



UNIVERSIDAD  
PRIVADA  
DEL NORTE

# FACULTAD DE INGENIERÍA

---

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

“ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DE LAS VARIABLES DE DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS DEL MÉTODO DE LA ASOCIACIÓN DEL CEMENTO PORTLAND EN EL DISTRITO DE CAJAMARCA”

Tesis para optar el título profesional de:

**Ingeniero Civil**

**Autor:**

Miguel Angel Godoy Silva

**Asesor:**

Ing. Alejandro Cubas Becerra

Cajamarca – Perú

2014

## APROBACIÓN DE LA TESIS

El asesor y los miembros del jurado evaluador asignados, **APRUEBAN** la tesis desarrollada por el Bachiller **Miguel Angel Godoy Silva**, denominada:

**“ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DE LAS VARIABLES DE DISEÑO DE  
PAVIMENTOS RÍGIDOS DEL MÉTODO DE LA ASOCIACIÓN DEL CEMENTO  
PORTLAND EN EL DISTRITO DE CAJAMARCA”.**

---

Ing. Alejandro Cubas Becerra  
**ASESOR**

---

Dr. Cs. Ing. Orlando Aguilar Aliaga  
**JURADO**  
PRESIDENTE

---

Ing. Manuel Rafael Urteaga Toro  
**JURADO**

---

Ing. Sergio Huamán Sangay  
**JURADO**

## DEDICATORIA

A Dios, quien me guía con su luz y verdad, y está presente en todos los pasos de mi vida.

Con gran respeto y admiración a mi padre, Miguel, que con sus enseñanzas, consejos y ejemplos me han dado un modelo de persona a seguir, gracias por enseñarme a que no todo es fácil en la vida y todo se consigue a través de lucha y esfuerzo.

A mi madre Iris Yaniré, por estar siempre presente con ese amor incomparable, sabios consejos, abnegada labor, apoyo incondicional. Por enseñarme a diferenciar las cosas buenas y malas de la vida y a valorar todo lo que se logra en la vida.

A mis queridas hermanas Nayarit, Nayeli y Naydelin, por estar siempre conmigo brindándome su apoyo y su preocupación constante en mi superación tanto como persona así como profesional.

## AGRADECIMIENTO

En forma muy especial agradezco a Dios, a mis padres, hermanos y familiares; por estar siempre presentes, por ese cariño y apoyo incondicional en todo momento

Expreso mi más sincero agradecimiento al asesor de esta tesis, Ingeniero Alejandro Cubas Becerra, profesional que con su amplia experiencia y conocimientos en este tema, me brindó su apoyo y orientación para la culminación de ésta tesis.

A las personas que me han ayudado de una u otra forma y desinteresadamente para llevar a buen punto final esta tesis, en especial a mi muy querido y estimado amigo de toda la vida Víctor Manuel Álvarez Villanueva.

A todos muchas gracias, pues en el momento en que las palabras no son suficientes para expresar lo que el alma desea, simplemente queda decir aquello que por su significado extenso y sin límites es, GRACIAS.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

|   |            |
|---|------------|
| <b>APROBACIÓN DE LA TESIS</b> .....                         | <b>ii</b>  |
| <b>DEDICATORIA</b> .....                                    | <b>iii</b> |
| <b>AGRADECIMIENTO</b> .....                                 | <b>iv</b>  |
| <b>ÍNDICE DE CONTENIDOS</b> .....                           | <b>v</b>   |
| <b>ÍNDICE DE CUADROS Y TABLAS</b> .....                     | <b>vii</b> |
| <b>ÍNDICE DE GRÁFICOS</b> .....                             | <b>ix</b>  |
| <b>RESUMEN</b> .....  | <b>x</b>   |
| <b>ABSTRACT</b> .....                                       | <b>xi</b>  |
| <b>CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN</b> .....                       | <b>12</b>  |
| 1.1. Realidad problemática.....                             | 12         |
| 1.2. Formulación del problema.....                          | 13         |
| 1.3. Justificación.....                                     | 13         |
| 1.4. Limitaciones.....                                      | 14         |
| 1.5. Objetivos.....   | 14         |
| 1.5.1. <i>Objetivo General</i> .....                        | 14         |
| 1.5.2. <i>Objetivos Específicos</i> .....                   | 14         |
| <b>CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO</b> .....                      | <b>15</b>  |
| 2.1. Antecedentes.....                                      | 15         |
| 2.2. Bases Teóricas.....                                    | 17         |
| 2.3. Definición de términos básicos.....                    | 24         |
| <b>CAPÍTULO 3. HIPÓTESIS</b> .....                          | <b>27</b>  |
| 3.1. Formulación de la hipótesis.....                       | 27         |
| 3.2. Operacionalización de variables.....                   | 27         |
| <b>CAPÍTULO 4. PRODUCTO DE APLICACIÓN PROFESIONAL</b> ..... | <b>29</b>  |
| <b>CAPÍTULO 5. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....               | <b>30</b>  |
| 5.1. Tipo de diseño de investigación.....                   | 30         |
| 5.2. Material de estudio.....                               | 30         |
| 5.2.1. <i>Unidad de estudio</i> .....                       | 30         |
| 5.2.2. <i>Población</i> .....                               | 30         |
| 5.2.3. <i>Muestra</i> .....                                 | 30         |
| 5.3. Técnicas, procedimientos e instrumentos.....           | 30         |
| 5.3.1. <i>Para recolectar datos</i> .....                   | 30         |
| 5.3.2. <i>Para analizar información</i> .....               | 31         |

|                                    |           |
|------------------------------------|-----------|
| <b>CAPÍTULO 6. RESULTADOS.....</b> | <b>32</b> |
| <b>CAPÍTULO 7. DISCUSIÓN .....</b> | <b>40</b> |
| <b>CONCLUSIONES .....</b>          | <b>46</b> |
| <b>RECOMENDACIONES .....</b>       | <b>47</b> |
| <b>REFERENCIAS .....</b>           | <b>48</b> |
| <b>ANEXOS .....</b>                | <b>49</b> |

## ÍNDICE DE CUADROS

|                    |    |
|--------------------|----|
| CUADRO N° 01 ..... | 23 |
| CUADRO N° 02 ..... | 32 |
| CUADRO N° 03 ..... | 36 |
| CUADRO N° 04 ..... | 50 |
| CUADRO N° 05 ..... | 51 |
| CUADRO N° 06 ..... | 51 |
| CUADRO N° 07 ..... | 52 |
| CUADRO N° 08 ..... | 52 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|                  |     |
|------------------|-----|
| TABLA N° 01..... | 54  |
| TABLA N° 02..... | 55  |
| TABLA N° 03..... | 55  |
| TABLA N° 04..... | 55  |
| TABLA N° 05..... | 56  |
| TABLA N° 06..... | 56  |
| TABLA N° 07..... | 57  |
| TABLA N° 08..... | 57  |
| TABLA N° 09..... | 58  |
| TABLA N° 10..... | 59  |
| TABLA N° 11..... | 60  |
| TABLA N° 12..... | 145 |

|                  |     |
|------------------|-----|
| TABLA N° 13..... | 146 |
| TABLA N° 14..... | 146 |
| TABLA N° 15..... | 146 |
| TABLA N° 16..... | 148 |
| TABLA N° 17..... | 153 |
| TABLA N° 18..... | 154 |
| TABLA N° 19..... | 155 |
| TABLA N° 20..... | 155 |
| TABLA N° 21..... | 156 |
| TABLA N° 22..... | 161 |
| TABLA N° 23..... | 162 |
| TABLA N° 24..... | 163 |
| TABLA N° 25..... | 163 |
| TABLA N° 26..... | 164 |
| TABLA N° 27..... | 169 |
| TABLA N° 28..... | 170 |
| TABLA N° 29..... | 171 |
| TABLA N° 30..... | 171 |
| TABLA N° 31..... | 172 |



## ÍNDICE DE GRÁFICOS

|                     |    |
|---------------------|----|
| GRÁFICO N° 01 ..... | 19 |
| GRÁFICO N° 02 ..... | 33 |
| GRÁFICO N° 03 ..... | 33 |
| GRÁFICO N° 04 ..... | 34 |
| GRÁFICO N° 05 ..... | 35 |
| GRÁFICO N° 06 ..... | 37 |
| GRÁFICO N° 07 ..... | 37 |
| GRÁFICO N° 08 ..... | 38 |
| GRÁFICO N° 09 ..... | 39 |
| GRÁFICO N° 10 ..... | 42 |
| GRÁFICO N° 11 ..... | 45 |

## RESUMEN

En el presente trabajo se realizó el análisis de sensibilidad de tres variables que intervienen en el diseño de pavimentos rígidos por el método de la Asociación del Cemento Portland (PCA). Las tres variables consideradas son las siguientes: resistencia a compresión del concreto ( $f'c$ ), el C.B.R. y el tráfico. Para realizar dicho análisis se han realizado 45 diseños, haciendo variar una variable y manteniendo constantes las otras dos; esto se hizo con la ayuda de una hoja de cálculo de elaboración propia. A la vez se han ejecutado los gráficos correspondientes que nos permitan evaluar la variable con mayor incidencia llegando a constatar que dicha variable correspondía a la resistencia a compresión del concreto ( $f'c$ ), a partir de aquí podemos indicar que nuestra hipótesis planteada fue correcta.

## ABSTRACT

In this study the sensitivity analysis three variable involved in the design of rigid pavements by the method of the Portland Cement Association was held. The three variables considered are: compressive strength of concrete ( $f'c$ ), the CBR and traffic. To perform this analysis 45 designs were made by varying one variable and holding constant the other two; this was done with the help of a spreadsheet homemade. While you have performed the corresponding graphs that allow us to evaluate the variable with the greatest influence coming to the conclusion that the variable corresponding to the compressive strength of concrete ( $f'c$ ), from here we can show that our hypothesis was correct.

## CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad problemática

Según Cornejo & Velásquez, 2009; “La historia de las modernas técnicas de construcción de caminos tiene sus inicios alrededor de 1850, con Tressaguet en Francia y John Metcalfe en el Reino Unido, quienes desarrollaron un método de construcción con base en la colocación de piedras largas, limitadas por piedras de tamaño progresivamente más pequeño. A nivel mundial el concreto se ha vuelto fundamental en la pavimentación de carreteras, caminos y calles; en las últimas décadas este material ofrece varias ventajas sobre los pavimentos asfálticos que ya se empiezan a considerar de forma universal como la solución en pavimentación.

Los beneficios de los pavimentos de concreto no se contemplan sólo desde el punto de vista técnico, sino también del económico y del ecológico o sustentable. En los últimos 15 años, la tecnología de los pavimentos de concreto hidráulico han experimentado enormes avances, llegando así a desplazar a los pavimentos asfálticos en carreteras, caminos y calles de los países más desarrollados del mundo como son Estados Unidos de Norteamérica, Alemania, España, Bélgica y Austria, entre otros.

El concreto para la pavimentación de carreteras, caminos y calles posee algunas ventajas sobre la pavimentación asfáltica tales como: una larga vida en diferentes condiciones climáticas; el costo de mantenimiento es menor; el proceso constructivo de un pavimento rígido con concreto hidráulico es fácil de realizar; utiliza equipos sencillos y de bajo consumo de energía o combustible; el pavimento de concreto posee una superficie estable y antideslizante. Además tiene una gran resistencia a agentes externos agresivos. Destaca también por tener cualidades reflectantes, lo que mejora la visibilidad nocturna de los conductores”.

En nuestro país y en la mayoría de países latinoamericanos, el diseño de las estructuras de pavimentos rígidos es realizado utilizando las recomendaciones establecidas en la Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimento AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) edición de 1993, la cual corresponde a una metodología empírica, que tiene sus fundamentos

principalmente en la prueba AASHO Road Test (American Association of State Highway Officials), desarrollada en la década de 1960. Sin embargo, existen otros métodos de diseño para estructuras de pavimento rígido que no han sido muy utilizados, tal como el desarrollado por la Asociación del Cemento Portland (PCA) edición 1984.

