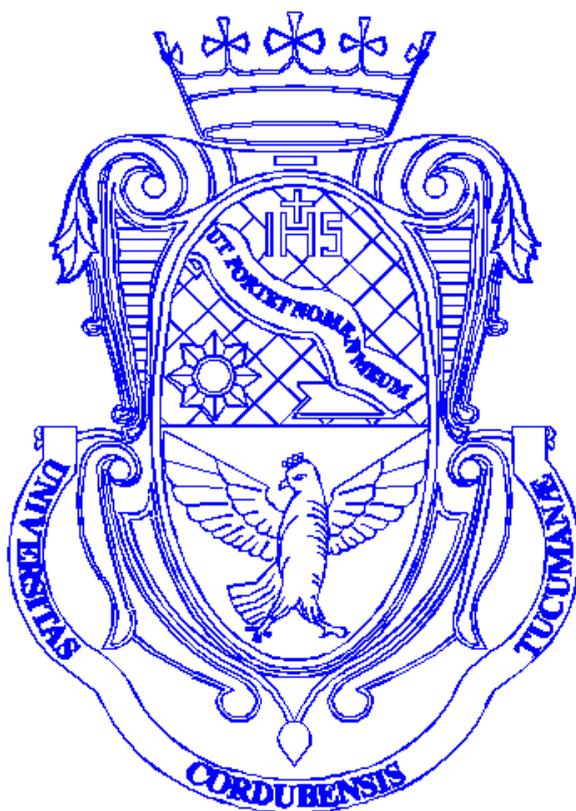


**Universidad Nacional de Córdoba.  
Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales.**



**Práctica Supervisada**

**Proyecto intersección RP N° 30- Acceso a localidad de Achiras.**

**Autor: José Luis Zigarán**

**Tutor Interno: Ing. Civil. Oscar Dapaz**

**Supervisor Externo: Ing. Civil. Guillermo Jaureguiualzo**

**Córdoba, julio de 2014**

***Agradecimientos:***

*Las siguientes personas colaboraron de una u otra forma para la realización de este trabajo:*

- Ing. Oscar Dapaz (Tutor interno).*
- Ing. Guillermo Jaureguiázo, A&J Consultores (Tutor externo).*
- Ing. Miguel Rico, profesor adjunto de la Cátedra Transporte III.*
  - Ing. Prosdócimo, jefe del departamento obras de la D.P.V.*
- Sr. Intendente de la ciudad de Achiras Elio Poffo, provincia de Córdoba.*
- Técnico Constructor Aldo Balverde, laboratorio de suelos de la D.P.V.*
- Técnico Constructor Jorge Diaz, departamento de estudios y proyectos de la D.N.V.*

*A todos ellos mi más sincero agradecimiento por sus consejos, enseñanzas, cesión de información, por permitirme utilizar el laboratorio vial de la facultad, préstamo del dispositivo para el ensayo de cono de arena, traslado y estadía en Achiras, ya que fueron importantes para darle culminación a mis estudios universitarios.*

**INDICE:**

<b>CAPITULO 1: INTRODUCCION</b> .....	1
1.1. DESCRIPCION DEL PROYECTO. ....	1
Ubicación del proyecto. Figura 1.....	1
1.2. UBICACIÓN GEOGRAFICA. ....	2
Ubicación de la localidad de Achiras. Figura 2.....	2
1.3. METODOLOGIA. ....	3
1.4. OBJETIVOS DE LA PRÁCTICA SUPERVISADA.....	3
<b>CAPITULO 2: ANTECEDENTES.</b> .....	1
2.1. BUSQUEDA DE ANTECEDENTES. ....	1
2.1.1. <i>Tránsito</i> . ....	1
2.1.2. <i>Características de las capas existentes</i> .....	1
2.1.3. <i>Condiciones ambientales (Temperatura, lluvia, drenaje)</i> . ....	2
2.2. ANALISIS DEL CASO EN ESTUDIO. ....	2
2.2.1. <i>Tránsito</i> . ....	2
Composición vehicular. Tabla 1. ....	3
2.2.2. <i>Condiciones ambientales</i> . ....	3
2.2.3. <i>Características de las capas existentes</i> .....	3
Excavación del pozo. Figura 3. ....	4
Toma de muestras. Figura 4.....	4
<b>CAPITULO 3: ENSAYOS REALIZADOS.</b> .....	1
3.1. TAMIZADO DE SUELO POR VIA HUMEDA (VN – E1 – 65).....	1
3.2. ANALISIS MECANICO DE MATERIALES GRANULARES (VN - E7 - 65).....	2
Lavado de material sobre Tamiz N° 200. Figura 5. ....	3
3.3. LIMITE LIQUIDO.....	4
Factor de corrección. Tabla 2. ....	5
Calibración del Aparato de Casagrande. Figura 6.....	5
3.4. LIMITE PLASTICO, INDICE DE PLASTICIDAD. ....	6
3.5. CLASIFICACION DE SUELOS. ....	7
3.5.1. <i>Materiales granulares</i> . ....	7
3.5.2. <i>Materiales limo-arcillosos</i> . ....	7
3.6. CONTROL DE COMPACTACION POR EL METODO DE LA ARENA. ....	8
Arena normalizada (pasa Tamiz N° 20 y retiene Tamiz N° 30). Figura 7.....	9
3.7. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS.....	10
3.7.1. Análisis granulométrico. ....	10
Capa 1 (Base).....	10
Granulometría de la capa de base. Tabla 3. ....	10
Curva granulométrica de la capa de base. Gráfico 1.....	10
Capa 2 (Subbase).....	11
<i>Granulometría de la capa de subbase. Tabla 4</i> .....	11
Curva granulométrica de la capa de subbase. Gráfico 2.....	11
Capa 3 (Subrasante).....	12
Granulometría de la subrasante. Tabla 5. ....	12
Curva granulométrica de la subrasante. Gráfico 3. ....	12
3.7.2. <i>LIMITE LÍQUIDO</i> . ....	13
Cálculo del Límite líquido. Tabla 6. ....	13
Factor de corrección para LL, según N, número de golpes. ....	13
3.7.3. <i>Límite Plástico</i> . ....	14
Cálculo del Límite plástico. Tabla 7.....	14
3.7.4. <i>Clasificación de suelos</i> . ....	14
3.7.5. <i>Control de compactación por el Método de la arena</i> .....	14
Determinación de la constante del embudo. Figura 8. ....	15
Densidad de la arena normalizada. Figura 9.....	15

Densidad de la arena normalizada. Figura 10.....	15
Ensayo en capa de base (Figuras 11 a 15).....	16
Ejecución del pozo y extracción del suelo del mismo. Figura 11. ....	16
Giro del robinete ¼ de vuelta. Figura 12. ....	16
Retiro del dispositivo. Figura 13. ....	16
Pozo con arena normalizada en su interior. Figura 14. ....	16
Extracción de la arena normalizada. Figura 15. ....	16
Ensayo en capa de subbase (Figuras 16 a 19). ....	17
Extracción del material del pozo y colocación en bolsa de polietileno. Figura 16. ....	17
Colocación de arena normalizada en el recipiente superior. Figura 17. ....	17
Retiro del dispositivo de la bandeja. Figura 18. ....	17
Pozo con arena normalizada en su interior. Figura 19. ....	17
<b>CAPITULO 4: TIPOS DE PAVIMENTOS.</b> .....	1
4.1. PAVIMENTO FLEXIBLE. ....	1
4.2. PAVIMENTOS RIGIDOS.....	2
4.3. TIPOS DE PAVIMENTOS RIGIDOS. ....	3
4.3.1. Pavimento de hormigón simple con juntas (JPCP – JOINTED PLAIN CONCRETE PAVEMENT). ....	3
Pavimento de hormigón simple con juntas. Figura 20. ....	3
4.3.2. Pavimento de hormigón armado con juntas (JRCP – JOINTED REINFORCED CONCRETE PAVEMENT). ....	3
Pavimento de hormigón armado com juntas. Figura 21. ....	4
4.3.3. Pavimento de hormigon continuamente armado (CRCP – CONTINUOSLY REINFORCED CONCRETE PAVEMENT). ....	4
Pavimento de hormigón continuamente armado. Figura 22. ....	4
<b>CAPITULO 5: EVALUACION ESTRUCTURAL DEL PAV.EXISTENTE (BASADA EN INSPECCIONES VISUALES Y ENSAYOS DE MATERIALES).</b> .....	1
5.1. Inspección visual:.....	1
Grieta transversal. Figura 23.....	1
Grieta transversal con tendencia a ramificarse. Figura 24. ....	1
Grieta longitudinal. Figura 25. ....	1
Grieta longitudinal con tendencia a ramificarse. Figura 26. ....	1
Grietas piel de cocodrilo. Figura 27.....	1
Grietas piel de cocodrilo. Figura 28.....	1
Desprendimiento de material.    Figura 29. ....	2
Desprendimiento de material.    Figura 30. ....	2
Desintegración de bordes del pavimento. Figura 31. ....	2
Desintegración de bordes del pavimento. Figura 32. ....	2
Peladura. Figura 33. ....	2
Ahuellamiento. Figura 34. ....	2
Estado de los carriles. Figura 35.....	3
5.2. Evaluación de materiales: .....	3
<b>CAPITULO 6: REFUERZOS DE PAVIMENTOS.</b> .....	1
6.1. REFUERZO DE HORMIGON SOBRE PAVIMENTOS DE CONCRETO ASFALTICO (WHITETOPPING). ....	1
Whitetopping. Figura 36.....	2
6.1.1. Whitetopping convencional.....	2
6.1.2. Whitetopping ultradelgado.....	3
6.1.3. Conclusiones del capítulo:.....	3
<b>CAPITULO 7: METODO DE DISEÑO ESTRUCTURAL PARA PAVIMENTOS RIGIDOS.</b> .....	1
7.1. METODO DE AASHTO.....	1
7.1.1. Variables a considerar en el método. ....	2

Porcentaje de camiones en el carril de diseño. Tabla 8 .....	2
Porcentaje de ESALS DE 82 KN en el carril de diseño. Tabla 9. ....	2
Desviación normal estándar (Zr). ....	2
Desviación normal estándar (Zr).Tabla 10. ....	3
Error estándar combinado (So). ....	3
Confiabilidad (R). Tabla 11. ....	4
Variación del índice de serviciabilidad ( $\Delta$ PSI). ....	4
Coeficiente de drenaje (Cd). ....	4
Calidad del drenaje. Tabla 12. ....	4
Coeficiente de drenaje (Cd). Tabla 13. ....	5
Coeficiente de transmisión de carga (J). ....	5
Coeficiente de transmisión de carga (J). Tabla 14. ....	5
Módulo de elasticidad del concreto (Ec). ....	5
Módulo de rotura del concreto (MR). ....	6
FACTOR DE PERDIDA DE SOPORTE (Ls). ....	6
Factor de pérdida de soporte (Ls). Tabla 15. ....	6
Módulo de reacción K. ....	6
7.2. METODO DE LA PCA. ....	7
7.2.1. <i>Parámetros básicos de diseño</i> ....	7
<i>Resistencia a flexión del hormigón (Módulo de rotura MR).</i> ....	7
<i>Módulo de reacción del conjunto subrasante-subbase.</i> ....	7
Correlación aproximada entre clasif. de suelos y diferentes ensayos.Tabla 16.....	8
Módulo de reacción del conjunto subbase - subrasante. Tabla 17. ....	8
Tránsito. ....	8
Factor de seguridad de cargas. ....	8
Período de diseño. ....	9
7.3. CALCULO DEL ESPESOR DEL PAVIMENTO DE HORMIGON. ....	9
7.3.1. <i>Método de AASHTO.</i> ....	9
Cálculo del TMDA. Tabla 18. ....	9
Determinación de los ESALS de 82 KN ( 18 Kips). Tabla 19. ....	10
Diseño estructural: ....	11
Alternativa 1 (Procedimiento): ....	11
<i>Relación entre el coeficiente estructural para subbase granular y distintos parámetros resistentes). Gráfico 4.</i> ....	12
Relación entre el coeficiente estructural para base granular y distintos parámetros estructurales. Gráfico 5. ....	12
Coeficientes de capa sugeridos según la condición de la superficie, para pavimentos asfálticos. Tabla 20. ....	13
Coeficiente a1 – Módulo de elasticidad de la capa asfáltica (EAC). Gráfico 6. ....	13
Determinación del Módulo de reacción compuesto. Gráfico 7. ....	14
Espesor de la losa de hormigón para la Alternativa 1. Tabla 21. ....	15
(Relación entre el coeficiente estructural para base tratada con cemento y distintos parámetros resistentes). Gráfico 8. ....	15
Alternativa 2 (Procedimiento): ....	16
Corrección del Módulo de reacción efectivo. Gráfico 9. ....	16
Espesor de la losa de hormigón para la Alternativa 2. Tabla 22. ....	16
Alternativa 3 (Procedimiento): ....	17
Espesor de la losa de hormigón para la Alternativa 3. Tabla 23. ....	17
7.3.2. <i>Método de la PCA.</i> ....	17
Efecto de la subbase no tratada en el Módulo de reacción k. Tabla 24. ....	17
Repeticiones diarias por trocha según tipo de eje. Tabla 25. ....	18
Volúmenes de ejes acumulados durante el período de diseño. Tabla 26. ....	18
Datos para el diseño. Tabla 27 .....	18

Factores relación de esfuerzos. Tabla 28. ....	19
Factores de erosión. Tabla 29. ....	19
Análisis por fatiga y erosión. Tabla 30. ....	19
Datos para el diseño. Tabla N° 31 .....	20
Efecto de la subbase tratada con cemento en el Módulo de reacción k. Tabla 32. ....	20
Factores de relación de esfuerzos (Para ensanche). Tabla 33. ....	20
Factores de erosión (Para ensanche). Tabla 34. ....	20
Análisis por fatiga y erosión (Para ensanche). Tabla 35. ....	21
Repeticiones diarias por trocha según tipo de eje (se considera el 80 % de carga máxima por eje) . Tabla 36. ....	21
Volúmenes de ejes acumulados durante el período de diseño. Tabla 37.....	21
Diseño del espesor. Tabla 38 .....	22
Factores Relación de esfuerzos. Tabla 39.....	22
Factores de erosión. Tabla 40. ....	22
Análisis por fatiga y erosión. Tabla 41. ....	23
Datos para el diseño. Tabla 42. ....	23
Factores de relación de esfuerzos (Para ensanche). Tabla 43. ....	23
Factores de erosión (Para ensanche). Tabla 44. ....	23
Análisis por fatiga y erosión (Para ensanche). Tabla 45. ....	24
7.4. Resultados del diseño estructural: .....	24
7.4.1. Método de AASHTO.....	24
7.4.2. Método de la PCA. ....	24
7.4.3 Conclusiones del capítulo:.....	24
<b>CAPITULO 8: ANALISIS DE SENSIBILIDAD. ....</b>	<b>1</b>
Gráfico 10.....	1
Gráfico 11.....	1
Gráfico 12.....	1
Gráfico 13.....	2
Gráfico 14.....	2
Gráfico 15.....	2
Gráfico 16.....	3
Gráfico 17.....	3
Gráfico 18.....	3
8.1. CONCLUSIONES DEL CAPITULO.....	4
<b>CAPITULO 9: CÓMPUTO Y PRESUPUESTO. ....</b>	<b>1</b>
9.1. ALTERNATIVA 1.....	1
Terraplén en perfiles. Tabla N° 46 .....	2
Señalización vertical. Tabla N°47.....	3
Tabla N° 48.....	4
9.2. ALTERNATIVA 2.....	5
Tabla N° 49.....	5
9.3. ALTERNATIVA 3.....	5
Tabla N° 50.....	5
<b>CAPITULO 10: CONCLUSIONES FINALES DE LA PS. ....</b>	<b>1</b>
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>1</b>

**Anexo 1: Antecedentes.**

**Anexo 2: Cálculo de ejes equivalentes considerando los espectros de carga.**

**Anexo 3: Perfiles estructurales.**

**Anexo 4: Planos de la intersección.**

## CAPITULO 1: INTRODUCCION.

### 1.1. DESCRIPCION DEL PROYECTO.

En este trabajo, se describe el informe técnico correspondiente a la Práctica Supervisada desarrollada por el alumno José Luis Zigarán, en la oficina de A&J Consultores del Ingeniero Guillermo Jaureguiualzo, en el marco del proyecto “Intersección Ruta Provincial N° 30 – Acceso a la localidad de Achiras”.

En la actualidad, dicha localidad cuenta con dos accesos desde la R. P. N° 30. Para uno de ellos, existe un proyecto del tipo rotonda, como parte del proyecto “Pavimentación R. P. N° E - 86, tramo Sampacho – Achiras”, el cual permitirá maniobras seguras de cambio de velocidades y giros para acceso y egreso a dicha localidad.

El otro acceso, intersección de R .P. N° 30 con Avenida Del Libertador, presenta una serie de problemas que es necesario corregir, y que están relacionados con el tránsito (reiterados accidentes, giros a la izquierda de vehículos desde la vía principal, movimiento vehicular irregular). Figura 1.

**Ubicación del proyecto. Figura 1.**



Representa el principal acceso en términos de demanda vehicular, fundamentalmente debido a la presencia de una estación de servicio (YPF), que es la responsable de un alto porcentaje de las maniobras realizadas.

A la derecha de la Figura 1, se observa un camino de tierra, paralelo a la vía principal (R. P. N° 30), el cual es utilizado por los vecinos de la zona para circular con sus vehículos, generando cruces en diagonal hacia YPF, giros a la izquierda para acceder a la R. P. N° 30, giros a la derecha para ingresar a la vía secundaria (Avenida Del

Libertador). Desde esta avenida, los vehículos giran a la izquierda para acceder al camino de tierra.

Los movimientos irregulares mencionados, contribuyen al aumento de los puntos de conflicto en la intersección, en consecuencia también aumenta la probabilidad de accidentes.

La intersección en estudio, se encuentra emplazada en la zona sur de la ciudad. Da salida al agua que recoge la cuenca de aporte, situada aguas arriba, existiendo una fuerte deposición de sedimentos, compuestos básicamente de material granular (arena), proveniente del lavado de la cuenca de aporte.

La mayoría de las calles que constituyen dicha cuenca son de tierra (a excepción de la R. P. N° 30 y de la Avenida Del Libertador, las cuales están pavimentadas).

Estas deposiciones representan un potencial riesgo de ocurrencia de accidentes.

La problemática citada es motivo de preocupación para los habitantes de Achiras (existe un historial de accidentes en el lugar) y para el Sr. Intendente en particular, quien impulsa el desarrollo del Anteproyecto que se presenta en este trabajo.

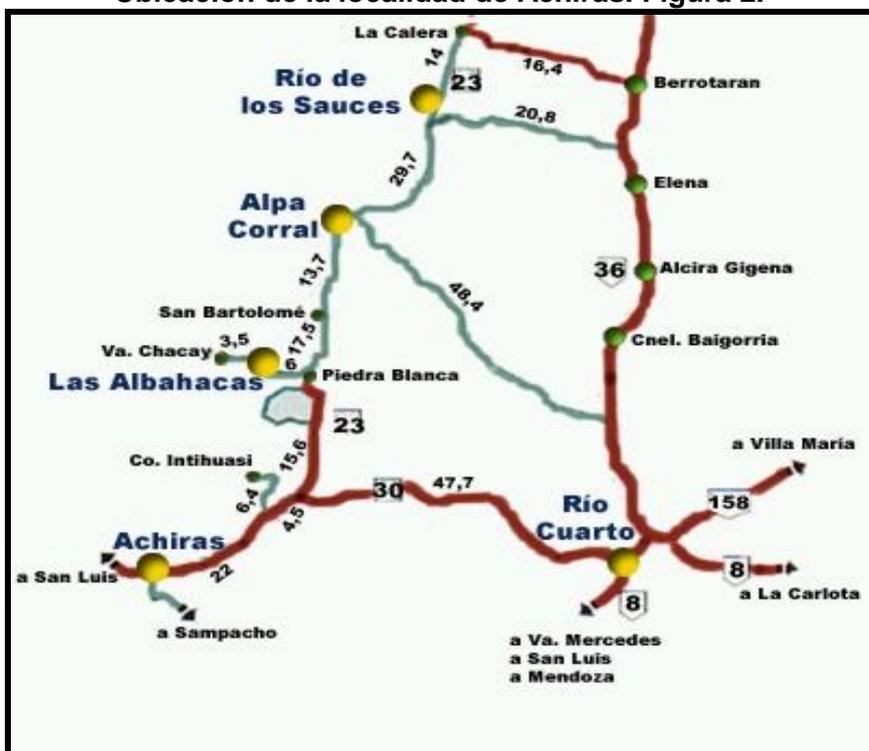
Dicho anteproyecto consiste en el diseño geométrico y diseño estructural de la intersección (éste último objeto de la PS). Para ello se propone realizar el ensanche de la calzada para carriles de aceleración y desaceleración, lo que constituye la obra nueva, y la colocación de un pavimento de hormigón simple con pasadores sobre pavimento flexible existente y ensanche.

## 1.2. UBICACIÓN GEOGRAFICA.

La localidad de Achiras, departamento Río Cuarto, provincia de Córdoba, está ubicada a 272 kilómetros de la capital provincial y a 70 kilómetros de la ciudad de Río Cuarto por la Ruta Provincial N° 30 (Figura 2).

Según datos correspondientes al Censo Nacional de Población, Vivienda y Hogares del Año 2001, su población asciende a 2173 habitantes.

Ubicación de la localidad de Achiras. Figura 2.



### 1.3. METODOLOGIA.

El desarrollo de la Práctica Supervisada implicó las siguientes actividades:

- Búsqueda de información relacionada con la intersección en estudio en reparticiones públicas.
- Recopilación y análisis de antecedentes bibliográficos, publicaciones y fotografías aéreas de la zona involucrada.
- Visita a la obra para extraer muestras de suelos de las distintas capas que conforman el paquete estructural del pavimento existente (que serán analizadas con posterioridad en el laboratorio), y para tomar fotos de la intersección (para conocer el estado de la carpeta asfáltica, banquetas). También se realizó un conteo vehicular en distintas horas del día para determinar la cantidad de vehículos que circulan por la intersección en estudio, su composición y porcentaje de vehículos pesados.
- Ensayos de suelos en laboratorio vial: A las muestras obtenidas en obra, se les realizaron los ensayos de Granulometría, Límite líquido, Límite plástico (para determinar sus propiedades), Clasificación de los suelos y Control de compactación por el método de la arena (para determinar la densidad in situ).
- Evaluación estructural del pavimento flexible, basada en una inspección visual y evaluación de materiales.
- Determinación del Tránsito Medio Diario Anual (TMDA) para el período de diseño, en función de los datos de tránsito obtenidos.
- Transformación a ejes simples equivalentes a 82 KN (ESALS) de los ejes de distintos pesos que circularán sobre el pavimento a lo largo del período de diseño.
- Diseño estructural con Método AASHTO y de la PCA.

En cuanto al diseño estructural, se plantearon distintas alternativas:

- Alternativa 1: Refuerzo de hormigón sobre pavimento asfáltico existente. El cálculo del espesor de la losa de hormigón se realizó con M. AASHTO.
- Alternativa 2: Retiro de la capa asfáltica existente y sobre las capas granulares se coloca un pavimento de hormigón. Cálculo del espesor con M. AASHTO y de la PCA.
- Alternativa 3: Reclamado de las capas granulares (mezcla granular compuesta por el reciclado de la estructura existente y la incorporación de agua, arena silíceo, piedra triturada 6 – 25 mm) y colocación de un pavimento de hormigón. Cálculo del espesor con M. AASHTO y de la PCA.

En cualquiera de las alternativas se utiliza un pavimento de hormigón simple con juntas y pasadores.

- Análisis de sensibilidad de las variables que se consideran en el diseño estructural.
- Cómputo métrico de las alternativas planteadas. Se desarrollan los ítems de todos los trabajos necesarios para ejecutar la obra en su totalidad.

### 1.4. OBJETIVOS DE LA PRÁCTICA SUPERVISADA.

- Introducir al alumno en el ámbito laboral, aplicando y profundizando los conocimientos adquiridos durante el transcurso de la carrera.
- Vinculación con profesionales afines a la ingeniería.
- Adquirir experiencia práctica para su inserción en el ejercicio de la profesión.
- Comprender la responsabilidad que implica el desarrollo de la actividad y toma de decisiones.

- Lograr un desarrollo personal y profesional en el ámbito de trabajo.
- Utilización de nuevas tecnologías.
- Redacción de informes técnicos.

## **CAPITULO 2: ANTECEDENTES.**

### **2.1. BUSQUEDA DE ANTECEDENTES.**

El diseño estructural de un pavimento rígido sobre un flexible ya existente, se inicia con la búsqueda, análisis, evaluación y uso de información y datos, los cuales se constituyen en factores condicionantes del mismo.

