene sentido de verdad.

4.7. VALIDACIÓN DE RESULTADOS

Para la validación de los resultados de eficiencia de juntas de dilatación debido a transferencia de cargas se procedió a medir dos puntos extras de muestreo en los que se comprobará si debido a la mala transferencia de carga se producen fallas en los pavimentos o si estas ocurren por otra situación externa a la ingeniería.

Estos puntos serán seleccionados de forma aleatoria uno cualquiera en que las losas parezcan en estado perfecto, el segundo punto considerando uno de los lugares que se ve de lo más afectado un punto crítico de información.

Punto de prueba N°1:

Punto crítico con fallas

Ubicado en progresiva 2+360 Km del carril izquierdo

Figura 4. 3. Croquis de ubicación



Fuente: Elaboración propia

Situación o estado del sitio a medir:

Este punto de comprobación fue definido después de haber realizado los ensayos de deflectometría y haber obtenido ciertos criterios sobre la transferencia de carga entre losas adyacentes.

Esta unidad de muestreo se encuentra ubicada entre la Calle Suipacha y Colón, es uno de los puntos más críticos del tramo en estudio ya que se observa fallas de alta severidad combinadas. Las fallas que se observan a simple vista son daño en las juntas de dilatación; desgaste del sellado gran apertura de la junta, además de presentar escalonamiento grieta transversal horizontal de gran apertura en la misma, la severidad de las fallas encontradas en la losa de pavimento es alta (H).

Figura 4. 4.Vista transversal de losa



Fuente: Elaboración propia

Figura 4. 5. Detalle de fallas




Fuente: Elaboración propia

Figura 4. 6. Detalle de fallas



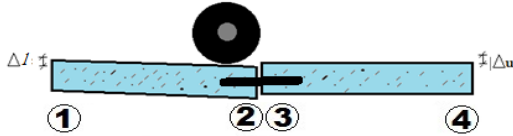
Fuente: Elaboración propia

Tabla 4. 19. Planilla de datos de sistema inicial de losas

Losas sin carga (Lectura altura hilo intermedio metros)			
			
①	②	③	④
1,4812	1,4924	1,4932	1,4817

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4. 20. Planilla de datos de sistema final de losas

Losas con carga (Lectura altura hilo intermedio metros)			
			
①'	②'	③'	④'
1,4816	1,4888	1,4919	1,4817

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4. 21. Planilla de deflexiones

Deflexiones (mm)	
$\Delta L = \textcircled{2} - \textcircled{2}'$	$\Delta U = \textcircled{3} - \textcircled{3}'$
$\Delta L = (1,4924 - 1,4877) * 1000 = 4,70$	$\Delta U = (1,4932 - 1,4925) * 1000 = 0,70$

Fuente: Elaboración propia

desgaste en el sellado el espaciamiento de abertura de juntas de dilatación oscila entre 5 a 10mm.

Figura 4. 8. Vista transversal de punto de muestreo



Fuente: Elaboración propia

Figura 4. 9. Detalle de juntas en losa



Fuente: Elaboración propia

Tabla 4. 22. Planilla de datos de sistema inicial de losas

Losas sin carga (Lectura altura hilo intermedio metros)			
①	②	③	④
1,5219	1,5226	1,5227	1,5333

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4. 23. Planilla de datos de sistema final de losas

Losas con carga (Lectura hilo Intermedio m)			
①'	②'	③'	④'
1,5219	1,5231	1,5230	1,5333

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4. 24. Planilla de deflexiones

Deflexiones (mm)	
$\Delta L = \textcircled{2} - \textcircled{2}'$	$\Delta U = \textcircled{3} - \textcircled{3}'$
$\Delta L = (1,5231 - 1,5226) * 1000 = 0,5$	$\Delta U = (1,5230 - 1,5227) * 1000 = 0,3$

Fuente: Elaboración propia

Determinación de eficiencias:

$$E(\%) = \left(\frac{2 * 0,3}{0,3 + 0,5} \right) * 100$$

$$E = 75\%$$

Según el IDU la calidad de la junta de dilatación transversal es aceptable.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

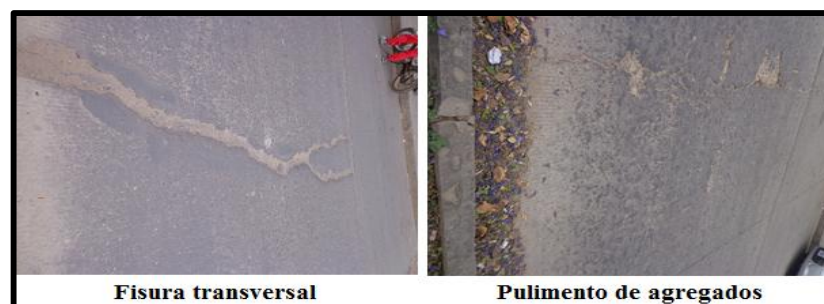
5.1. CONCLUSIONES

- El trabajo de investigación realizado determina que si bien los factores que se mencionan en la teoría rescatada de la bibliografía como ser la trabazón de agregados, la calidad de las bases o subbases y los pasadores que se plantean como un sistema de transferencia de carga contribuyen a mejorar la eficiencia de juntas de dilatación debido a transmisión de cargas entre losas adyacentes de un pavimento rígido.