Se conoce que en la región así como en ciudad de Cajamarca se está dando un amplio crecimiento tanto económico como urbano, razón por la cual existen diversos proyectos de pavimentación. Sin embargo se ha podido notar que los diseños adolecen en muchos casos de datos confiables. Por lo tanto, es de vital importancia realizar un análisis de sensibilidad de las variables más incidentes según metodología de la Asociación del Cemento Portland, con la finalidad de que los datos correspondientes a las variables más incidentes, sean lo más confiables posibles.

## **1.2. Formulación del problema**

¿Cuál es la variable de diseño más incidente en la determinación del espesor de la losa de concreto en el método de diseño de la Asociación del Cemento Portland para estructuras de pavimento rígido?

## **1.3. Justificación**

En nuestro país, el diseño de las estructuras de pavimentos rígidos es realizado utilizando las recomendaciones establecidas en la Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimento AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) edición de 1993; sin embargo, existen otros métodos de diseño para estructuras de pavimento rígido que no han sido muy utilizados, tal como el desarrollado por la Asociación de Cemento Portland (PCA) edición 1984.

El presente trabajo de investigación se realiza para medir la sensibilidad de las variables de diseño  $f'c$ , C.B.R. y el Tráfico, del método de diseño de pavimento de la Asociación de Cemento Portland (PCA), y así poder diferenciar cuál de estas variables de diseño es más incidente para determinar el espesor de la losa de concreto.

## 1.4. Limitaciones

Limitaciones externas:

- Para el desarrollo de la presente investigación no se han tenido limitaciones.

## 1.5. Objetivos

### 1.5.1. Objetivo General

- Analizar la sensibilidad de las variables de diseño de pavimentos rígidos del Método de la Asociación del Cemento Portland en el distrito de Cajamarca.

### 1.5.2. Objetivos Específicos

- Diseñar de pavimentos rígidos con diferentes valores de las variables en estudio.
- Determinar la variable más sensible en el cálculo del espesor de la losa de concreto, según el método de diseño de la Asociación del Cemento Portland.

## CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes

- (Cornejo & Velásquez, 2009) “Análisis comparativo entre métodos de diseño de estructuras de pavimento rígido”; Trabajo de graduación para optar al grado de ingeniero civil, Universidad Centroamericana José Simeón Cañas, el Salvador 2006.

La investigación realizada en el trabajo citado tuvo por objeto realizar un análisis comparativo entre los métodos de diseño generalmente utilizados para la determinación del espesor de losa de concreto de la estructura de un pavimento rígido con el análisis de sensibilidad de sus variables de diseño.

Con base en los resultados obtenidos del análisis de sensibilidad del módulo de ruptura del concreto en el espesor de losa, puede considerarse que para valores mayores a  $42 \text{ kg/cm}^2$  se obtiene espesores menores utilizando la metodología AASHTO edición 1993, y utilizando la metodología de la PCA edición 1984, dichos espesores se mantienen constantes. En este último caso, no obstante el incremento en el módulo no conlleva una mayor capacidad estructural del pavimento; en el diseño y construcción de las losas de concreto se recomienda valores de módulo de ruptura no menores a  $45 \text{ kg/cm}^2$ .

- (Thenoux, y otros, 2006) “Análisis de Sensibilidad de Parámetros del Modelo HDM-4 y Actualización de Metodología para la Determinación del Estado de Caminos Pavimentados” Es una investigación en la cual, por medio de programas computacionales, hicieron el análisis de sensibilidad de los datos de entrada los cuales son las variables de diseño.

El principal objetivo del presente estudio fue realizar un análisis de sensibilidad a los datos de entrada y parámetros de calibración incluidos en los modelos de deterioro, de seguridad en caminos y emisiones de HDM-4.

La metodología presentada en este proyecto, cumple con el objetivo principal, ya que permite determinar el estado de los pavimentos y de las bermas de una manera fundamentada, clara y sencilla adecuada para las características del lugar donde será aplicada y no requiere de cantidades significativas de recursos económicos para su desarrollo. Además de lo anterior, la metodología se considera adecuadamente fundamentada, ya que los resultados obtenidos de aplicación al caso chileno muestran que las características asociadas al análisis de regresión, correlación y significancia; aseguran una adecuada confiabilidad y representatividad para aplicar esta metodología en la determinación del estado tanto de los pavimentos como de las bermas.

- (COREA Y ASOCIADOS SA, CORASCO, 2008) “Manual para la revisión de diseños de pavimentos” es uno de los resultados del Estudio “Realización de Manuales Técnicos para la Revisión y Aprobación de Estudios y Diseños de Carreteras”

El Diseño de Pavimentos tiene por finalidad analizar y cuantificar los factores presentes o futuros en una carretera sean internos o externos a la misma, para establecer los parámetros y características de un pavimento eficaz y eficiente. Los factores externos representan variables relacionadas con los volúmenes y composición del tránsito, los materiales de construcción, condiciones climáticas. Los factores internos están representados por la calidad de la sub rasante, los materiales existentes en la vía y de los terrenos atravesados o afectados por las obras. Un diseño de pavimentos se compone de varias fases empezando por las investigaciones de la subrasante, la calidad de los materiales de construcción y bancos, ensayos de laboratorio, escogencia del método de diseño, evaluación del diseño más conveniente y la elaboración de un informe final donde debe consignarse las conclusiones y recomendaciones.

Uno de los objetivos del manual es proporcionar información de forma conceptual, los criterios de diseños más conocidos e instrucciones técnicas para la realización de las actividades de revisión de un estudio de diseño



de los espesores de pavimento.

- (MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES - PERÚ, 2013)“MANUAL DE CARRETERAS: SUELOS, GEOLOGÍA, GEOTECNIA Y PAVIMENTOS” El Ministerio de Transportes y Comunicaciones en su calidad de órgano rector a nivel nacional en materia de transporte y tránsito terrestre, es la autoridad competente para dictar las normas correspondientes a la gestión de la infraestructura vial y fiscalizar su cumplimiento.

Esta primera versión del Manual de “Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos” en su Sección Suelos y Pavimentos, tiene por finalidad de proporcionar a los Ingenieros, criterios homogéneos en materia de suelos y pavimentos que faciliten la aplicación en el diseño de las capas superiores y de la superficie de rodadura en carreteras no pavimentadas y pavimentadas, dotándolas de estabilidad estructural para lograr su mejor desempeño posible en términos de eficiencia técnico – económica en beneficio de la sociedad en su conjunto.

## 2.2. Bases Teóricas

Según Cornejo & Velásquez, 2009, el método de diseño de la PCA considera el criterio del esfuerzo de fatiga, el cual reconoce que el pavimento pueda fallar debido a excesivas repeticiones de carga, a continuación se indican los principales aspectos relacionados con cada uno de los criterios de falla antes referidos.

### - **Fatiga.**

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

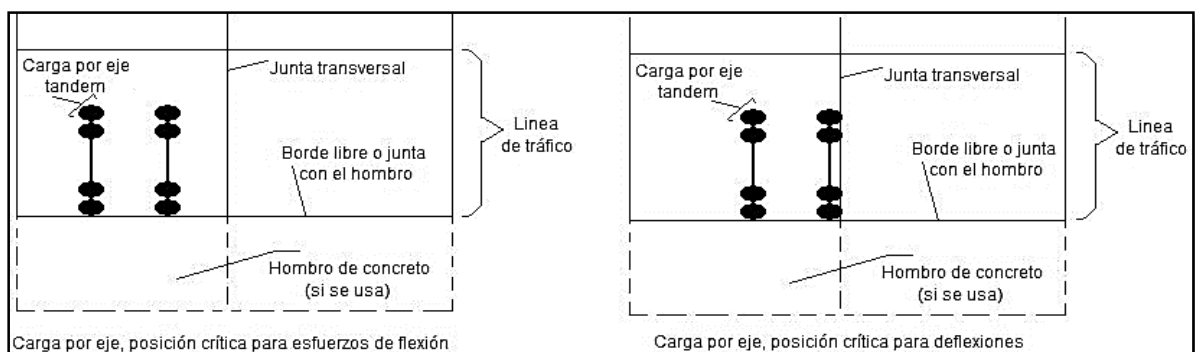
La fatiga se cuantifica en términos de porcentaje de absorción, se recomienda optimizar el diseño obteniendo valores entre el 80% y 120%, ya que si se tienen valores menores o mayores a dichos porcentajes, se estaría determinando una estructura sobredimensionada.

Asimismo, algunos aspectos de diseño, adicionales a la determinación del espesor, tomados en cuenta por el método de diseño de la PCA, para asegurar el funcionamiento y la vida de los pavimentos de concreto, se mencionan a continuación:

- Soporte razonablemente uniforme.
- Prevención de bombeo en subbase relativamente delgada no tratada o tratada con cemento, en proyectos donde el tráfico pesado esperado sea lo suficientemente grande, causando bombeo.
- Uso de un diseño de junta que proporcionará adecuada transferencia de carga; que permita el uso de selladores en las juntas de ser requeridos para la efectividad de las mismas.
- Uso de un diseño de mezclas de concreto y agregados que proveerán concreto de calidad con la resistencia y durabilidad necesaria para una larga vida bajo, las condiciones de exposición actuales.

Para los pavimentos con juntas, la PCA determinó las posiciones críticas de las cargas por eje, las cuales se muestran en el siguiente gráfico.

**Gráfico 01.** Posiciones críticas de carga por eje.



De acuerdo a lo indicado en el manual de diseño de la PCA, las deflexiones críticas en el pavimento ocurren en las esquinas de la losa de concreto, donde la carga del eje está posicionada en la junta, con las llantas en o muy cerca de la esquina. Cabe indicar que al proporcionar apoyo lateral al pavimento (hombro), se reducen considerablemente las deflexiones en la esquina. La ubicación de las cargas de las llantas del tráfico pesado en la parte externa del borde del pavimento crea condiciones más severas que cualquier otra posición de carga; al mover hacia dentro la posición de las llantas, unas pocas pulgadas desde el borde, los efectos decrecen substancialmente.

Según Cornejo & Velásquez, 2009, el diseño de espesores de la losa de pavimentos rígidos se realiza basándose principalmente en siete factores:

### **1. Resistencia a la flexión del concreto**

La resistencia a la flexión es una medida de la resistencia a la tracción del concreto. Se obtiene mediante la aplicación de cargas a vigas de concreto de 6 pulgadas x 6 pulgadas (150 mm x 150 mm) de sección transversal y un claro de al menos tres veces el espesor; la resistencia a la flexión se expresa como el módulo de ruptura y es determinada mediante el método de ensayo ASTM C78 (cargada en el tercio central).

La consideración de la resistencia a la flexión del concreto se aplica en el procedimiento de diseño para el criterio de fatiga, la cual controla el agrietamiento del pavimento sujeto a cargas repetitivas de tráfico pesado.

### **2. Soporte de la subbase y de la subrasante**

El soporte de la subbase y de la subrasante se define en términos del módulo de reacción de la subrasante (K), el cual corresponde a la carga aplicada (libras) en un área (pulgada<sup>2</sup>) cargada (un plato de 30 pulgadas de diámetro) dividida entre la deflexión producida ante dicha carga (pulgadas).

Cuando se utiliza una subbase se tiene un incremento en el valor k, el cual debe ser usado en el diseño del espesor, ver tabla N° 02.

### 3. Periodo de diseño

En la publicación de la PCA, el término periodo de diseño es usado en lugar del término vida del pavimento. El término periodo de diseño es algunas veces considerado como sinónimo del término periodo de análisis de tráfico. El periodo de diseño seleccionado interviene en el diseño del espesor, ya que determina la cantidad de años que el pavimento debe funcionar desempeñándose adecuadamente, y por lo tanto determina también, la cantidad de tráfico pesado que debe soportar el pavimento.