#### **2.1.1. Tránsito.**

Es necesario conocer el número de vehículos que pasa por el tramo de ruta en estudio. A tal efecto se realizan estudios de volúmenes de tránsito, los cuales pueden variar desde los más amplios en un sistema de caminos, hasta el recuento en lugares específicos tales como puentes, túneles o intersecciones de carreteras.

Estos aforos se realizan con el objeto de:

- Determinar la composición y volumen de tránsito en un sistema de carreteras.
- Evaluar índices de accidentes.
- Servir de base para la clasificación de caminos.
- Datos útiles para la planeación de rutas y determinación de proyectos geométricos.
- Proyectar sistemas de control de tránsito.
- Elaborar sistemas de mantenimiento.
- Establecer prioridades y técnicas de construcción.
- Determinar el tránsito futuro, etc.

En todo estudio de volúmenes de tránsito es necesario obtener dos datos básicos: el tránsito medio diario general y el tránsito medio diario de camiones.

Al evaluar el tránsito para una carretera determinada, se debe tener en cuenta la localización geográfica de la misma dentro del complejo de la red vial y áreas que la circundan, con el objeto de tomar en cuenta hasta donde sea posible los futuros desarrollos de complejos habitacionales, industriales, turísticos, agrícolas y proyectos de carácter regional, que contribuirán con el tiempo a incrementar el flujo vehicular de la carretera proyectada.

También es necesario conocer las tasa de crecimiento anual del tránsito, la distribución por dirección en cada sentido del camino y si fuera en carreteras con más de dos vías, la distribución vehicular en cada una de ellas.

El tránsito cambia según el día de la semana, según la semana del mes, según la estación o época del año, según los días de descanso o asueto, etc.

Resulta necesario contar con estadísticas de períodos largos de evaluación del tránsito, para analizar el comportamiento de los diferentes volúmenes y tipos de vehículos, que nos permitan en mejor forma evaluar las cargas que se aplicarán a la estructura del pavimento.

#### **2.1.2. Características de las capas existentes.**

Todos los materiales están caracterizados por el Módulo de Elasticidad, llamado Módulo Dinámico en mezclas asfálticas, Módulo de Resiliencia para los materiales granulares sin tratar y los materiales de los suelos.

En nuestro caso en particular, interesa conocer los espesores de las distintas capas que conforman el paquete estructural del pavimento flexible existente, materiales constituyentes, Módulo de Resiliencia de la base, subbase y subrasante, respectivamente.

En el Método AASHTO 93, el Módulo de Resiliencia reemplaza al CBR como variable para caracterizar la subrasante, subbase y base.

El Módulo de Resiliencia es una medida de la propiedad elástica de los suelos que reconoce a su vez las características no lineales de su comportamiento.

Puede ser usado directamente para el diseño de pavimentos flexibles, pero también puede ser convertido a un módulo de reacción de la subrasante (k) para el diseño de pavimentos rígidos.

Se han dado correlaciones para encontrar el valor del Módulo de Resiliencia, como la relación:

$$Mr \text{ (psi)} = B \times \text{CBR}$$

Este valor está desarrollado si el CBR < 10 %, en donde B = 1500.

Una relación similar ha sido desarrollada por el Instituto del Asfalto, la cual relaciona el valor de resistencia R y el Módulo de Resiliencia:

$$Mr \text{ (psi)} = A + B \times R$$

Si R < 20, A vale 1000, B vale 555.

### **2.1.3. Condiciones ambientales (Temperatura, lluvia, drenaje).**

Estos factores se involucran en el diseño, ya que dependiendo de la facilidad con que pueda salir el agua de las capas que conforman el pavimento, el comportamiento y los cambios de las características físicas y mecánicas se verán más o menos afectados.

Son objeto de consideración las temperaturas extremas diarias y estacionales, el régimen y la cuantía de las precipitaciones y la posible presencia de hielo o nieve sobre el pavimento.

## **2.2. ANALISIS DEL CASO EN ESTUDIO.**

### **2.2.1. Tránsito.**

En la ciudad de Achiras, durante el término de 1 día, se realizó un estudio del volumen del tránsito en la intersección de la Ruta Provincial N° 30 con Avenida Del Libertador.

Con tal motivo, se hicieron conteos visuales del flujo vehicular a distintas horas del día.

Dichos conteos permitieron determinar la cantidad de vehículos que circulaban por la intersección, su composición y dentro de ella el porcentaje de vehículos pesados.

Al observar la vía se puso en evidencia la gran variedad de vehículos, desde autos particulares, camionetas a camiones de distinto porte.

El mayor volumen de tránsito se produce en la franja horaria que va de hs 12:00 a hs 15:00.

Se eligió la hora 14:00 de un día laborable como la más representativa, debido a su mayor volumen vehicular y porcentaje de camiones.

Los porcentajes obtenidos en el conteo de la hora 14:00 se expresan a continuación en la Tabla 1.

Se observa que el 77.7 % de la composición corresponde a vehículos livianos, los cuales no son considerados en los cálculos, debido a su casi nulo efecto destructivo. Interesa el tipo de eje (simple, tandem, tridem), como la distribución de ruedas por eje (simple, dual).

En la Dirección Provincial de Vialidad (DPV) se encontró información del Tránsito Medio Diario Anual (TMDA).

El mismo corresponde al año 2004, por lo que es necesario ajustarlo para prever la demanda actual.

Se considera una tasa de crecimiento anual (i) del 3 %.

$$TMDA_{2004} = 1403 \text{ v/d}$$

$$TMDA_{2013} = TMDA_{2004} \times (1+i)^n = 1403 \times (1+0,03)^9 = 1831 \text{ v/d}$$

Proyectamos la demanda al horizonte de diseño que se estipula en 20 años.

$$TMDA_{2033} = TMDA_{2013} \times (1+0,03)^{20} = 3307 \text{ v/d}$$

**Composición vehicular. Tabla 1.**

COMPOSICION VEHICULAR			
TIPO DE VEHICULO	DISTRIBUCION DE EJES	Nº DE EJES	% DE CADA TIPO DE VEHICULO
Automóvil	1 1	2	0,555
Camioneta	1 1	2	0,222
Omnibus	1 1	2	0,035
Camión s/ acoplado	1 2	3	0,017
Camión c/ acoplado	1 1 - 1 1	4	0,012
	1 1 - 1 2	5	0,070
Camión c/ semirremolque	1 1 1	3	0,030
	1 1 2	4	0,040
	1 1 3	5	0,018
	1 2 3	6	0,001

### 2.2.2. Condiciones ambientales.

Achiras posee un clima favorable, con temperaturas anuales que no superan los 40 °C ni bajan de - 7 °C.

El promedio de precipitaciones (pluviales y nivales) tiene un rango de 600 a 900 mm/año y se dan principalmente en verano.

En invierno las precipitaciones son casi nulas, puede llegar a precipitar en forma de nieve sobre todo en las sierras. Presenta vientos principalmente provenientes del sur.

### 2.2.3. Características de las capas existentes.

No se encontraron datos del tramo de la Ruta Provincial N° 30 - Acceso a localidad de Achiras en estudio, ya que fue construido hace más de 50 años.

El ingeniero Prosdócimo, del Departamento Obras de la D.P.V., nos brindó información del tramo Río Cuarto – Cuatro vientos, el cual tiene una longitud de 3 kilómetros, sin intervención.

El mismo está ubicado a 50 kilómetros del tramo anteriormente mencionado, perteneciendo ambos al mismo paquete estructural.

La información consiste de:

- Perfiles edafológicos (con los espesores de las distintas capas que constituyen el paquete estructural del pavimento flexible existente).
- Ensayos de granulometría, límite líquido y límite plástico de subrasante, subbase y base.
- Ensayo Proctor de base y subbase.
- Valor Soporte Relativo (V.S.R.) de base y subbase.

Durante la visita a la ciudad de Achiras, lugar donde se localizará este anteproyecto se tomaron muestras de suelo, para ser analizadas con posterioridad.

Sobre la banquina muy cerca del borde del pavimento, se excavó un pozo, del cual se extrajeron muestras de las distintas capas que constituyen el paquete estructural del pavimento flexible existente (Figura 3 y 4).

Las mismas se colocaron en bolsas, debidamente identificadas (banquina, base / subbase / subrasante).

También se midieron los espesores de las capas:

Capa de rodamiento,  $e = 5$  cm.

Base granular,  $e = 15$  cm.

Subbase granular,  $e = 15$  cm.

Con el ensayo de las muestras, se pretende comprobar que las propiedades de los suelos que componen las capas de base, subbase y subrasante, existentes en Achiras, coinciden con las del tramo Río Cuarto - Cuatro vientos y por otra parte determinar las densidades in situ.

**Excavación del pozo. Figura 3.**



**Toma de muestras. Figura 4.**



## CAPITULO 3: ENSAYOS REALIZADOS.

En el laboratorio vial de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (UNC), se realizaron los siguientes ensayos de las muestras obtenidas in situ:

- Análisis granulométrico (Normas de ensayo VN - E1 - 65 y VN - E7 - 65).
- Límite líquido (Norma de ensayo VN - E2 - 65).
- Límite plástico, índice de plasticidad (Norma de ensayo VN - E3 - 65).
- Clasificación de suelos (Norma de ensayo VN - E4 - 84).
- Control de compactación por el Método de la arena (Norma de ensayo VN - E8 - 66).

### 3.1. TAMIZADO DE SUELO POR VIA HUMEDA (VN – E1 – 65).

Se detalla el procedimiento a seguir para establecer la distribución porcentual de las partículas finas de un suelo o fracción fina de un material granular, de tamaño inferior a los tamices IRAM 2 mm (N° 10), IRAM 425 micrómetros (N° 40) e IRAM 75 micrómetros (N° 200).

En general este ensayo se efectúa solo sobre muestras de suelo fino pero a veces también se lo hace sobre suelo con gran cantidad de material grueso. Si se trata de suelo fino debe enviarse al laboratorio no menos de 1000 gr. Cuando el suelo contiene material grueso la cantidad mínima depende del mayor tamaño de las partículas. Siendo D el mayor diámetro en mm, la cantidad mínima en gr a enviar debe ser aprox. igual a 1000 D.

Previa homogeneización por cuarteo se obtienen dos porciones, de las cuales una de ellas se destina para la determinación de la granulometría de la parte fina de los suelos y la otra se utiliza para los ensayos de Límite líquido y Límite plástico – Índice de plasticidad.

#### **Procedimiento.**

a) Suelos finos : De una de las porciones obtenidas por cuarteo se toma una cantidad adecuada. Si se trata de suelo fino que pasa por Tamiz N° 10 bastan 200 gr. Se seca en estufa a 105 – 110 °C y se pesa el material a ensayar.

b) Suelos en material grueso : Siendo D el mayor diámetro en mm y P la cantidad de muestra a ensayar, P debe estar comprendida entre :  $200 D < P < 500 D$ . La cantidad a ensayar se pesa en estufa a 105 – 110 °C y se pesa.

c) Se la coloca en un recipiente con agua en cantidad suficiente para cubrir holgadamente la muestra. Se deja en reposo durante 24 hs.

d) Si se trata de suelo fino se vierte el contenido del recipiente sobre un Tamiz N° 200 y se lava con un chorro de agua no muy fuerte hasta que el agua que escurre del tamiz salga limpia.

e) El material que queda en el Tamiz N° 200 se recoge en una cápsula y se seca en estufa a 105 – 110 °C hasta peso constante. Una vez seco, se coloca en el mortero y se desmenuza con la mano del mortero revestida en goma, ejerciendo presión para deshacer los terrones que pudieran haberse formado al secar el material.

f) El material así obtenido se pasa por los tamices N° 40 y N° 200. Se pesan las fracciones retenidas.

g) Si se trata de suelos con material grueso, luego de lo indicado en c) se remueve el contenido del recipiente y se vuelca el líquido sobre el tamiz N° 200 continuando el lavado del tamiz hasta que salga el agua limpia. Se agrega agua al recipiente, se agita con una varilla, se deja reposar dos o tres minutos y se vuelca el líquido sobre el mismo tamiz. Se repite la operación dos o tres veces. Finalmente se coloca sobre el tamiz ya mencionado los tamices N° 40 Y N° 10 en ese orden, y se vierte todo el contenido del recipiente sobre el conjunto continuando el lavado hasta que no pase más material.

h) Se continúa como se indica en f) con la salvedad de que el segundo tamizado debe ser por los tamices N° 10, N° 40 Y N° 200.

Cálculos: Sea P el peso de muestra seca inicial y P1, P2, P3 los pesos retenidos por los tamices N° 10, N° 40 y N° 200 respectivamente. La cantidad de material que pasa por cada tamiz se obtiene restando al peso inicial lo retenido por los tamices anteriores. Los porcentajes que pasan por cada tamiz se obtienen multiplicando por 100 el peso que pasa dividiendo el resultado por el peso inicial.

### 3.2. ANALISIS MECANICO DE MATERIALES GRANULARES (VN - E7 - 65).

Se detalla el procedimiento a seguir para establecer la distribución porcentual de las partículas que componen un material granular, que se usará en la construcción de terraplenes, bases o subbases, en función de su tamaño y dibujar la curva representativa del mismo.

La cantidad de muestra a ensayar en función del mayor tamaño de sus partículas. Siendo "D" el tamaño en mm de las partículas más grandes y "P" el peso en gr de la muestra, la cantidad mínima a ensayar deberá ser mayor que 500 D.

La muestra remitida al laboratorio debe pesar por lo menos 4 veces la calculada en el párrafo anterior. El material debe ser homogeneizado volcándolo sobre una lona, removiendo hasta obtener completa uniformidad, utilizando para ello la pala ancha.

Se realiza el cuarteo de la muestra, para ello se la distribuye en la lona y se achata con la pala. Se divide en cuatro sectores aproximadamente iguales, según dos diámetros perpendiculares. Se toman dos sectores opuestos y se mezclan cuidadosamente. Se repite la operación tantas veces como sea necesario hasta obtener la cantidad de material establecida anteriormente.

El material así obtenido se seca en estufa a 105 - 110 °C hasta peso constante.

1. Caso de material limpio:

a) La cantidad a ensayar se pesa y se anota su peso (Pt).

b) Se pasa el total del material por las distintas cribas, comenzando por la de mayor abertura y se determina el peso retenido por cada criba. Esta operación se completa hasta el tamiz N° 4.

c) Se pesa la cantidad librada por el tamiz N° 4. Si este peso es menor de 1500 gr se prosigue el tamizado por los tamices de la serie. Si es mayor de 1500 gr se toma por cuarteo una cantidad inferior a ésta última, se pesa (PC) y se prosigue la operación con los restantes tamices de la serie.

2. Caso de materia con películas adheridas a las partículas o mezclado con cohesivo :

a) La cantidad a ensayar se pesa (Pt).

b) Se coloca todo el material dentro de la bandeja para lavado, se tapa el vertedero, se agrega agua de modo que cubra toda la muestra. Se remueve con la espátula o con la mano, desmenuzando los terrones que pudieran existir.

Se deja actuar el agua durante un tiempo más o menos largo, 24 hs cuando se trata de cohesivo muy activo. Tratándose de arenas finas es conveniente calentar el agua a 80 °C.

c) Se coloca debajo del vertedero un tamiz N° 200 sobre el cual se pone uno de abertura algo mayor por ej. el tamiz N° 10. Se destapa el vertedero y se sigue haciendo correr agua dentro de la bandeja, removiendo de modo que la corriente arrastre el material fino.

Se sigue la operación hasta que el líquido que pasa a través del tamiz N° 200 salga limpio.

d) Se recoge todo el material sobrante en la bandeja y el retenido por los tamices, se seca a peso constante y se anota el peso (P1).

e) Se prosigue como se indica desde 1.b hasta 1.c.

**Cálculos:**

Caso de material limpio : a) Se resta del material seco total (PT) lo retenido por el tamiz IRAM mayor abertura. Se obtiene la cantidad librada por ese tamiz P1. De este peso se resta lo retenido por el segundo tamiz y se obtiene el peso del material librado por él. Se sigue de esta forma hasta el tamiz N° 4 inclusive, determinando el peso total del material que pasa este tamiz (PA). b) Se calcula el cociente PA/PC y se multiplica por este resultado las porciones retenidas por cada uno de los tamices subsiguientes siendo las cantidades resultantes las que se tomarán como sustrayendo en las restas sucesivas indicadas. c) Porcentajes de películas que pasan por cada tamiz :

% que pasa =  $(P/Pt) \times 100$

P: Cantidad total librada para cada tamiz

Pt: Cantidad total de muestra ensayada

Caso de material con películas adheridas a las partículas o mezclado con adhesivos : a) Se procede igual que el caso anterior hasta el tamiz N° 4. b) De la porción librada por ese tamiz, se resta la parte eliminada por el lavado realizado que es  $Pt - P1$ . El resultado se divide  $Pc$ , este cociente es el factor por el que se multiplican las cantidades retenidas en el tamizado subsiguiente. Los resultados de estas multiplicaciones serán los sustraendos de las restas sucesivas. c) Para obtener los porcentajes de las partículas que pasan por cada tamiz se utiliza la fórmula anterior.

**Lavado de material sobre Tamiz N° 200. Figura 5.**



### 3.3. LIMITE LIQUIDO.

Es el contenido de humedad, expresado en porcentaje del peso del suelo seco, existente en un suelo en el límite entre el estado plástico y el estado líquido del mismo. Se define arbitrariamente, como el contenido de humedad necesario para que dos mitades de una pasta de suelo de 1 cm de espesor, fluya y se unan en una longitud de 12 mm aproximadamente, en el fondo de la muesca que separa las dos mitades, cuando la cápsula que la contiene golpea 25 veces desde una altura de 1 cm, a la velocidad de 2 golpes por segundo.

Se toman de 50 a 60 gr de material que pasa el Tamiz N° 40 y se coloca en una cápsula de hierro enlozado o de porcelana. Se humedece con agua destilada o potable de buena calidad y se deja reposar por lo menos 1 hora. Posteriormente se continúa agregando agua en pequeñas cantidades, mezclando con la espátula para obtener una distribución homogénea de la humedad.

Cuando la pasta adquiere consistencia se transfiere una porción a la cápsula de bronce del aparato y se distribuye de manera que el espesor en el centro sea de 1 cm aproximadamente.

Con el acanalador se hace una muesca (en dirección normal al eje de rotación) de forma tal que quede limpio el fondo de la cápsula en un ancho de 2 mm.

Se acciona la manivela a razón de 2 vueltas por segundo, se cuenta el número de golpes necesarios para que por fluencia se cierren los bordes inferiores de la muesca en una longitud de aproximadamente 12 mm.

Se debe verificar si la unión es por fluencia y no por corrimiento de toda la masa. Para ello se procura separar con espátula los bordes unidos. Si hubo corrimiento de toda la masa, la separación se logra fácilmente quedando limpio el fondo de la cápsula. En cambio si hubo fluencia, la espátula mueve la parte que ataca, quedando el resto adherido al fondo de la cápsula.

Se retira una porción de pasta de más o menos 10 gr de la parte en que se produjo la unión, se coloca en el pesa filtro previamente tarado. Se pesa y se anota en planilla. También se anota el peso del pesa filtro, número de identificación y número de golpes requeridos para lograr la unión de la pasta. Esta operación se repite dos veces más con contenidos crecientes de agua, procurando que los números de golpes requeridos para el cierre de la muesca sean uno menor y otro mayor de 25 golpes.

La pasta colocada en el pesa filtro se seca en estufa de 105° a 110° C hasta peso cte.

La humedad porcentual de cada punto se calcula con la fórmula:

$$H = [(P1 - P2) / (P2 - Ppf)] \times 100$$

H humedad porcentual; P1 peso del pesa filtro más suelo húmedo [g]; P2 peso del pesa filtro más suelo seco [g]; Ppf peso del pesa filtro [g].

Sobre un sistema de coordenadas rectangulares se toma en abscisas el logaritmo del número de golpes y en ordenadas el porcentaje de humedad. Se ubican los puntos obtenidos, se traza la línea recta que mejor ligue a esos puntos y sobre el eje de las ordenadas, en el punto donde la recta corta la perpendicular trazada desde abscisas por el punto correspondiente a 25 golpes, se lee el valor del Límite líquido.

$$LL = [H / (1.419 - 0.3 \times \log N)] \times 100$$

**Factor de corrección. Tabla 2.**

<b>N</b>	<b>Factor de corrección</b>
<b>20</b>	<b>1.029</b>
<b>21</b>	<b>1.023</b>
<b>22</b>	<b>1.017</b>
<b>23</b>	<b>1.011</b>
<b>24</b>	<b>1.005</b>
<b>25</b>	<b>1.000</b>
<b>26</b>	<b>0.995</b>
<b>27</b>	<b>0.990</b>
<b>28</b>	<b>0.985</b>
<b>29</b>	<b>0.980</b>
<b>30</b>	<b>0.976</b>

**Calibración del Aparato de Casagrande:**

- Se aflojan los tornillos de regulación.
- Se intercala entre la base y la cápsula una chapa de 10mm de espesor. Se puede utilizar el mango del acanalador.
- Mientras hacemos girar la manivela que acciona el excéntrico, se hace correr la cápsula en uno u otro sentido, hasta observar que el excéntrico la libera exactamente desde 10 mm de altura.
- Se ajustan los tornillos de regulación. Se retira el espesor colocado y se verifica si la altura de caída libre es exactamente 10 mm (Figura 6).

**Calibración del Aparato de Casagrande. Figura 6.**



### 3.4. LIMITE PLASTICO, INDICE DE PLASTICIDAD.

Es el contenido de humedad existente en un suelo, expresado en porcentaje del peso de suelo seco, en el límite entre el estado plástico y el estado sólido del mismo.

Este límite se define arbitrariamente, como el más bajo contenido de humedad con el cual el suelo, al ser moldeado en barritas cilíndricas de menor diámetro cada vez, comienza a agrietarse cuando las barritas alcanzan a tener 3 mm de diámetro.

Se toman de 15 a 20 gr de material que pasa el Tamiz N° 40, se colocan en una cápsula de porcelana o de hierro enlozado.

Se humedece con agua destilada o potable de buena calidad, dejándose reposar por lo menos durante 1 hora. Posteriormente se continúa agregando agua en pequeñas cantidades, mezclando con la espátula para obtener una distribución homogénea de la humedad.

Se continúa mezclando hasta que la pasta tenga consistencia plástica, que permita moldear pequeñas esferas sin adherirse a las manos del operador. Una porción así preparada se hace rodar con la palma de la mano sobre una lámina de vidrio, dándole la forma de pequeños cilindros.

La presión debe ser la suficiente para que las barritas cilíndricas mantengan un diámetro uniforme en toda su longitud. Si este diámetro es menor de 3 mm y no se observan fisuras, los trozos se amasan nuevamente, tantas veces como sea necesario.

La operación también se repite si las barritas se agrietan antes de llegar al diámetro de 3 mm. En este caso se reúne el material amasándolo con más agua.

Finaliza el ensayo cuando las barritas se agrietan al alcanzar los 3 mm de diámetro.

Luego se colocan las barritas en un pesa filtro, se lo tapa para evitar la evaporación, se pesan y se secan en estufa a 105° C - 110° C hasta peso cte.

$$LP = [(P1 - P2) / (P2 - Ppf)] \times 100$$

LP límite plástico [%]; P1 peso del pesa filtro más suelo húmedo [g]; P2 peso del pesa filtro más suelo seco [g]; Ppf peso del pesa filtro [g].

Índice de plasticidad: Es la diferencia numérica entre los valores del Límite líquido y el Límite plástico de un mismo suelo.

$$IP = LL - LP$$

Si el suelo presenta características de plasticidad bien definidas, se amasa el suelo con un contenido de humedad que satisfaga las condiciones establecidas en el ensayo del Límite plástico y se ejecuta este. Luego se agrega más agua a la pasta restante en la cápsula y se realiza el ensayo del Límite líquido.

Si el suelo tiene poca plasticidad, se realiza primeramente el ensayo de Límite líquido y de inmediato con la parte del material restante se ejecuta el ensayo de Límite plástico.

Si el suelo no tiene plasticidad pero sí Límite líquido. Este caso se presenta cuando al intentar formar la barrita cilíndrica, ésta se rompe antes de alcanzar el diámetro de 3 mm. Se determina el Límite líquido y se indica IP = 0.

El suelo no tiene plasticidad y tampoco puede determinarse el valor del Límite líquido. Pasa esto cuando el suelo por su excesiva aridez no permite conformar la pastilla en la cápsula del aparato para la determinación del Límite líquido. Se indica entonces sin Límite líquido, IP = 0.

### 3.5. CLASIFICACION DE SUELOS.

El sistema de clasificación de suelos del H.R.B , para obras de ingeniería, está basado en el comportamiento de los suelos utilizados en obras viales. Los suelos de similares capacidades portantes y condiciones de servicio fueron agrupados en 7 grupos básicos numerados del A-1 hasta el A-7. Algunos de estos grupos presentan subdivisiones, por ejemplo el A-1 y el A-7 tienen dos subgrupos y el A-2 cuatro.