También existen otros aspectos constructivos o la aparición de fallas a temprana edad de losas, que no tienen que ver con la transferencia de cargas en las mismas y son producto de otro tipo de efectos físicos y climáticos que ocurren en el hormigón, provocan el malogrado funcionamiento estructural que luego deriva en la manifestación de problemas de transferencia de cargas.

- Del recorrido visual se constituyó la ubicación de las unidades de muestreo planteadas en el diseño metodológico del presente trabajo, teniendo en cuenta la existencia de unidades en las que mediciones de deflectometría se problematizaban por aspectos imprevistos como el tráfico exagerado en algunas intersecciones y la falta de visibilidad para realizarlas en horarios nocturnos, se descartó puntos de medición reduciendo así la muestra inicial calculada.
- Se identificó la existencia de numerosas fallas de distintas severidades, a lo largo de ambos carriles del tramo de la Av. Circunvalación, algunas de ellas no están relacionadas con la transferencia de cargas entre losas adyacentes y no se encuentran en cercanía de las juntas de dilatación transversales.

Figura 5. 1. Diversidad de fallas



Fuente: Elaboración propia

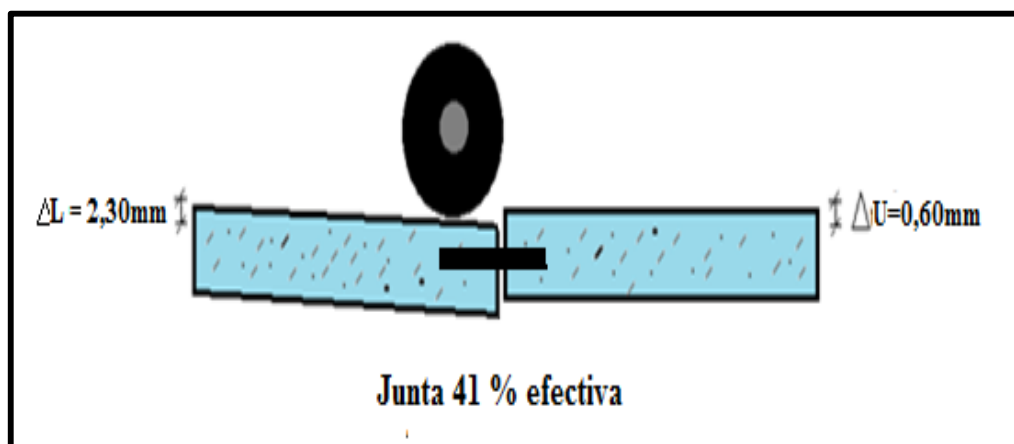
Figura 5. 2. Diversidad de fallas



Fuente: Elaboración propia

- De las mediciones de deflectometría, los valores de deflexiones del lado cargado y no cargado de las juntas varía desde 0,20 a 10mm, en la mayoría de los puntos estudiados no son iguales lo que implica que cuando se aplica o circulan cargas vehiculares sobre las losas de pavimento rígido la transferencia de carga es ineficiente, y no cumple lo que indica la teoría que una correcta transferencia de cargas debería repartir las deflexiones o deformaciones debido a cargas vehiculares en partes iguales cuando esta carga pasa de una losa a la siguiente.