### 4. Tráfico

El número y pesos de cargas por ejes pesados esperados durante el periodo de diseño, son factores importantes en el diseño de espesores de pavimentos de concreto. Estos se derivan de estimados de las siguientes cargas de tráfico: ADT (tráfico promedio diario en ambas direcciones, todos los vehículos, "Average Daily Traffic"); ADTT (tráfico pesado promedio diario en ambas direcciones, "Average Daily Truck Traffic") y de cargas por ejes de tráfico pesado.

La información referente al tráfico es empleada para determinar el número de repeticiones esperadas de cada tipo de eje durante todo el periodo de diseño. Para poder conocer estos valores tendremos que conocer varios factores referentes al tránsito, como lo son el tránsito promedio diario anual (TPDA), el porcentaje que representa cada tipo de eje en el TPDA, el factor de crecimiento del tráfico, el factor de sentido, el factor de carril y el periodo de diseño, los cuales se muestran en la ecuación 01.

$$Re = TPDA \times \% \text{Tipo de eje} \times F_{\text{direccional}} \times F_{\text{distribución Carril}} \times F_{\text{Crecimiento Anual}} \times 365 \quad \text{(Ecuación 01)}$$

El método de diseño de la PCA recomienda considerar únicamente el tráfico pesado, es decir que se desprece todo el tráfico ligero como automóviles y pick-ups.

## 5. Factores de seguridad para las cargas.

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

- Para vías interestatales y otros proyectos multicarril, donde se espera un flujo de tránsito ininterrumpido, con un alto volumen de tránsito pesado, utilizar un LSF de 1.2.
- Para autopistas y arterias principales donde se espera un volumen moderado de tránsito pesado, utilizar un LSF de 1.1.
- Para caminos, calles residenciales, y otras vías que soportarán bajos volúmenes de tránsito pesado, utilizar un LSF de 1.0.
- En casos especiales, podría justificarse el uso de un factor de seguridad de carga tan alto como 1.3, para mantener un nivel de serviciabilidad mayor que el normal a través del periodo de diseño.

## 6. California Bearing Ratio (C.B.R.)

El ensayo de California Bearing Ratio (C.B.R.) mide la resistencia al corte (esfuerzo cortante) de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas, la ASTM denomina a este ensayo, simplemente como “Relación de soporte” y esta normado con el número ASTM D 1883-73.

Se aplica para evaluación de la calidad relativa de suelos de subrasante, algunos materiales de subbases y bases granulares, que contengan solamente una pequeña cantidad de material que pasa por el tamiz de 50 mm, y que es retenido en el tamiz de 20 mm, se recomienda que la fracción no exceda del 20%.

Este ensayo puede realizarse tanto en laboratorio como en terreno, aunque este último no es muy practicado.

## 7. Resistencia a compresión del concreto ( $f'c$ )

Cuando se habla de la resistencia del concreto, generalmente se hace referencia a la resistencia a compresión del concreto endurecido, la etapa de endurecimiento inicia con el fraguado final del concreto y prosigue en el tiempo dependiendo totalmente de las condiciones de curado del material.

Normalmente la resistencia del concreto se evalúa a los 28 días, sin embargo esta evaluación se puede hacer a diferentes edades según la conveniencia de monitorear la ganancia en resistencia.

### **Formato de Diseño.**

En el manual de diseño: Thickness Design for Concrete Highway and Street Pavements, 1984, se presenta un formato para el cálculo del espesor del pavimento, con la finalidad de ayudar al usuario en su procedimiento de diseño.

El formato para el cálculo de espesores, contenido en el manual de diseño, es el siguiente:

**Cuadro N° 01.** Formato para el cálculo del espesor del pavimento.

Sub. Base: \_\_\_\_\_ cm.  
 K de la subrasante: \_\_\_\_\_ Kg/cm<sup>3</sup>  
 K combinado: \_\_\_\_\_ Kg/cm<sup>3</sup>  
 Factor de Seguridad por carga :  
 Módulo de ruptura propuesto (Mr): \_\_\_\_\_ Kg/cm<sup>2</sup>  
 Espesor Propuesto : \_\_\_\_\_ cm

| Carga por eje (Kips) Ton | Carca por eje X FSC (KIPS) Ton | Esfuerzos (pci) Kg/cm <sup>2</sup> | Relaciones de esfuerzos | Repeticiones permisibles N° | Repeticiones esperadas N° | Repeticiones a la fatiga consumida N° |
|--------------------------|--------------------------------|------------------------------------|-------------------------|-----------------------------|---------------------------|---------------------------------------|
|--------------------------|--------------------------------|------------------------------------|-------------------------|-----------------------------|---------------------------|---------------------------------------|

**Ejes Sencillos**

|  |  |  |  |  |  |  |
|--|--|--|--|--|--|--|
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |

| Carga por eje (Kips) Ton | Carca por eje X FSC (KIPS) Ton | Esfuerzos (pci) Kg/cm <sup>2</sup> De ábaco N° 02 | Relaciones de esfuerzos | Repeticiones permisibles N° | Repeticiones esperadas N° | Repeticiones a la fatiga consumida N° |
|--------------------------|--------------------------------|---|-------------------------|-----------------------------|---------------------------|---------------------------------------|
|--------------------------|--------------------------------|---|-------------------------|-----------------------------|---------------------------|---------------------------------------|

**Ejes Tanden**

|  |  |  |  |  |  |  |
|--|--|--|--|--|--|--|
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |

**SUMATORIA =**

Cabe señalar que el espesor de losa se considerará adecuado si la fatiga total está comprendida entre el 80% al 120%, si la absorción total de fatiga estuvieran fuera de estos parámetros, será necesario hacer una nueva iteración.

### 2.3. Definición de términos básicos

- **Pavimentos:**

(MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES - PERÚ, 2013) “En ingeniería, es la capa constituida por uno o más materiales que se colocan sobre el terreno natural o nivelado, para aumentar su resistencia y servir para la circulación de personas o vehículos. Entre los materiales utilizados en la

pavimentación urbana, industrial o vial están los suelos con mayor capacidad de soporte, los materiales rocosos, el hormigón y las mezclas asfálticas”.

- **Pavimentos Rígidos:**

(MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES - PERÚ, 2013) “Los pavimentos típicamente rígidos, son los de concreto. Estos pavimentos difieren mucho de los de tipo flexible. Los pavimentos de concreto reciben la carga de los vehículos y la reparten a un área de la sub-rasante. La losa por su alta rigidez y alto módulo elástico, tiene un comportamiento de elemento estructural de viga. Ella absorbe prácticamente toda la carga. Estos pavimentos han tenido un desarrollo bastante dinámico. De acuerdo al adelanto tecnológico y científico correspondiente a la estructura de concreto”.

- **Subrasante:**

(MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES - PERÚ, 2013) “Es la capa de terreno de una carretera que soporta la estructura de pavimento y que se extiende hasta una profundidad que no afecte la carga de diseño que corresponde al tránsito previsto. Esta capa puede estar formada en corte o relleno y una vez compactada debe tener las secciones transversales y pendientes especificadas en los planos finales de diseño”.

- **Construcción**

(MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES - PERÚ, 2013) “La construcción es el arte o técnica de fabricar diversos tipos de estructuras. En un sentido más amplio, se denomina construcción a todo aquello que exige, antes de hacerse, disponer de un proyecto y una planificación predeterminada”.

- **Concreto:**

(COREA Y ASOCIADOS SA, CORASCO, 2008) “El concreto es el producto resultante de la mezcla de un aglomerante (generalmente cemento, arena, grava o piedra machacada y agua) que al fraguar y endurecer adquiere una resistencia similar a la de las mejores piedras naturales”.



- **Dilatación:**

(COREA Y ASOCIADOS SA, CORASCO, 2008) “En términos generales el término dilatación supone el ensanchamiento, el alargamiento o aumento de tamaño de alguna cuestión o cosa, en tanto, el mismo, ostenta una especial utilización en varios contextos diferentes pero siempre respetando su significado más general”.

- **Contracción:**

(COREA Y ASOCIADOS SA, CORASCO, 2008) “La definición específica del término contracción es aquella que significa el encogimiento de algo. Esta definición puede ser, entonces, aplicada a diversas situaciones o fenómenos que pueden ser muy diferentes entre sí pero que tienen en común, justamente, el acto de encogimiento”.

- **California Bearing Ratio (C.B.R.)**

(Cornejo & Velásquez, 2009) “El CBR es un ensayo para evaluar la calidad de un material de suelo con base en su resistencia, medida a través de un ensayo de placa a escala.

CBR significa en español relación de soporte California, por las siglas en inglés de «California Bearing Ratio», aunque en países como México se conoce también este ensayo por las siglas VRS, de Valor Relativo del Soporte”.

- **Tráfico**

(MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES - PERÚ, 2013) “Tráfico es un concepto que tiene su origen en el vocablo italiano traffico. El término refiere al tránsito o desplazamiento de medios de transporte, seres humanos u objetos por algún tipo de camino o vía. El concepto de tráfico puede hacer mención tanto a la acción del movimiento”.

- **Resistencia a compresión del concreto  $f'c$ )**

(MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES - PERÚ, 2013) “Cuando se habla de la resistencia del concreto, generalmente se hace

referencia a la resistencia a compresión del concreto endurecido, la etapa de endurecimiento inicia con el fraguado final del concreto y prosigue en el tiempo dependiendo totalmente de las condiciones de curado del material.

Normalmente la resistencia del concreto se evalúa a los 28 días, sin embargo esta evaluación se puede hacer a diferentes edades según la conveniencia de monitorear la ganancia en resistencia”.

- **Fatiga.**

(Thenoux, y otros, 2006) “El análisis del criterio de fatiga es utilizado para evaluar los esfuerzos producidos en las losas del pavimento, ante la aplicación de cargas sobre las losas, lo cual puede producir esfuerzos excesivos, que generan agrietamientos. El objetivo es mantener los esfuerzos en el concreto, que constituye la losa, dentro de los límites de seguridad, basándose en el factor de relación de esfuerzos, el cual corresponde al esfuerzo de flexión dividido entre el módulo de ruptura del concreto a los 28 días”.

## CAPÍTULO 3. HIPÓTESIS

### 3.1. Formulación de la hipótesis

Para el diseño de pavimentos rígidos con el método de la Asociación del Cemento Portland, la variable con más incidencia para la determinación del espesor de losa es la resistencia a compresión del concreto ( $f'c$ ).

### 3.2. Operacionalización de variables

- Variable Dependiente

| VARIABLE         | DEFINICIÓN CONCEPTUAL  | DIMENSIONES | INDICADORES   |
|------------------|--|-------------|---------------|
| Espesor de Losa. | Estructura simple o compuesta que tiene una superficie regularmente alisada destinada a la circulación de vehículos. Su estructura es una combinación de cemento, firme y revestimiento, colocada sobre un terreno de fundación resistente a las cargas, a los agentes climatológicos y a los efectos abrasivos del tránsito | Medición    | Espesor (cm.) |

- Variables Independientes

| VARIABLE | DEFINICIÓN CONCEPTUAL  | DIMENSIONES | INDICADORES                 |
|----------|--|-------------|-----------------------------|
| $f'c$    | <p>Cuando se habla de la resistencia del concreto, generalmente se hace referencia a la resistencia a compresión del concreto endurecido, la etapa de endurecimiento inicia con el fraguado final del concreto y prosigue en el tiempo dependiendo totalmente de las condiciones de curado del material.</p> | $Kg/cm^2$   | Resistencia a la compresión |

## **CAPÍTULO 4. PRODUCTO DE APLICACIÓN PROFESIONAL**

### **1. INVESTIGACIÓN DOCUMENTAL Y RECOLECCIÓN DE DATOS**

Consiste en la revisión y organización de documentos, para poder obtener de éstos los datos que se utilizarán, en este caso las tres variables de diseño de pavimento rígido del método de diseño de la Asociación del Cemento Portland (PCA) las cuales son:

- Resistencia a compresión del concreto ( $f'c$ ).
- California Bearing Ratio (C.B.R.).
- Tráfico.