Esta clasificación comprende dos grandes conjuntos, el de los materiales granulares con 35 % o menos pasando el tamiz IRAM 75 micrómetros (N° 200) y el de los materiales limo – arcillosos, conteniendo más del 35 % que pasa el tamiz IRAM 75 micrómetros (N° 200). Cinco fracciones de tamaños se diferencian entre las dimensiones de los siguientes tamices:

- Grava: Pasa tamiz 3" y es retenido por el tamiz IRAM 2.00 mm (N° 10).
- Arena gruesa: Pasa tamiz IRAM 2.00 mm (N° 10) y es retenido por el tamiz IRAM 425 micrómetros (N° 40).
- Arena fina: Pasa tamiz IRAM 425 micrómetros (N° 40) y es retenido por el tamiz IRAM 75 micrómetros (N° 200).
- Limo y arcilla combinados: Pasa el tamiz IRAM 75 micrómetros (N° 200).

#### 3.5.1. *Materiales granulares.*

- A-1: Suelos bien graduados, de gruesos a finos, con ligante no plástico o débilmente plástico.
- A-1-a: Suelos en los que predominan fragmentos de piedra o grava, con o sin material ligante bien graduado.
- A-1-b: Suelos en los que predominan arenas gruesas con o sin material ligante bien graduado.
- A-2: Suelos compuestos por una extendida gama de materiales granulares que no pueden clasificarse como A-1 y A-3 por el contenido de finos, su plasticidad o ambas cosas a la vez.
- A-2-4 y A-2-5: Suelos con materiales granulares que contienen ligante con características de los grupos A-4 o A-5.
- A-2-6 y A-2-7 : Suelos con materiales granulares que contienen ligante con características de los grupos A-6 o A-7. Los suelos A-2 son inferiores a los A-1 por su pobre gradación o inferior ligante, o ambas cosas a la vez.
- A-3: Suelos compuestos por arenas pobres en ligante y materiales gruesos (arenas finas de playas, desiertos y materiales depositados por las corrientes de agua y constituidos por arenas finas pobremente graduadas y cantidades limitadas de arena gruesa y grava.

#### 3.5.2. *Materiales limo-arcillosos.*

A-4: Suelos compuestos esencialmente de limo, con moderada o poca cantidad de material grueso y solo pequeña cantidad de arcilla grasa coloidal. Son muy comunes en ciertas ocasiones y secos proveen una superficie de rodamiento firme, con ligero rebote al desaparecer las cargas. Cuando absorben agua rápidamente sufren expansión perjudicial o pierden estabilidad aún sin manipularlos. Se levantan por la acción de las heladas. Son relativamente inestables con cualquier contenido de humedad, y cuando éste es grande tienen muy baja estabilidad y valor soporte.

A-5 : Son suelos similares a los A-4, con la diferencia que incluyen materiales muy pobremente graduados y otros como micas y diatomeas que proveen elasticidad y dan lugar a baja estabilidad. Rebotan al dejar de actuar la carga aún estando secos. Están sujetos al levantamiento por acción de las heladas.

A-6: Suelos que están compuestos por arcillas con moderada o despreciable cantidad de material grueso. Son suelos muy comunes. En estado plástico con variada consistencia, absorben agua solo cuando son manipulados. Tienen buen valor soporte compactados a máxima densidad, pero lo pierden al absorber agua. Son compresibles, con poco rebote al dejar de actuar la carga y muy expansivos compactados en subrasantes con humedad debajo de la óptima. Poseen muy poca fricción interna y baja estabilidad para altos contenidos de humedad.

A-7: Como en los suelos A-6, predominan en éstos la arcilla, pero debido a la presencia de partículas uniformes de limo, materia orgánica, escamas de mica o carbonato de calcio, son elásticos. Bajo cierto contenido de humedad se deforman rápidamente bajo la acción de la carga, y muestran apreciable rebote al desaparecer aquella.

A-7-5: Suelos como los A-7 con moderados índices de plasticidad en relación al límite líquido, pueden ser altamente elásticos y sujetos a considerables cambios volumétricos.

A-7-6: Suelos como los A-7 con altos índices de plasticidad en relación al límite líquido y sujetos a extremados cambios volumétricos.

El Índice de Grupo se puede determinar con la fórmula basada en la granulometría, límite líquido e índice plástico del suelo o recurriendo a gráficos para tal fin.

$$IG = (F - 35) \times [0.2 + 0.005 \times (LL - 40)] + 0.01 \times (F - 15) \times (IP - 10)$$

F = Porcentaje de material que pasa por el Tamiz N° 200.

### **3.6. CONTROL DE COMPACTACION POR EL METODO DE LA ARENA.**

Se detalla el procedimiento a seguir, para determinar en el terreno el peso unitario (densidad) de un suelo compactado, y establecer si el grado de compactación logrado cumple las condiciones previstas.

El lugar en donde se realizará la determinación, debe presentar una superficie lisa, se elimina todo material suelto con un pincel. Si esta superficie es irregular, se apoya en ella una bandeja de hierro con orificio central.

Con la ayuda de una masa, punzón, taladro o cualquier herramienta se ejecuta un hoyo (D = 10 cm en suelos finos, D = 16 cm en suelos granulares) de paredes verticales y lisas, con una profundidad igual al espesor que se quiere controlar.

Se retira el material del hoyo con una cuchara, y se lo coloca en un frasco de cierre hermético, el cual se identifica.

Colocamos sobre la bandeja el doble embudo, se llena el recipiente superior del mismo con arena normalizada.

La arena normalizada es arena silíceas, secada en estufa, que pasa el Tamiz N° 20 y es retenida en Tamiz N° 30. No es indispensable utilizar estos tamices, se pueden elegir cualesquiera dos tamices de la serie IRAM, siempre que la arena obtenida cumpla con la condición de que dos determinaciones consecutivas de su peso unitario, no dan variaciones mayores del 1 % . (Figura 7)

**Arena normalizada (pasa Tamiz N° 20 y retiene Tamiz N° 30). Figura 7.**



Se abre el robinete  $\frac{1}{4}$  de vuelta y se hace fluir libremente la arena dentro del pozo hasta que permanezca en reposo. Se cierra el robinete y se recoge la arena sobrante en el recipiente, debidamente identificada. Se levanta la arena que cayó al pozo y se la guarda en un recipiente para utilizarla posteriormente previo tamizado.

Cte del embudo : Es igual al peso de la arena que llena el embudo cuando éste apoya en sup. plana.

Su valor es  $Pe = P1 - P2$

Peso unitario de la arena seca :

$$Da = (P1 - P3 - Pe) / Vc$$

Densidad de la muestra seca :

$$Ds = (Ps \times Da) / (P1 - P4 - Pe)$$

% Humedad del suelo extraído del pozo :

$$\% H = [(Psh - Pss) / Pss] \times 100$$

$$\% \text{ de compactación} = (Dss \text{ de obra} / Dss \text{ de Proctor}) \times 100$$

El % de compactación obtenido debe ser igual o mayor al exigido en el pliego particular de la obra.

### 3.7. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS.

#### 3.7.1. Análisis granulométrico.

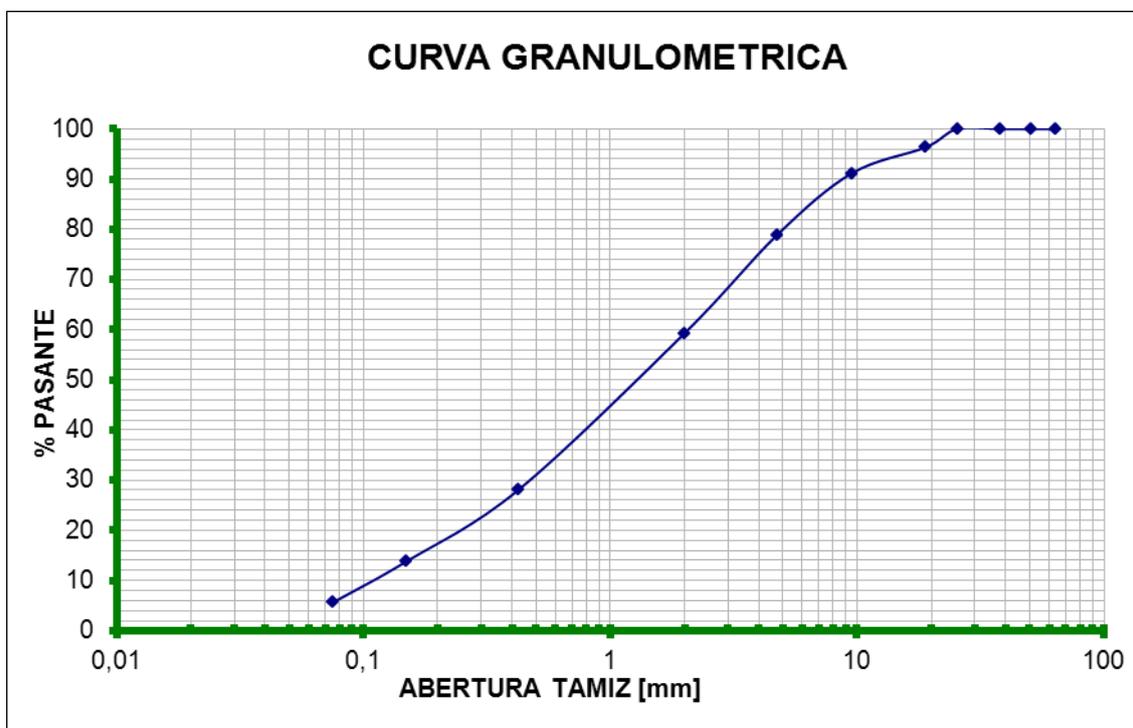
##### Capa 1 (Base).

Peso de la muestra: 2115 gr.

Granulometría de la capa de base. Tabla 3.

Abertura Tamiz [mm]	Tamiz N°	P. Retenido (gr)	P. Pasante (gr)	% Pasante
63,5	2 1/2	0	2115	100
50,8	2	0	2115	100
38,1	1 1/2	0	2115	100
25,4	1	0	2115	100
19	3/4"	77	2038	96,4
9,5	3/8"	110	1928	91,2
4,75	4	259	1669	78,9
2	10	415	1254	59,3
0,425	40	660	594	28,1
0,15	100	301	293	13,9
0,075	200	175	118	5,6

Curva granulométrica de la capa de base. Gráfico 1.



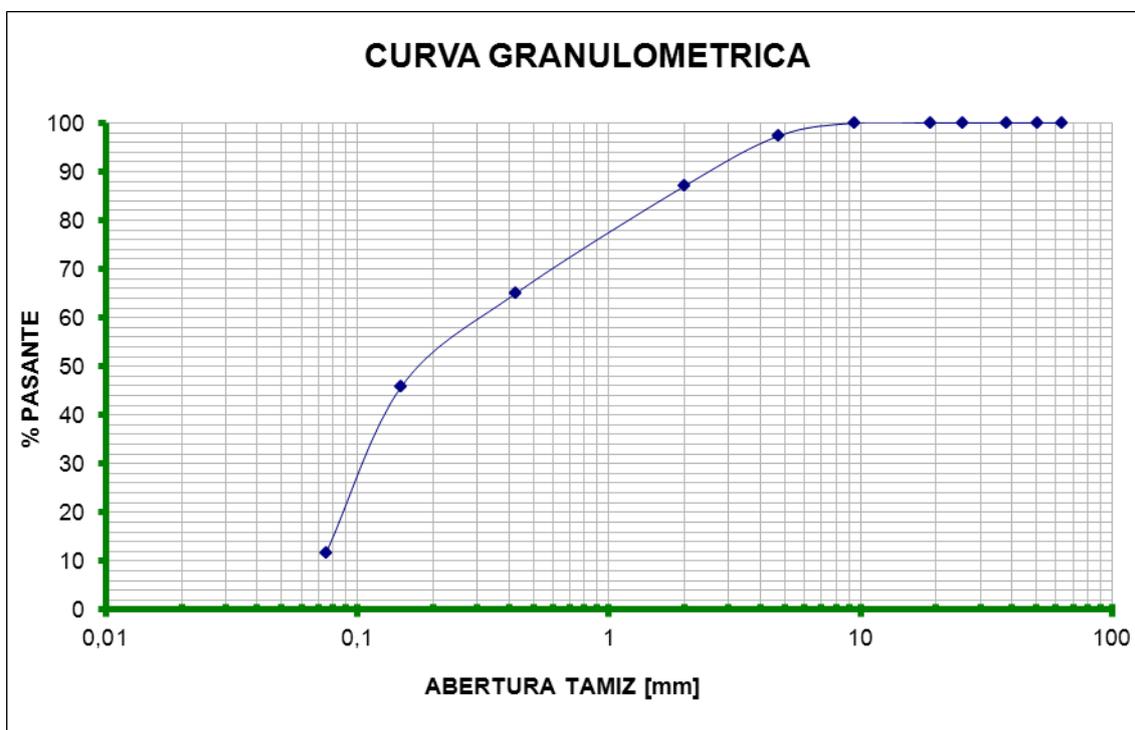
**Capa 2 (Subbase).**

Peso de la muestra: 1289 gr.

**Granulometría de la capa de subbase. Tabla 4.**

Abertura Tamiz [mm]	Tamiz N°	P. Retenido (gr)	P. Pasante (gr)	% Pasante
63,500	2 1/2	0	1289	100
50,800	2	0	1289	100
38,100	1 1/2	0	1289	100
25,400	1	0	1289	100
19,000	3/4	0	1289	100
9,500	3/8	0	1289	100
4,750	4	34	1255	97,4
2,000	10	133	1122	87,0
0,425	40	285	837	64,9
0,150	100	245	592	45,9
0,075	200	443,1	148,9	11,6

**Curva granulométrica de la capa de subbase. Gráfico 2.**



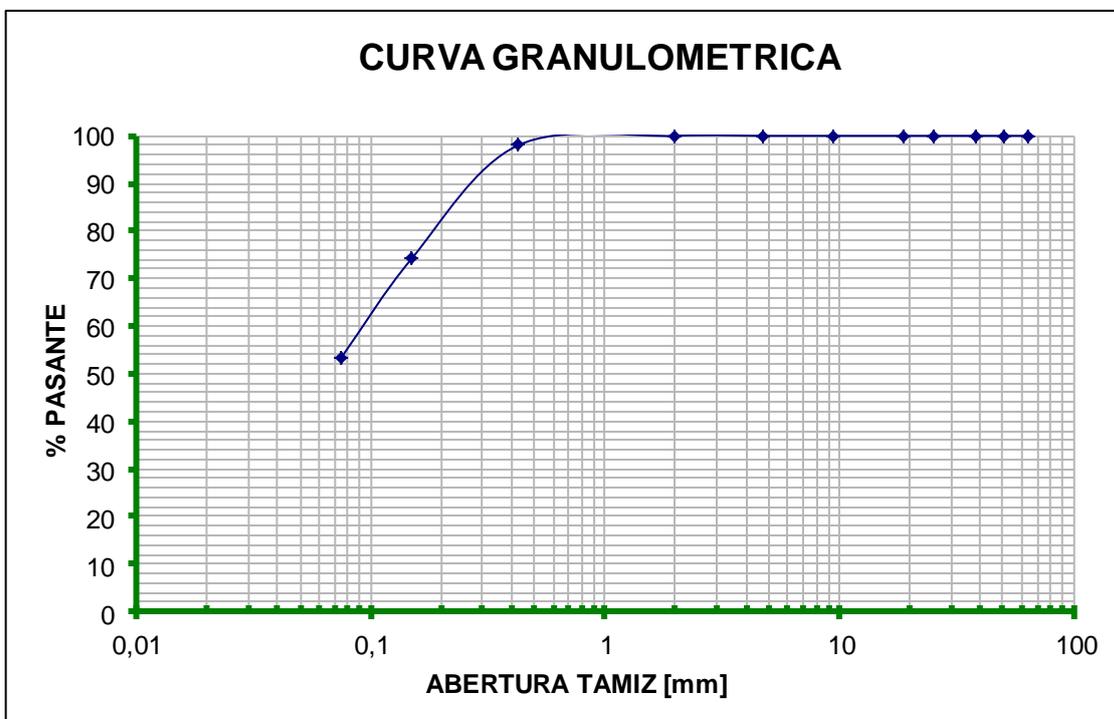
**Capa 3 (Subrasante).**

Peso de la muestra: 300 gr.

**Granulometría de la subrasante. Tabla 5.**

Corte	Abertura Tamiz [mm]	Tamiz N°	P. Retenido (gr)	P. Pasante (gr)	% Pasante
	63,500	2 1/2	0	300	100
	50,800	2	0	300	100
	38,100	1 1/2	0	300	100
	25,400	1	0	300	100
	19,000	3/4	0	300	100
	9,500	3/8	0	300	100
	4,750	4	0	300	100
	2,000	10	0	300	100
	0,425	40	6	294	98
	0,150	100	71	223	74,3
50	0,075	200	14	36	53,5

**Curva granulométrica de la subrasante. Gráfico 3.**



Como es mucho el material que pasa el Tamiz N° 100 (223 gr), se realiza un corte para reducir la muestra a 50 gr.

$$\% \text{ pasa Tamiz N}^\circ 200 = \frac{\text{Peso pasante T N}^\circ 200 \times \% \text{ Pasa T N}^\circ 100}{50 \text{ gr}} = 53.5 \%$$

### 3.7.2. LIMITE LÍQUIDO.

Cálculo del Límite líquido. Tabla 6.

Ppf (gr)	(Ppf + Sh) (gr)	Nº de golpes	(Ppf + Ss) (gr)	Agua (gr)	Ss (gr)	H (%)	L.L (%)	Capa
8.0	15.3	27	14.1	1.2	6.1	19.7	19.9	1
8.1	18.4	25	16.6	1.8	8.5	21.2	21.2	2
8.8	19.2	24	17.1	2.1	8.3	25.3	25.2	3

$$H = \frac{P1 - P2}{P2 - Ppf} \times 100$$

$$LL = \frac{H}{1.419 - 0.3 \times \log N} \times 100$$

Factor de corrección para LL, según N, número de golpes.

N	Factor de corrección
20	1.029
21	1.023
22	1.017
23	1.011
24	1.005
25	1.000
26	0.995
27	0.990
28	0.985
29	0.980
30	0.976

### 3.7.3. Limite Plástico.

Cálculo del Límite plástico. Tabla 7.

Ppf (gr)	(Ppf + Sh) (gr)	(Ppf + Ss) (gr)	Agua (gr)	Ss (gr)	L.P. (%)	I.P. (%)	Capa
8.3	18.9	17.3	1.6	9.0	17.8	3.4	2
7.9	19.7	17.7	2.0	9.8	20.4	4.8	3

$$LP = \frac{P1 - P2}{P2 - Ppf} \times 100$$

$$IP = LL - LP$$

El suelo de la Capa 1 no tiene plasticidad (IP = 0).

### 3.7.4. Clasificación de suelos.

De acuerdo con los resultados de los ensayos, se ha podido establecer lo siguiente :

**Capa 1:** % Pasa TN° 10 = 59.3 %, % Pasa TN° 40 = 28.1 %, % Pasa TN° 200= 5.6 %  
L.L. = 19.9 %, I.P. = 0.

El suelo de la Capa 1 según la clasificación del H.R.B. es un suelo A-1-b.

**Capa 2:** % Pasa TN° 10 = 87 %, % Pasa TN° 40 = 64.9 % , % Pasa TN° 200 = 11.6 %  
L.L. = 21.2 % , I.P. = 3.4 % .

El suelo de la Capa 2 queda encuadrado como un A-2-4.

**Capa 3:** % Pasa TN° 10 = 100 % , % Pasa TN° 40 = 98 % , % Pasa TN° 200 = 53.5 % ,  
L.L. = 25.2 % , I.P. = 4.8 %.

El suelo de la Capa 3 es un A4.

### 3.7.5. Control de compactación por el Método de la arena.

**Determinación de la constante del embudo (Figura 8).**

$$Pe = P1 - P2$$

P1 peso de arena normalizada colocada en el recipiente superior (6000 g); P2 peso de arena normalizada sobrante en el recipiente superior; Pe constante del embudo.

La operación se repite tres veces y se toma como valor de Pe el promedio.

$$Pe = 6000 - 4500 = 1500 \text{ gr.}$$

$$Pe = 6000 - 4500 = 1500 \text{ gr.}$$

$$Pe = 6000 - 4495 = 1505 \text{ gr.}$$

$$Pe_{\text{promedio}} = 1501.7 \text{ gr.}$$

**Determinación de la constante del embudo. Figura 8.**



**Densidad de la arena normalizada (D.a.n.).**

$$D.a.n. = (P1 - P3 - Pe) / Vc$$

P1 peso de arena normalizada colocada en el recipiente superior (6000 g); P3 peso de arena normalizada sobrante en el recipiente superior; Pe constante del embudo; Vc volumen del cilindro.

Se toma como valor de P1 – P3, el promedio de tres determinaciones (Figuras 9 y 10).

$$P1 - P3 = 6000 - 225 = 5775 \text{ gr.}$$

$$P1 - P3 = 6000 - 225 = 5775 \text{ gr.}$$

$$P1 - P3 = 6000 - 229 = 5771 \text{ gr.}$$

$$(P1 - P3)_{\text{promedio}} = 5773.7 \text{ gr.}$$

$$D.a.n. = (5773.7 \text{ g} - 1501.7 \text{ g}) / 3268 \text{ cm}^3 = 1.307 \text{ gr/cm}^3$$

**Densidad de la arena normalizada.  
Figura 9.**



**Densidad de la arena normalizada.  
Figura 10.**



**Ensayo en capa de base (Figuras 11 a 15).**

**Ejecución del pozo y extracción del suelo del mismo. Figura 11.**



**Giro del robinete ¼ de vuelta. Figura 12.**



**Retiro del dispositivo. Figura 13.**



**Pozo con arena normalizada en su interior. Figura 14.**



**Extracción de la arena normalizada. Figura 15.**



Peso de suelo húmedo (Psh) = 2420 gr

Peso de la arena normalizada utilizada en el ensayo = 4500 gr

Peso de la arena sobrante = 1295 gr

Peso de la arena contenida en el cono inferior = 1501.7 gr

P. de arena incorporada al pozo = 1703.3 gr

Vol. del pozo = 1703.3 gr / 1.307 gr/cm<sup>3</sup> = 1303.2 cm<sup>3</sup>

% H = [(300 gr – 275.6 gr) / 275.6 gr] x 100 = 8.9 %

D. suelo húmedo (Dsh) = 2420 gr / 1303.2 cm<sup>3</sup> = 1.857 gr/cm<sup>3</sup>

D. suelo seco (Dss) = 1.857 gr/cm<sup>3</sup> / (1 + 8,9 / 100) = 1.705 gr/cm<sup>3</sup>

% de compactación = (1.705 gr/cm<sup>3</sup> / 2.204 gr/cm<sup>3</sup>) x 100 = 77.4 %

**Ensayo en capa de subbase (Figuras 16 a 19).**

**Extracción del material del pozo y colocación en bolsa de polietileno. Figura 16.**



**Colocación de arena normalizada en el recipiente superior. Figura 17.**



**Retiro del dispositivo de la bandeja. Figura 18.**



**Pozo con arena normalizada en su interior. Figura 19.**



Dens. a. norm. = 1.307 gr/cm<sup>3</sup>

Peso de suelo húmedo (Psh) = 2450 gr

Peso de arena normalizada utilizada en el ensayo = 4850 gr

Peso de la arena sobrante = 1380 gr

Peso de la arena contenida en el cono inferior = 1501.7 gr

P, de arena incorporada al pozo = 1968.3 gr

Vol. del pozo = 1968.3 gr / 1.307 gr/cm<sup>3</sup> = 1506 cm<sup>3</sup>

% H = [(300 gr – 281,2 gr) / 281,2 gr] x 100 = 6.7 %

D. suelo húmedo (Dsh) = 2450 gr / 1506 cm<sup>3</sup> = 1.627 gr/cm<sup>3</sup>

D. suelo seco (Dss) = 1.627 gr/cm<sup>3</sup> / (1 + 6.7 / 100) = 1.525 gr/cm<sup>3</sup>

% de compactación = (1.525 gr/cm<sup>3</sup> / 2.145 gr/cm<sup>3</sup>) x 100 = 71.1 %

Conclusiones del ensayo de control de compactación por el método de la arena :

Se determinó que en la Base granular, la Densidad del suelo seco (Dss) = 1.705 gr/cm<sup>3</sup> y en la Subbase granular Dss = 1.525 gr/cm<sup>3</sup>. Como se puede observar, las densidades logradas son bajas. El ensayo fue realizado en la banquina, muy cerca del borde del pavimento. Se considera que dichas densidades, no son representativas de las capas que conforman el paquete estructural.