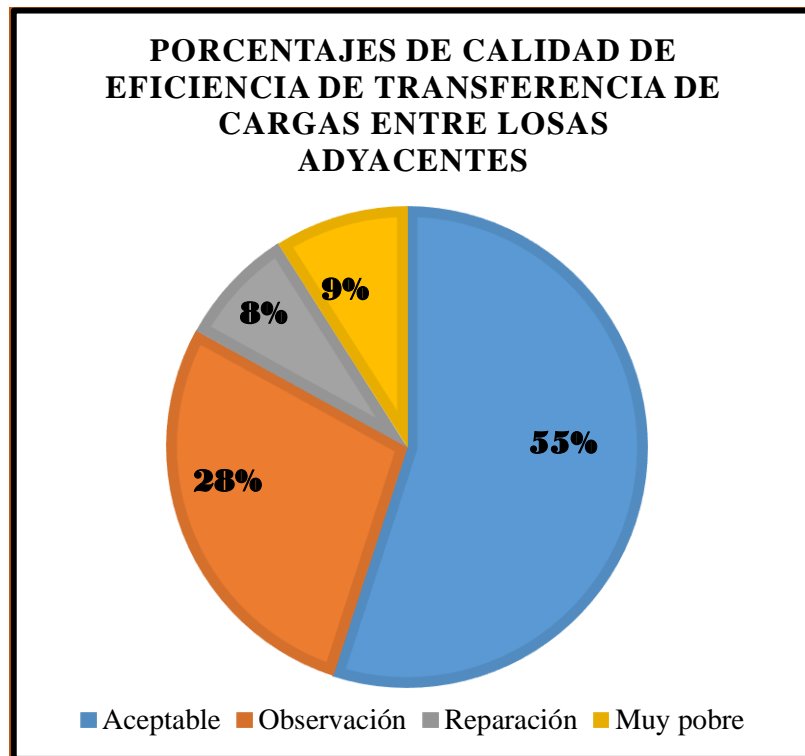
Figura 5. 3. Ejemplo deflexiones unidad de muestreo N°198 carril derecho Av. Circunvalación



Fuente: Elaboración propia

- De la determinación de las eficiencias de juntas de dilatación transversales debido a transferencia de cargas se obtuvo según la clasificación del IDU Colombia que el 55% de las juntas de la Av. Circunvalación se encuentra en estado aceptable; y el resto debería ser subsanado, un 28% de losas es clasificado en estado de observación, el 8% que deberían repararse, y el 9% de las juntas de dilatación transversales se encuentran en un estado muy pobre de transferencia.

Figura 5. 4. Porcentajes de Calidad de eficiencia de transferencia de cargas entre losas adyacentes



Fuente: Elaboración propia

- En cuanto a los valores más críticos de eficiencia de juntas de dilatación obtenidos del 10 al 49%, el tipo de fallas predominantes son grietas de esquina, grietas longitudinales y grietas transversales en los extremos de los pasadores además de las aberturas de gran espesor que existen en las juntas de dilatación transversal estas surgen a causa de la no existencia de barras de transferencia en esquinas de losas por lo que las deflexiones tienden a ser intensas, la mala disposición de los

pasajuntas y el posible movimiento de estos dispositivos al momento de ejecutarse el hormigonado.

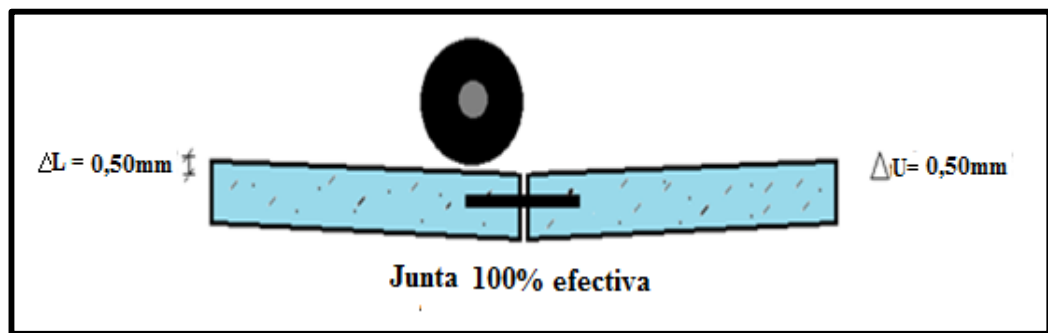
Figura 5. 5. Diferentes tipos de fallas que se presentan en juntas de dilatación del tramo estudiado



Fuente: Elaboración propia

- La eficiencia en la transferencia de carga del 100% obtenida en algunas unidades de muestreo del presente trabajo indica que la deflexión de la losa sin carga es igual que para la losa cargada; esto sucede debido a que los pasadores transfieren la misma cantidad de carga a la losa contigua de manera que se cumple el objetivo del pavimento rígido para que este funcione de manera estructuralmente continua.

Figura 5. 6. Ejemplo deflexiones unidad de muestreo N°67 carril izquierdo Av. Circunvalación



Fuente: Elaboración propia

- Sobre los datos de volúmenes de tráfico obtenidos se evidencia que el paso de vehículos de alto tonelaje es un 2 a 3% del número total de vehículos, aunque mínimo de igual manera es un dato significativo que interviene en la repetición de cargas de tránsito que atraviesa diariamente el sitio estudiado y que genera de igual forma un desgaste y en ocasiones fatiga al pavimento rígido.