### **2. PROCESAMIENTO DE DATOS**

Después de haber obtenido los datos, se los ordenó, se los proceso para lo cual previamente se elaboró una hoja de cálculo con la que se realizó el trabajo de gabinete correspondiente, en donde se realizaron los diseños de pavimentos, se hizo 15 diseños por cada variable de diseño en estudio, por lo que se hará un total de 45 diseños de pavimento.

### **3. ORDENAMIENTO Y OBTENCION DE RESULTADOS**

Seguidamente se obtuvieron los resultados de los 45 diseños de pavimento, como se mencionó anteriormente 15 por variable, se tomaron estos resultados y se ordenaron, luego se graficó estos resultados para así poder discutir y verificar cuál de las tres variables en estudio es la más sensible y si es que la hipótesis planteada es verdadera.

### **4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Finalmente se hizo la discusión de los resultados obtenidos, se efectuaron las conclusiones correspondientes al trabajo y se dieron algunas recomendaciones.

## **CAPÍTULO 5. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **5.1. Tipo de diseño de investigación.**

Es una investigación descriptiva porque, trabaja sobre realidades de hecho y su característica fundamental es la de presentar una interpretación correcta. Esta puede incluir los siguientes tipos de estudios: Encuestas, Casos, Exploratorios, Causales, De Desarrollo, Predictivos, De Conjuntos, De Correlación.

### **5.2. Material de estudio.**

#### **5.2.1. Unidad de estudio.**

Pavimentos rígidos

#### **5.2.2. Población.**

Pavimentos rígidos de la ciudad de Cajamarca

#### **5.2.3. Muestra.**

Pavimento rígido del Pasaje 23 de Setiembre entre Av. La Paz y Av. Nuevo Cajamarca – Mollepampa.

Técnica de muestreo: muestreo no probabilístico.

### **5.3. Técnicas, procedimientos e instrumentos.**

#### **5.3.1. Para recolectar datos.**

Para la recolección de información se utilizó un expediente técnico para obtener de éste el estudio de tráfico,  $f_c$  y el C.B.R. correspondientes para que con esta información se puedan hacer los diseños y análisis de sensibilidad.

Se realizó trabajo de campo para recoger información del estudio de tráfico, ya que este dato del expediente técnico no era confiable.

Posteriormente se hizo el trabajo de gabinete, haciendo los diferentes diseños de pavimentos para así poder observar el comportamiento de las variables de diseño mediante 15 iteraciones realizadas para cada variable de diseño en estudio teniendo en cuenta los valores iniciales,

### **5.3.2. Para analizar información.**

- Microsoft Excel

Se utilizó el programa Microsoft Excel para realizar los cuadros estadísticos y analizar el comportamiento de las variables de diseño.

- Microsoft Word

Se utilizó Microsoft Word para realizar los diferentes informes y avances para presentar el presente proyecto.

## CAPÍTULO 6. RESULTADOS

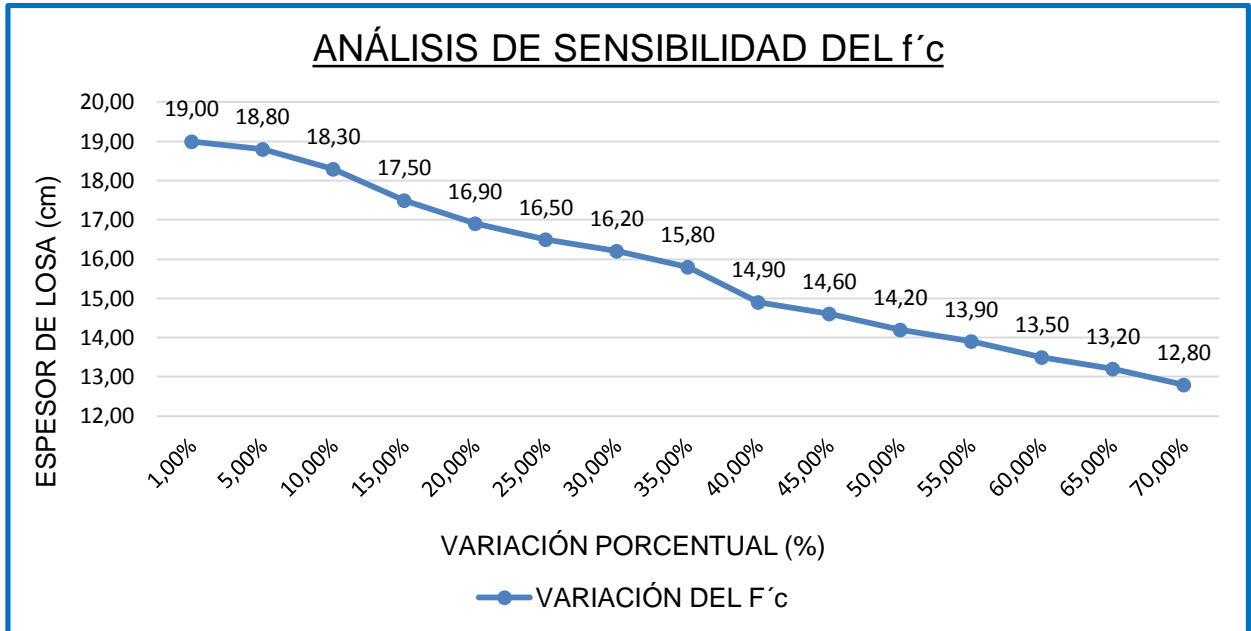
**Cuadro N° 02:** Se muestran los distintos espesores de pavimentos obtenidos en las iteraciones realizadas para cada variable de diseño

### ESPEORES DE PAVIMENTOS SEGÚN LA SENSIBILIDAD DE VARIABLES

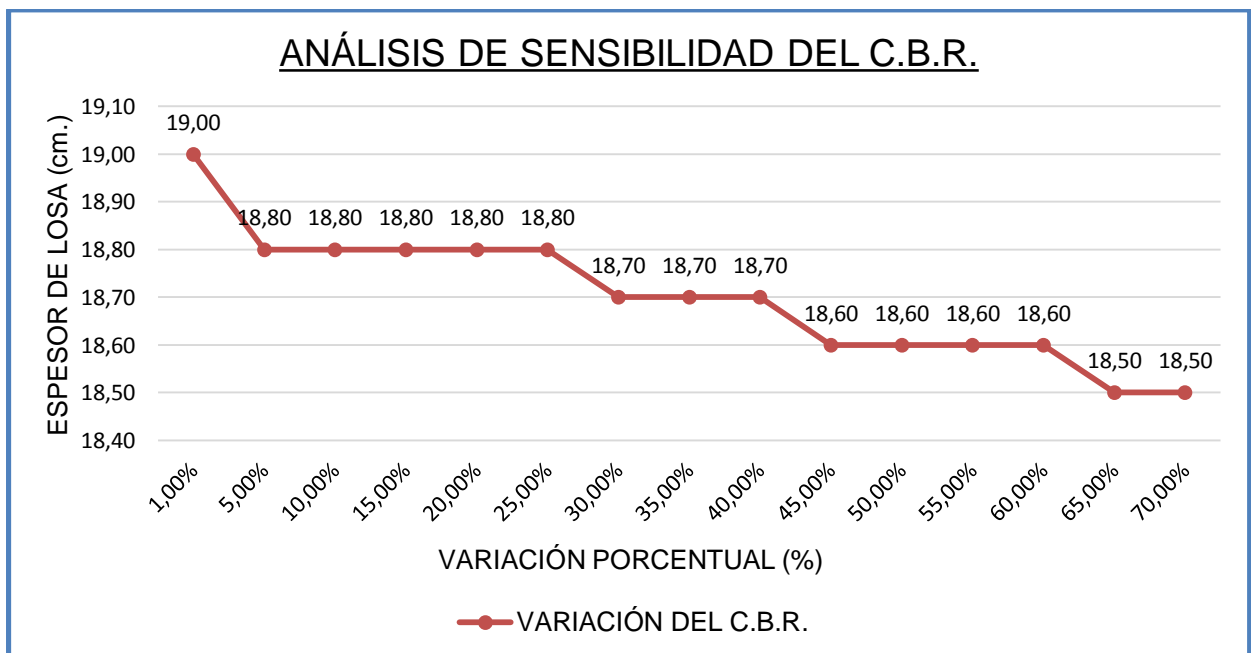
| ITEM | VARIACIÓN<br>EN % | f'c<br>(Kg/cm <sup>2</sup> ) | ESPEOR PARA<br>f'c EN (cm) | C.B.R. (%) | ESPEOR PARA<br>C.B.R. (%) EN (cm.) | TRÁFICO (N° DE VEHÍCULOS) |    |    |      | ESPEOR PARA<br>TRÁFICO (cm.) |
|------|-------------------|------------------------------|----------------------------|------------|------------------------------------|---------------------------|----|----|------|------------------------------|
|      |                   |                              |                            |            |                                    | AC                        | C2 | C3 | T3S3 |                              |
| 1    | 1,00%             | 210,00                       | 19,00                      | 8,30       | 19,00                              | 20                        | 10 | 6  | 2    | 19,00                        |
| 2    | 5,00%             | 220,50                       | 18,80                      | 8,72       | 18,80                              | 21                        | 11 | 6  | 2    | 19,00                        |
| 3    | 10,00%            | 231,00                       | 18,30                      | 9,13       | 18,80                              | 22                        | 11 | 7  | 2    | 19,00                        |
| 4    | 15,00%            | 241,50                       | 17,50                      | 9,55       | 18,80                              | 23                        | 12 | 7  | 2    | 19,00                        |
| 5    | 20,00%            | 252,00                       | 16,90                      | 9,96       | 18,80                              | 24                        | 12 | 7  | 2    | 19,00                        |
| 6    | 25,00%            | 262,50                       | 16,50                      | 10,38      | 18,80                              | 25                        | 13 | 8  | 3    | 19,50                        |
| 7    | 30,00%            | 273,00                       | 16,20                      | 10,79      | 18,70                              | 26                        | 13 | 8  | 3    | 19,50                        |
| 8    | 35,00%            | 283,50                       | 15,80                      | 11,21      | 18,70                              | 27                        | 14 | 8  | 3    | 19,50                        |
| 9    | 40,00%            | 294,00                       | 14,90                      | 11,62      | 18,70                              | 28                        | 14 | 8  | 3    | 19,50                        |
| 10   | 45,00%            | 304,50                       | 14,60                      | 12,04      | 18,60                              | 29                        | 15 | 9  | 3    | 19,50                        |
| 11   | 50,00%            | 315,00                       | 14,20                      | 12,45      | 18,60                              | 30                        | 15 | 9  | 3    | 19,50                        |
| 12   | 55,00%            | 325,50                       | 13,90                      | 12,87      | 18,60                              | 31                        | 16 | 9  | 3    | 19,50                        |
| 13   | 60,00%            | 336,00                       | 13,50                      | 13,28      | 18,60                              | 32                        | 16 | 10 | 3    | 19,50                        |
| 14   | 65,00%            | 346,50                       | 13,20                      | 13,70      | 18,50                              | 33                        | 17 | 10 | 3    | 19,50                        |
| 15   | 70,00%            | 357,00                       | 12,80                      | 14,11      | 18,50                              | 34                        | 17 | 10 | 3    | 19,50                        |



**Gráfico N° 02:** Espesores de pavimento del análisis de sensibilidad de la resistencia a compresión del concreto ( $f'c$ ).