Como no se nos permitió realizar el ensayo sobre calzada, adoptamos para el cálculo del espesor de la losa de hormigón, los valores de CBR correspondientes al tramo Río Cuarto – Cuatro vientos, que figuran como antecedentes para la realización del anteproyecto (ver Capítulo 2), los cuales se detallan a continuación :

Base granular, CBR = 65 %.

Subbase granular, CBR = 48 %.

Subrasante, CBR = 5 %.

## CAPITULO 4: TIPOS DE PAVIMENTOS.

Los pavimentos se dividen en flexibles y rígidos. El comportamiento de los mismos al aplicarles cargas es muy diferente.

En un pavimento rígido, debido a la consistencia de la superficie de rodadura, se produce una buena distribución de las cargas, dando como resultado tensiones muy bajas en la subrasante. Por el contrario en un pavimento flexible, la superficie de rodadura al tener menor rigidez, se deforma más y se producen mayores tensiones en la subrasante.

### 4.1. PAVIMENTO FLEXIBLE.

Elementos que conforman un pavimento flexible:

- Núcleo del terraplén: Es terreno natural o terraplenado.
- Subrasante: Es el suelo natural, de características similares al núcleo del terraplén, compactado, que sirve de apoyo a la estructura del pavimento. Se extiende hasta una profundidad que no afecte la carga de diseño que corresponde al tránsito previsto.

Debe cumplir con requisitos de resistencia, incompresibilidad e inmunidad a la expansión y contracción por efectos de la humedad.

- Subbase: La capa de subbase, debe soportar los esfuerzos transmitidos por las cargas de los vehículos, a través de las capas superiores y transmitirlos a un nivel adecuado a la subrasante.

Debe controlar los cambios de volumen y elasticidad que serían dañinos para el pavimento.

Se utiliza además como capa de drenaje y contralor de ascensión capilar de agua, protegiendo a la estructura del pavimento.

Por lo general es de 15 cm de espesor, compactado con una densidad igual o superior al 95 % de la densidad máxima del ensayo Proctor, con un CBR no inferior al 40 % de dicha densificación.

Usualmente se construye con mezclas granulares de suelo y arena en porcentajes adecuados (por ej. 70 a 80 % de arena y 30 a 20 % de suelo seleccionado).

- Base: Su función primordial es distribuir y transmitir las cargas ocasionadas por el tránsito a la subbase, y a través de ésta a la subrasante.

Está constituida por piedra de buena calidad, triturada y mezclada con material de relleno o bien por una combinación de piedra o grava con arena y suelo.

Su espesor suele ser de 15 cm. El mismo debe ser compactado con una densidad igual o superior al 98 % de la densidad máxima obtenida del ensayo Proctor, con un CBR no inferior al 80 % del valor de dicha densificación.

Los materiales que tradicionalmente se emplean son el triturado pétreo, arena silícea y suelo seleccionado, en una mezcla bien graduada y adecuadamente compactada.

También se utiliza la denominada Base negra, mezcla de triturado pétreo en varias fracciones granulométricas, arena natural y cemento asfáltico, con parámetros de resistencia y durabilidad inferiores al de la mezcla asfáltica para capa de rodamiento.

- Carpeta de rodamiento: Es una mezcla asfáltica, su objetivo principal es proteger la estructura del pavimento para evitar filtraciones de agua de lluvia que podrían saturar las capas inferiores. Evita la desintegración de las capas subyacentes a causa del tránsito de vehículos.

Contribuye a aumentar la capacidad soporte del pavimento, absorbiendo cargas, si su espesor es mayor de 4 cm, excepto los riegos superficiales, ya que para estos se considera nula. Esta carpeta suele tener un espesor de 5cm.

Generalmente está compuesta de una mezcla de triturado pétreo en varias fracciones granulométricas, arena natural y cemento asfáltico.

#### 4.2. PAVIMENTOS RIGIDOS.

##### **Elementos que componen un pavimento rígido:**

- Subrasante: Es el soporte natural, preparado y compactado, en la cual se puede construir el pavimento. Su función es dar un apoyo razonablemente uniforme, sin cambios bruscos en el valor soporte.
- Subbase: Su función principal es prevenir la acción de bombeo en juntas y bordes del pavimento.
  - Existe peligro de erosión por bombeo cuando coexisten los siguientes factores : Material fino capaz de entrar en suspensión (arenas finas y limos), disponibilidad de agua por debajo de la losa, deflexiones excesivas en bordes y esquinas.
  - Formas de evitarla: La subbase debe ser resistente a la erosión bajo tránsito pesado, hay que evitar el ingreso de agua y/o facilitar su pronta remoción y mejorar las condiciones de transferencia de carga.
  - Otras funciones que debe cumplir : Proporcionar apoyo uniforme y estable, incrementar el módulo de reacción (k) de la subrasante, minimizar los efectos dañinos de la acción de las heladas.
  - Subbase – Sobreancho : Provee un apoyo estable y uniforme a la oruga del equipo pavimentador.
    - Mejor calidad final de terminación.
    - Mejora las condiciones de soporte de los bordes de calzada.
    - Brinda una mejor aislación en zonas de subrasantes formadas por suelos susceptibles a cambios volumétricos.
    - Reduce el potencial de erosión de la subrasante en los bordes de calzada, al alejar la zona crítica de erosión del punto de aplicación de las cargas.
    - Se debe especificar un sobreancho de 60 a 80 cm para media calzada, y de 80 a 100 cm para ancho completo.
- Subbase granular : El criterio principal para emplear una subbase granular, es el de limitar el contenido de finos que pasan el Tamiz N° 200.
  - Si el material cuenta con excesiva cantidad de finos, la capa puede almacenar agua, existiendo el peligro de erosión por bombeo.
  - Requisitos :
    - Espesor mínimo: 10 cm.
    - Tamaño máximo: 1/3 del espesor.
    - % Pasa Tamiz N° 200 < 15 % .
    - Desgaste Los Angeles < 50% .
    - No se deben emplear espesores mayores de 15 cm.
    - Deberá especificarse una densidad mínima del 98 % del T-180.
- Subbase tratada con cemento:
  - Características:
    - Espesor mínimo: 10 cm.
    - Tipo de suelo recomendado para tránsito pesado : A1, A2-4, A2-5 y A3.
    - Tamaño máximo: 75 mm.
    - Contenidos de cemento: de 2 % a 5 % .
    - Resistencia a compresión: de 2.1 Mpa a 5.5 Mpa.
    - Resistencia a flexión: de 0.7 Mpa. a 1.4 Mpa.

- Módulo de elasticidad: 600000 a 1000000 psi (4100 a 6900 Mpa).
  - Se incrementa la resistencia a la erosión.
  - Menores deflexiones.
  - Mejor eficiencia en la transferencia de carga.
  - Elevada capacidad de carga (mayor k), con reducción de espesor en losas.
  - Apoyo firme para TAR (mejora en la lisura superficial que entrega el equipo de alto rendimiento).
- Losa de concreto: Es la capa superior de la estructura del pavimento. Su función estructural es soportar y transmitir los esfuerzos que se apliquen.

### 4.3. TIPOS DE PAVIMENTOS RIGIDOS.

#### 4.3.1. Pavimento de hormigón simple con juntas (JPCP – JOINTED PLAIN CONCRETE PAVEMENT).

Es el más económico y sencillo de construir (para tráfico de hasta 2000 vehículos pesados/carril/día).

No contiene armadura en la losa.

Tiene menor separación entre juntas (de 3.5 a 6 m), con el objeto de controlar la fisuración de las losas.

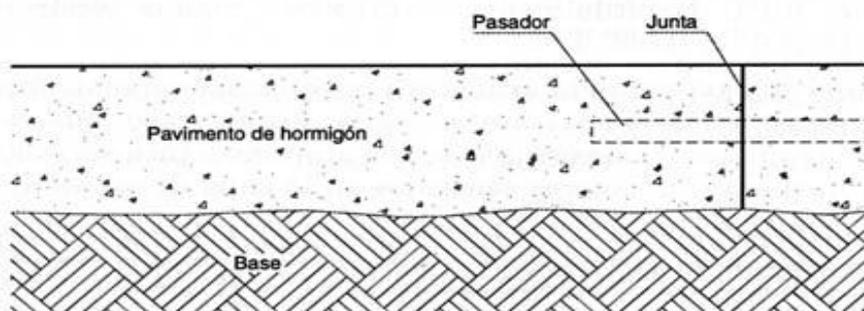
Los espesores de calzada van de 15 a 20 cm en pavimentos urbanos, 20 a 30 cm en rutas y autopistas, mayores de 30 cm en aeropuertos y terminales de carga.

Las juntas transversales tienen pasadores para moderado y alto volumen de vehículos pesados, donde no es suficiente la transferencia de carga por trabazón.

Los pasadores son pequeñas barras de acero liso, cuya función estructural es transmitir las cargas de una losa a la losa contigua (Figura 20).

La junta longitudinal también controla la fisuración. Se le coloca barras de unión.

**Pavimento de hormigón simple con juntas. Figura 20.**



#### 4.3.2. Pavimento de hormigón armado con juntas (JRCP – JOINTED REINFORCED CONCRETE PAVEMENT).

Posee armadura ubicada en el tercio superior de la losa, con cuantía  $u = 0.15 \% - 0.20\%$ .

Esta malla de acero permite una mayor separación entre juntas ( $6 \text{ m} < s < 9 \text{ m}$ ).

Se prevé la aparición de fisuras intermedias (entre juntas), las que deberán permanecer inactivas.

La armadura no se dispone de manera continua, queda interrumpida en la zona de juntas.

Los espesores de calzada son idénticos a los del caso anterior.

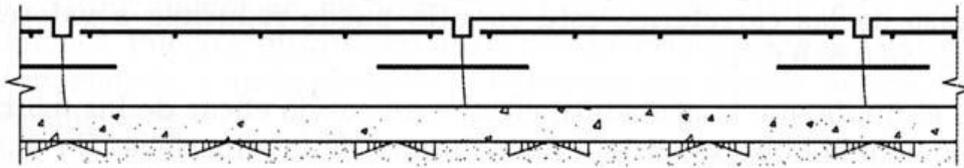
Las juntas transversales llevan pasadores.

No hay barras de unión en la junta longitudinal.

El control de fisuras se lleva a cabo con la malla de acero y las juntas transversales.

Actualmente se encuentra prácticamente en desuso (Figura 21).

**Pavimento de hormigón armado con juntas. Figura 21.**



#### **4.3.3. Pavimento de hormigón continuamente armado (CRCP – CONTINUOUSLY REINFORCED CONCRETE PAVEMENT).**

Se emplea para pavimentos con elevado tráfico pesado (superior a 2000 vehículos pesados/carril /día).

No requiere de juntas transversales.

La armadura longitudinal se coloca en toda la longitud del pavimento (cuantía  $u = 0.6\% - 0.7\%$ ).

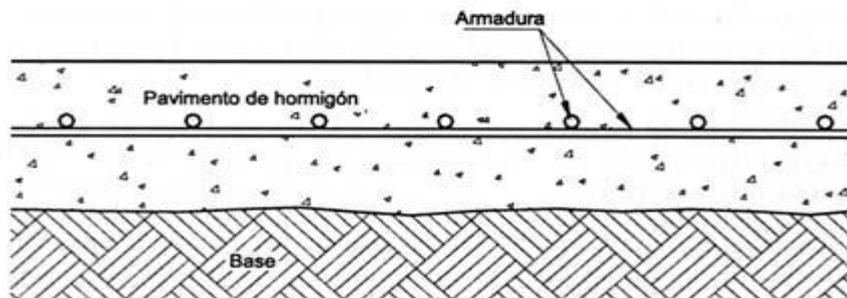
Se provoca la formación de una serie de fisuras transversales a distancia próxima (entre 0.8 m y 2 m), con el objetivo de que se mantengan con una abertura inferior a 0.5 mm.

La elevada transmisión de cargas en las fisuras, reduce las tensiones originadas por las cargas de los vehículos, así como las debidas a las variaciones de temperatura y humedad. Esto permite disminuir el espesor del pavimento.

Además el mantenimiento a largo plazo, es todavía más reducido que el de un pavimento con juntas.

La junta longitudinal lleva barras de unión (Figura 22).

**Pavimento de hormigón continuamente armado. Figura 22.**



## CAPITULO 5: EVALUACION ESTRUCTURAL DEL PAV.EXISTENTE (BASADA EN INSPECCIONES VISUALES Y ENSAYOS DE MATERIALES).

La evaluación estructural del pavimento existente, consiste en la determinación de la capacidad portante del sistema pavimento – subrasante en la estructura vial existente, para establecer y cuantificar las necesidades de rehabilitación, cuando el pavimento se acerca al fin de su vida útil o cuando va a cambiar su función.

**5.1. Inspección visual:** Consistió en relevar en forma visual la R. P. N° 30, intersección con Av. Del Libertador (Ciudad de Achiras), para detectar la presencia de fallas.

Los tipos de fallas observados, se detallan a continuación:

**Grieta transversal. Figura 23.**



**Grieta transversal con tendencia a ramificarse. Figura 24.**



**Grieta longitudinal. Figura 25.**



**Grieta longitudinal con tendencia a ramificarse. Figura 26.**



**Grietas piel de cocodrilo. Figura 27.**



**Grietas piel de cocodrilo. Figura 28.**



**Desprendimiento de material.  
Figura 29.**



**Desprendimiento de material.  
Figura 30.**



**Desintegración de bordes del  
pavimento. Figura 31.**



**Desintegración de bordes del  
pavimento. Figura 32.**



**Peladura. Figura 33.**



**Ahuellamiento. Figura 34.**



Como resultado de la inspección visual, se observaron:  
Deformaciones:

- Ahuellamiento. Posibles causas: Tránsito pesado localizado, espesores insuficientes, falta de estabilidad de la fundación, falta de estabilidad de las capas del pavimento.

Agrietamientos:

- Piel de cocodrilo. Posibles causas: Tránsito pesado e intenso, capas superficiales estables sobre fundaciones muy deformables, espesores insuficientes, asfalto envejecido o insuficiente.
- Grietas longitudinales. Posibles causas : Asentamiento de terraplenes, contracción por desecación de terraplenes, mala conservación de banquetas.

- Grietas transversales. Posibles causas: Espesor insuficiente del paquete estructural, contracciones de capas de base o superficiales.

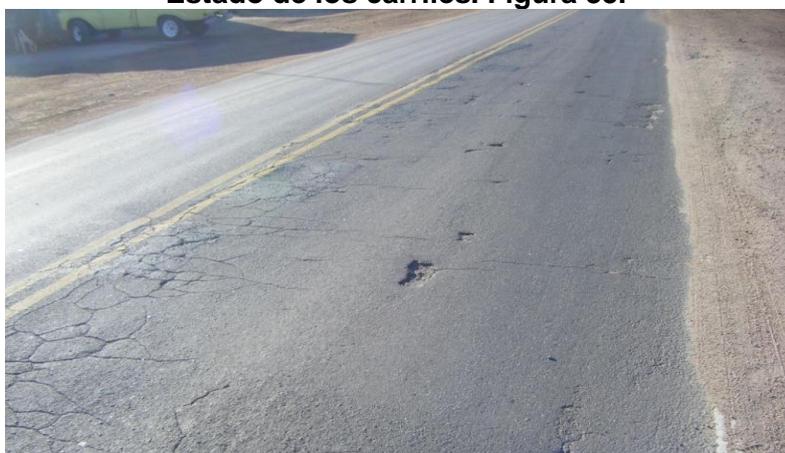
Disgregaciones:

- Peladuras. Posibles causas: Insuficiente porcentaje de asfalto, falta de adherencia asfalto - agregado, acción agua - tránsito intenso.
- Desintegraciones (internas, de borde). Posibles causas : Fundaciones y capas inferiores inestables, espesores insuficientes, defectos constructivos, falta de compactación, falta de asfalto.

En Figura 35 vemos que el carril derecho presenta más agrietamientos que el izquierdo. Este último está más afectado por el ahuellamiento (por ese carril suben los camiones cargados a baja velocidad, deformando la calzada).

Las grietas piel de cocodrilo se concentran en el eje de la calzada y los desprendimientos de material en el centro del carril derecho.

**Estado de los carriles. Figura 35.**



Las banquetas brindan contención lateral al paquete estructural del pavimento. En función de la condición en que se encuentra la carpeta asfáltica, afectada por las fallas enumeradas anteriormente, se puede deducir para la misma un coeficiente estructural  $a_1$ , según metodología utilizada por la Guía AASHTO (ver Capítulo 7). Posteriormente con este coeficiente se puede determinar el módulo de elasticidad de la capa de rodamiento que se emplea para el diseño estructural.

## 5.2. Evaluación de materiales:

- Apertura de calicata: Se realizó la apertura de una calicata para tomar muestras de suelo de la base, subbase y subrasante. Dichas muestras fueron analizadas en laboratorio (ver Capítulo 3), resultando :
  - Base: Suelo A-1-b (arena gruesa y material ligante bien graduado), espesor de la base = 15 cm.
  - Subbase: Suelo A-2-4 (materiales granulares que contienen ligante con características del grupo A4), espesor de la subbase = 15 cm.
  - Subrasante: Suelo A4 (limo con moderada o poca cantidad de material grueso y pequeña cantidad de arcilla grasa coloidal), espesor = 35 cm.
- Densidad in situ: Se realizó el ensayo de control de compactación por el método de la arena sobre la banquina (ver Capítulo 3). Las densidades que se obtuvieron son las siguientes:
  - Base granular,  $D_{ss} = 1.705 \text{ g/cm}^3$ .
  - Subbase granular,  $D_{ss} = 1.525 \text{ g/cm}^3$ .

## **CAPITULO 6: REFUERZOS DE PAVIMENTOS.**

Los refuerzos sirven para corregir deficiencias funcionales y/o estructurales de los pavimentos.

La falla es funcional, cuando la superficie de rodamiento afecta al usuario del camino, tanto en su comodidad como en los costos de operación del vehículo. Esto último se asocia con problemas de resistencia pobre a la fricción, irregularidades en la superficie en general (fracturamientos, desprendimientos, etc), hidropilado en ahuellamientos.

Las deficiencias estructurales, tienen que ver con un deterioro de la estructura del pavimento, producto de las cargas de tránsito excesivas y los agentes de meteorización. A ello contribuyen distintos aspectos, desde espesores insuficientes hasta la desintegración, distorsión y agrietamientos en el pavimento.

Antes de decidir si se coloca un refuerzo, se deben analizar las siguientes consideraciones:

- Aspectos constructivos.
  - Control del tránsito.
  - Disposición de materiales y equipos.
  - Clima.
  - Obras asociadas y/o restricciones : contaminación, vibraciones, ruido, gálibos en puentes.
  - Interrupciones del tránsito vehicular y costos de tiempo de hora – hombre.
- Disposición de recursos económicos.
- Vida útil requerida en el refuerzo.
  - Deterioro del pavimento existente.
  - Diseño del pavimento existente, incluyendo sus condiciones de apoyo.
  - Cargas de tránsito futuras.
  - Clima local.
  - Condiciones de drenaje.
- Tipos de refuerzos:
  - Refuerzo de hormigón sobre pavimento de hormigón.
  - Refuerzo de concreto asfáltico sobre pavimento de concreto asfáltico.
  - Refuerzo de hormigón sobre pavimento de concreto asfáltico (Whitetopping).

### **6.1. REFUERZO DE HORMIGON SOBRE PAVIMENTOS DE CONCRETO ASFALTICO (WHITETOPPING).**

Una opción a considerar en el refuerzo de un pavimento bituminoso, es la extensión sobre el mismo de un pavimento de hormigón, técnica conocida como Whitetopping (Figura 36).

Se consigue mejorar la capacidad estructural y funcional de una calzada.

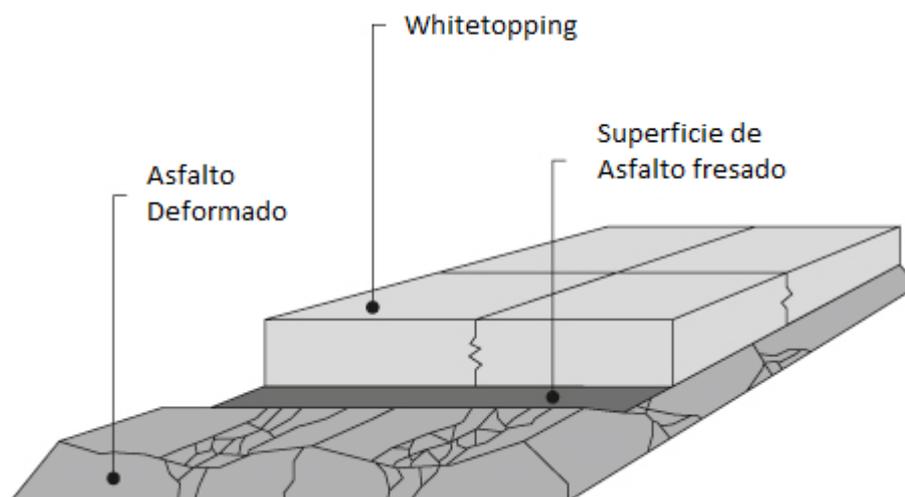
Al pavimento bituminoso existente, se lo considera como una capa de base estabilizada para el nuevo pavimento de hormigón.

Correctamente ejecutados y contruidos, estos refuerzos prolongan la vida del firme existente durante más de 30 años, con mantenimiento reducido.

Las técnicas de construcción no presentan diferencias notables con las que se emplean en pavimentos de calzadas nuevas.

La obra de refuerzo no puede permanecer cerrada al tráfico durante un tiempo prolongado, por lo tanto es frecuente el empleo de hormigones de desarrollo rápido de resistencias (conocidos como fast-trac).

**Whitetopping. Figura 36.**



Existen varios tipos de Whitetopping, los cuales se clasifican según su espesor :

- Convencional (no adherido) : espesor de la losa entre 15 y 30 cm.
- Ultradelgado (adherido) : el espesor de la losa oscila entre 5 y 15 cm.

El espesor depende de :

- Capacidad de carga deseada (tránsito).
- Vida útil.
- Capacidad estructural del pavimento existente.

Para que sea viable la rehabilitación de una vía mediante la técnica de Whitetopping, ésta debe cumplir con ciertas condiciones :

- El deterioro de la capa asfáltica debe ser superficial (que no tenga una afectación evidente en su estructura).
- El pavimento existente no debe ser susceptible a grandes levantamientos o asentamientos.

#### **6.1.1. Whitetopping convencional.**

Constituyen una excelente opción de rehabilitación de firmes bituminosos que tengan un nivel importante de deterioro.

Se consigue recuperar e incrementar la capacidad estructural, eliminar fallas superficiales, recuperar condiciones de circulación (fricción, ruido, reflectividad, etc).

Antes de la extensión del refuerzo, se deben realizar los siguientes trabajos :

- Reparaciones: Solo se corrigen las deformaciones importantes del firme existente (ahuellamientos profundos, baches de gran tamaño).
- Fresado para eliminar deterioros superficiales y exceso de material asfáltico, reducir puntos altos (crestas). Si el ahuellamiento < 50 mm no se requiere de fresado.
- Limpieza de la superficie mediante barrido mecánico.

Disponer una capa de nivelación de mezcla bituminosa, tiene el inconveniente de elevar más las cotas y en general un mayor costo.

La temperatura de la superficie del asfalto, debe mantenerse por debajo de 49 °C cuando se coloca el refuerzo.

Si hay baches de hormigón, se los debe aislar para evitar adherencia.  
En caso de que después del fresado queden menos de 15 cm de asfalto, un refuerzo mayor de 15 cm se debe considerar.

Juntas: Separación de juntas transversales:  $S$  [pies] =  $2 \times e$  [pulg]  
Aserrado de juntas transversales:  $e/4 < \text{Profundidad} < e/3$   
Aserrado de juntas longitudinales: Profundidad  $> e/3$   
 $e$  : espesor de la losa.

### 6.1.2. Whitetopping ultradelgado.

Esta técnica, consiste en extender una capa de hormigón de espesor reducido (entre 5 y 15 cm), sobre un firme bituminoso existente en buen estado.

Se realiza un tratamiento de la superficie del pavimento existente, que suele consistir en:

- Reparaciones de deterioros aislados como ser baches, grietas piel de cocodrilo o pérdida de soporte de base / subbase, para garantizar capacidad de carga deseada y durabilidad a largo plazo.
- Fresado : Sus objetivos son eliminar deterioros superficiales y exceso de material asfáltico, reducir puntos altos (crestas), rugosidad para mejorar la adherencia.
- Limpieza adecuada de la superficie para mejorar la adherencia: Barrido mecánico, soplado con aire comprimido (previo a la pavimentación), hidrolavado (solo control de polvo).

Se intentan disminuir al máximo, los movimientos verticales hacia arriba que pueden producirse en el refuerzo, como consecuencia de la acción de las cargas y de los efectos de origen térmico.