Figura 5. 7. Tráfico vehicular



Fuente: Elaboración propia

Figura 5. 8. Tráfico vehicular pesado



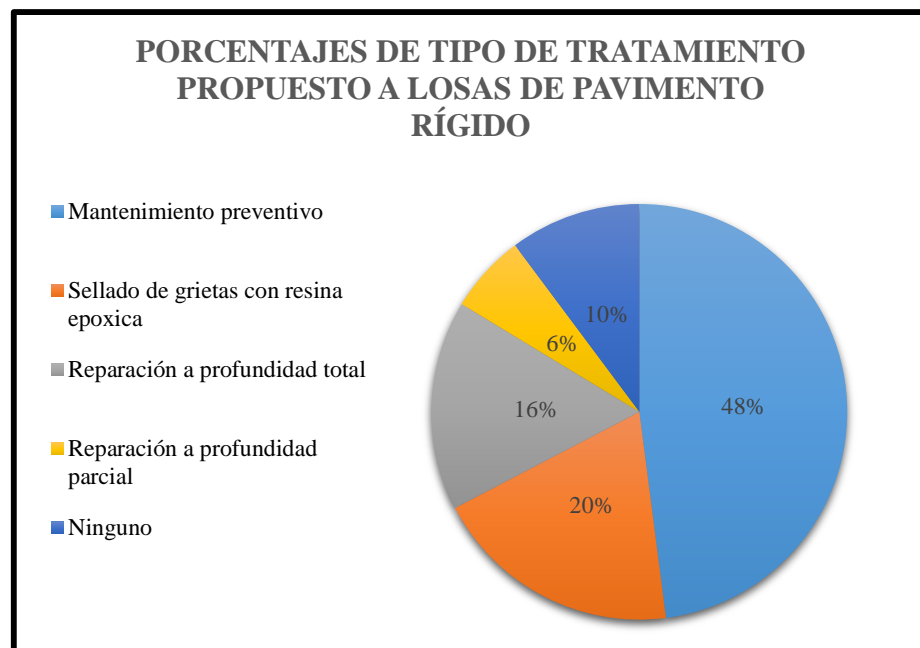
Fuente: Elaboración propia

- Las zonas en las que se observaron mayores y más severas fallas es en las intersecciones con los accesos a esta avenida, lo que supone que el tiempo en que

los vehículos esperan el cambio de color en semáforos y las largas colas que deben avanzar lentamente afectan el comportamiento estructural de las losas de pavimento rígido como también en zonas de estructuras de drenaje contiguas a las losas de pavimento rígido.

- Con los resultados obtenidos se propone para cada caso de fallas de losas que influyen en la eficiencia de juntas de dilatación una alternativa de solución al tramo estudiado, el resumen general del mismo contempla que se realice un mantenimiento preventivo de juntas al 47% de losas; sellado de grietas con resina epóxica al 19 %; reparación a profundidad total al 16% , reparación a profundidad parcial al 6% y ningún tratamiento al 10% de losas que se encuentran en buen estado.

Figura 5. 9. Tipo de tratamiento propuesto



Fuente: Elaboración propia

5.2. RECOMENDACIONES

- Realizar el relevamiento topográfico en un banco de puntos para la ubicación geográfica exacta de las unidades de muestreo de losas.
- Crear un sistema eficaz y confiable para la medición precisa de las deflexiones ya que al no contarse con un equipo de alta tecnología en nuestro medio pueden existir errores en la medición.
- Lecturación y medición lo más exacta posible de los hilos medios en cada uno de los puntos para obtener una precisión favorable para la obtención de las deflexiones.
- Realizar la inspección visual adecuada del sitio de trabajo antes de realizar las mediciones para así tener idea de los pasos a seguir en los ensayos.
- Si es posible el uso de aparatos de deflectometría más precisos para la medición de deformaciones sería muy práctico el uso del mismo para generar mayor confiabilidad en el proceso de recopilación de datos
- Para las fallas observadas es necesario tomar una labor en la que se pueda revertir o mejorar las condiciones que perjudican el tránsito libre y seguro de esta vía tan importante de circulación.
- La transferencia de carga se ve afectada principalmente por las barras, que se desalinean, se sueltan o quedan fuera de su sitio en el momento del vaciado del concreto, por lo que se recomienda tener un especial cuidado al momento de la construcción de los pavimentos rígidos
- Para la restitución de la transferencia de carga, evitar futuros escalonamientos, reducir las deflexiones bajo las losas, reducir los esfuerzos y aumentar la vida útil del pavimento, se recomienda optar por un mantenimiento correctivo en tan importante vía de circulación.