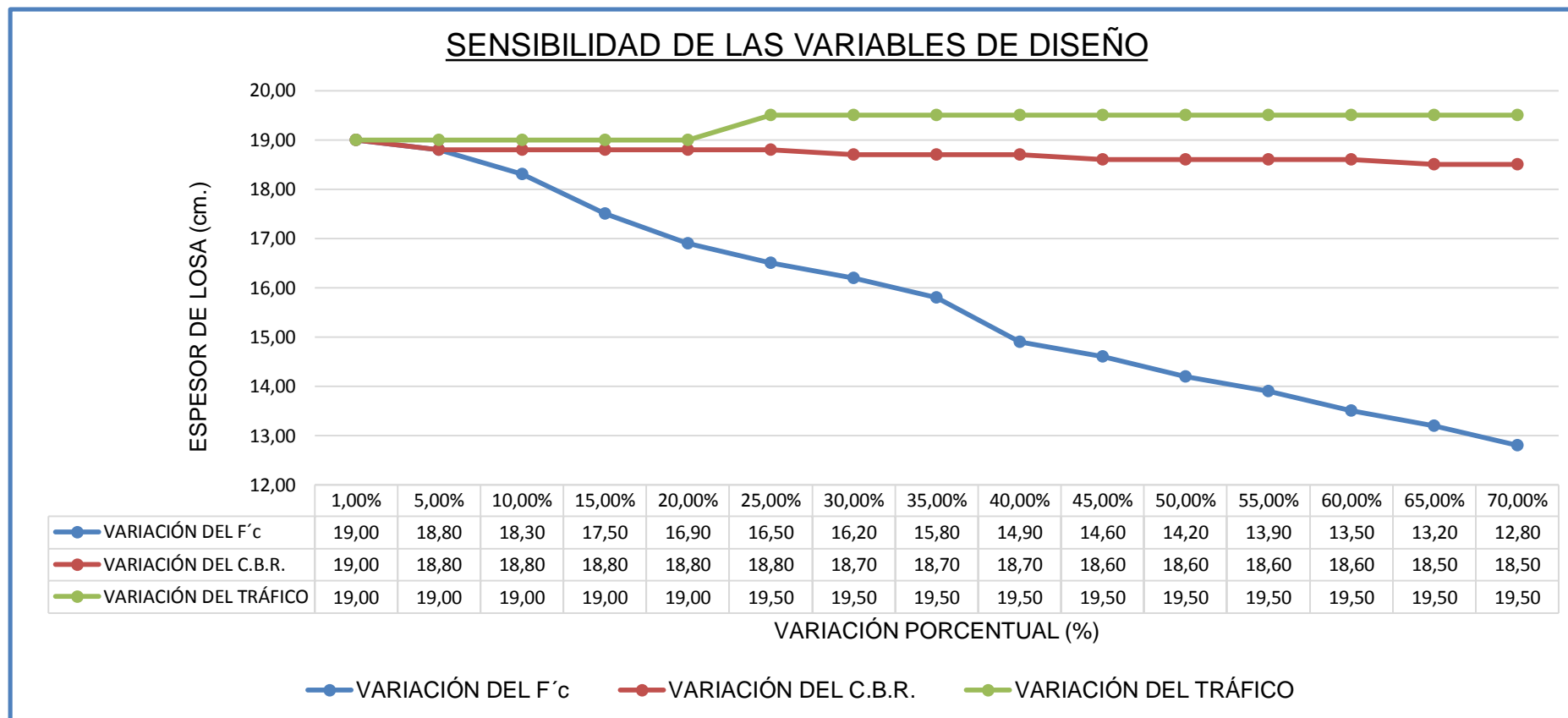
**Gráfico N° 03:** Espesores de pavimento del análisis de sensibilidad del C.B.R.



**Gráfico N° 04:** Espesores de pavimento del análisis de sensibilidad del estudio de tráfico.



**Gráfico N° 05:** Espesores de pavimento del análisis de sensibilidad de las 03 variables en estudio.

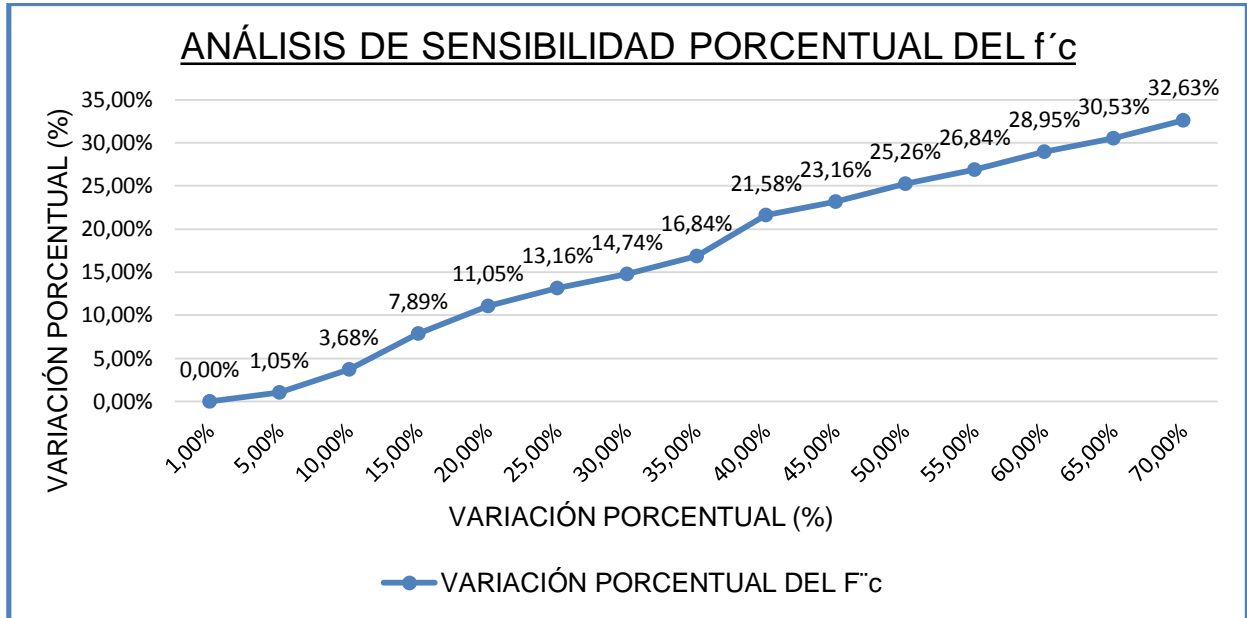


**Cuadro N° 03:** Se muestran los distintos espesores de pavimentos obtenidos en las iteraciones realizadas para cada variable de diseño así como su variación porcentual

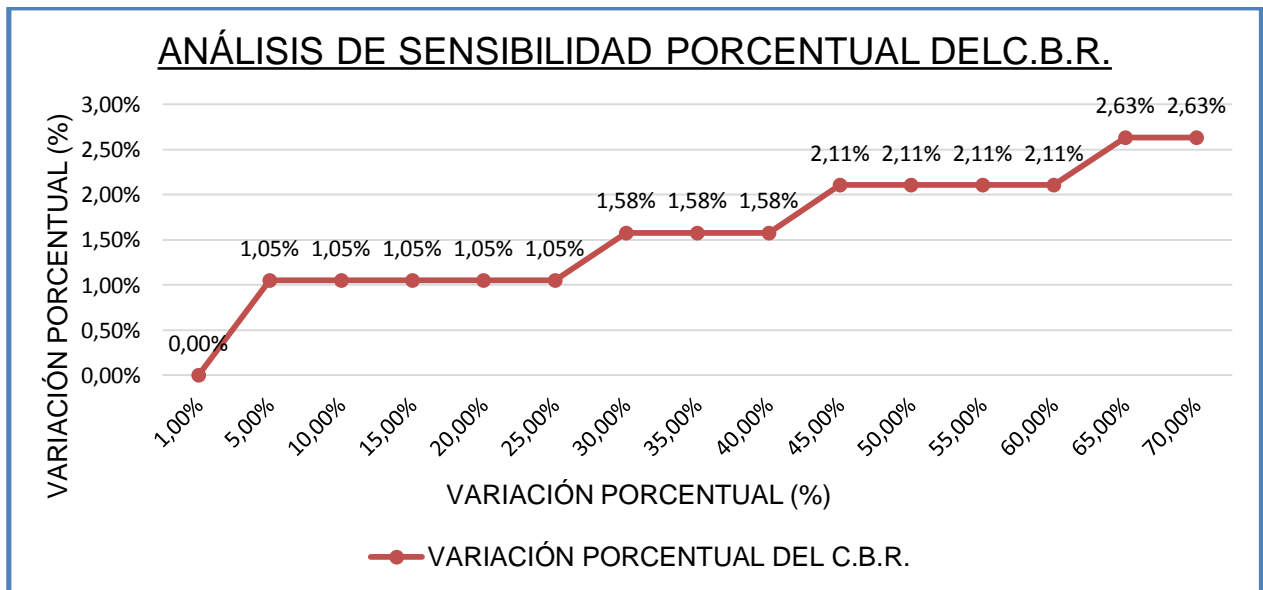
### ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DE VARIACIÓN PORCENTUAL

| ITEM | VARIACIÓN<br>EN % | f'c<br>(Kg/cm <sup>2</sup> ) | ESPESOR<br>PARA f'c EN | VARIACIÓN<br>(%) | C.B.R. (%) | ESPESOR<br>PARA | VARIACIÓN<br>(%) | TRÁFICO (N° DE VEHÍCULOS) |    |    |      | ESPESOR<br>PARA TRÁFICO | VARIACIÓN<br>(%) |
|------|-------------------|------------------------------|------------------------|------------------|------------|-----------------|------------------|---------------------------|----|----|------|-------------------------|------------------|
|      |                   |                              |                        |                  |            |                 |                  | AC                        | C2 | C3 | T3S3 |                         |                  |
| 1    | 1,00%             | 210,00                       | 19,00                  | 0,00%            | 8,30       | 19,00           | 0,00%            | 20                        | 10 | 6  | 2    | 19,00                   | 0,00%            |
| 2    | 5,00%             | 220,50                       | 18,80                  | 1,05%            | 8,72       | 18,80           | 1,05%            | 21                        | 11 | 6  | 2    | 19,00                   | 0,00%            |
| 3    | 10,00%            | 231,00                       | 18,30                  | 3,68%            | 9,13       | 18,80           | 1,05%            | 22                        | 11 | 7  | 2    | 19,00                   | 0,00%            |
| 4    | 15,00%            | 241,50                       | 17,50                  | 7,89%            | 9,55       | 18,80           | 1,05%            | 23                        | 12 | 7  | 2    | 19,00                   | 0,00%            |
| 5    | 20,00%            | 252,00                       | 16,90                  | 11,05%           | 9,96       | 18,80           | 1,05%            | 24                        | 12 | 7  | 2    | 19,00                   | 0,00%            |
| 6    | 25,00%            | 262,50                       | 16,50                  | 13,16%           | 10,38      | 18,80           | 1,05%            | 25                        | 13 | 8  | 3    | 19,50                   | 2,63%            |
| 7    | 30,00%            | 273,00                       | 16,20                  | 14,74%           | 10,79      | 18,70           | 1,58%            | 26                        | 13 | 8  | 3    | 19,50                   | 2,63%            |
| 8    | 35,00%            | 283,50                       | 15,80                  | 16,84%           | 11,21      | 18,70           | 1,58%            | 27                        | 14 | 8  | 3    | 19,50                   | 2,63%            |
| 9    | 40,00%            | 294,00                       | 14,90                  | 21,58%           | 11,62      | 18,70           | 1,58%            | 28                        | 14 | 8  | 3    | 19,50                   | 2,63%            |
| 10   | 45,00%            | 304,50                       | 14,60                  | 23,16%           | 12,04      | 18,60           | 2,11%            | 29                        | 15 | 9  | 3    | 19,50                   | 2,63%            |
| 11   | 50,00%            | 315,00                       | 14,20                  | 25,26%           | 12,45      | 18,60           | 2,11%            | 30                        | 15 | 9  | 3    | 19,50                   | 2,63%            |
| 12   | 55,00%            | 325,50                       | 13,90                  | 26,84%           | 12,87      | 18,60           | 2,11%            | 31                        | 16 | 9  | 3    | 19,50                   | 2,63%            |
| 13   | 60,00%            | 336,00                       | 13,50                  | 28,95%           | 13,28      | 18,60           | 2,11%            | 32                        | 16 | 10 | 3    | 19,50                   | 2,63%            |
| 14   | 65,00%            | 346,50                       | 13,20                  | 30,53%           | 13,70      | 18,50           | 2,63%            | 33                        | 17 | 10 | 3    | 19,50                   | 2,63%            |
| 15   | 70,00%            | 357,00                       | 12,80                  | 32,63%           | 14,11      | 18,50           | 2,63%            | 34                        | 17 | 10 | 3    | 19,50                   | 2,63%            |

**Gráfico N° 06:** Comportamiento de la variación porcentual de la variable  $f'c$  en las distintas iteraciones realizadas.