Juntas: Se recomiendan losas cuadradas, variando desde 0.90 a 2.40 m de lado, con lo cual se logra reducción de tensiones por alabeo térmico.

Largo o ancho de losa [pies] =  $1.5 \times e$  [pulg]

Aserrado de juntas transversales: Profundidad  $> e/3$   
Profundidad aserrado temprano  $> 30$  mm

Aserrado de juntas longitudinales: Profundidad  $> e/3$

Con este tipo de refuerzo, se dota al firme existente de una capa de rodamiento de gran calidad.

Es necesario que el firme bituminoso existente, tenga un espesor mínimo de 7.5 - 10 cm después del fresado y que se encuentre en buenas condiciones, para lograr un comportamiento monolítico.

La temperatura de la superficie del asfalto, debe mantenerse por debajo de 49 °C cuando se coloca el refuerzo.

### 6.1.3. Conclusiones del capítulo:

- La técnica de Whitetopping, requiere que los daños de la estructura existente sean superficiales, ya que ésta servirá de soporte al refuerzo.
- La rehabilitación por medio del Whitetopping implica un alto costo inicial, pero el mantenimiento es bajo, lo que resulta favorable en sitios donde las deformaciones en el pavimento flexible, por efecto de los vehículos que frenan y arrancan frecuentemente, afectan su vida útil.
- Con este tipo de refuerzo aumenta la vida útil de la estructura existente.

- Su proceso constructivo es más rápido, y si se usan hormigones de resistencia acelerada (Fast track) se puede dar apertura al tráfico en 24 hs o menos.
- Con esta técnica aumenta el nivel de servicio y mejora la geometría de la vía, brindando mayor seguridad a los usuarios, a la vez que minimiza los costos de operación y mantenimiento de los vehículos.

## CAPITULO 7: METODO DE DISEÑO ESTRUCTURAL PARA PAVIMENTOS RIGIDOS.

Para el diseño de espesores de pavimentos rígidos, se utilizaron los siguientes métodos:

Método de AASHTO: Es un procedimiento empírico, elaborado en base a la performance evidenciada en las secciones de pavimentos evaluadas en el AASHTO ROAD TEST.

En dicho ensayo, el principal mecanismo de falla observado en las secciones de pavimento rígido, fue la pérdida de soporte por erosión.

Todas las fisuras observadas durante el estudio, fueron precedidas por el fenómeno de bombeo de finos.

Método de la PCA : Es un procedimiento mecanicista, basado en respuestas de pavimentos matemáticamente calculadas.

Limita las tensiones desarrolladas en el pavimento (Criterio de verificación por fatiga).

Limita las deflexiones desarrolladas en bordes y esquinas (Criterio de verificación por erosión).

Los mismos se desarrollan a continuación.

### 7.1. METODO DE AASHTO.

La fórmula de diseño es:

Fórmula de diseño de la AASHTO. Figura 37.

$$\log W_{18} = \left\{ \begin{array}{l} \text{Error Estándar Combinado} \\ Z_R S_o + 7.35 \log(D+1) - 0.06 + \frac{\log \Delta PSI}{1 + \frac{1.625 \times 10^7}{(D+1)^{8.46}}} \\ \text{Desviación Estándar Normal} \end{array} \right. + (4.22 - 0.32 \rho_t) \log \left( \frac{\text{Módulo de Ruptura} \cdot \text{Coeficiente de Drenaje} \cdot (D^{0.75} - 1.132)}{215.63 J (D^{0.75} - \frac{18.42}{(E_c/k)^{0.25}})} \right)$$

Diferencia de Serviciabilidad

**W18:** Número previsto de ejes equivalentes de 18 kips (82 KN) a lo largo del período de diseño. **Zr:** Desviación normal estándar. **So:** Error estándar combinado en la predicción del tránsito y en la variación del comportamiento esperado del pavimento.

**D:** Espesor de la losa del pavimento [pulg]. **ΔPSI:** Diferencia entre los índices de servicio inicial y final. **Pt:** Índice de servicio final. **MR:** Módulo de rotura del concreto [psi]. **Cd:** Coeficiente de drenaje. **J:** Coeficiente de transmisión de cargas en las juntas. **Ec:** Módulo de elasticidad del concreto [psi]. **K:** Módulo de reacción [pci], de la superficie (base, subbase, subrasante) en la que se apoya el pavimento de concreto.

**7.1.1. Variables a considerar en el método.**

**Ejes simples equivalentes de 82 KN ( $W_{18}$ ) a lo largo del periodo de diseño.**

El método AASHTO requiere la transformación a ejes simples equivalentes a 82 KN (18 Kips), de los ejes de diferentes pesos que circularán sobre el pavimento a lo largo del período de diseño.

En el Anexo 2, se incluyen una serie de tablas con factores de conversión (factores equivalentes de carga).

En lo que refiere al período de diseño, se indica que en general éste debe ser superior a 20 años, a fin de poder evaluar las distintas alternativas a largo plazo.

Se recomienda incluso que el período de análisis incluya al menos una rehabilitación.

El tránsito a tener en cuenta, es el que utiliza el carril de diseño. Se admite que en general, en cada dirección circula el 50 % del tránsito total, en ocasiones puede variar entre el 30 y el 70 % (Tabla 8).

**Porcentaje de camiones en el carril de diseño. Tabla 8**

Número de carriles en una dirección	Porcentaje de ejes simples equivalentes de 82 KN en el carril de diseño
1	100
2	80 - 100
3	60 - 80
4	50 - 75

Según el número de carriles en cada dirección, sobre el carril de diseño se puede suponer que circulan los siguientes porcentajes de tránsito (Tabla 9).

**Porcentaje de ESALS DE 82 KN en el carril de diseño. Tabla 9.**

Número de carriles en ambas direcciones	Porcentaje de camiones en el carril de diseño
2	50
4	45
6 o más	40

**Desviación normal estándar ( $Z_r$ ).**

Esta variable define que, para un conjunto de variables (espesor de las capas, características de los materiales, condiciones de drenaje, etc.) que intervienen en un pavimento, el tránsito que puede soportar el mismo a lo largo de un período de diseño sigue una ley de distribución normal con una media  $M$  y una desviación típica  $S_o$ .

Por medio de la Tabla 10, con dicha distribución, se obtiene el valor de  $Z_r$  en función de un nivel de confiabilidad  $R$ , de manera que exista una posibilidad de que  $1 - R/100$  del tránsito realmente soportado sea inferior a  $Z_r \times S_o$ .

Este producto es un factor de seguridad que se aplica a la estimación del tránsito de una carretera.

**Desviación normal estándar (Zr).Tabla 10.**

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

La confiabilidad es la probabilidad de que el pavimento se comporte satisfactoriamente durante su vida útil o período de diseño, resistiendo las condiciones de tráfico y medio ambiente dentro de dicho período.  
 Cuando se habla del comportamiento del pavimento, nos referimos a la capacidad estructural y funcional de éste, es decir a la capacidad de soportar las cargas impuestas por el tránsito y de brindar seguridad y confort al usuario, durante el período para el cual fue diseñado.  
 La confiabilidad está asociada a la aparición de fallas en el pavimento.

**Error estándar combinado (So).**

Este valor representa la desviación estándar conjunta, incluye la desviación estándar de la ley de predicción del tránsito en el período de diseño, con la desviación estándar de la ley de predicción del comportamiento del pavimento.  
 Es decir el número de ejes que puede soportar el pavimento hasta que su índice de serviciabilidad descienda por debajo de un determinado Pt.  
 Se recomienda utilizar para So valores comprendidos dentro de los siguientes intervalos:  
 Para pavimentos rígidos: 0.30 – 0.40  
 En construcción nueva: 0.35  
 En refuerzos : 0.39  
 En Tabla 11 se muestran los niveles de confiabilidad R en función del tipo de carretera.

**Confiabilidad (R). Tabla 11.**

Tipo de carretera	Niveles de confiabilidad R	
	Zona urbana	Zona rural
Rutas interestatales y autopistas	85 – 99.9	80 – 99.9
Arterias principales	80 - 99	75 - 99
Colectoras	80 - 95	75 - 95
Locales	50 - 80	50 - 80

**Variación del índice de serviciabilidad ( $\Delta$ PSI).**

La serviciabilidad es una medida del comportamiento del pavimento, se relaciona con la seguridad y comodidad que puede brindar al usuario (comportamiento funcional) cuando éste circula por la vía.

También se relaciona con características físicas que puede presentar el pavimento (grietas, fallas, etc.) que podrían afectar la capacidad de soporte de la estructura (comportamiento estructural).

Escoger el Índice de serviciabilidad final  $P_t$  es seleccionar el valor más bajo que pueda ser admitido, antes de que sea necesario efectuar una rehabilitación, un refuerzo o una reconstrucción del pavimento.

Se sugiere que para carreteras de primer orden (de mayor tránsito) éste valor sea de 2.5 y para carreteras menos importantes sea de 2.0 .

Para escoger el valor del Índice de serviciabilidad inicial  $P_o$ , es necesario considerar los métodos de construcción, ya que de éstos depende la calidad del pavimento. En los ensayos de la AASHTO,  $P_o$  llegó a un valor de 4.5 para pavimentos rígidos.

**Coefficiente de drenaje ( $C_d$ ).**

Está dado por dos variables que son la calidad del drenaje y el porcentaje de tiempo durante el año en que un pavimento está expuesto a niveles de humedad que se aproximan a la saturación (Tablas 12 y 13).

**Calidad del drenaje. Tabla 12.**

Calidad del drenaje	50% de saturación en	85% de saturación en
Excelente	2 horas	2 horas
Bueno	1 día	2 a 5 horas
Regular	1 semana	5 a 10 horas
Pobre	1 mes	más de 10 horas
Muy pobre	El agua no drena	mucho más de 10 horas

**Coefficiente de drenaje (Cd). Tabla 13.**

Calidad del drenaje	% de tiempo en que el pavimento está expuesto a niveles de humedad próximos a la saturación			
	< 1 %	1 - 5 %	5 - 25 %	> 25 %
Excelente	1.25 – 1.20	1.20 – 1.15	1.15 – 1.10	1.10
Bueno	1.20 – 1.15	1.15 – 1.10	1.10 – 1.00	1.00
Pobre	1.15 – 1.10	1.10 – 1.00	1.00 – 0.90	0.90
Regular	1.10 – 1.00	1.00 – 0.90	0.90 – 0.80	0.80
Muy pobre	1.00 – 0.90	0.90 – 0.80	0.80 – 0.70	0.70

**Coefficiente de transmisión de carga (J).**

Este factor se utiliza para tomar en cuenta la capacidad del pavimento de transmitir las cargas a través de los extremos de las losas (juntas o grietas).

El mismo depende del tipo de pavimento y del elemento de transmisión de carga (Tabla 14).

**Coefficiente de transmisión de carga (J). Tabla 14.**

Tipo de pavimento	Hombro			
	Elemento de transmisión de carga			
	Concreto asfáltico		Concreto hidráulico	
	SI	No	Si	No
No reforzado o reforzado con juntas	3.2	3.8 – 4.4	2.5 – 3.1	3.6 – 4.2
Reforzado continuo	2.9 – 3.2	----	2.3 – 2.9	----

Dentro de cada intervalo de variación, es recomendable utilizar el valor más alto cuanto menor sea el Módulo de reacción de la subrasante k, también cuanto más elevado sea el coeficiente de dilatación térmica del concreto y mayores las variaciones de temperatura ambiente.

En caso de carreteras de poco tránsito, con volúmen reducido de camiones, se pueden utilizar los valores más bajos de J (menos pérdida del efecto de fricción entre los agregados).

**Módulo de elasticidad del concreto (Ec).**

Es un parámetro que indica la rigidez y la capacidad de distribuir cargas que tiene una losa de pavimento. Es la relación entre la tensión y la deformación. Las deflexiones, curvaturas y tensiones están directamente relacionadas con el módulo de elasticidad del concreto.

En los pavimentos de concreto armado continuo, el módulo de elasticidad junto con el coeficiente de expansión térmica y el de contracción del concreto, son los que rigen el estado de tensiones en la armadura.

Para concreto de peso normal, el Instituto del Concreto Americano sugirió :

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

Ec y f'c están dados en psi.

### Módulo de rotura del concreto (MR).

Es un parámetro importante para el diseño de pavimentos rígidos, ya que va a controlar el agrietamiento por fatiga del pavimento, originado por las cargas repetitivas de camiones.

Se le conoce también como resistencia a la tracción del concreto por flexión. Es el valor medio determinado después de 28 días utilizando el ensayo de cargas en los tercios.

El Módulo de rotura también se puede determinar a través de correlaciones.

$MR = k(f'c)^{0.5}$        $f'c$  : Resistencia a la compresión del concreto[psi].

$$7 < k < 12$$

Los valores del Módulo de rotura varían entre 400 y 700 psi, llegando a 1200 psi en concretos con alta resistencia inicial.

### FACTOR DE PERDIDA DE SOPORTE (Ls).

Es el valor que se le da a la pérdida de soporte, que pueden llegar a tener las losas de un pavimento de concreto, por efecto de la erosión en la subbase por corrientes de agua o por los asentamientos diferenciales de la subrasante.

Este factor no aparece en forma directa en la fórmula de diseño para obtener el espesor del pavimento; está en forma indirecta a través de la reducción del módulo de reacción efectivo de la superficie en que se apoyan las losas.

En Tabla 15 se dan valores de Ls para distintos tipos de bases y subbases.

**Factor de pérdida de soporte (Ls). Tabla 15.**

Tipo de material	Ls
Base granular tratada con cemento E = 1000000 a 2000000 psi.	0.0 – 1.0
Mezclas de agregados con cemento E = 500000 a 1000000 psi.	0.0 – 1.0
Bases tratadas con asfalto E = 350000 a 1000000 psi.	0.0 – 1.0
Mezclas bituminosas estabilizadas E = 40000 a 300000 psi.	0.0 – 1.0
Estabilizados con cal E = 20000 a 70000 psi.	1.0 – 3.0
Materiales granulares sin ligante E = 15000 a 45000 psi.	1.0 – 3.0
Materiales granulares finos o subrasante natural E = 3000 a 40000 psi.	2.0 – 3.0

### Módulo de reacción K.

El Módulo de reacción de la superficie en que se apoya el pavimento de concreto, es el valor de la capacidad soporte del suelo, la cual depende del Módulo de resiliencia de la subrasante y subbase, y del espesor de la subbase.

## 7.2. METODO DE LA PCA.

En este método, se calculan las tensiones que produce el tránsito en cada rango de carga, comparándolas con la resistencia de diseño adoptada denominando la relación de ellas como razón de esfuerzos.

De acuerdo a este valor, se establece el número de repeticiones permitidas en cada rango de carga, que comparado con el número de repeticiones esperadas, permite establecer un porcentaje de consumo de resistencia por cada rango de carga, cuya suma no debe exceder de un 100 % .

En el Método PCA se utilizan dos criterios :

- a) Criterio de Fatiga : para mantener el esfuerzo del hormigón, debido a las repeticiones de carga dentro del límite aceptable y para prevenir el agrietamiento por fatiga.
- b) Criterio de erosión : para limitar los efectos de la deflexión del pavimento en los bordes y esquinas, y con ello controlar la erosión del material de fundación.

### 7.2.1. Parámetros básicos de diseño

#### **Resistencia a flexión del hormigón (Módulo de rotura MR).**

Este valor se utiliza en el diseño, bajo el criterio de la fatiga que sufre los materiales por el paso de las cargas impuestas por los vehículos pesados, que tienden a producir agrietamiento en el pavimento.

La deformación que se produce en el pavimento de hormigón por efecto de las cargas, hace que las losas estén sometidas a esfuerzos de tensión y compresión.

La relación existente entre las deformaciones, debido a las cargas y los esfuerzos de compresión es muy baja como para incidir en el diseño del espesor de la losa.

La relación entre la tensión y la flexión son mayores, situación que afecta al espesor de la losa.

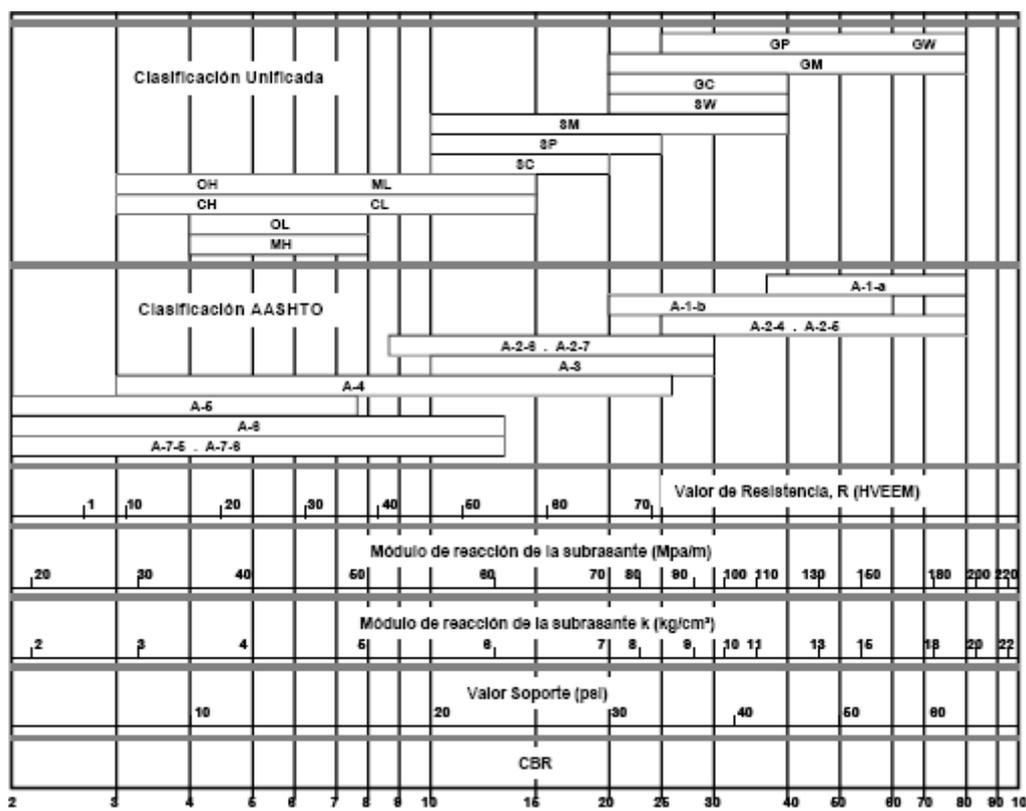
De lo anterior se deduce que los esfuerzos y resistencia a la flexión, son factores principales a considerar en el diseño de pavimentos rígidos.

La resistencia a flexión del hormigón, se determina por ensayos de módulo de rotura sobre vigas de dimensiones específicas, cargadas en los tercios de la luz, para un período de curado de 28 días.

#### **Módulo de reacción del conjunto subrasante-subbase.**

Este valor representa la capacidad soporte del conjunto. Para la subrasante se estima por correlación con el CBR de la misma, ya que no es indispensable la determinación exacta del módulo k, debido a que las variaciones no afectan los espesores de diseño(Tabla16).

**Correlación aproximada entre clasif. de suelos y diferentes ensayos. Tabla 16.**



Para obtener el del conjunto, se debe ingresar en la Tabla 17 con el k de la subrasante y el espesor de la subbase.

**Módulo de reacción del conjunto subbase - subrasante. Tabla 17.**

Subrasante k[pci]	Subbase k[pci]			
	4 pulg.	6 pulg.	9 pulg.	12 pulg.
50	65	75	85	110
100	130	140	160	190
200	220	230	270	320
300	320	330	370	430

**Tránsito.**

Las características principales de tránsito que se relacionan con el diseño de pavimentos rígidos, son el número de pasadas de ejes y la importancia de las cargas. Las cargas más pesadas por eje que se esperan durante el período de diseño, son las que definen los esfuerzos a los que va a estar sometido dicho pavimento. Una ventaja que se debe reconocer en el Método del PCA en relación al AASHTO, es que toma el tránsito real, sin convertirlo a ejes sencillos equivalentes.

**Factor de seguridad de cargas.**

Este método exige que las cargas reales esperadas se multipliquen por factores de seguridad de carga (Fsc) :  
 Fsc : 1.2 para vías con múltiples carriles, alto volumen de tránsito pesado y flujo continuo.

Fsc : 1.1 para carreteras y vías urbanas con moderado tránsito pesado.

Fsc : 1.0 para calles residenciales y otras con bajo volumen de tránsito pesado.

### Período de diseño.

Se considera como el período de análisis del tránsito. Par un pavimento rígido se considera adecuado tomar 20 años como período de diseño.

Su elección incide directamente en los espesores, ya que esto determina cuantos vehículos tendrán que circular sobre el pavimento en ese lapso, siendo función del tipo de carretera, nivel del tránsito, análisis económico y el servicio que preste.

## 7.3. CALCULO DEL ESPESOR DEL PAVIMENTO DE HORMIGON.

### 7.3.1. Método de AASHTO.

#### **Determinación de los ejes simples equivalentes de 82 KN (18 KIPS).**

El volumen de tránsito se transforma en un número equivalente de ejes de una determinada carga, que a su vez producirá el mismo daño que toda la composición de tránsito mixto de los vehículos.

La carga uniformizada según AASHTO es de 82 KN o 18 Kips y la conversión se hace a través de los Factores equivalentes de carga (LEF).

$$LEF = \frac{\text{Nº de ESALS de 82 KN que producen una pérdida de serviciabilidad}}{\text{Nº de ejes de 82 KN que producen la misma pérdida de serviciabilidad}}$$

Estos factores varían según el espesor de la losa y el Índice de serviciabilidad final Pt . A los ejes equivalentes se los determinó mediante una planilla que utiliza la Dirección Nacional de Vialidad (Tabla 19), Dicha planilla es para pavimentos flexibles y se calculan ejes equivalentes de 10 Tn.

Para su conversión a ejes simples equivalentes de 82 KN (18 Kips) en pavimentos rígidos, se procede de la siguiente manera :

Teniendo como dato el TMDA (AÑO 2004), lo ajustamos para prever la demanda actual. Para ello consideramos una tasa de crecimiento anual (i) del 3 %.

Proyectamos la demanda al horizonte de diseño que se estipula en 20 años (Tabla 18).

También se calcula el TMDA medio en la vida útil, o sea el TMDA (AÑO 2023).

#### **Cálculo del TMDA. Tabla 18.**

<b>TMDA (AÑO 2004)</b>	<b>1403 v/d</b>
<b>TMDA (AÑO 2013)</b>	<b>1831 v/d</b>
<b>TMDA (AÑO 2023)</b>	<b>2461 v/d</b>
<b>TMDA (AÑO DE PROYECTO)</b>	<b>3307 v/d</b>

**Determinación de los ESALS de 82 KN ( 18 Kips). Tabla 19.**

Tipo de vehículo	Distrib. de ejes	Nº de ejes (1)	% de cada tipo de vehículo (2)	Factor C (3)	(4)=(1)x(2)x(3)	Nº de ejes equiv. de 18 kips (ESALS)
Automóvil	1 1	2	0.555	0.01	0.011	
Camioneta	1 1	2	0.222	0.01	0.004	
Omnibus	1 1	2	0.035	0.07	0.005	
Camión s/acoplado	1 2	3	0.017	0.38	0.019	
Camión c/acoplado	1 1 - 1 1	4	0.012	0.60	0.029	10819602
	1 1 - 1 2	5	0.070	0.39	0.137	
Camión c/semirem.	1 1 1	3	0.030	0.54	0.049	
	1 1 2	4	0.040	0.45	0.072	
	1 1 3	5	0.018	0.41	0.037	
	1 2 3	6	0.001	0.35	0.002	
					<b>Σ 0.365</b>	

Período de diseño = 20 años

Factor de distribución por carril = 1

Factor de distribución direccional = 0.5

TMDA medio en la vida útil = 2461 v/d

Factor C : Los factores C expresan en ESALS el daño causado por cada eje de un cierto tipo de vehículo.

Factor global ESALS / vehículo =  $\Sigma (1 \times 2 \times 3) = 0.365$

ESALS =  $0.5 \times 20 \times 365 \times 2461 \times 1 \times 0.365 \times 2.2 \times 1.5 = 10819602$

En esta última fórmula, los términos 2.2 y 1.5 sirven para la transformación a ejes simples equivalentes de 82 KN (18 Kips o 18000 Lbs), en pavimentos rígidos, respectivamente.

A los fines de una mera comparación, los ejes equivalentes también se calcularon, considerando los espectros de carga.

La mejor manera de caracterizar el tránsito es a través de los espectros de carga, que se calculan para cada tipo de eje ( simple, tándem, trídem).

Se definen como la relación entre el número de ejes con cierto rango de carga y el número total de ese tipo de eje, expresado en porcentaje.

Como en nuestro país hace muchos años que no se realizan censos de carga, lo que se hizo fue considerar el 100 % de la carga máxima por eje, el 80 %, 70 %, etc.

Se llega a la conclusión de que suponiendo un 56 % de la carga máxima por eje, se obtienen 10998766 de ESALS, similar a lo que se obtuvo con la planilla de la DNV.

Se adoptan los valores obtenidos con esta última planilla.

Diseño estructural: Se consideraron 3 alternativas.

Alternativa 1: Refuerzo de hormigón sobre pavimento flexible existente.

Alternativa 2: Retiro de la capa asfáltica y sobre las capas granulares existentes se coloca un pavimento de hormigón.

Alternativa 3: Reclamado de capas granulares (mezcla granular compuesta por el reciclado de la estructura existente y la incorporación de agua, arena silíceo, piedra triturada 6 -25 mm) y colocación de un pavimento de hormigón.

#### **Alternativa 1 (Procedimiento):**

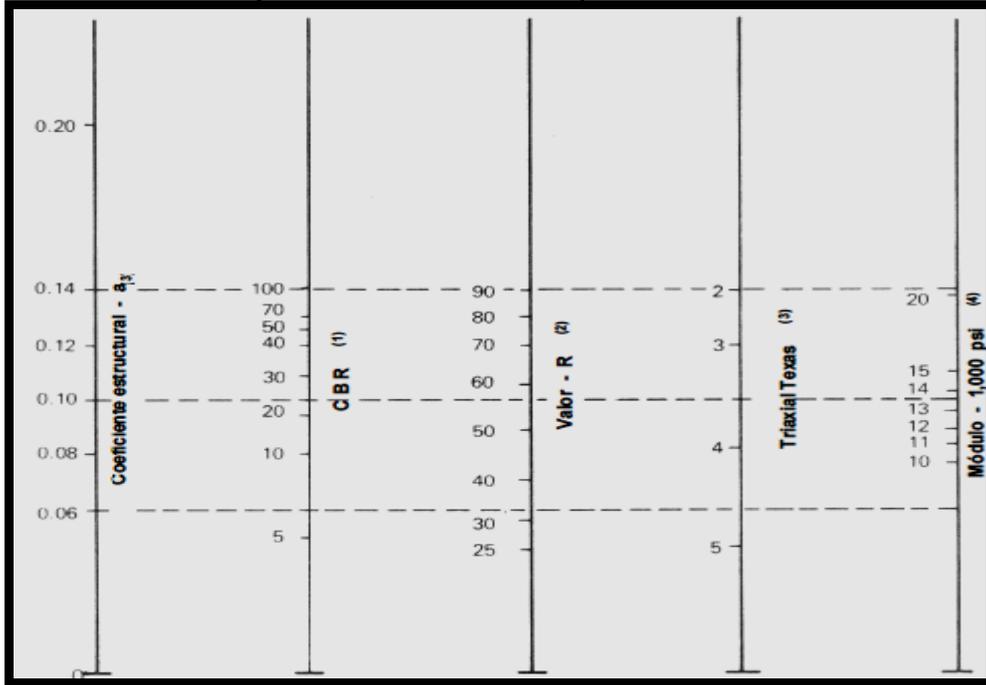
Para la determinación del Módulo de reacción compuesto k, en primer lugar determinamos el módulo elástico que mejor caracterice las propiedades de los materiales que componen las distintas capas del pavimento flexible existente y de la subrasante.

Subrasante: Conocido su CBR = 5 % , por correlación se obtiene su Módulo de resiliencia (Mr).

$$Mr [\text{psi}] = 1500 \times \text{CBR} = 1500 \times 5 = 7500$$

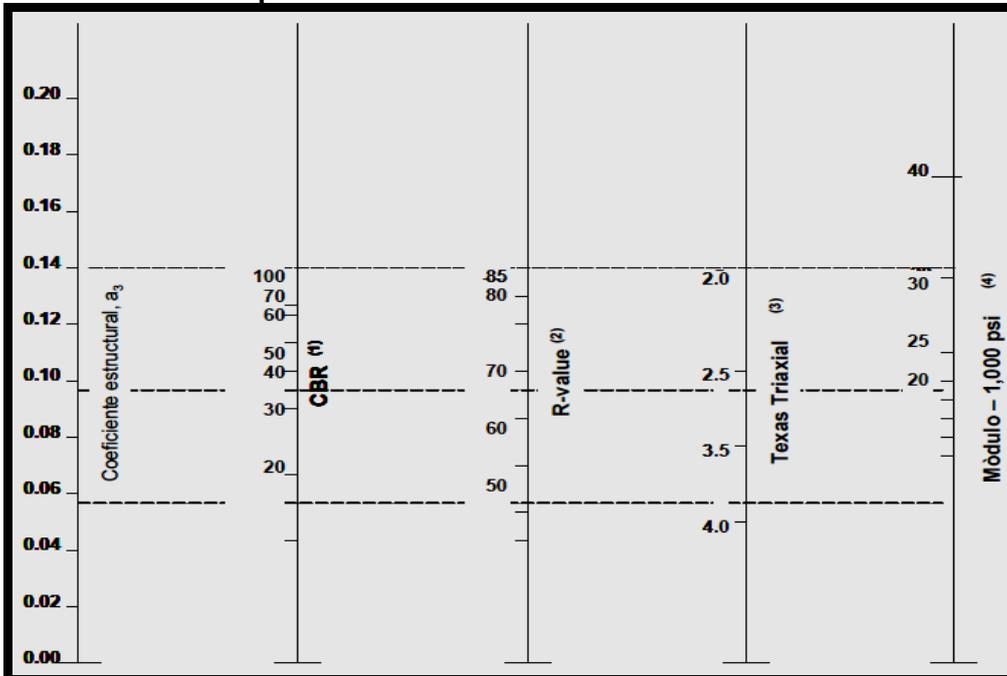
Subbase granular : Con el CBR = 48 % , de Gráfico 4 obtenemos su módulo de resiliencia  $Mr[\text{psi}] = 17100$ .

**Relación entre el coeficiente estructural para subbase granular y distintos parámetros resistentes). Gráfico 4.**



Base granular : Con CBR = 65 % , de Gráfico 5 :  $M_r[\text{psi}] = 26700$ .

**Relación entre el coeficiente estructural para base granular y distintos parámetros estructurales. Gráfico 5.**

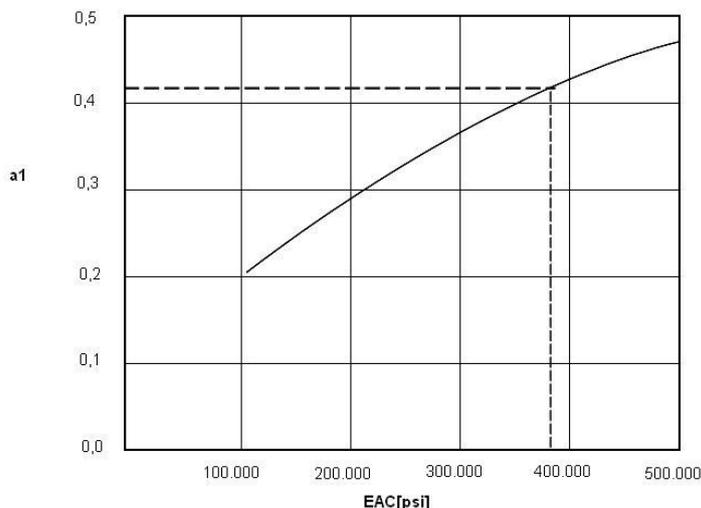


Capa asfáltica: Para obtener su módulo elástico o dinámico, suponemos un valor del coeficiente estructural  $a_1$  en función del estado de fisuración de dicha capa. Por lo tanto de Tabla 20, adopto  $a_1 = 0,25$ .

**Coefficientes de capa sugeridos según la condición de la superficie, para pavimentos asfálticos. Tabla 20.**

MATERIAL	SURFACE CONDITION	COEFFICIENT
<b>AC Surface</b>	Little or no alligator cracking and/or only low-severity transverse cracking	0.35 to 0.40
	< 10 percent low-severity alligator cracking and/or < 5 percent medium- and high-severity transverse cracking	0.25 to 0.35
	> 10 percent low-severity alligator cracking and/or < 10 percent medium-severity alligator cracking and/or > 5-10 percent medium- and high-severity transverse cracking	0.20 to 0.30
	> 10 percent medium-severity alligator cracking and/or < 10 percent high-severity alligator cracking and/or > 10 percent medium- and high-severity transverse cracking	0.14 to 0.20
	> 10 percent high-severity alligator cracking and/or > 10 percent high-severity transverse cracking	0.08 to 0.15
<b>Stabilized Base</b>	Little or no alligator cracking and/or only low-severity transverse cracking	0.20 to 0.35
	< 10 percent low-severity alligator cracking and/or < 5 percent medium- and high-severity transverse cracking	0.15 to 0.25
	> 10 percent low-severity alligator cracking and/or < 10 percent medium-severity alligator cracking and/or > 5-10 percent medium- and high-severity transverse cracking	0.15 to 0.20
	> 10 percent medium-severity alligator cracking and/or < 10 percent high-severity alligator cracking and/or > 10 percent medium- and high-severity transverse cracking	0.10 to 0.20
	> 10 percent high-severity alligator cracking and/or > 10 percent high-severity transverse cracking	0.08 to 0.15
<b>Granular Base or Subbase</b>	No evidence of pumping, degradation, or contamination by fines	0.10 to 0.14
	Some evidence of pumping, degradation, or contamination by fines	0.00 to 0.10

**Coefficiente  $a_1$  – Módulo de elasticidad de la capa asfáltica ( $E_{AC}$ ). Gráfico 6.**



Luego de Gráfico 6, se tiene que  $E_{AC} = 150000$  psi.

Hacemos un promedio ponderado entre los Módulos de resiliencia de las capas que constituyen el paquete estructural del pavimento flexible.

$$\frac{(5 \text{ cm} \times 150000 \text{ psi} + 15 \text{ cm} \times 26700 \text{ psi} + 15 \text{ cm} \times 17100 \text{ psi})}{(5 \text{ cm} + 15 \text{ cm} + 15 \text{ cm})} = 40200 \text{ psi}$$

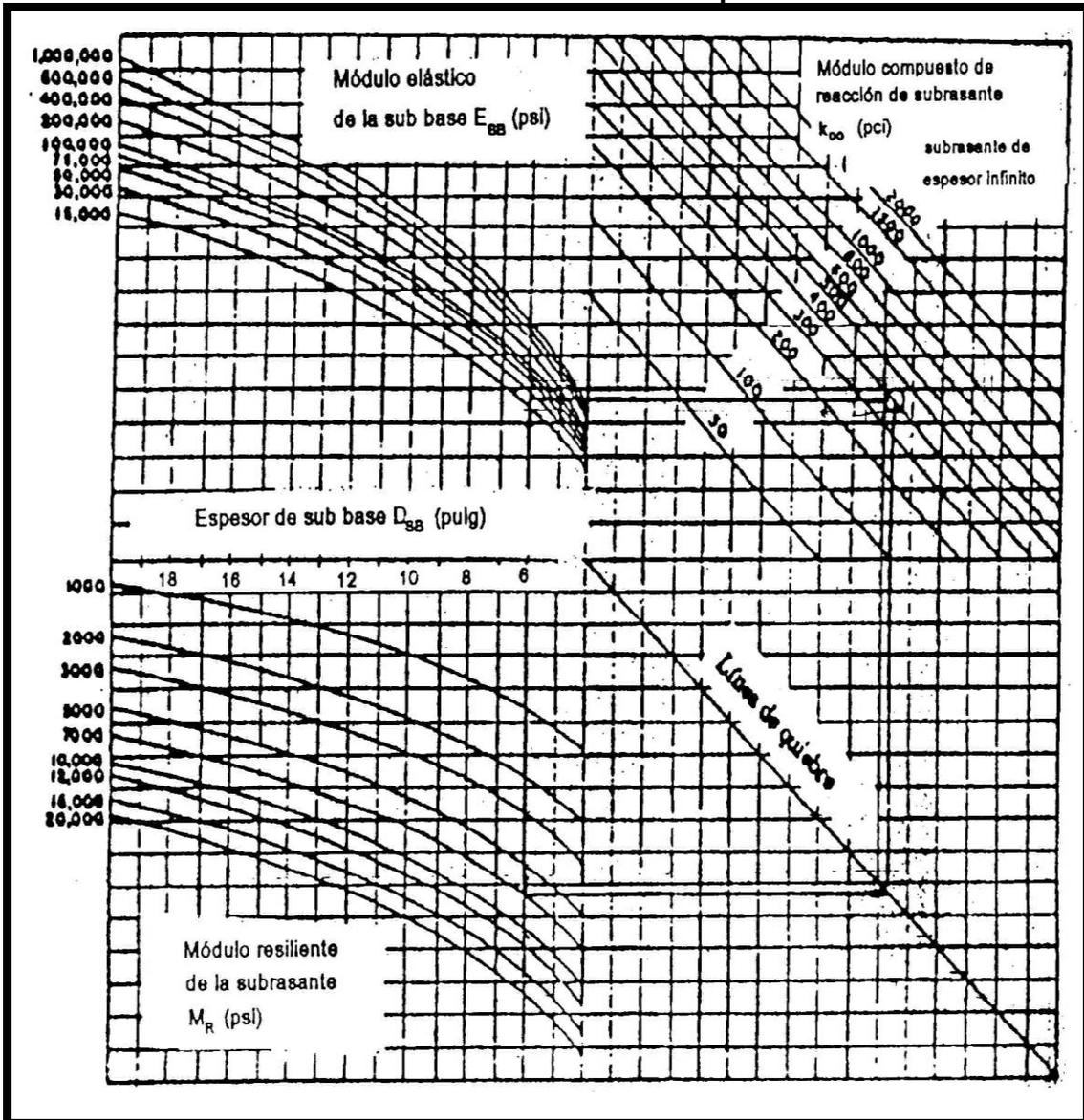
Se considera a este paquete estructural como una base de  $M_r = 40200$  psi.

En síntesis, con los siguientes datos se ingresa en el Gráfico 7 :

$M_r(\text{Subrasante}) = 7500$  psi,  $M_r(\text{Base}) = 40200$  psi,  $\text{Espesor}(\text{Base}) = 35 \text{ cm} = 14$  pulgadas.

De allí , el Módulo de reacción compuesto (Subrasante- Pav. flexible)  $k = 600$  pci.

**Determinación del Módulo de reacción compuesto. Gráfico 7.**



Ahora calculamos el espesor del refuerzo.

$$\log W_{18} = \left[ \begin{aligned} & \text{Error Estándar Combinado} \quad \text{Espesor} \quad \text{Diferencia de Serviciabilidad} \\ & Z_r S_o + 7.35 \log(D+1) - 0.06 + \frac{\log \Delta PSI}{1 + \frac{1.625 \times 10^7}{(D+1)^{2.46}}} \\ & \text{Desviación Estándar Normal} \\ & + (4.22 - 0.32 \rho_t) \log \left( \frac{\text{Módulo de Ruptura} \quad \text{Coeficiente de Drenaje}}{\text{Coeficiente de Transferecia de Carga} \quad \text{Módulo de Elasticidad} \quad \text{Módulo de Reacción}} \right) \\ & \frac{MR c_d (D^{0.75} - 1.132)}{215.63 J (D^{0.75} - 18.42) (E_c / k)^{0.25}} \end{aligned} \right]$$

Utilizando una planilla Excel, se determina que con un espesor de losa D = 7.8 pulgadas = 20 cm, W<sub>18</sub> = 15141786 (admisible) y W<sub>18</sub> = 10819602 (esperado). Verifica (Tabla 21).

**Espesor de la losa de hormigón para la Alternativa 1. Tabla 21.**

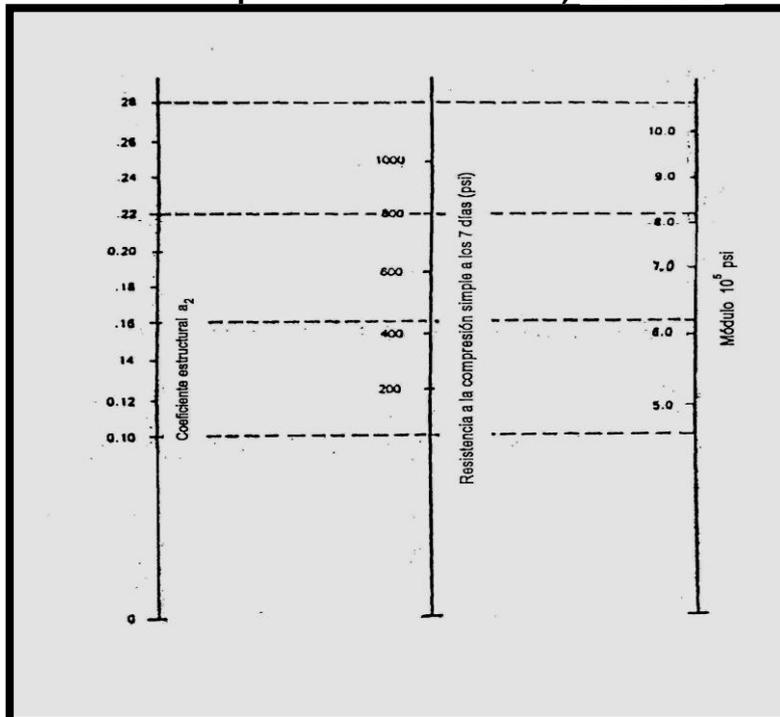
D	ΔPSI	Zr	So	Zr x So	MR	Cd	J	Ec	K	Pt	log W <sub>18</sub>	W <sub>18</sub>
7.8	2.5	-0.524	0.39	-0.20436	650	1.15	3.2	4200000	600	2	7.180177	15141786

**Ensanche de R. P. N° 30 :**

Con Base tratada con cemento:

Se ingresa al Gráfico 8 con la Resistencia a la compresión confinada a los 7 días = 30 kg/cm<sup>2</sup> = 427 psi (adoptada), se tiene que el Mr(B trat. con cemento) = 620000 psi.

**(Relación entre el coeficiente estructural para base tratada con cemento y distintos parámetros resistentes). Gráfico 8.**



Con  $M_r$  (B. trat. cem.) = 620000 psi,  $M_r$  (Subrasante) = 7500 psi y Espesor de la Base tratada con cemento = 5 pulgadas = 13 cm, se tiene que el Módulo de reacción compuesto  $k = 600$  pci .

**Alternativa 2 (Procedimiento):**

Con  $M_r$  (B.granular)=26700 psi,  $M_r$  (Subbase granular)=17100 psi, se hace un promedio ponderado.

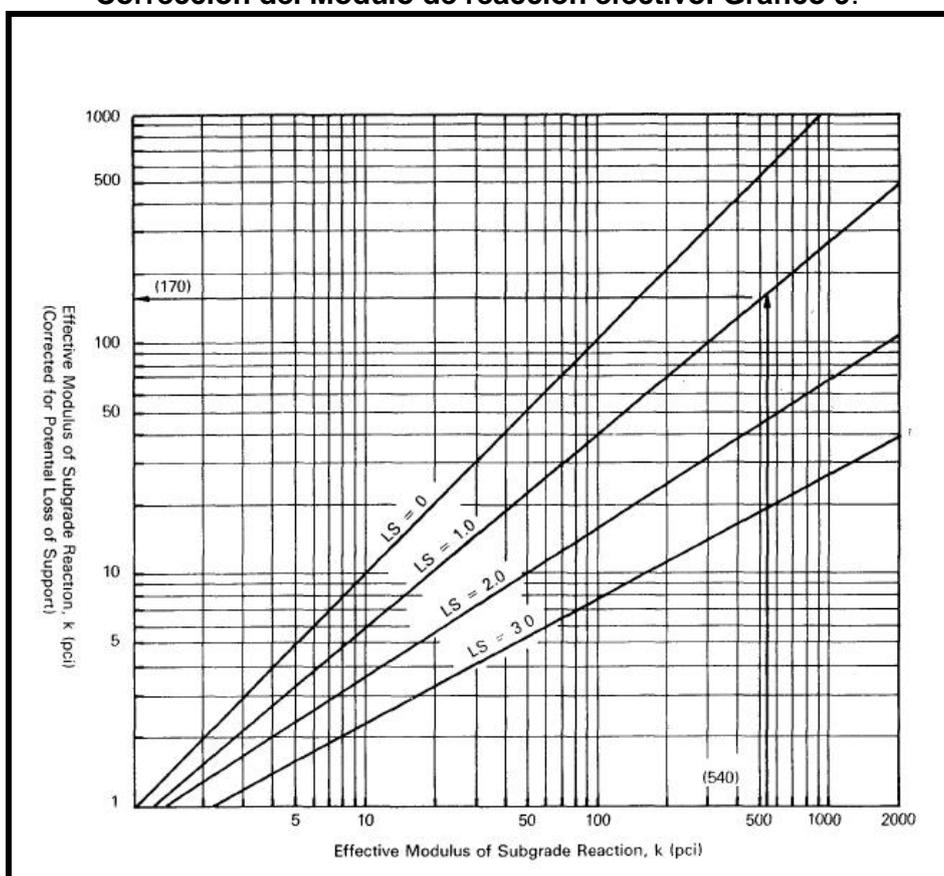
$$(15 \text{ cm} \times 26700 \text{ psi} + 15 \text{ cm} \times 17100 \text{ psi}) / (15 \text{ cm} + 15 \text{ cm}) = 21900 \text{ psi}$$

Se considera a las capas granulares como una base de  $M_r = 21900$  psi

De Gráfico 7, con  $M_r$  (Subrasante) = 7500 psi,  $M_r$  (Base granular) = 21900 psi y espesor de la base = 30 cm = 12 pulgadas,  $k = 500$  pci.

Se considera un factor de pérdida de soporte  $L_s = 1$ . Con dicho valor y  $k = 500$  pci se ingresa en gráfico 9 y se obtiene el  $k$  corregido = 170 pci.

**Corrección del Módulo de reacción efectivo. Gráfico 9.**



Con un espesor de losa de  $D = 8.6$  pulgadas = 22 cm,  $W_{18} = 14913814$  (admisible) y  $W_{18} = 10819602$  (esperado). Verifica (Tabla 22).

**Espesor de la losa de hormigón para la Alternativa 2. Tabla 22.**

D	$\Delta$ PSI	Zr	So	Zr x So	MR	Cd	J	Ec	K	Pt	log W18	W18
8.6	2.5	-0.524	0.34	-0.17816	650	1.15	3.2	4200000	170	2	7.173589	14913814

**Ensanche de R. P. N° 30:**

Con Base tratada con cemento:

De gráfico 8 con la Resistencia a la compresión inconfiada a los 7 días = 30 kg/cm<sup>2</sup> = 427 psi (adoptada), Mr (Base trat.cem.) = 620000 psi.

Con Mr (Subrasante) = 7500 psi, Mr (B. trat. cem.) = 620000 psi y Espesor de la Base tratada con cemento = 4 pulgadas = 11 cm, el Módulo de reacción compuesto k = 500 pci.

**Alternativa 3 (Procedimiento):**

Adopto para base granular reclamada un CBR = 80 %, de Gráfico 5 Mr[psi] = 27500.

Luego con Mr (Subrasante) = 7500 psi, Mr (B. g. reclamada) = 27500 psi y Espesor de la Base granular reclamada = 30 cm = 12 pulgadas, el Módulo compuesto k = 600 pci.

Con un espesor de losa D = 7.8 pulgadas = 20 cm, W<sub>18</sub> = 16083372 (admisible) y W<sub>18</sub> = 10819602 (esperado). Verifica (Tabla 23).

**Espesor de la losa de hormigón para la Alternativa 3. Tabla 23.**

D	ΔPSI	Zr	So	Zr x So	MR	Cd	J	Ec	K	Pt	log W <sub>18</sub>	W <sub>18</sub>
7.8	2.5	-0.524	0.34	-0.17816	650	1.15	3.2	4200000	600	2	7.206377	16083372

**Ensanche de R. P. N° 30:**

Con Base tratada con cemento:

De gráfico 7 con la Resistencia a la compresión inconfiada a los 7 días = 30 kg/cm<sup>2</sup> = 427 psi (adoptada), Mr (Base trat.cem.) = 620000 psi.

Con Mr (Base trat.cem.) = 620000 psi, Mr (Subrasante) = 7500 psi y Espesor de la Base trat.cem. = 5 pulgadas = 13 cm, el Módulo compuesto k = 600 pci.

**7.3.2. Método de la PCA.**

Con este método se calcula el espesor de la losa de hormigón solo para las Alternativas 2 y 3. Este método no se utiliza para el caso de refuerzos (Alternativa 1).

Por correlación, con CBR = 5 % el Módulo de reacción de la subrasante k=140 pci.

A su vez con k (subrasante) = 140 pci y espesor de la base granular = 12 pulgadas = 30 cm, k (subrasante – base granular) = 242 pci (Tabla 24).