**Gráfico N° 07:** Comportamiento de la variación porcentual de la variable C.B.R. en las distintas iteraciones realizadas.



**Gráfico N° 08:** Comportamiento de la variación porcentual de la variable Tráfico en las distintas iteraciones realizadas.

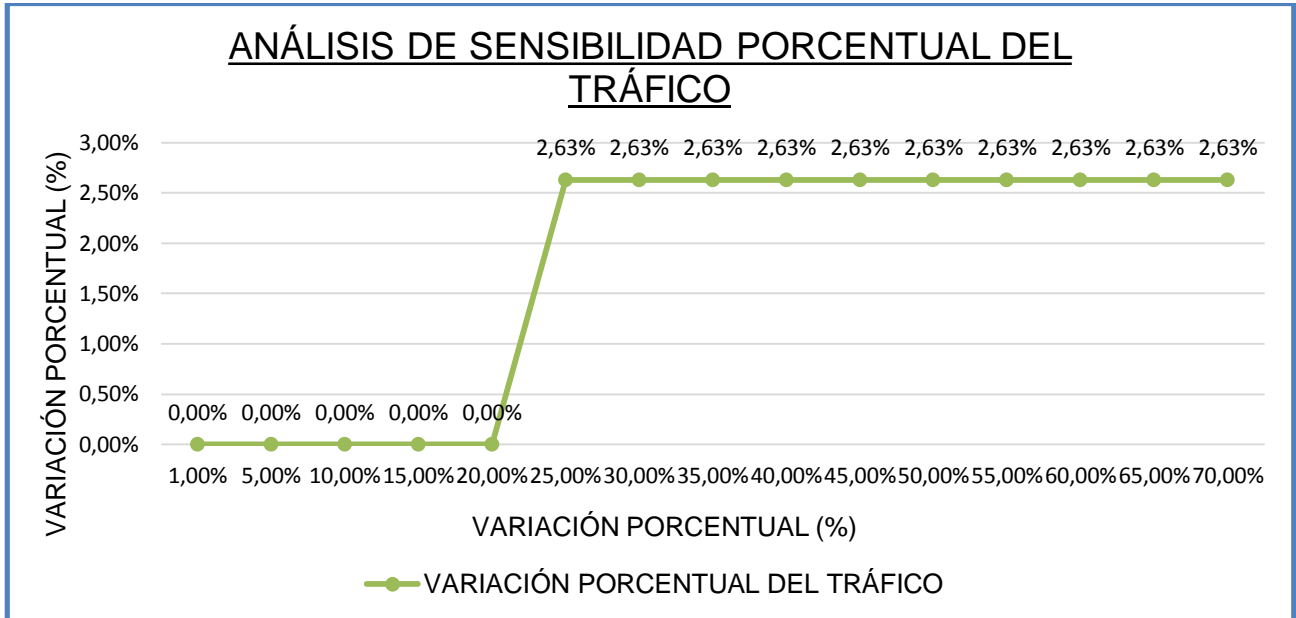
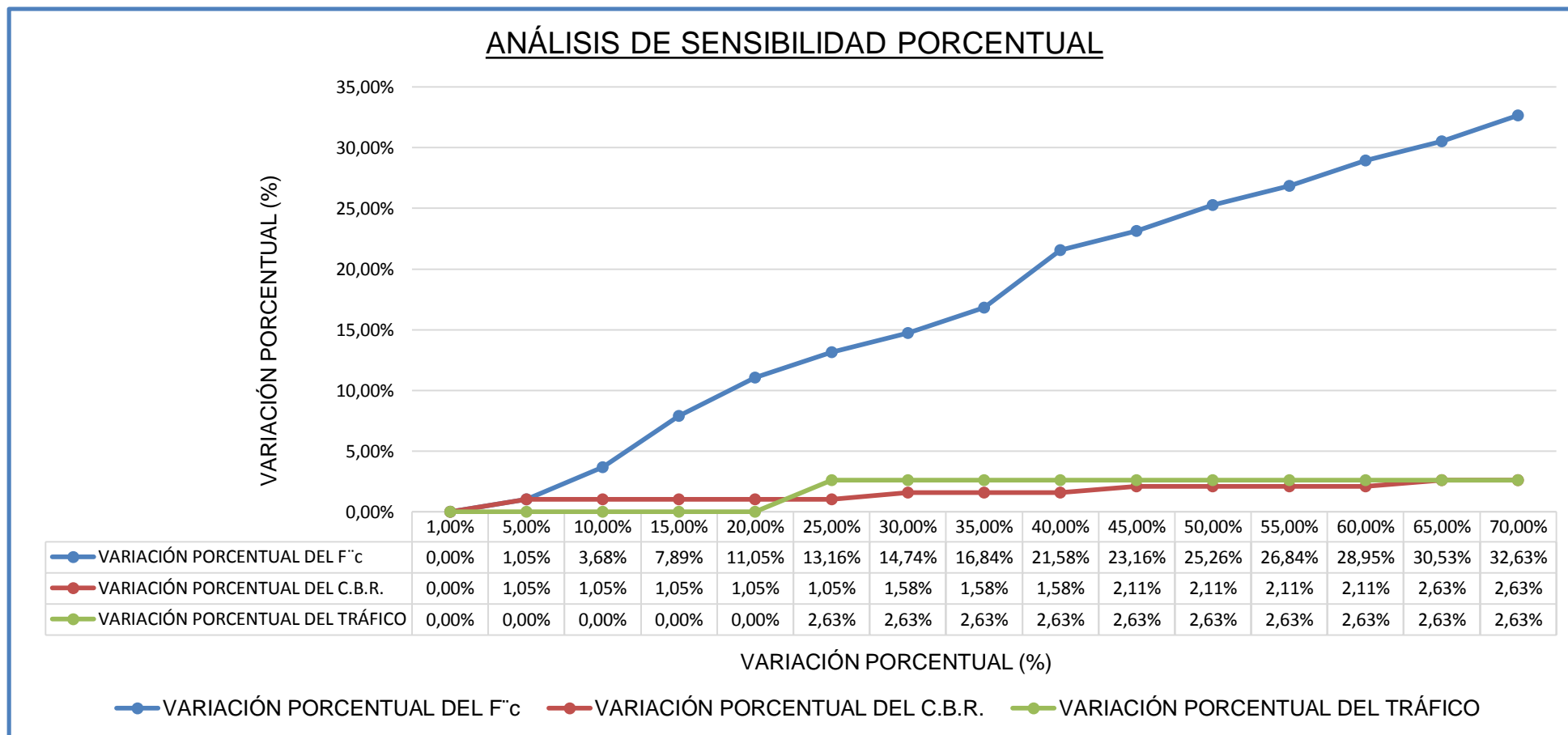


Gráfico N° 09: Sensibilidad porcentual de las 03 variables en estudio.



## CAPÍTULO 7. DISCUSIÓN

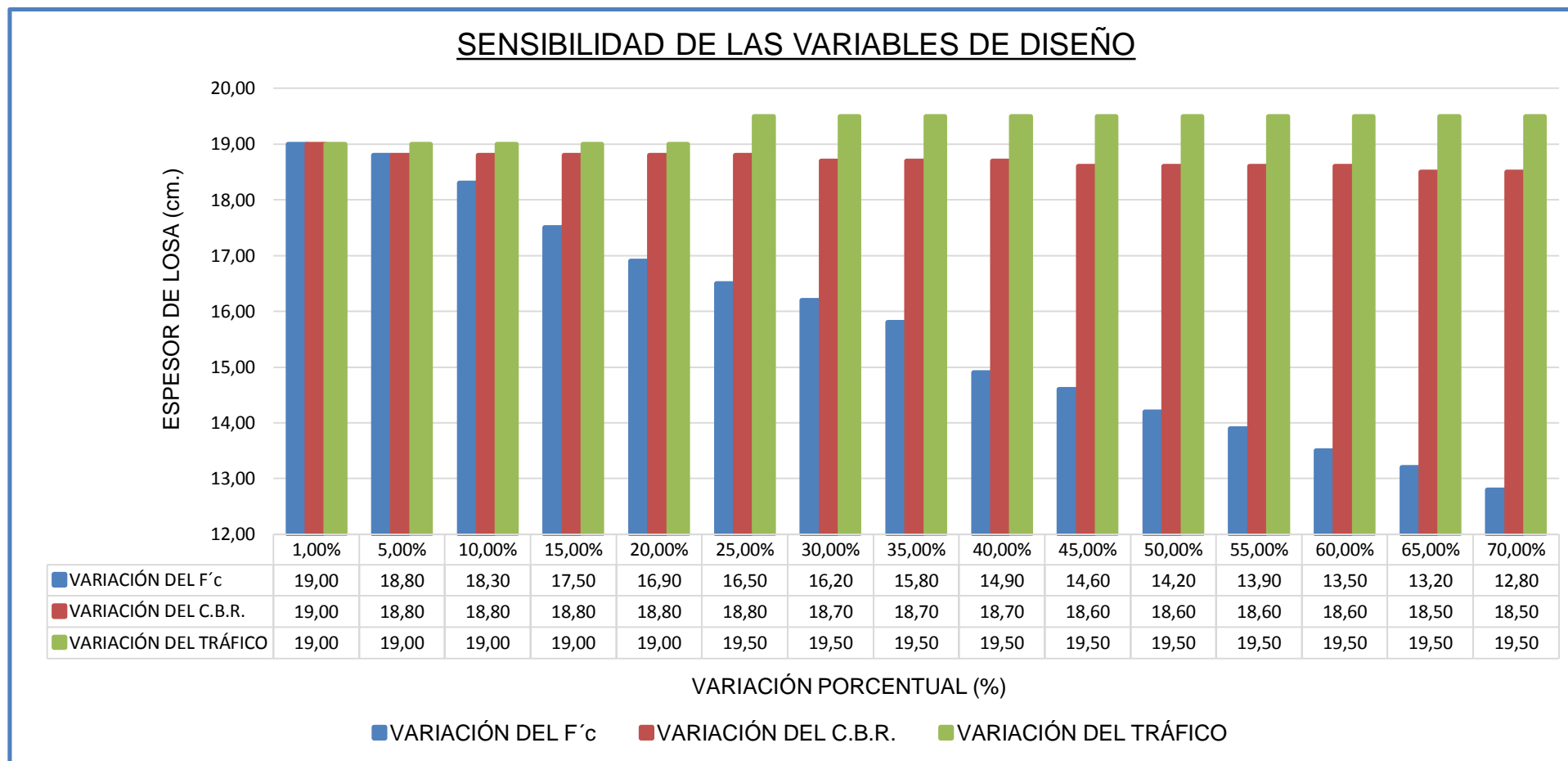
- Se realizó el diseño de pavimento para cada variable y se comprobó con el análisis de sensibilidad, que la variable de diseño más sensible de las tres en estudio con respecto al espesor de la losa de concreto es la resistencia a compresión del concreto ( $f'c$ ), ya que la variación de espesor de losa de concreto disminuye a medida que se incrementa la resistencia del  $f'c$  en intervalos de 5% teniendo como base un  $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ , por lo tanto la hipótesis planteada es verdadera.
- Se verificó que en cada iteración de la resistencia a compresión del concreto ( $f'c$ ) el valor de espesor de losa cambia, se tiene como valor inicial un espesor de losa de 19.00 cm. y en una iteración final un espesor de losa de 12.80 cm.; por lo que el espesor de losa disminuyó en 6.20 cm, por lo que se puede decir que no hay un valor constante según aumenta en cada tramo de variación porcentual. (ver Cuadro N° 02).
- Se observó que el espesor de la losa de concreto disminuye en la medida en que aumenta en forma porcentual el C.B.R. con intervalos de 5%, teniendo como valor inicial un C.B.R. = 8.3%. Se evidencia que el espesor inicial de losa es de 19.00 cm y al término de las iteraciones disminuye en 0.5 cm teniendo un espesor de losa final de 18.50 cm. (ver Gráfico N° 03).
- En la investigación de Cornejo & Velásquez, 2009, se observó que en el análisis de sensibilidad del tráfico, la losa de concreto no sufre variaciones importantes según aumenta el tráfico; lo mismo se pudo observar en la presente investigación con respecto a la variable tráfico ya que inicialmente se tiene un espesor de losa de 19.00 cm. y al final de las iteraciones solo aumenta en 0.5 cm, teniendo como espesor final 19.50 cm. (ver Gráfico N° 04).
- En el análisis de sensibilidad del C.B.R., se observó que al incrementar su valor en 5% (primera iteración), el espesor de la losa disminuye en 0.20 cm, luego se mantiene constante hasta la quinta iteración que corresponde al 25%, seguidamente, incrementos desde el 25% hasta el 40% (octava iteración), el espesor de losa disminuye en 0.10 cm., luego incrementos del C.B.R.