**Efecto de la subbase no tratada en el Módulo de reacción k. Tabla 24.**

Subrasante k[pci]	Subbase k[pci]			
	4 pulg.	6 pulg.	9 pulg.	12 pulg.
50	65	75	85	110
100	130	140	160	190
200	220	230	270	320
300	320	330	370	430

Interesa el número de pasadas de ejes y la importancia de las cargas.

Considero carga máxima por eje : 10.5 Tn (ejes simples), 18 Tn (ejes tándem) y 25.5 Tn (ejes trídem). Tabla 25.

**Repeticiones diarias por trocha según tipo de eje. Tabla 25.**

Tipo de eje	Carga (Tn)	Carga (Kips)	Nº repeticiones diarias por trocha
Eje Simple	10.5	23.6	432
Eje Tandem	18	40.5	96
Eje Tridem	25.5	57.3	48

Se asume un período de diseño de 20 años y una tasa de crecimiento anual del 3% en el tránsito. Los volúmenes de ejes acumulados durante el período de diseño, se observan en la Tabla 26.

**Volúmenes de ejes acumulados durante el período de diseño. Tabla 26.**

AÑO	10.5 Tn	18 Tn	25.5 Tn
1	162410.40	36091.20	18045.60
2	167282.71	37173.94	18586.97
3	172301.19	38289.15	19144.58
4	177470.23	39437.83	19718.91
5	182794.34	40620.96	20310.48
6	188278.17	41839.59	20919.80
7	193926.51	43094.78	21547.39
8	199744.31	44387.62	22193.81
9	205736.64	45719.25	22859.63
10	211908.73	47090.83	23545.41
11	218266.00	48503.55	24251.78
12	224813.98	49958.66	24979.33
13	231558.40	51457.42	25728.71
14	238505.15	53001.14	26500.57
15	245660.30	54591.18	27295.59
16	253030.11	56228.91	28114.46
17	260621.01	57915.78	28957.89
18	268439.65	59653.25	29826.63
19	276492.83	61442.85	30721.43
20	284787.62	63286.14	31643.07
<b>VOL. ACUM.</b>	<b>4364028.27</b>	<b>969784.06</b>	<b>484892.03</b>

**Datos para el diseño. Tabla 27**

<b>Espesor de losa : 9 pulg.</b>	<b>Banquina : Sin pavimentar</b>
<b>Esp. B.granular : 12 pulg.</b>	<b>Pasadores : Si</b>
<b>K (Subrasante – B.gran.) : 242 pci</b>	<b>P. diseño : 20 años</b>
<b>Módulo de Rotura : 650 psi</b>	<b>K (Subrasante) : 140 pci</b>
<b>F. de seguridad de carga (FSC) : 1.1</b>	

**Factores relación de esfuerzos. Tabla 28.**

Ejes	E.E. [psi]	F.R.E. = E.E/MR
Simple	198.70	0.31
Tándem	173.44	0.27
Trídem	130.12	0.20

**Factores de erosión. Tabla 29.**

Ejes	F. de erosión
Simple	2.642
Tándem	2.783
Trídem	2.895

Antes de utilizar los gráficos de repeticiones de carga admisibles, la carga del eje trídem se la divide por 3, luego se utiliza la escala de carga para ejes simples.

Esta división por 3 se hace solo para evitar la complejidad de añadir una tercera escala en los gráficos mencionados.

Los efectos perjudiciales de los ejes trídem, tándem y simple, están incorporados en sus respectivos esfuerzos equivalentes y factores de erosión.

**Análisis por fatiga y erosión. Tabla 30.**

Ejes	Carga por eje (Kips)	Carga por eje (Kips) x FSC	Repet. esp.	Análisis por fatiga		Análisis por erosión	
				Repet. adm.	% de fatiga	Repet. adm.	% de daño
Simple	23.6	25.96	4364028.27	ILIMIT.	0	8000000	54.55
Tándem	40.50	44.55	969784.06	ILIMIT.	0	7000000	13.85
Trídem	57.3	21.03	484892.03	ILIMIT.	0	5000000	9.70
					0		78.10

Criterio de Fatiga: Son permitidas ilimitadas repeticiones del eje de 10.5 Tn. Esto significa que este eje no consume capacidad a la fatiga. Idem para eje de 18 Tn y 25.5 Tn respectivamente. Verifica por este criterio el diseño propuesto.

Criterio de Erosión: Son permitidas 8000000 de repeticiones del eje de 10.5 Tn. Esto implica que se ha consumido el 54.55 % de la capacidad a la erosión que se dispone. Son permitidas 7000000 de repeticiones del eje de 18 Tn; se ha consumido el 13.85 % de la capacidad a la erosión que se dispone. Son permitidas 5000000 de repeticiones del eje de 25.5 Tn; se ha consumido el 9.70 % de la capacidad a la erosión que se dispone. La suma de lo consumido por los 3 ejes es de 78.10 % , verificando por este criterio el diseño propuesto (Tabla 30).

**Ensanche de la R. P. N° 30:** Se realiza el mismo con una base tratada con cemento.

**Datos para el diseño. Tabla N° 31**

<b>Espesor de losa : 9 pulg.</b>	<b>Banquina : Sin pavimentar</b>
<b>Esp. B. cementada : 4 pulg.</b>	<b>Pasadores : Si</b>
<b>K (Subrasante, B. cementada) : 356 pci</b>	<b>P. diseño : 20 años</b>
<b>Módulo de Rotura : 650 psi</b>	<b>K (Subrasante) : 140 pci</b>
<b>F. de seguridad de carga (FSC) : 1.1</b>	

Con  $k(\text{Subrasante}) = 140 \text{ pci}$  y esp. de base tratada con cemento = 4 pulgadas = 11 cm,  
 $k(\text{Subrasante} - \text{B. tratada con cemento}) = 356 \text{ pci}$  (Tabla 31).

**Efecto de la subbase tratada con cemento en el Módulo de reacción k. Tabla 32.**

<b>Subrasante k[pci]</b>	<b>Subbase k[pci]</b>			
	<b>4 pulg.</b>	<b>6 pulg.</b>	<b>8 pulg.</b>	<b>12 pulg.</b>
<b>50</b>	<b>170</b>	<b>230</b>	<b>310</b>	<b>390</b>
<b>100</b>	<b>280</b>	<b>400</b>	<b>520</b>	<b>640</b>
<b>200</b>	<b>470</b>	<b>640</b>	<b>830</b>	<b>0</b>

**Factores de relación de esfuerzos (Para ensanche). Tabla 33.**

<b>Ejes</b>	<b>E.E. (psi)</b>	<b>F.R.E. = E.E/MR</b>
<b>Simple</b>	<b>185.52</b>	<b>0.29</b>
<b>Tándem</b>	<b>157.68</b>	<b>0.24</b>
<b>Trídem</b>	<b>118.08</b>	<b>0.18</b>

**Factores de erosión (Para ensanche). Tabla 34.**

<b>Ejes</b>	<b>F. de erosión</b>
<b>Simple</b>	<b>2.627</b>
<b>Tándem</b>	<b>2.746</b>
<b>Trídem</b>	<b>2.834</b>

**Análisis por fatiga y erosión (Para ensanche). Tabla 35.**

Ejes	Carga por eje (Kips)	Carga por eje (Kips) x FSC	Repet. esp.	Análisis por fatiga		Análisis por erosión	
				Repet. adm.	% de fatiga	Repet. adm.	% de daño
Simple	23.6	25.96	4364028.27	ILIMIT.	0	9000000	48.49
Tándem	40.50	44.55	969784.06	ILIMIT.	0	10000000	9.70
Trídem	57.3	21.01	484892.03	ILIMIT.	0	7500000	6.47
					0		64.66

Criterio de Fatiga : Son permitidas ilimitadas repeticiones del eje de 10.5 Tn. Este eje no consume capacidad a la fatiga. Idem para el eje de 18 Tn y 25.5 Tn respectivamente. Verifica por este criterio el diseño propuesto.

Criterio de Erosión : Son permitidas 9000000 de repeticiones del eje de 10.5 Tn. Esto implica que se ha consumido el 48.49 % de la capacidad a la erosión que se dispone. Son permitidas 10000000 de repeticiones del eje de 18 Tn; se ha consumido el 9.70 % de la capacidad a la erosión que se dispone. Son permitidas 7500000 de repeticiones del eje de 25.5 Tn; se ha consumido el 6.47 % de la capacidad a la erosión que se dispone. La suma de lo consumido por los 3 ejes es de 64.66 % , verificando por este criterio el diseño propuesto (Tabla 35).

Considerando el 80 % de la carga máxima por eje:

**Repeticiones diarias por trocha según tipo de eje (se considera el 80 % de carga máxima por eje) . Tabla 36.**

Tipo de eje	Carga (Tn)	Carga (Kips)	Nº de repeticiones diarias por trocha
Simple	0.80 x 10.5	0.80 x 23.6	432
Tándem	0.80 x 18	0.80 x 40.5	96
Trídem	0.80 x 25.5	0.80 x 57.3	48

**Volúmenes de ejes acumulados durante el período de diseño. Tabla 37.**

AÑO	0.80 x 10.5	0.80 x 18	0.80 x 25.5
1	162410.40	36091.20	18045.60
2	167282.71	37173.94	18586.97
3	172301.19	38289.15	19144.58
4	177470.23	39437.83	19718.91
5	182794.34	40620.96	20310.48

6	188278.17	41839.59	20919.80
7	193926.51	43094.78	21547.39
8	199744.31	44387.62	22193.81
9	205736.64	45719.25	22859.63
10	211908.73	47090.83	23545.41
11	218266.00	48503.55	24251.78
12	224813.98	49958.66	24979.33
13	231558.40	51457.42	25728.71
14	238505.15	53001.14	26500.57
15	245660.30	54591.18	27295.59
16	253030.11	56228.91	28114.46
17	260621.01	57915.78	28957.89
18	268439.65	59653.25	29826.63
19	276492.83	61442.85	30721.43
20	284787.62	63286.14	31643.07
<b>VOL. ACUM.</b>	<b>4364028.27</b>	<b>969784.06</b>	<b>484892.03</b>

**Diseño del espesor. Tabla 38**

<b>Espesor de losa : 8 pulg.</b>	<b>Banquina : Sin pavimentar</b>
<b>Esp. B.granular : 12 pulg.</b>	<b>Pasadores : Si</b>
<b>K (Subrasante – B.gran.) : 242 pci</b>	<b>P. diseño : 20 años</b>
<b>Módulo de Rotura : 650 psi</b>	<b>K (Subrasante) : 140 pci</b>
<b>F. de seguridad de carga (FSC) : 1.1</b>	

**Factores Relación de esfuerzos. Tabla 39**

<b>Ejes</b>	<b>E.E. [psi]</b>	<b>F.R.E. = E.E/MR</b>
Simple	234.86	0.36
Tándem	199.60	0.31
Trídem	149.70	0.23

**Factores de erosión. Tabla 40.**

<b>Ejes</b>	<b>F. de erosión</b>
Simple	2.796
Tándem	2.913
Trídem	3.005

Criterio de Fatiga : Son permitidas ilimitadas repeticiones del eje de 0.80x10.5 Tn. Este eje no consume capacidad a la fatiga. Idem para el eje de 0.80x18 Tn y 0.80x25.5 Tn respectivamente. Verifica por este criterio el diseño propuesto.

Criterio de Erosión : Son permitidas 10000000 de repeticiones del eje de 0.80x10.5 Tn. Esto implica que se ha consumido el 43.64 % de la capacidad a la erosión que se dispone. Son permitidas 12000000 de repeticiones del eje de 0.80x18 Tn; se ha consumido el 8.08 % de la capacidad a la erosión que se dispone. Son permitidas 9000000 de repeticiones del eje de 0.80x25.5 Tn; se ha consumido el 5.39 % de la capacidad a la erosión que se dispone. La suma de lo consumido por los 3 ejes es de 57.11 % , verificando por este criterio el diseño propuesto (Tabla 41).

Ensanche de la R. P. N° 30 : Se realiza el mismo con una base tratada con cemento.

**Análisis por fatiga y erosión. Tabla 41.**

Ejes	Carga por eje (Kips)	Carga por eje (Kips) x FSC	Repet. esp.	Análisis por fatiga		Análisis por erosión	
				Repet. adm.	% de fatiga	Repet. adm.	% de daño
Simple	18.88	20.77	4364028.27	ILIMIT.	0	10000000	43.64
Tándem	32.40	35.64	969784.06	ILIMIT.	0	12000000	8.08
Trídem	45.84	16.81	484892.03	ILIMIT.	0	9000000	5.39
						0	57.11

**Datos para el diseño. Tabla 42.**

<b>Espesor de losa : 8 pulg.</b>	<b>Banquina : Sin pavimentar</b>
<b>Esp. B. cementada : 4 pulg.</b>	<b>Pasadores : Si</b>
<b>K (Subrasante, B. cementada) : 356 pci</b>	<b>P. diseño : 20 años</b>
<b>Módulo de Rotura : 650 psi</b>	<b>K (Subrasante) : 140 pci</b>
<b>F. de seguridad de carga (FSC) : 1.1</b>	

**Factores de relación de esfuerzos (Para ensanche). Tabla 43.**

Ejes	E.E. [psi]	F.R.E.
Simple	219.40	0.34
Tándem	182.12	0.28
Trídem	136.80	0.21

**Factores de erosión (Para ensanche). Tabla 44.**

Ejes	F. de erosión
Simple	2.784
Tándem	2.879
Trídem	2.950

**Análisis por fatiga y erosión (Para ensanche). Tabla 45.**

Ejes	Carga por eje(Kips)	Carga por eje (Kips) x FSC	Repet. esp.	Análisis por fatiga		Análisis por erosión	
				Repet. adm.	% de fatiga	Repet. adm.	% de daño
Simple	18.88	20.77	4364028.27	ILIMIT.	0	17000000	25.67
Tándem	32.40	35.64	969784.06	ILIMIT.	0	19000000	5.10
Trídem	45.84	16.81	484892.03	ILIMIT.	0	14000000	3.46
					0		34.24

Criterio de Fatiga : Son permitidas ilimitadas repeticiones del eje de 0.80x10.5 Tn. Este eje no consume capacidad a la fatiga. Idem para el eje de 0.80x18 Tn y 0.80x25.5 Tn respectivamente. Verifica por este criterio el diseño propuesto.

Criterio de Erosión : Son permitidas 17000000 de repeticiones del eje de 0.80x10.5 Tn. Esto implica que se ha consumido el 25.67 % de la capacidad a la erosión que se dispone. Son permitidas 19000000 de repeticiones del eje de 0.80x18 Tn; se ha consumido el 5.10 % de la capacidad a la erosión que se dispone. Son permitidas 14000000 de repeticiones del eje de 0.80x25.5 Tn; se ha consumido el 3.46 % de la capacidad a la erosión que se dispone. La suma de lo consumido por los 3 ejes es de 34.24 % verificando por este criterio el diseño propuesto (Tabla 45).

**7.4. Resultados del diseño estructural:****7.4.1. Método de AASHTO.**

Para Alternativa 1(Refuerzo de hormigón sobre pavimento flexible existente), espesor de losa de hormigón D = 7.8 pulgadas = 20 cm.

Para Alternativa 2 (Retiro de la capa asfáltica y sobre capas granulares colocación de un pavimento de hormigón), D = 8.6 pulgadas = 22 cm.

Para Alternativa 3 (Reclamado de capas granulares y colocación de un pavimento de hormigón), D = 7,8 pulgadas = 20 cm.

**7.4.2. Método de la PCA.**

Para Alternativa 1 no se tuvo en cuenta este método, ya que no se utiliza para el cálculo de refuerzos.

Para Alternativa 2 y Alternativa 3 :

Considerando carga máxima por eje, D = 9 pulgadas = 23 cm.

Considerando el 80 % de la carga máxima por eje, D = 8.0 pulgadas = 21 cm.

Se adopta este último espesor.

**7.4.3 Conclusiones del capítulo:**

Cotejando los espesores logrados, en la Alternativa 2 se obtiene un mayor espesor de losa utilizando el M. AASHTO. En cambio para la Alternativa 3 se llega a un espesor mayor con M. de la PCA .

Si hacemos una comparación entre los métodos, vemos que el de la PCA presenta limitaciones con respecto al AASHTO, ya que no considera variables importantes que impactan en el desempeño de la estructura del pavimento como el drenaje del agua infiltrada (principal causa de deterioro de la estructura del pavimento) y la serviciabilidad. El PCA tiene en cuenta el tránsito real que se estima circulará sobre el pavimento, sin convertirlo a ejes simples equivalentes.

El M. AASHTO al considerar más variables en el diseño, permite que el proyectista logre mejores resultados en base a su experiencia y conocimiento de las mismas. Por tal motivo, se considera que dicho método es más fiable desde el punto de vista técnico y se adoptan sus espesores.

Con respecto a los espesores obtenidos para las distintas alternativas planteadas, vemos que no hay mucha diferencia entre ellos.

En la Alternativa 1, la capa asfáltica tiene poca influencia en la capacidad soporte de la estructura y en el cálculo del espesor de la losa de hormigón.

Los perfiles estructurales se encuentran en el Anexo 2.

## CAPITULO 8: ANALISIS DE SENSIBILIDAD.

Gráfico 10

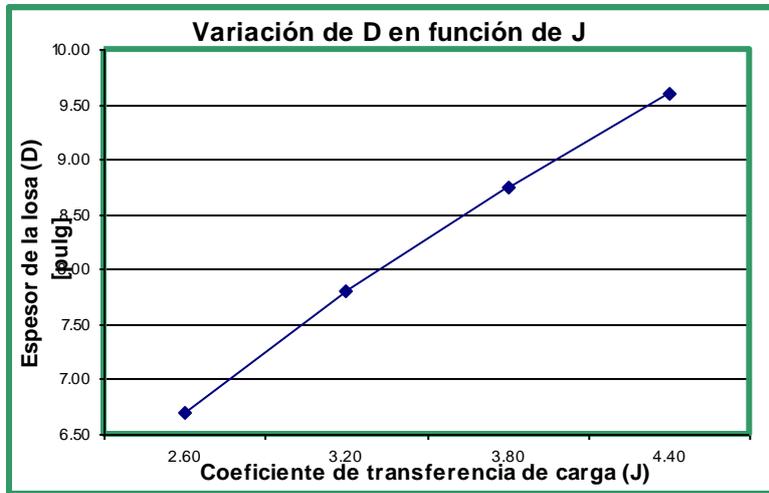


Gráfico 11

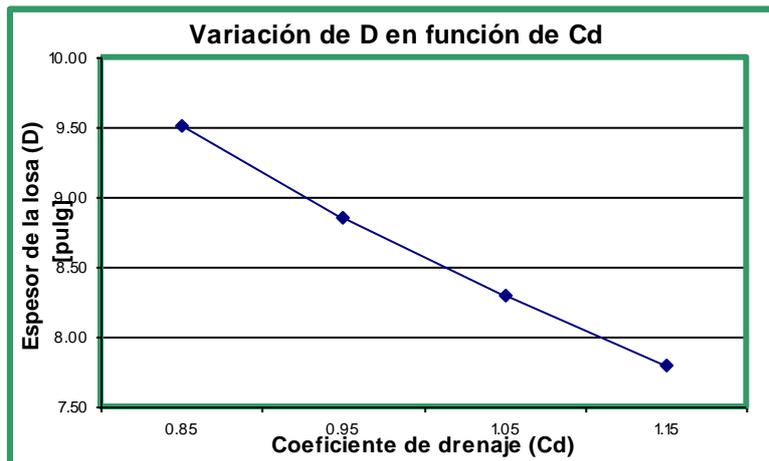


Gráfico 12

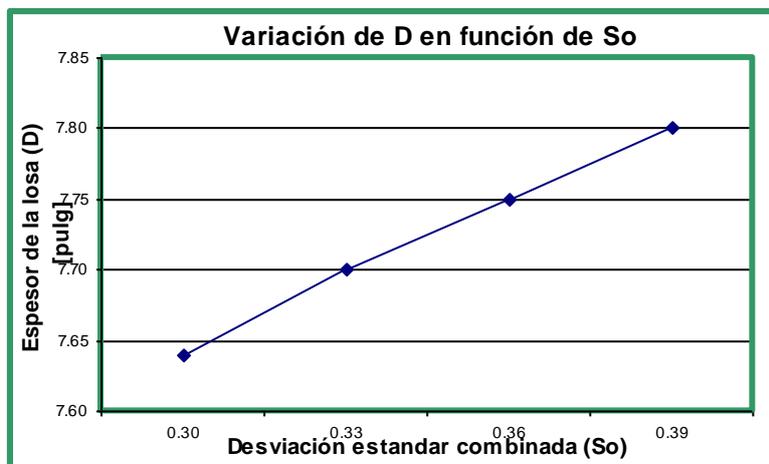


Gráfico 13

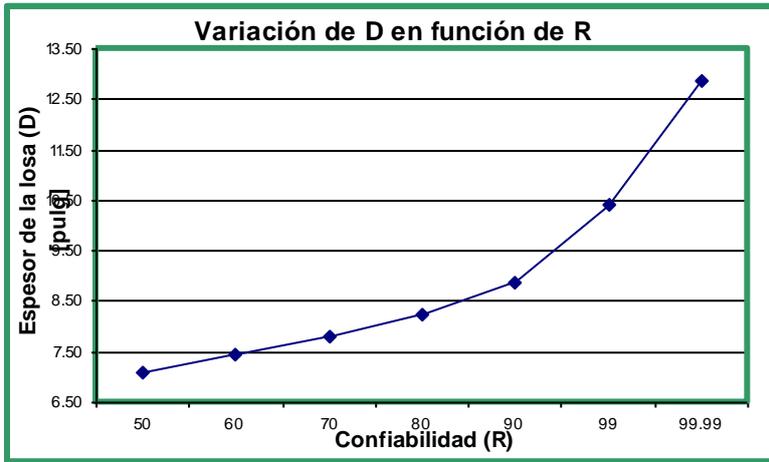


Gráfico 14

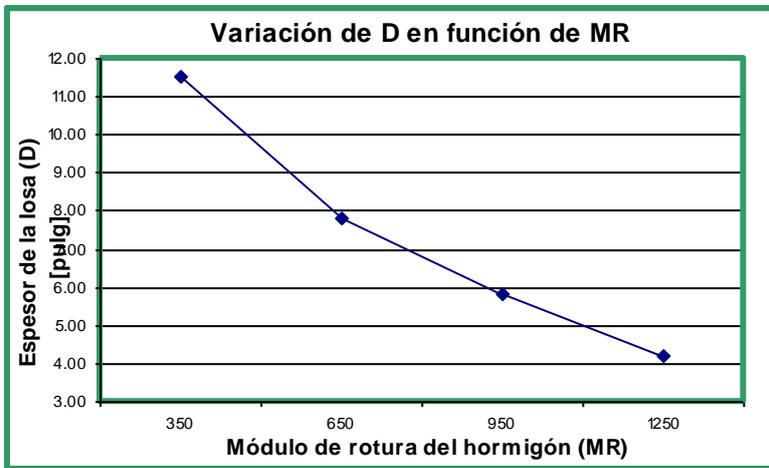


Gráfico 15

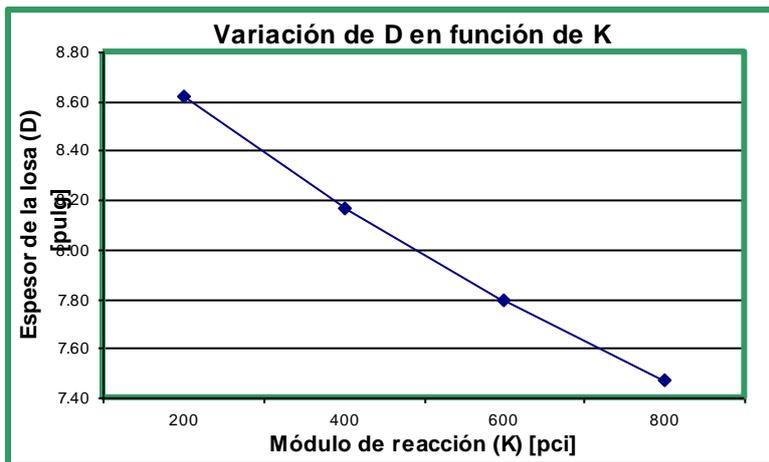


Gráfico 16

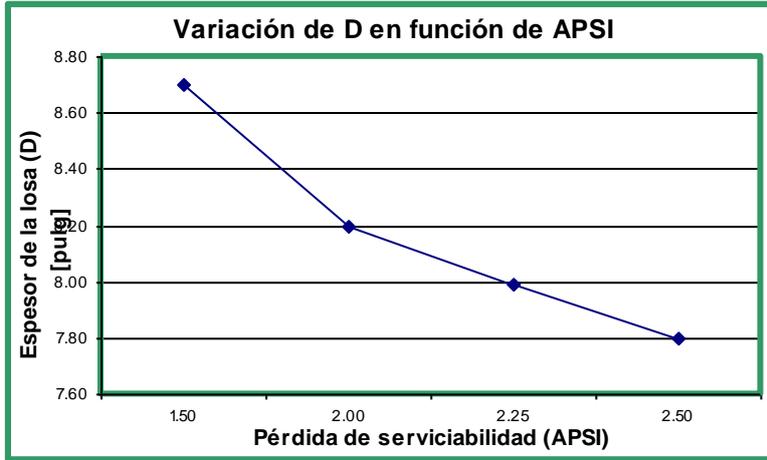


Gráfico 17

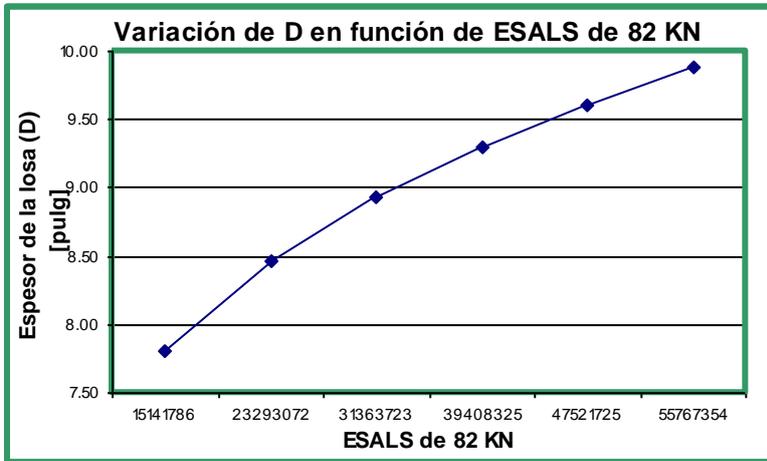
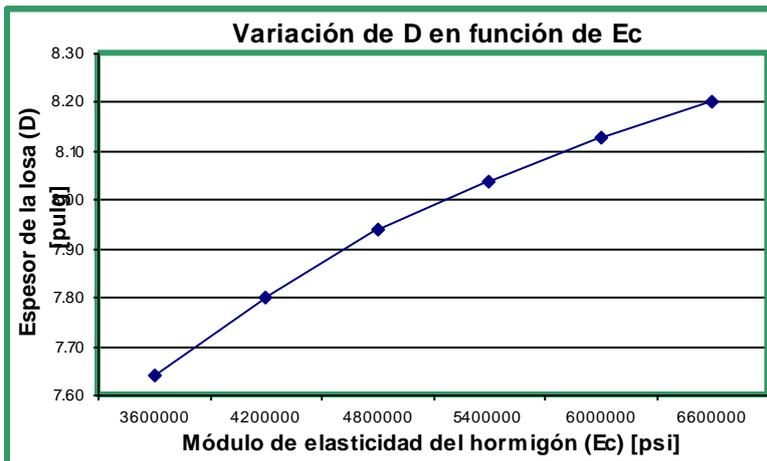


Gráfico 18



## 8.1. CONCLUSIONES DEL CAPITULO.

Se realizó el análisis de sensibilidad de cada una de las variables que se consideran en el diseño de la estructura de un pavimento rígido con Método AASHTO, para la Alternativa 1.