comprendidos entre el 40% hasta el 60% (doceava iteración), hacen que el espesor de losa de pavimento disminuya en 0.10 cm. Finalmente se observó que incrementos de C.B.R. del 60% hasta el 70% (última iteración), hacen que el espesor de losa de pavimento disminuya en 0.10 cm. (ver Gráfico N° 03).

- En el análisis de sensibilidad del tráfico se observó que el espesor de losa se mantiene uniforme para incrementos del tráfico, comprendidos entre el 1% hasta el 20%. Para un incremento porcentual del tráfico entre el 20 al 25%, el espesor de la losa se incrementa en 0.50 cm. Finalmente se pudo notar que para incrementos de tráfico comprendidos del 25 al 70%, el espesor de la losa se mantiene uniforme. (ver Gráfico N° 04).
- En el gráfico N° 05 se observó el comportamiento del análisis de sensibilidad en las distintas iteraciones realizadas, de las tres variables en estudio expresado en el espesor de la losa de pavimento.
- En el siguiente gráfico, se observa los diferentes espesores de losa de concreto obtenidos en el análisis de sensibilidad de las tres variables en estudio. En él se aprecia que la variación del espesor de la losa es mayor en la medida en que varía la resistencia a compresión del concreto ( $f'c$ ). Asimismo se observa que el espesor de la losa disminuye en menor proporción en la medida en que aumenta el valor del C.B.R. Finalmente se observa que el espesor de la losa aumenta en la medida en que aumenta el valor del tráfico. (ver Gráfico N° 10).

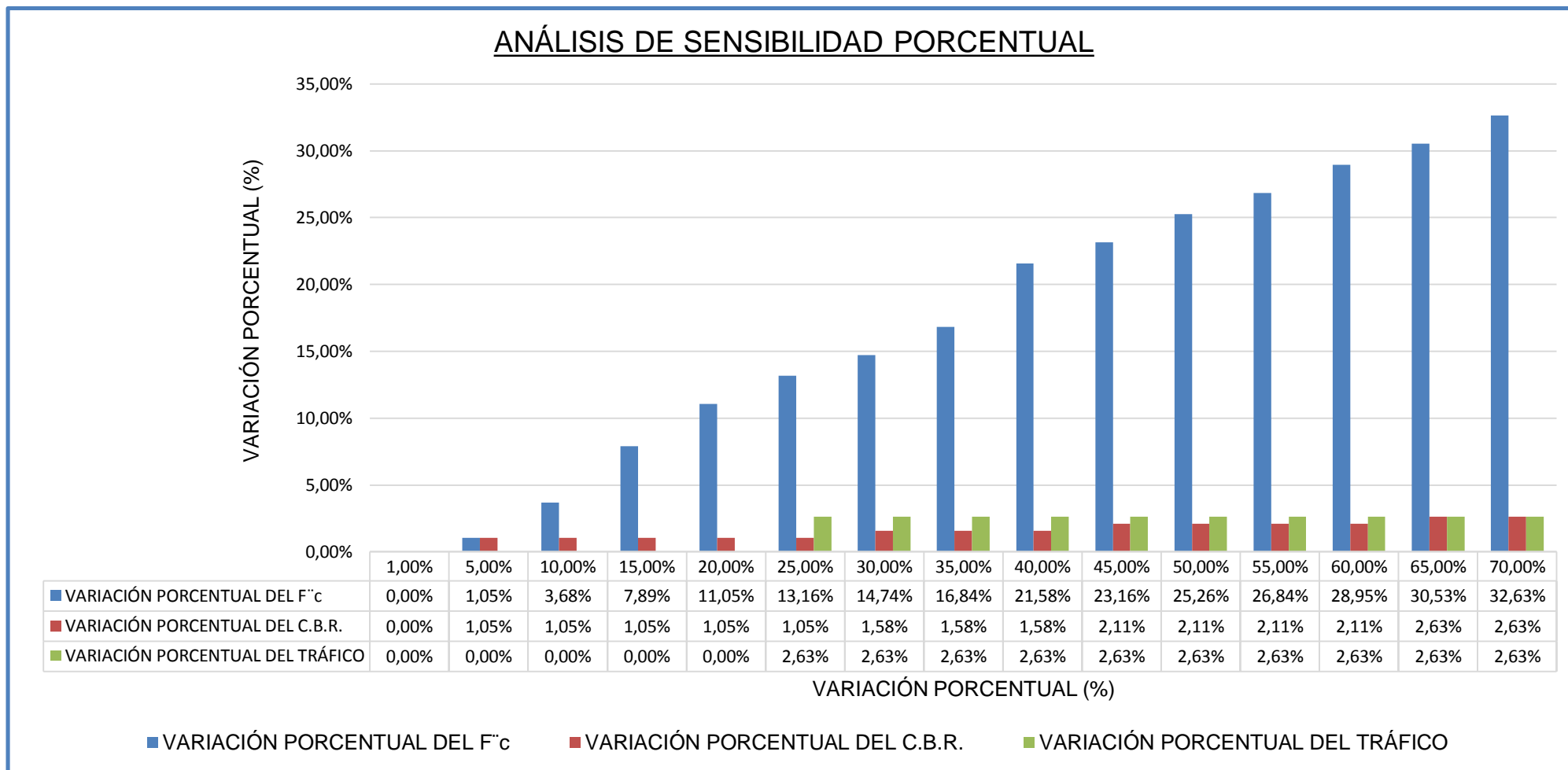
**Gráfico N° 10:** Sensibilidad de los espesores de losa de concreto del análisis de sensibilidad de las 03 variables.



- En el cuadro N° 03 se puede apreciar los espesores de losa de concreto expresado en valores porcentuales, dependiendo de cada iteración realizada a cada una de las variables de diseño en estudio.
- El espesor de pavimento en términos porcentuales para la variable: resistencia a compresión del concreto ( $f'c$ ), varía en un 32.63% entre la primera y la última iteración realizada. (ver Gráfico N° 06).
- En el análisis de sensibilidad del C.B.R. se observó que el espesor de la losa sufre una disminución porcentual del 1.05% para incrementos porcentuales del C.B.R. desde el 1% al 5%. Para variaciones del C.B.R. entre el 5 al 25% el espesor de la losa se mantiene constante. Para variaciones porcentuales entre el 25 al 30% el espesor de la losa sufre una disminución porcentual del 0.53%, para variaciones del C.B.R. entre el 30 al 40% el espesor de la losa se mantiene constante. Para variaciones porcentuales entre el 40 al 45% el espesor de la losa sufre una disminución porcentual de 0.53%. Para variaciones del C.B.R. entre el 45 al 60% el espesor de la losa se mantiene constante. Para variaciones porcentuales entre el 60 al 65% el espesor de la losa sufre una disminución porcentual de 0.52%. Finalmente para variaciones del C.B.R. entre el 65 al 70% el espesor de la losa se mantiene constante. (ver Gráfico N° 07).
- En el análisis de sensibilidad del Tráfico se observó que el espesor de losa se mantiene constante hasta la cuarta iteración que corresponde a un aumento del tráfico del 20%, desde este punto sufre un incremento del 2.63 % hasta el final de iteraciones realizadas. (ver Gráfico N° 08).
- En el gráfico N° 09 se puede observar la variación porcentual de las tres variables en estudio. En la última iteración la resistencia a compresión de concreto ( $f'c$ ) tiene una variación de 32.63%, mientras que el C.B.R. y el Tráfico tienen una variación de 2.63%.
- En el gráfico N° 11 se observa las diferentes variaciones porcentuales obtenidas en el análisis de sensibilidad, se puede notar que la variable más influyente en la determinación del espesor de la losa es la resistencia a compresión del concreto ( $f'c$ ), ya que en la medida que ésta se incrementa, el valor porcentual del espesor

de losa de concreto aumenta. Asimismo se observa que en la medida en que se incrementa el valor del C.B.R. en los porcentajes analizados, el espesor de la losa se mantiene casi uniforme y lo mismo ocurre para el caso del tráfico.

**Gráfico N° 11:** Sensibilidad porcentual de los espesores de losa de concreto del análisis de sensibilidad de las 03 variables.



## CONCLUSIONES

- Se realizó el análisis de sensibilidad de las variables de diseño de pavimentos rígidos del Método de la Asociación del Cemento Portland (PCA), verificándose que la variable más incidente en la determinación del espesor de la losa es la resistencia a compresión del concreto ( $f'c$ ).
- Se realizaron los diseños de pavimentos rígidos con diferentes valores para las variables de estudio, habiendo realizado 45 diseños de pavimentos, 15 diseños para cada variable en estudio, pudiendo hacer con estos resultados las iteraciones correspondientes y seguidamente el análisis de sensibilidad.
- Se pudo determinar que la resistencia a compresión del concreto ( $f'c$ ), es la variable más incidente con respecto al C.B.R. y el Tráfico para la determinación del espesor de la losa, porque a medida que se van variando los valores iniciales de diseño en forma porcentual en intervalos de 5%, se obtuvo que el espesor de la losa mostró más variación con el incremento del  $f'c$ , que con el incremento de las otras dos variables. (ver Gráfico N° 6).