Las variables analizadas fueron las siguientes : Coeficiente de transferencia de carga (J), Coeficiente de drenaje (Cd), Desviación estandar combinada (So), Confiabilidad (R), Módulo de rotura del hormigón (MR), Módulo de elasticidad del hormigón (Ec), Módulo de reacción compuesto (K), Pérdida de serviciabilidad ( $\Delta$ PSI) , Ejes equivalentes a ejes simples de 82 KN (ESALS de 82 KN).

Se determina cuales de ellas afectan en mayor o menor grado al espesor del pavimento:

J: Valores considerados de la variable = 2.6 - 3.2 - 3.8 - 4.4, con una variación de 0.6. Para cada variación de J, corresponden los siguientes incrementos del espesor en pulgadas = 1.10 - 0.95 - 0.86 (expresados en porcentaje = 14 % - 11 % - 9 %). Es importante implementar buenos mecanismos de transferencia de carga. A mayor Coeficiente de transferencia de carga, mayor espesor (a igualdad de las otras variables).

Cd : Valores considerados = 0.85 – 0.95 - 1.05 - 1.15, con una variación de 0.10. Para cada variación de Cd, corresponden los siguientes decrecimientos del espesor en pulgadas = 0.65 - 0.56 - 0.50 (expresados en porcentaje = 6.8 % - 6.3 % - 6 %). Hay que prever apropiados dispositivos de drenaje. A mayor Coeficiente de drenaje, menor espesor.

So: Valores considerados = 0.30 - 0.33 - 0.36 - 0.39, con una variación de 0.03. Para cada variación de So, corresponden los siguientes incrementos del espesor en pulgadas = 0.06 - 0.05 - 0.05 (expresados en porcentaje = 0.78 % - 0.65 % – 0.64 %). Su efecto sobre el espesor de la losa es pequeño y casi lineal. A mayor Desviación estandar combinada, mayor espesor.

R: Valores considerados = 50 - 60 - 70 - 80 – 90 – 99 - 99.99. Para cada variación de R, corresponden los siguientes incrementos del espesor en pulgadas = 0.34 - 0.36 - 0.44 - 0.62 - 1.57 - 2.44 (expresados en porcentaje = 4.57 % - 4.62 % - 5.34 % - 7 % - 15.1 % - 19 %). A mayor Confiabilidad, mayor espesor (a partir del 90 % de confiabilidad este crecimiento es notorio).

MR: Valores considerados = 350 - 650 - 950 - 1250, con una variación de 300 psi. Para cada variación de MR, corresponden los siguientes decrecimientos del espesor en pulgadas = 3.72 - 1.99 - 1.60 (expresados en porcentaje = 32.3 % - 25.5 % - 27.5 %). Este decrecimiento es mayor para valores bajos de MR. Hay que elegir correctamente su valor para evitar el sobredimensionado o subdimensionado de la losa. A mayor Módulo de rotura del hormigón, menor es el espesor.

K: Valores considerados = 200 - 400 - 600 - 800, con una variación de 200 pci. Para cada variación de K, corresponden los siguientes decrecimientos del espesor en pulgadas = 0.45 - 0.37 - 0.33 (expresados en porcentaje = 5.2 % - 4.5 % - 4.2 %). A mayor Módulo de reacción menor espesor.

$\Delta$ PSI: Valores considerados = 1.50 - 2.00 - 2.25 - 2.50. Para cada variación de  $\Delta$ PSI, corresponden los siguientes decrecimientos del espesor = 0.50 - 0.21 - 0.19

(expresados en porcentaje = 5.7 % - 2.6 % - 2.4 %). Este decrecimiento es mayor para valores bajos de  $\Delta$ PSI. A mayor Pérdida de serviciabilidad, menor espesor.

ESALS de 82 KN : Valores considerados = 15141786 - 23293072 - 31363724 - 39408326 - 47521725 - 55767354, con una variación de 8000000 de ESALS. Para cada variación de ESALS, corresponden los siguientes incrementos del espesor en pulgadas = 0.66 - 0.47 - 0.37 - 0.31 - 0.27 (expresados en porcentaje = 7.8 % - 5.3 % - 4 % - 3.2 % - 2.7 %). Este incremento es más importante para bajos niveles de tránsito. A mayor número de ESALS de 82 KN mayor espesor.

Ec: Valores considerados = 3600000 - 4200000 - 4800000 - 5400000 - 6000000 - 6600000, con una variación de 600000 psi. Para cada variación de Ec, corresponden los siguientes incrementos del espesor en pulgadas = 0.16 - 0.14 - 0.10 - 0.09 - 0.07 (expresados en porcentaje = 2.1 % - 1.8 % - 1.2 % - 1.1 % - 0.9 %). A mayor Módulo de elasticidad del hormigón, mayor espesor.

Se observa que hay variables cuya incidencia en el cálculo del espesor es mínima. Por ejemplo podemos citar a So, Ec. Otras tienen una incidencia media como es el caso de K, Cd,  $\Delta$ PSI, ESALS. Aquellas con alto grado de sensibilidad, en orden de importancia son MR, R, J.

El Módulo de rotura (MR) y el Módulo de elasticidad del hormigón (Ec) presentan efectos muy diferentes en el espesor de la losa. El primero mide la resistencia a flexotracción del hormigón y el segundo su rigidez. Losas muy rígidas son más fuertes pero más frágiles, y se fisuran más rápido que una losa más elástica. Por ello la importancia del Módulo de rotura (MR).

## CAPITULO 9: CÓMPUTO Y PRESUPUESTO.

### 9.1. ALTERNATIVA 1.

#### 1. Demolición de obras varias.

- Se considera dentro de este ítem :
- Isleta central de calle lateral de YPF.
- Cordones para ampliar las calzadas en zona de isletas de la intersección.
- El precio que se considera es el 1,5 ‰ del monto total de obra.

#### 2. Excavación para fundación de alcantarilla.

- Vol. a excavar = (Alt. prom. + 30 cm de nivelación) x Long. Caño x Ancho a excavar
- Altura promedio = 2.78 m
- Longitud del caño = 364.31 m
- Ancho a excavar = 4 m
- Area a excavar = 1122.4 m<sup>2</sup>
- Volumen a excavar = 4500 m<sup>3</sup>

#### 3. Construcción de pavimento de hormigón de 21 cm.

- Área = 5834 m<sup>2</sup>

#### 4. Hormigón simple tipo F (relleno de isletas).

- Isleta 1 : balanza (este). Area = 61.33 m<sup>2</sup>
- Isleta 2 : balanza (oeste). Area = 53.33 m<sup>2</sup>
- Isleta 3 : intersección (este). Area = 23.04 m<sup>2</sup>
- Isleta 4 : intersección (oeste). Area = 62.42 m<sup>2</sup>
- Isleta 5 : sobre Av. 24 de setiembre. Area = 33.64 m<sup>2</sup>
- Isleta 6 : longitudinal sobre R. P. N° 30. Area = 194.80 m<sup>2</sup>
- Area total = 429 m<sup>2</sup>
- Altura de isleta = 0.07 m
- Volumen = 30 m<sup>3</sup>

#### 5. Cordón montable para isletas.

- Isleta 1. Long. = 37.24 m
- Isleta 2. Long. = 36.30 m
- Isleta 3. Long. = 24.13 m
- Isleta 4. Long. = 39.75 m
- Isleta 5. Long. = 113.19 m
- Isleta 6. Long. = 232.84 m
- Longitud total = 485 m

#### 6. Hormigón armado tipo B.

- Muro de contención: Comienza en el perfil transversal 8 (P8) y finaliza un poco después del perfil 9 (P9).
- Área del muro de contención = 31.59 m
- Ancho = 0.20 m
- Volumen = 6.3 m<sup>3</sup>
- Volumen H° de terminación de conducto = 0.7 m<sup>3</sup>

- Hº sumideros = 10.1 m<sup>3</sup>
  - Hº cámara de inspección = 1.64 m<sup>3</sup>
  - Volumen total de Hº = 19 m<sup>3</sup>
7. Provisión y colocación de alcantarilla de caños de 1.40 m. de diámetro.
- Dos caños de 365 m de longitud. Longitud = 730 m.
8. Provisión y colocación de colchonetas de piedra.
- Ancho = 2xdiámetro del caño + separación entre caños + 0.5 m a cada lado
  - Ancho = 4.2 m
  - Largo = 1.5 m
  - Área = 7 m<sup>2</sup>
9. Terraplén compactado.
- Terraplén en zona de isletas de balanza : Comienza antes del perfil transversal 10 (P10) y termina luego del perfil 11 (P11). Adopto el promedio entre los cuatro puntos (inicio, P10, P11 y fin).
  - Inicio - P10
  - Área = 0.68 m<sup>2</sup>
  - Longitud = 13.20 m
  - Volumen = 8.98 m<sup>3</sup>
  - P10 - P11
  - Area = 2.52 m<sup>2</sup>
  - Longitud = 6.50 m
  - Volumen = 16.38 m<sup>3</sup>
  - P11 - Fin
  - Area = 0.58 m<sup>2</sup>
  - Longitud = 31.20 m
  - Volumen = 18.10 m<sup>3</sup>
  - Volumen total = 43.46 m<sup>3</sup>

**Terraplén en perfiles. Tabla N° 46**

PERFIL	AREA
P4	0.52
P6	0.6
P7	0.53
P8	0.64
P9	4
P10	5.08
P11	2.91
<b>TOTAL</b>	<b>14.28</b>

- Longitud entre perfiles = 63.7 m
- Volumen = 909.60 m<sup>3</sup>
- Relleno de isletas = Area de isleta x 0.08 m de altura
- Relleno de isletas = 429 x 0.08 = 35 m<sup>3</sup>
- Volumen del terreno = 1786 m<sup>3</sup>

10. Excavación para apertura de caja.

- Área = 2659.77 m<sup>2</sup>
- Espesor = 0.3 m
- Volumen = 798 m<sup>3</sup>

11. Construcción de subbase granular cementada.

- Zona de sobreebanco.
- Longitud de sobreebanco = 666 m
- Área de sobreebanco = 400 m<sup>2</sup>  
Zona de ensanche por ampliación de carriles.
- Área de ensanche = 2601.24 m<sup>2</sup>
- Área total = 3001 m<sup>2</sup>
- Espesor = 0.13 m
- Volumen = 391 m<sup>3</sup>

12. Sellado de grietas y fisuras.

- Longitud = 666 m

13. Señalización vertical.

**Señalización vertical. Tabla N°47**

Designación	Función	Cant.	Designación		Dimensiones Físicas [m <sup>2</sup> ]		Total [m <sup>2</sup> ]	
			Nacional	Provincial	R.convenc.	R.secund.		
1	Prevención	2	P-24(a)	P-1		0.81	1.62	
2		P-7	P-13		0.81	1.62		
3		P-22		0.81	0.81			
4	Informativa	2	I-6	I-220		0.81	1.62	
		2	I-6	I-220			0.36	0.72
5	Reglamentaria	4	R-27	R-2			0.28	1.12
6		R-28	R-1			0.24	0.96	
7		R-15	R-301		0.81		3.24	
8	Transitoria	2	T.1			0.81	1.62	
9		T.6			0.81		1.62	
10		T.10			0.81		1.62	
11		T.11			0.81		1.62	
							18.19	

14. Demarcación horizontal.

- Líneas longitudinales.
- Centro de calzada.
- Toda la longitud de proyecto continúa sin posibilidad de sobrepaso.
- Ancho de línea = 0.1 – 0.15 m
- Separación entre líneas = 0.1 – 0.15 m
- Adopto : Ancho de línea = 0.1 m
- Separación = 0.15 m
- Longitud de línea = 253.21 m
- Área = Longitud x (2 x ancho de línea) = 50.60 m<sup>2</sup>
- Separadora de carriles.

- Para carriles de aceleración – Discontinua.
- $0.33 < p / (p+b) < 1.00$                        $p =$  segmento pintado
- $b =$  segmento no pintado
- Adopto :            Relación de segmento pintado y no pintado = 50 %
- Ancho de línea = 0.1 m
- Suma de longitud de líneas =  $43.95 + 33.68 + 100.39 = 178.02$  m
- Área pintada = suma de longitud de líneas x ancho de línea = 8.90 m<sup>2</sup>
- Línea borde de pavimento.
- Continua - toda la longitud de proyecto.
- Ancho = 0.1 m
- Longitud = 789 m
- Área = 78.9 m<sup>2</sup>
- Línea canalizadora.
- Demarcación de perímetro de isletas y maniobras de giro.
- Ancho = 0.2 – 0.3 m (en función de la importancia)      Adopto : Ancho = 0.2 m
- Longitud = 485 m
- Área = 97 m<sup>2</sup>
- Línea de aproximación a obstáculo.
- En isletas.
- Área = 10 m<sup>2</sup>
- Líneas transversales.
- De detención.
- Señal de pare.
- Superficie aproximada = 7.5 m<sup>2</sup>
- Cantidad de demarcaciones = 3
- Área = 22.5 m<sup>2</sup>
- Total demarcación horizontal.
- Área total = 268 m<sup>2</sup>

**Tabla N° 48**

	Designación	Unidad	Cantidad	P.Unitario	Total
1	Demolición de obras varias	Gl		17421.00	17394.87
2	Excav. para fundación de alcantarilla	m3	4500.00	146.30	658350.00
3	Const. de pav. de hormigón de 21 cm	m2	5834.00	329.60	1922886.4
4	Hormigón simple tipo F	m3	30.00	2444.60	73338.00
5	Cordón montable para isletas	m	485.00	248.40	120474.00
6	Hormigón armado tipo B	m3	19.00	4355.20	82748.8
7	Alcantarilla de H° $\theta = 1.40$ m	m	730.00	2423.30	1769009.00
8	Colchonetas de piedra	m2	7.00	497.00	3479.00
9	Terraplén compactado	m3	1786.00	138.50	247361.00
10	Excavación para apertura de caja	m3	798.00	63.50	50673.00
11	Const. de subbase granular cementada	m3	391.00	451.70	176614.70
12	Sellado de grietas y fisuras	m	666.00	38.40	25574.40
13	Señalización vertical	m2	18.19	1989.60	36190.82
14	Demarcación horizontal	m2	268.00	146.00	39128.00
	Presupuesto total de Alternativa 1				5223221.99

**9.2. ALTERNATIVA 2.****Tabla N° 49**

	<b>Designación</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>P.Unitario</b>	<b>Total</b>
1	Demolición de obras varias	Gl		17421.00	17394.87
2	Excav. para fundación de alcantarilla	m3	4500.00	146.30	658350.00
3	Const. de pav. de hormigón de 23 cm	m2	5834.00	361.00	2106074.00
4	Hormigón simple tipo F	m3	30.00	2444.60	73338.00
5	Cordón montable para isletas	m	485.00	248.40	120474.00
6	Hormigón armado tipo B	m3	19.00	4355.20	82748.80
7	Alcantarilla de H° $\theta = 1.40$ m	m	730.00	2423.30	1769009.00
8	Colchonetas de piedra	m2	7.00	497.00	3479.00
9	Terraplén compactado	m3	1786.00	138.50	247361.00
10	Excavación para apertura de caja	m3	798.00	63.50	50673.00
11	Const. de subbase granular cementada	m3	331.00	456.10	150969.10
12	Fresado de capa asfáltica	m2	4462.00	16.70	74515.40
13	Señalización vertical	m2	18.19	1989.60	36190.82
14	Demarcación horizontal	m2	268.00	146.00	39128.00
Presupuesto total de Alternativa 2					5429704.99

**9.3. ALTERNATIVA 3.****Tabla N° 50**

	<b>Designación</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>P.Unitario</b>	<b>Total</b>
1	Demolición de obras varias	Gl		17421.00	17394.87
2	Excav. para fundación de alcantarilla	m3	4500.00	146.30	658350.00
3	Const. de pav. de hormigón de 20 cm	m2	5834.00	313.90	1831292.60
4	Hormigón simple tipo F	m3	30.00	2444.60	73338.00
5	Cordón montable para isletas	m	485.00	248.40	120474.00
6	Hormigón armado tipo B	m3	19.00	4355.20	82748.80
7	Alcantarilla de H° $\theta = 1.40$ m	m	730.00	2423.30	1769009.00
8	Colchonetas de piedra	m2	7.00	497.00	3479.00
9	Terraplén compactado	m3	1786.00	138.50	247361.00
10	Excavación para apertura de caja	m3	798.00	63.50	50673.00
11	Const. de subbase granular cementada	m3	391.00	451.70	176614.70
13	Reclamado granular	m3	1339.00	418.20	559969.80
14	Señalización vertical	m2	18.19	1989.60	36190.82
15	Demarcación horizontal	m2	268.00	146.00	39128.00
Presupuesto total de Alternativa 3					5666023.59

No se realizó el cómputo métrico para las Alternativas 2 y 3, ya que los ítems son similares a los de la Alternativa 1. En Alternativa 2 solo se agrega el ítem “Fresado de capa asfáltica” y en Alternativa 3 el ítem “Reclamado granular”.

## CAPITULO 10: CONCLUSIONES FINALES DE LA PS.

Los resultados y conclusiones que surgen al haber finalizado la Práctica Supervisada son las siguientes:

Se visitó la Dirección Provincial de Vialidad (DPV) de Córdoba, en donde no se encontró información alguna sobre el tramo de R. P. N° 30 (ingreso a la localidad de Achiras) en estudio.

En el Departamento Obras de dicha repartición, se consiguieron datos sobre el tramo Río Cuarto - Cuatro vientos, ubicado a 50 km del anteriormente mencionado, también sobre R. P. N° 30, que corresponde al mismo paquete estructural.

Los mismos se toman como antecedentes para la realización de éste trabajo, y consisten en ensayos de suelos y perfiles edafológicos.

Esta situación nos obligó a realizar ensayos de suelos (granulometría, límite líquido, límite plástico) para determinar sus propiedades y posteriormente hacer una clasificación de los mismos.

Luego se hizo una comparación con la información obtenida, de la cual se puede deducir que los suelos encontrados en Achiras son muy similares a los de Cuatro vientos.

También se pudo hacer el ensayo de control de compactación por el Método de la arena en las capas de base y subbase para determinar las densidades in situ.

El objetivo era poder ingresar con dichas densidades, en el gráfico Dss – VSR que figura en los antecedentes, y poder determinar el VSR de las capas mencionadas.

Como las densidades obtenidas sobre la banquina son muy bajas, no podemos utilizar éste gráfico. Al no permitirnos realizar el ensayo de Cono de arena sobre calzada, se adoptan los valores de VSR del tramo Río Cuarto - Cuatro vientos, para el cálculo del espesor de la losa de hormigón.

Durante la inspección visual de la capa asfáltica existente, se observó el grado de fisuración que la afecta. En base a ello se supone un coeficiente estructural, con el cual se determina el Módulo dinámico de dicha capa, que fue utilizado en el diseño.

Para el diseño estructural se usaron los métodos de la AASHTO y de la PCA. Se plantearon tres alternativas de rehabilitación :

- Alternativa 1 : Refuerzo de hormigón sobre pavimento flexible existente.
- Alternativa 2 : Se retira la capa asfáltica y sobre capas granulares se coloca un pavimento de hormigón.
- Alternativa 3 : Reclamado de las capas granulares (mezcla granular compuesta por el reciclado de la estructura existente y la incorporación de agua, arena sílicea, piedra triturada 6-25 mm) y colocación de un pavimento de hormigón.

Se adoptan los espesores logrados con el M. AASHTO.

En todas las alternativas se utiliza un pavimento de hormigón simple con juntas y pasadores.

Se descarta el empleo de un pavimento asfáltico, ya que puede presentar problemas de ahuellamiento debido a la combinación de tránsito pesado y bajas velocidades.

Al hacer el cómputo y presupuesto, se observa que la Alternativa 1 tiene los menores costos de inversión, y con este criterio resulta la alternativa elegida.

Con respecto a ésta última, también denominada Whitetopping convencional o no adherido, podemos comentar que en nuestro país hay muy poca experiencia en este tipo de obras, como ejemplo se puede citar la Autopista del oeste, Camino de los pueblos (Olavarría), AU7 (Capital federal).

En lo que concierne a la provincia de Córdoba, nunca se hizo esta clase de refuerzos, según lo manifestado por personal de la DPV.

El desarrollo de este trabajo, permitió al alumno poner en práctica los conocimientos asimilados durante el cursado de la carrera de Ingeniería Civil, reforzando los mismos, relacionarse e interactuar con profesionales afines a la ingeniería y adquirir experiencia laboral en lo concerniente con el área vial, ya sea en laboratorio al hacer los ensayos de suelos, manejo de pliegos y métodos de diseño estructural, comprendiendo la importancia de las variables que participan en los mismos, tratando de ser criterioso en su elección, y por último la realización de cálculos métricos.

Por todo lo expuesto se valora la importancia de la Práctica Supervisada, al elevar el nivel académico de los alumnos para su inserción en el medio.

## BIBLIOGRAFIA.

- Normas de ensayos de la Dirección Nacional de Vialidad (DNV).
- Pliego de especificaciones técnicas generales de la DNV.1998.
- Curso de laboratorio vial de la Dirección Provincial de Vialidad de Córdoba.2012.
- AASHTO. Guide for design of pavement structures.1993.
- PCA. Thickness design for concrete highway and street pavements.1995.
- Manual centroamericano para diseño de pavimentos .Ing. J. Coronado Iturbide.2002.
- Guía para el diseño y construcción de pavimentos rígidos. Ing. Aurelio Salazar Rodriguez. 1997.
- Apuntes de la Cátedra de Transporte III. F.C.E.F. y N. (UNC).
- Diseño y construcción de pavimentos de hormigón. Instituto del Cemento Portland Argentino.2010.
- Refuerzos con hormigón de pavimentos bituminosos. Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones.2011.
- Recubrimientos de hormigón. Instituto del Cemento Portland Argentino.2012.