## RECOMENDACIONES

- Debido a que la variable más incidente en el diseño de los pavimentos por el método de la Asociación del Cemento Portland (PCA), resulta ser el valor del  $f'c$ ; se recomienda que éste sea determinado con la mayor precisión posible.
- Se recomienda que el valor del  $f'c$  sea obtenido realizando el ensayo de rotura a la flexión del concreto, para lo cual previamente se debe diseñar la mezcla de concreto, utilizando los agregados que se emplearán en la futura pavimentación

## REFERENCIAS

- COREA Y ASOCIADOS SA, CORASCO. (2008). *MANUAL PARA LA REVISIÓN DE DISEÑO DE PAVIMENTOS*. Nicaragua: Ingenieros Consultores y Planificadores.
- Cornejo, A. N., & Velásquez, G. W. (2009). *ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE MÉTODOS DE DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO RÍGIDO*. El Salvador.
- MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES - PERÚ. (2013). *MANUEAL DE CARRETERAS: SUELOS, GEOLOGIA,, GEOTECNIA Y PAVIMENTOS*. LIMA: MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES.
- Thenoux, G., Solminihac, D., H., Halles, F., Chamorro, A., Hidalgo, P., . . . Márquez, W. (2006). ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DE PARÁMETROS DEL MODELO HDM-4 Y ACTUALIZACIÓN DE METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DEL ESTADO DE CAMINOS PAVIMENTADOS. En G. Thenoux, D. Solminihac, H., F. Halles, A. Chamorro, P. Hidalgo, . . . W. Márquez, *ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DE PARÁMETROS DEL MODELO HDM-4 Y ACTUALIZACIÓN DE METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DEL ESTADO DE CAMINOS PAVIMENTADOS*. Santiago de Chile.
- Coronado Iturbide, J, Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos, Noviembre 2002.
- Montejo Fonseca, A. Ingeniería para Carreteras. 1° ed. Perú: Lima 2006
- Salazar Rodríguez, A, Guía para el Diseño y Construcción de Pavimentos Rígidos, Instituto Mexicano del Cemento y del concreto.
- Gonzales, S, Procedimiento para el Diseño de un pavimento rígido en las calles del primer cuadro de la cabecera municipal del Municipio de Apaxco estado de México, septiembre 2005.
- Monsalve, L, Giraldo, L, MAYA, J, diseño de pavimentos Flexibles y Rígidos, Armenia 2012.



## **ANEXOS**

**ANEXO A:**

**CUADRO N° 04 - CONTEO DE TRÁFICO**

| HORA         | NÚMERO DE VEHÍCULOS POR TIPO DE CARGA |       |       |         |
|--------------|---------------------------------------|-------|-------|---------|
|              | Ac                                    | C2    | C3    | T3 - S3 |
| 6 am - 7 am  | 1                                     | 0     | 0     | 0       |
| 7 am - 8 am  | 2                                     | 1     | 0     | 0       |
| 8 am - 9 am  | 3                                     | 1     | 1     | 0       |
| 9 am - 10am  | 1                                     | 0     | 1     | 1       |
| 10am - 11am  | 2                                     | 2     | 0     | 0       |
| 11am - 12 m  | 1                                     | 2     | 1     | 0       |
| 12 m - 1 pm  | 2                                     | 0     | 0     | 0       |
| 1 pm - 2 pm  | 3                                     | 1     | 1     | 0       |
| 2 pm - 3 pm  | 0                                     | 1     | 0     | 1       |
| 3 pm - 4 pm  | 2                                     | 0     | 1     | 0       |
| 4 pm - 5 pm  | 2                                     | 1     | 1     | 0       |
| 5 pm - 6 pm  | 1                                     | 1     | 0     | 0       |
| <b>Total</b> | 20                                    | 10    | 6     | 2       |
| <b>%</b>     | 52.63                                 | 26.32 | 15.79 | 5.26    |

- Fecha: del 18/08/2014 al 05/09/2014

Donde:

**Ac:** autos.

**C2:** Camión de 02 ejes.

**C3:** Camión de 03 ejes.

**T3S3:** Camiones Cama Baja

- En los siguientes cuadros se muestran los datos de iteraciones generales para cada variable de diseño.

**CUADRO N° 05 - ITERACIONES CON EL F'c**

| ITEM | VARIACIÓN<br>EN % | f'c<br>(Kg/cm2) | C.B.R. (%) | TRÁFICO (N° DE VEHÍCULOS) |    |    |      |
|------|-------------------|-----------------|------------|---------------------------|----|----|------|
|      |                   |                 |            | AC                        | C2 | C3 | T3S3 |
| 1    | 1.00%             | 210             | 8.30       | 20                        | 10 | 6  | 2    |
| 2    | 5.00%             | 220.50          | 8.30       | 20                        | 10 | 6  | 2    |
| 3    | 10.00%            | 231.00          | 8.30       | 20                        | 10 | 6  | 2    |
| 4    | 15.00%            | 241.50          | 8.30       | 20                        | 10 | 6  | 2    |
| 5    | 20.00%            | 252.00          | 8.30       | 20                        | 10 | 6  | 2    |
| 6    | 25.00%            | 262.50          | 8.30       | 20                        | 10 | 6  | 2    |
| 7    | 30.00%            | 273.00          | 8.30       | 20                        | 10 | 6  | 2    |
| 8    | 35.00%            | 283.50          | 8.30       | 20                        | 10 | 6  | 2    |
| 9    | 40.00%            | 294.00          | 8.30       | 20                        | 10 | 6  | 2    |
| 10   | 45.00%            | 304.50          | 8.30       | 20                        | 10 | 6  | 2    |
| 11   | 50.00%            | 315.00          | 8.30       | 20                        | 10 | 6  | 2    |
| 12   | 55.00%            | 325.50          | 8.30       | 20                        | 10 | 6  | 2    |
| 13   | 60.00%            | 336.00          | 8.30       | 20                        | 10 | 6  | 2    |
| 14   | 65.00%            | 346.50          | 8.30       | 20                        | 10 | 6  | 2    |
| 15   | 70.00%            | 357.00          | 8.30       | 20                        | 10 | 6  | 2    |

**CUADRO N° 06 - ITERACIONES CON EL C.B.R.**

| ITEM | VARIACIÓN<br>EN % | f'c<br>(Kg/cm2) | C.B.R. (%) | TRÁFICO (N° DE VEHÍCULOS) |    |    |      |
|------|-------------------|-----------------|------------|---------------------------|----|----|------|
|      |                   |                 |            | AC                        | C2 | C3 | T3S3 |
| 1    | 1.00%             | 210.00          | 8.3        | 20                        | 10 | 6  | 2    |
| 2    | 5.00%             | 210.00          | 8.72       | 20                        | 10 | 6  | 2    |
| 3    | 10.00%            | 210.00          | 9.13       | 20                        | 10 | 6  | 2    |
| 4    | 15.00%            | 210.00          | 9.55       | 20                        | 10 | 6  | 2    |
| 5    | 20.00%            | 210.00          | 9.96       | 20                        | 10 | 6  | 2    |
| 6    | 25.00%            | 210.00          | 10.38      | 20                        | 10 | 6  | 2    |
| 7    | 30.00%            | 210.00          | 10.79      | 20                        | 10 | 6  | 2    |
| 8    | 35.00%            | 210.00          | 11.21      | 20                        | 10 | 6  | 2    |
| 9    | 40.00%            | 210.00          | 11.62      | 20                        | 10 | 6  | 2    |
| 10   | 45.00%            | 210.00          | 12.04      | 20                        | 10 | 6  | 2    |
| 11   | 50.00%            | 210.00          | 12.45      | 20                        | 10 | 6  | 2    |
| 12   | 55.00%            | 210.00          | 12.87      | 20                        | 10 | 6  | 2    |
| 13   | 60.00%            | 210.00          | 13.28      | 20                        | 10 | 6  | 2    |
| 14   | 65.00%            | 210.00          | 13.70      | 20                        | 10 | 6  | 2    |
| 15   | 70.00%            | 210.00          | 14.11      | 20                        | 10 | 6  | 2    |

**CUADRO N° 07 - ITERACIONES CON EL N° VEHÍCULOS**

| ITEM | VARIACIÓN<br>EN % | F'c<br>(Kg/cm2) | C.B.R. (%) | TRÁFICO (N° DE VEHÍCULOS) |    |    |      |
|------|-------------------|-----------------|------------|---------------------------|----|----|------|
|      |                   |                 |            | AC                        | C2 | C3 | T3S3 |
| 1    | 1.00%             | 210.00          | 8.30       | 20                        | 10 | 6  | 2    |
| 2    | 5.00%             | 210.00          | 8.30       | 21                        | 11 | 6  | 2    |
| 3    | 10.00%            | 210.00          | 8.30       | 22                        | 11 | 7  | 2    |
| 4    | 15.00%            | 210.00          | 8.30       | 23                        | 12 | 7  | 2    |
| 5    | 20.00%            | 210.00          | 8.30       | 24                        | 12 | 7  | 2    |
| 6    | 25.00%            | 210.00          | 8.30       | 25                        | 13 | 8  | 3    |
| 7    | 30.00%            | 210.00          | 8.30       | 26                        | 13 | 8  | 3    |
| 8    | 35.00%            | 210.00          | 8.30       | 27                        | 14 | 8  | 3    |
| 9    | 40.00%            | 210.00          | 8.30       | 28                        | 14 | 8  | 3    |
| 10   | 45.00%            | 210.00          | 8.30       | 29                        | 15 | 9  | 3    |
| 11   | 50.00%            | 210.00          | 8.30       | 30                        | 15 | 9  | 3    |
| 12   | 55.00%            | 210.00          | 8.30       | 31                        | 16 | 9  | 3    |
| 13   | 60.00%            | 210.00          | 8.30       | 32                        | 16 | 10 | 3    |
| 14   | 65.00%            | 210.00          | 8.30       | 33                        | 17 | 10 | 3    |
| 15   | 70.00%            | 210.00          | 8.30       | 34                        | 17 | 10 | 3    |

**CUADRO N° 08 - ITERACIONES PARA COMPARACIÓN**

| ITEM | VARIACIÓN<br>EN % | F'c<br>(Kg/cm2) | C.B.R. (%) | TRÁFICO (N° DE VEHÍCULOS) |    |    |      |
|------|-------------------|-----------------|------------|---------------------------|----|----|------|
|      |                   |                 |            | AC                        | C2 | C3 | T3S3 |
| 1    | 1.00%             | 210             | 8.3        | 20                        | 10 | 6  | 2    |
| 2    | 5.00%             | 220.50          | 8.72       | 21                        | 11 | 6  | 2    |
| 3    | 10.00%            | 231.00          | 9.13       | 22                        | 11 | 7  | 2    |
| 4    | 15.00%            | 241.50          | 9.55       | 23                        | 12 | 7  | 2    |
| 5    | 20.00%            | 252.00          | 9.96       | 24                        | 12 | 7  | 2    |
| 6    | 25.00%            | 262.50          | 10.38      | 25                        | 13 | 8  | 3    |
| 7    | 30.00%            | 273.00          | 10.79      | 26                        | 13 | 8  | 3    |
| 8    | 35.00%            | 283.50          | 11.21      | 27                        | 14 | 8  | 3    |
| 9    | 40.00%            | 294.00          | 11.62      | 28                        | 14 | 8  | 3    |
| 10   | 45.00%            | 304.50          | 12.04      | 29                        | 15 | 9  | 3    |
| 11   | 50.00%            | 315.00          | 12.45      | 30                        | 15 | 9  | 3    |
| 12   | 55.00%            | 325.50          | 12.87      | 31                        | 16 | 9  | 3    |
| 13   | 60.00%            | 336.00          | 13.28      | 32                        | 16 | 10 | 3    |
| 14   | 65.00%            | 346.50          | 13.70      | 33                        | 17 | 10 | 3    |
| 15   | 70.00%            | 357.00          | 14.11      | 34                        | 17 | 10 | 3    |

## **ANEXO B**

# **DISEÑOS DE PAVIMENTO VARIANDO EL $f'c$**